Zur Konstruktion von schwimmenden Hafenmolen

Autor(en): **Schaad, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **98 (1980)**

Heft 6

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74042

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Zur Konstruktion von schwimmenden Hafenmolen

Von F. Schaad, Zürich

Allgemeine Gesichtspunkte

Die Zunahme des Wassersports auf den Schweizer Seen führte in den letzten Jahren zu einem grossen Mangel an sicheren Liegeplätzen für viele Schiffe. Teilweise wurde diesem Umstand durch das Anlegen von Bojenfeldern begegnet, die jedoch das Landschaftsbild längs den Seeufern wesentlich beeinträchtigen. Der Wunsch nach mehr und grösseren Hafenanlagen verstärkte sich immer mehr, so dass sich viele Gemeinden oder Private in Genossenschaften oder Vereinen entschlossen, den möglicherweise schon bestehenden Hafen zu erweitern oder eine neue Anlage zu erstellen.

Die entsprechenden Projekterarbeitungen werden in der Regel einem fähigen Ingenieurbüro übertragen. An den beauftragten Ingenieur sind recht hohe Anforderungen gestellt, und es gibt nur wenige, die auf diesem Gebiet grössere Erfahrung haben. Im ersten Teil dieses Beitrages geht es vor allem darum, die Konstruktion einer Hafenanlage mit Schwimmolen vorzustellen. Der zweite Teil befasst sich mit entsprechenden Modellversuchen. Dieser Hafentyp ist für viele Ingenieure noch unbekannt, oder sie trauen nicht dem Baustoff Beton als dichtem, schwimmendem Element. Die Erfahrung mit den bestehenden Konstruktionen hat jedoch gezeigt, dass diese Bauweise bei einer gut durchdachten Lösung absolut sicher und ebenso wirtschaftlich sein kann wie eine konventionelle Konstruktion.

Definition der Hafenmole

Eine Hafenmole ist ein Bauwerk, das ein Teilgebiet eines Sees von diesem abtrennt, so dass im Schutze dieses Bauwerks Schiffe vertäut werden können. Diese sind nur noch schwachen Welleneinwirkungen ausgesetzt. Besteht nun dieses Bauwerk aus schwimmenden Elementen, so spricht man von Schwimmolen. Das Hauptziel eines Hafens ist es also, ein möglichst *wellenfreies Seegebiet* zu schaffen.

Die drei gebräuchlichen Typen

In der Regel werden heutzutage vorwiegend die in Bild 1 dargestellten Molentypen gebaut. Die Bilder 2, 3 und 4 zeigen diese drei Typen.

Bevor sich ein pflichtbewusster Ingenieur zur einen oder anderen Lösung entschliesst, wird er ein intensives Studium der verschiedenen Varianten vornehmen. Die untenstehende Tabelle 1 soll einen Teil der Entscheidungsaspekte zeigen, die zur Wahl der geeigneten Mole führen können.

Im folgenden möchten wir lediglich auf die Vor- und Nachteile der schwimmenden Hafenkonstruktionen gegenüber den anderen beiden Typen eingehen.

- Wie aus der vorhergehenden Zusammenstellung ersichtlich ist, ist dieser Molentypus vor allem bei schlechten Seegrundverhältnissen und steilen Ufern vorteilhaft. Die Verankerung kann, wie Bild 6 zeigt, mit Ketten und Gewichten bei flachem Ufer oder mit gefluteten Streben an Steilufern vorgesehen werden.
- Wie die Bilder 4 und 5 zeigen, ist auch in der Linienführung völlige Freiheit gewährleistet, so dass das Hafenprojekt mühelos an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden kann. Die Eingliederung des Hafens in die Uferlinie ist also nicht durch das Konstruktionprinzip eingeschränkt, sondern höchstens durch hydraulische Bedingungen. Diese Tatsache dürfte vor allem Architekten und Grünplaner sehr interessieren.
- Der grösste Vorteil der Schwimmole liegt wohl in der Tatsache, dass die Wellendämpfung von rund 85% bei praktisch allen Wasserspiegellagen konstant bleibt. Die Freibordhöhe muss deshalb nicht nach den oft grossen Seespiegelschwankungen bemessen werden, es genügt eine Dimensionierung, die lediglich die grösste Wellenhöhe berücksichtigt. Die Freibordhöhen in der Grössenordnung von 50–80 cm sind also unabhängig von der Wasserspiegellage und erlauben immer genügend Ausblick auf den See. Situationen, bei denen der Seebeschauer an eine bis zu 4 m hohe Wand starrt (Bild 3), sind bei einer schwimmenden Hafenanlage ausgeschlossen.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der drei Molentypen

	Geschlossene Mole	Tauchwand	Schwimmole
Vorteile	Wellen werden völlig gebrochen. Sie dringen nur bei Einfahrt in den Hafen ein. Stabile Konstruktion, die begehbar gestaltet werden kann.	Konstruktion kann bei guten Seegrundverhältnissen wirtschaftlich sein. Begehbare Ausführung ist möglich.	Konstruktion unabhängig von Seegrundbeschaffenheit und Ufersteilheit. Wirtschaftliche Ausführung möglich. Freibordhöhe bei allen Wasserspiegellagen konstant (gute Einpassung ins Landschaftsbild). Wellendämpfung praktisch unabhängig von der Seespiegellage. Molen sind begehbar.
Nachteile	Teure Lösung bei schlechten Seegrundverhältnissen. Bei Seen mit grossen Spiegelschwankungen sehr hohes Freibord während Niedrigwasser. Unmögliche Lösung bei zu steilen Ufern.	Wellen dringen nicht nur bei Einfahrt ein. Wellendämpfung höchstens 85%. Wellendämpfung wird bei abnehmendem Seespiegel schlechter. Bei Seen mit grossen Spiegelschwankungen sehr hohes Freibord während Niedrigwasser. Unmögliche Lösung bei zu steilen Ufern.	Wellen dringen nicht nur bei Einfahrt ein. Wellendämpfung höchstens 85%.

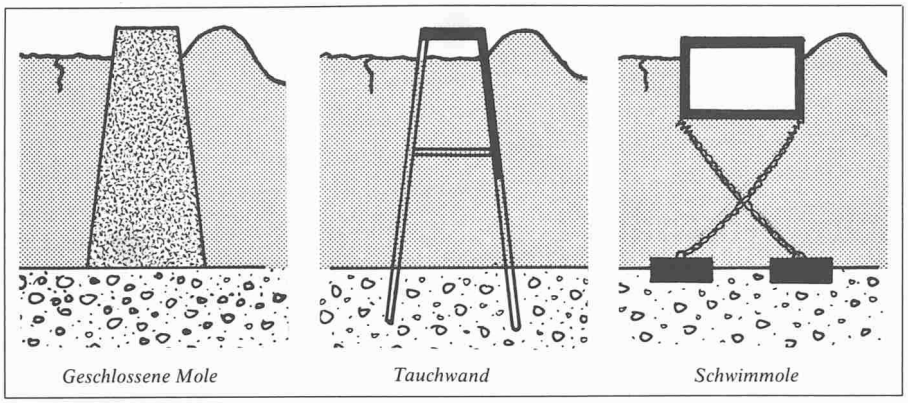


Bild 1. Drei für Hafenbauten in der Schweiz oft verwendete Molentypen

- Die Breite der Schwimmole liegt bei 3–4 m, je nach Bauart. Deshalb kann sie gefahrlos begangen werden. Selbst bei starken Stürmen sind die Molenbewegungen gering, so dass der Zugang zum Schiff gewährleistet ist.

Bei den vorgängig aufgezeichneten Denkanstössen wurde vorausgesetzt, dass der Leser die beiden anderen erwähnten Molentypen (geschlossene Mole, Tauchwand) schon kennt. Die genannten Kriterien bilden selbstverständlich nur einen Teil der Fakten, die zum Entscheid der auszuführenden Varianten beitragen.

Bautechnische Probleme bei Schwimmolen

Die uns bekannten Schwimmolen in der Schweiz sind meistens Konstruktionen aus Stahl- und Spannbeton. Wie die Praxis zeigt, liegen die Probleme des Konstrukteurs nicht, wie oft geglaubt wird, bei der Dichtigkeit des Betons, sondern vor allem bei den Verbindungselementen der verschiedenen Molenteile.

Die beiden gebräuchlichen Verbindungsmittel sind die folgenden:

- Die aus kurzen Elementen (rund 3–5 m) bestehende Mole wird mit Spannkabeln zusammengehalten. Die Kabel werden dabei nicht ausinjiziert, um eine später vielleicht notwendige Demontage zu ermöglichen. Bei unvoraussehbar hohen Wellen (z. B. durch Erdrutsche oder Lawinen erzeugt) kann sich die Elementverbindung infolge einer starken Dehnung des Spannstahls öffnen und anschliessend wieder schliessen. Dabei bleibt die Frage nach der Belastung der Betondruckzone im Öffnungsquerschnitt während dieses Vorgangs noch ungewiss.
- Die aus längeren Elementen (bis rund 40 m) bestehenden Molenteile werden mit Gelenken zusammengekoppelt oder fest verschraubt. Die Bestimmung der auftretenden Schnittkräfte für die Bemessung dieser Bauteile ist sehr schwierig. Zudem ist ein dauernder Lastwechsel vorhanden, der eine Bemessung auf Ermüdung notwendig macht.

Ein weiterer kritischer Punkt bei der



Bild 2. Hafenanlage mit geschlossener Mole, Zürich

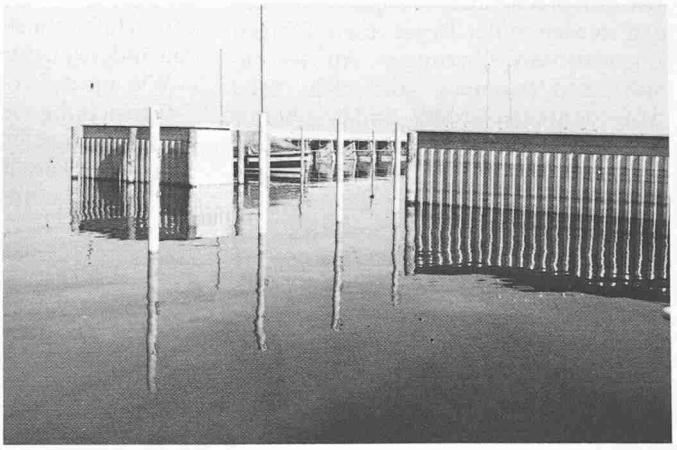


Bild 3. Hafenanlage Rorschach, Ausbildung als Tauchwand

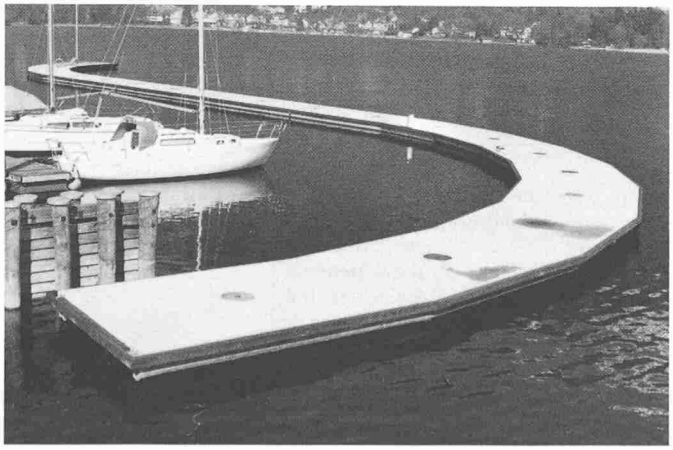


Bild 4. Hafenanlage Gäsi am Walensee, Ausbildung als Schwimmole



Bild 5. Hafenanlage in Zug, Ausbildung als Schwimmole

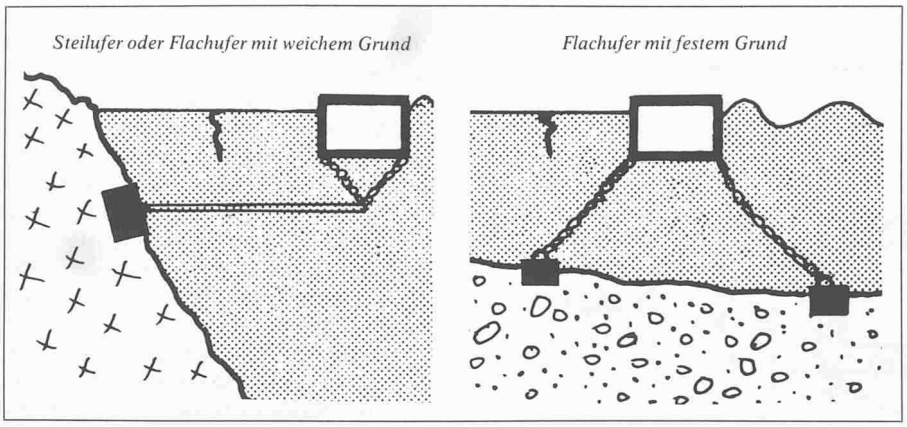


Bild 6. Verankerungsarten bei Schwimmolen

Konstruktion einer Schwimmole ist der Anschluss des sich ständig in den drei Dimensionen bewegenden Endelementes der Hafenanlage an das feste, d. h. in der Lage konstante Ufer. Die Molenbewegungen in den beiden horizontalen Richtungen können in Ufernähe durch weniger Spiel der Ketten oder Streben beschränkt werden. Die Wasserspiegelschwankungen werden durch Rollbrükken überwunden (Bild 7).

Bei sehr flachen Ufern ist der Anschluss an die Mole nicht einfach, da eine Wassertiefe bei tiefster Seespiegellage von mindestens 2 m (Eintauchtiefe der Mole) erreicht werden muss. An diesen Stellen wird oft eine Wand oder Tauchwand aufgestellt (Bild 4). Diese darf sich nicht, wie Bild 7 zeigt, im Bewegungsbereich der Schwimmole befinden.

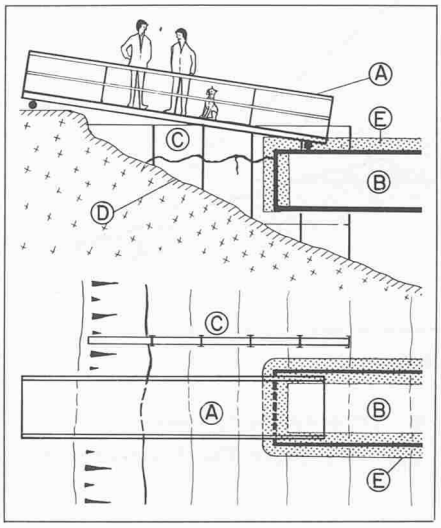


Bild 7. Abschlusselemente für Schwimmhäfen, A Rollbrücke, B Schwimmelemente, C Abschlusswand, D Seegrund, E Bewegungsbereich der Mole

Modelluntersuchungen

Der schwimmende Körper im bewegten Wasser ist ein äusserst kompliziertes dynamisches System. Auch die schwimmende Hafenmole gehört zu dieser Kategorie von bewegten Körpern, wobei sie durch Verankerungen noch zusätzlich beeinflusst wird. Über die Berechnungsmethoden von solchen Bauwerken besteht eine umfangreiche Literatur, die jedoch infolge von modifizierten oder zu einfachen Randbedingungen selten Anwendung finden kann. Oft entsprechen die natürlichen Seegrundneigungen, Uferlinien und weiteren Parameter nicht den Vereinfachungen der theoretischen Studien, und die Praxis zeigt, dass solche Faktoren das Verhalten eines Schwimmkörpers wesentlich beeinflussen können. Dem projektierenden Ingenieur stellen sich deshalb häufig Probleme, die ohne allzugrossen Aufwand mathematisch beinahe nicht zu lösen sind.

Die Modellstudie ist in diesem Fall ein Mittel zur Lösung der angetönten Probleme. Sie erlaubt das Studium von Teilfragen sowie eine umfassende Untersuchung unter gleichzeitiger Berücksichtigung der massgebenden Parameter.

Modellähnlichkeit

Die Modellähnlichkeit beruht auf der Theorie der mechanischen Ähnlichkeit, bei der alle mechanischen Grössen nach bestimmten Gesetzen ermittelt werden können. Ein Modell und sein Prototyp können als ähnlich bezeichnet werden, wenn

1. geometrische Ähnlichkeit vorhanden ist und
2. eine entsprechende mechanische Grösse im Modell und Prototyp ein konstantes Verhältnis aufweist.

Das Ähnlichkeitsgesetz von Froude, das für solche Untersuchungen von Körpern, die Schwerewellen ausgesetzt sind, angewendet wird, setzt voraus, dass nur die Schwerkraft aktiv ist. Deshalb müssen auch die Beschleunigungskräfte ein konstantes Verhältnis Natur/Modell aufweisen. Falls ein Längenverhältnis gewählt wird, ergeben sich die folgenden Umrechnungsfaktoren:

Längen	L_N/L_M	$=\lambda$
Volumen	V_N/V_M	$=\lambda^3$
Kräfte	K_N/K_M	$=\lambda^3$
Perioden	P_N/P_M	$=\lambda^{1/2}$
Zeiten	t_N/t_M	$=\lambda^{1/2}$
Wellenhöhe	H_N/H_M	$=\lambda$
Wellenlänge	L_N/L_M	$=\lambda$
Frequenzen	f_N/f_M	$=\lambda^{-1/2}$

Die Wellen in der Natur weisen oft eine sehr komplizierte Überlagerung verschiedener Längen, Höhen und Frequenzen auf. Im Modell wie übrigens auch in der Berechnung ist es leider nicht möglich, diese Bilder in ihrer komplexen Form zu simulieren. Lediglich die aufgesteilte Form der Welle kann unter Umständen simuliert werden, wobei die Frequenzen während einem Versuch konstant gehalten werden.

Um im Modell ein ähnliches kinematisches Verhalten der Molen zu erreichen, muss das Gewicht des Modellkörpers genau um den Faktor $1/\lambda^3$ kleiner sein. Zudem müssen die Lagen der Schwerachsen, die axialen und polaren Trägheitsmomente sowie das Metazentrum genau simuliert werden, da diese Grössen einen wesentlichen Einfluss auf den Bewegungsablauf haben.

Mögliche Untersuchungen im Modell

Je nach Projekt, Lage des Hafens und Konstruktionsprinzip können die folgenden Aspekte im Modell untersucht werden, wobei es nicht immer erforderlich ist, alle beschriebenen Studien durchzuführen. Oft genügt es, nur Teilprobleme zu untersuchen.

Wellendämpfung

Der schwere, im Wasser liegende Schwimmkörper lässt die ankommenden Wellen an sich aufprallen und zum Teil reflektieren. Dabei wird jedoch ein Teil der Energiefortpflanzung weiterhin unter der Schwimmole durch stattfinden. Deshalb entstehen auch bei grösseren Schwimmhafenanlagen Wel-

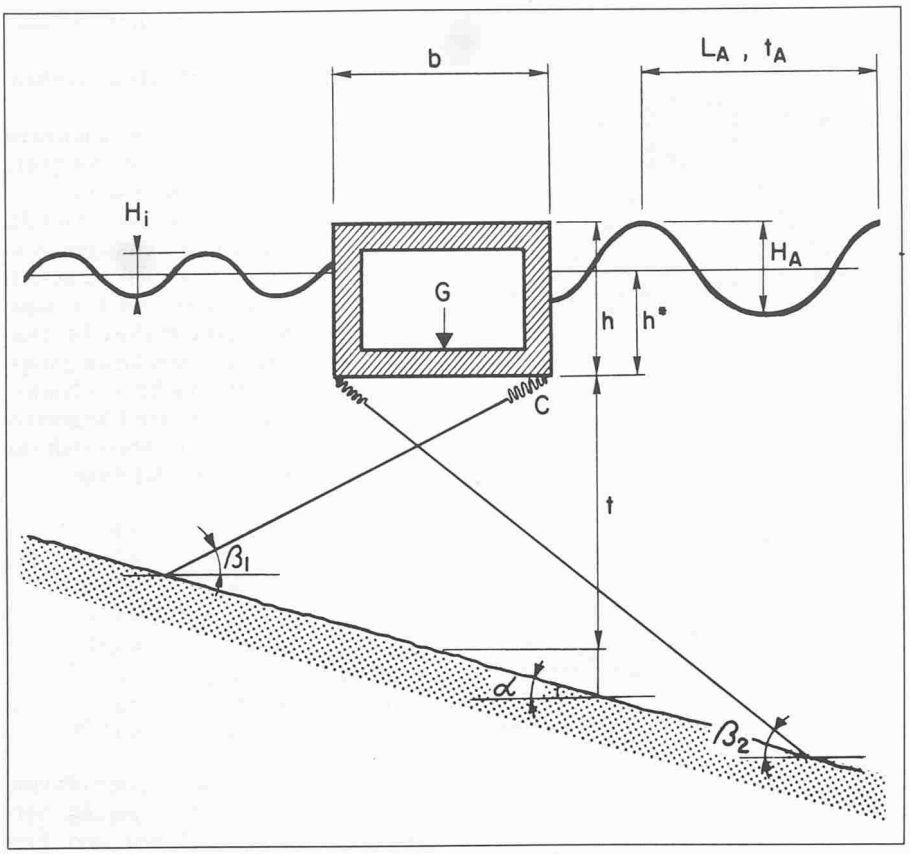


Bild 8. Grössen, die das Verhalten der Schwimmole beeinflussen:

H_A, L_A, t_A	*Wellencharakteristik*	β_1, β_2, C	*Charakteristik der Verankerung*
t, α, h^*	*Lage des Körpers im Wasser*	$G, I_{x,y,z}, J_p$	*Körpergrössen (Gewicht, Trägheitsmomente)*
h, b	*Geometrische Abmessungen der Mole*		

len im Hafeninnern. Die Höhen dieser Wellen sind bei einer gelungenen Konstruktion wesentlich geringer als die seeseitig aufprallenden Wellen. Bezeichnen wir die Wellenhöhe ausserhalb des Hafens mit H_A und die dadurch induzierte Welle im Innern mit H_I, so wird im allgemeinen der Wellentransmissionsfaktor wie folgt definiert:

$$T_W = \frac{H_I}{H_A}$$

Für einen starren, ins Wasser eintauchenden Körper besteht genügend Literatur zur Bestimmung dieses Transmissionsfaktors. Dabei sind die ersten acht in Bild 8 dargestellten Parameter zur zu berücksichtigen. Die Dämpfung der Welle ($1-T_W$) ist von der Wellencharakteristik (H_A, L_A, t_A) der Lage des Körpers im Wasser (t, α, h^*) sowie von den geometrischen Körpereigenschaften (h, b) abhängig.

Da die Bewegungen der Mole als gering angenommen werden, ist die Betrachtung als unbewegter starrer Körper in den meisten Situationen gerechtfertigt.

Bei Wellen, deren Perioden in der Nähe der Eigenfrequenz der vertikalen Molenschwingung liegen, kann sich die Wellendämpfung jedoch wesentlich verändern, da die Mole durch die Anregung der Welle in Schwingung gerät. Es besteht sehr wenig Literatur über die Wellendämpfung beim Auftreten solcher Resonanzerscheinungen. Wie Bild 8 zeigt, werden die massgebenden Parameter, die das Schwingungsverhalten und die Wellendämpfung bestimmen, um die folgenden Einflussgrössen erweitert:

- die Trägheitsmomente um die drei Achsen sowie das polare Trägheitsmoment *(Ix, Iy, Iz, Ip)*
- das Gewicht der Molenkonstruktion *(G)*
- die Charakteristik der Verankerung wie Verankerungswinkel und Federkonstanten ($\beta 1, \beta 2$, *C*).

Die Anzahl der mitwirkenden Parameter zeigt, dass die Bestimmung der Wellendämpfung nur mit einem äusserst komplizierten mathematischen Modell oder eben durch Modellversuche erreicht werden kann. Bild 9 zeigt als Beispiel Modellmessungen der Wellendämpfung für den schwimmenden Bootshafen in Wollishofen am Zürichsee.

Wellenabdriftkraft

Im Wasser liegende Körper können infolge Wind oder Wellen driften, d. h. sie verändern ihre örtliche Lage. Je nach Ursache spricht man von Wellen- oder Windabdrift. Die den Wellen ausgesetzte schwimmende Hafenmole zeigt ebenfalls die Tendenz zur Drift und würde sich ohne Verankerungssystem auch örtlich verschieben. Unter Wellenabdriftkraft versteht man die Kraft, die auf die Schwimmole wirken muss, um diese Lageverschiebung zu verhindern. Sie stellt neben den Windkräften und Kräften, die durch vertäute Schiffe auf die Mole wirken, einen Teil der Ankerkraft dar. Die Abdriftkraft infolge Wellen ist wiederum von diversen Parametern abhängig und schwierig zu bestimmen. Sie kann jedoch relatif einfach im Modell gemessen werden, wobei leider nur streng priodische Wellenbilder simuliert werden können. Es darf aber angenommen werden, dass diese Wellen gerade wegen ihrer genauen Periodizität im Modell grössere Werte ergeben als gleichgrosse Wellen mit aperiodischem Charakter in Natur. Bild 10 zeigt, wie solche Messungen im Modell durchgeführt werden können.

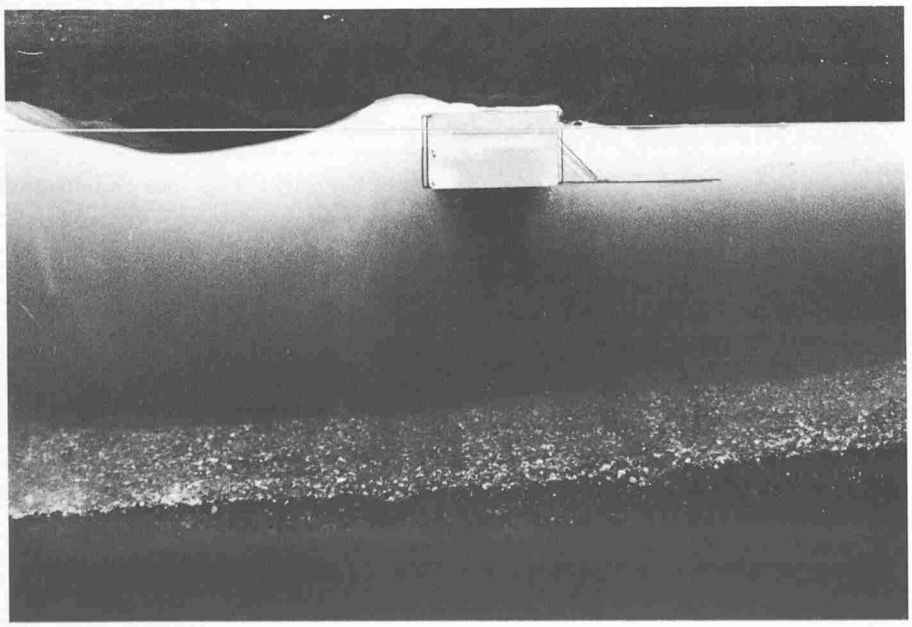


Bild 9. Bootshafen Wollishofen, Bestimmung der Wellendämpfung bei einer Welle von 1 m Höhe

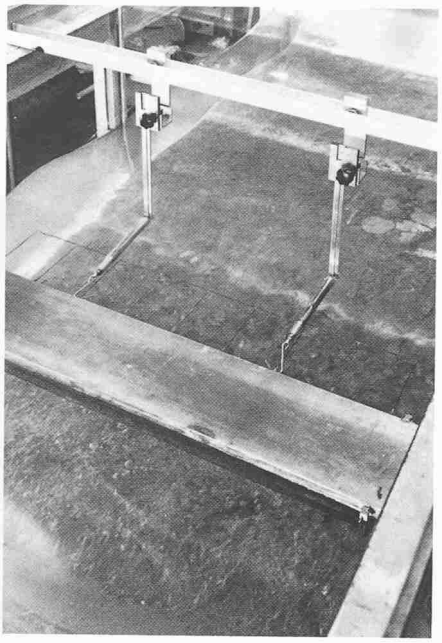


Bild 10. Bestimmung der Wellenabdriftkräfte im Modell

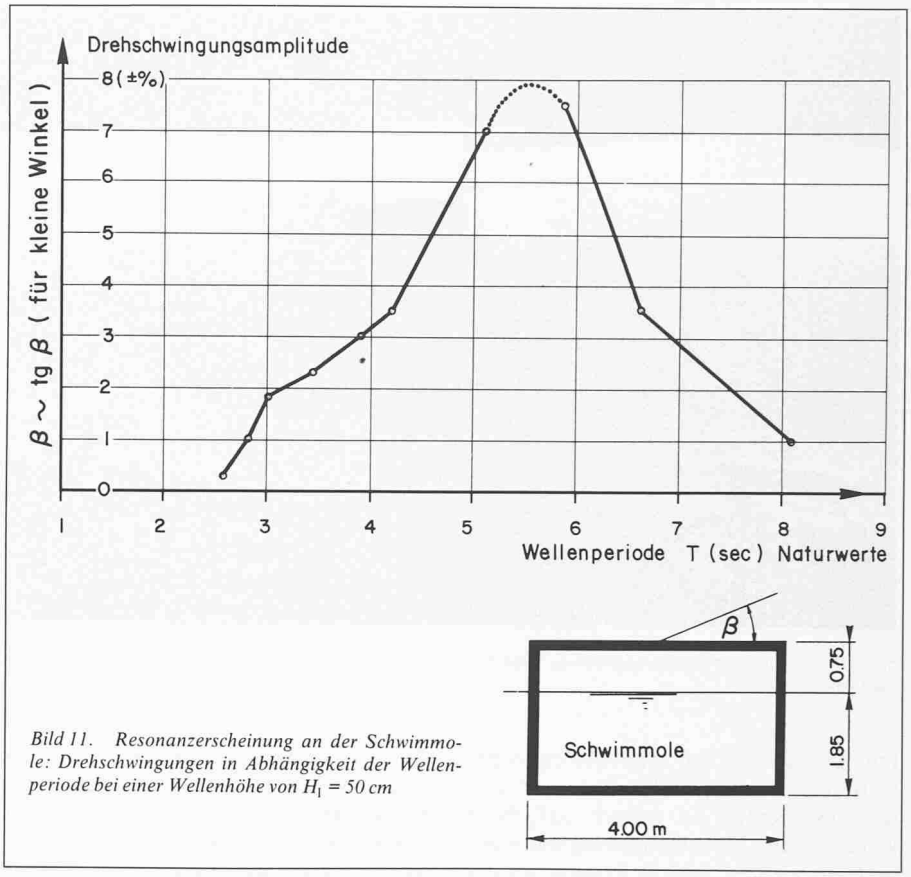


Bild 11. Resonanzerscheinung an der Schwimmole: Drehschwingungen in Abhängigkeit der Wellenperiode bei einer Wellenhöhe von $H_1 = 50$ cm

Resonanzerscheinungen

Wie im Abschnitt «Wellendämpfung» beschrieben wurde, ist die Wellendämpfung besser, wenn die Eigenfrequenz der Mole für Vertikalbewegungen nicht in der Nähe der Wellenfrequenz liegt. Bei gekrümmten oder abgewickelten Konstruktionen wird das Eintreffen eines solchen Ereignisses weniger wahrscheinlich sein als bei kleineren, geradlinigen Molentypen. Der Ingenieur hat dennoch bei der Konstruktion jedes Molentyps die Aufgabe, festzustellen, ob solche Resonanzerscheinungen im Bereiche der möglichen Frequenzen liegen. Dieser Nachweis ist aber ohne eine entsprechende Modellstudie oft schwierig zu erbringen.

Neben der vertikalen Resonanz hat jede Mole einen Resonanzbereich für Drehschwingungen um die horizontale Längsachse. Die Grösse dieser Schwingung ist wiederum von der anregenden Welle abhängig. Sie beeinflusst die Wellendämpfung weniger als die Vertikalresonanzeigenschaften, ist aber unangenehm für den sich auf der Mole befindenden Fussgänger. Bild 11 zeigt das Beispiel eines solchen Drehschwingverhaltens. Es ist deutlich zu erkennen, dass der untersuchte Molentyp bei Wellenperioden von 5,5 s eine starke Drehschwingung ausführt, die Querneigungen von ± 8% zur Folge haben. Bei Wellenperioden unter 2,75 oder über 8 s sind die Querneigungen sehr gering.

Verankerungen

Schwimmende Hafenmolen können auf die verschiedensten Arten verankert werden. Bild 12 zeigt eine Anzahl solcher Verankerungsmöglichkeiten mit Kettenverankerungen. Natürlich ist das Schwimm- und Resonanzverhalten der Hafenmole von der Verankerungsart abhängig und muss in die Studie miteinbezogen werden. Das Gewicht der Kette, die Neigung und die Befestigungspunkte an der Mole beeinflussen, wie Bild 13 zeigt, die Schaukelbewegungen des Molenkörpers.

Eine starke Molenbeeinflussung ist vor allem bei zu straffen Ketten feststellbar, da in diesen Situationen bei hohen Wellen Schnalleffekte (plötzliches Straffen der Ketten) auftreten können, die die Mole schlagartig beanspruchen. Straffe Ketten wären erwünscht, um die Molenbewegungen möglichst klein zu hal-

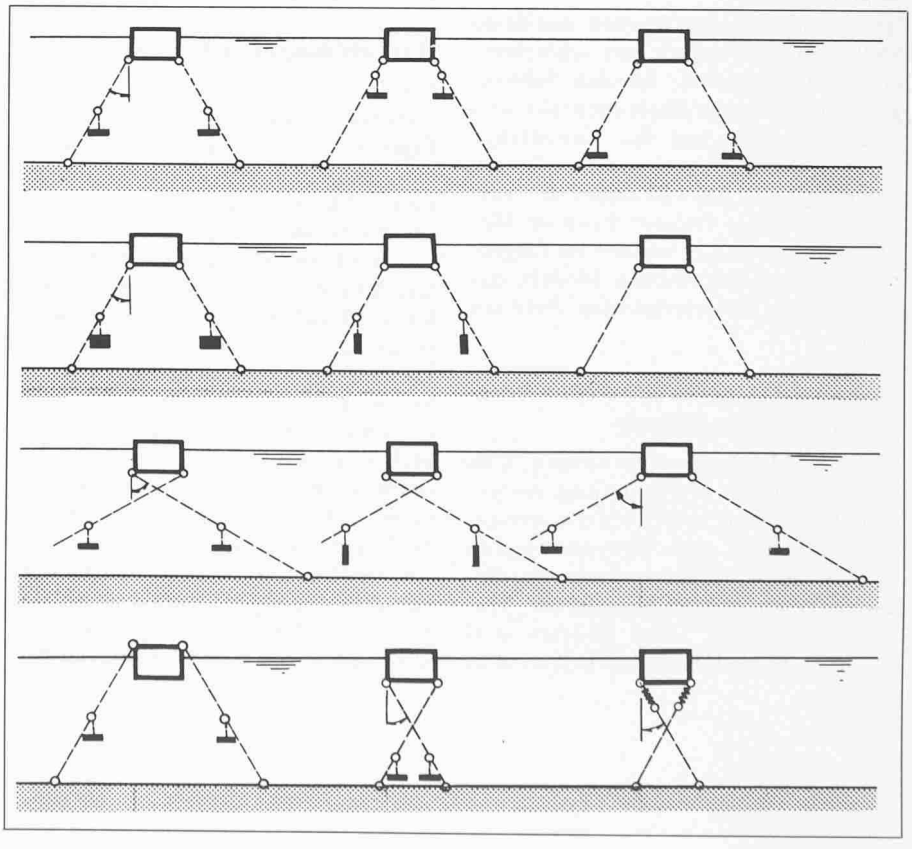


Bild 12. Anordnungsmöglichkeiten der Kettenverankerungen. Die Ketten können entweder gekreuzt oder ungekreuzt angeordnet werden. Damit sie immer etwas gespannt sind, kommen Federn oder Gewichte zur Anwendung. Schnalleffekte werden dadurch vermindert oder vermieden

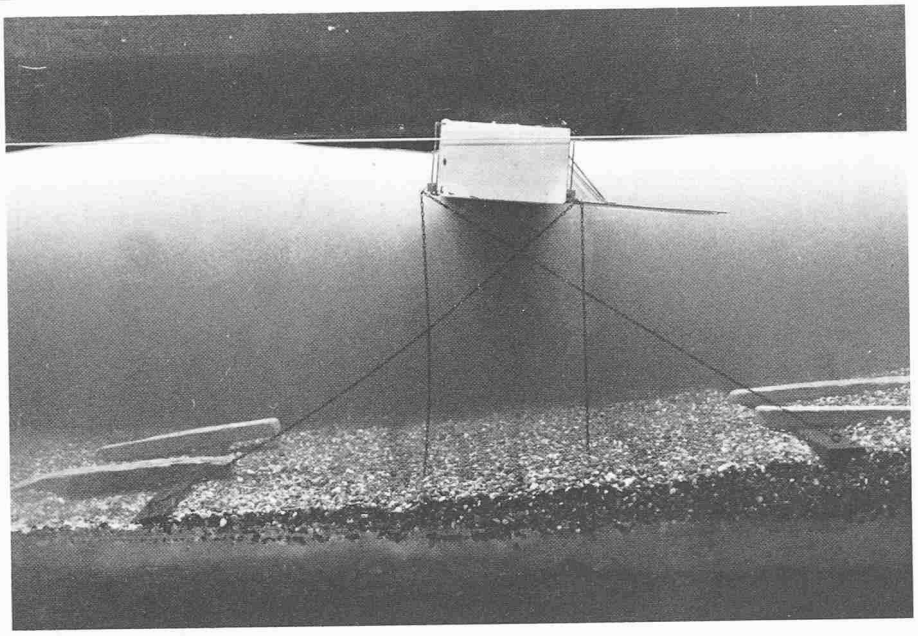


Bild 13. Einfluss der Kettenverankerung. Durch das Straffen der Kette wird die Mole auf der Hafenseite nach unten gedrückt

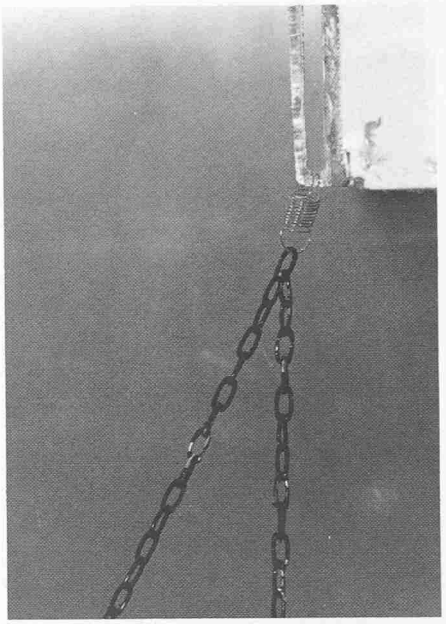


Bild 14. Hafenmole Wollishofen. Bestimmung der Verankerungsart und der Federkonstanten

ten. Die Kräfte auf den Molenkörper werden in diesem Fall jedoch zu gross, da diese Kräfte zu schnell aufgebaut werden. Eine Zwischenlösung kann angestrebt werden, indem Federn bei der Kettenverankerung mitverwendet werden Bild 12. Die Federkonstanten solcher Verankerungen müssen selbstverständlich in der richtigen Grössenordnung gewählt werden, sie dürfen nicht zu weich und nicht zu hart sein. Bild 14 zeigt das Detail einer solchen Federkraftbestimmung im hydraulischen Modell.

Bei Verankerung mit Streben, wie sie an Steilufern oder Ufern mit schlechtem Grund vorkommen, ist das Schwingungsverhalten der Mole ebenfalls vom Strebengewicht, von der Kettenlänge und von eventuell vorhandenen Federn abhängig. Die Auswirkungen der Veränderung dieser Grössen kann im Modell sehr gut erfasst werden im Gegensatz zum mathematischen Modell, das sehr grosse Schwierigkeiten bereiten kann.

Elementverbindungen und relative Bewegungen der Molenelemente

Grössere Molenelemente werden, falls sie nicht durch Vorspannung zusammenghalten sind, mit Gelenken verbunden. Während der Wellenbewegung können deshalb gegenseitige Verdrehungen und Verschiebungen der Molenteile auftreten. Diese Grössen sind von den Elementcharakteristiken und der Verankerungsart abhängig. Zudem spielt die Linienführung der Mole eine Rolle. Je nach Wellencharakteristik können sich nun bei gekoppelten Elementen neue Resonanzeffekte einstellen, die in Natur durch geeignete Wahl der Gesamtkonstruktion ausgeschaltet werden sollten. Auch in solchen Fällen kann das hydraulische Modell ein geeignetes Hilfsmittel sein, um solche Gefahrenquellen auszuschliessen. Ebenso ist es möglich, die Grössen der gegenseitigen Bewegungen, wie Verschiebungen und Verdrehungen, zu messen.

Wellenbildung im Hafeninnern

Die Linienführung der Mole sowie die Uferlinie und die topographischen Eigenschaften des Seegrundes bestimmen bei einer gegebenen Wellencharakteristik im wesentlichen die Reflektionsbilder der Wellen im Hafen und in unmittelbarer Nähe um den Hafen.

Die Anlaufrichtung und Höhe der Wellen wird sich natürlich je nach Windrichtung und Windstärke verändern. Demzufolge wird sich im Hafen in jeder Situation ein neues Wellenbild einstellen. Durch Reflektionen von Wellen im Hafeninnern können örtlich hohe Amplituden erreicht werden, wodurch vertäute Schiffe ins Stampfen, Rollen, Schlingern oder gar durch Federn bewirktes Hin- und Herschiessen geraten. Diese Bewegungen können an solchen Schiffen schwere Schäden anrichten. Oft werden solche Phänomene der Wellenreflektionen leider erst am fertigen Bauwerk festgestellt, und es wird schwierig und teuer, diese Effekte nachträglich zu verhindern. Dem Ingenieur sollte es deshalb möglich sein, solche Gefahren schon in den Anfangsphasen des Projektes zu erkennen, um diese zu vermeiden.

Folgerungen

Auf Grund der obigen Ausführungen können wir feststellen, dass Modellversuche für den Bau von Hafenmolen geeignet sein können, nicht aber unbedingt erforderlich sein müssen.

Unsere Erfahrung zeigt jedoch, dass eher zu wenig hydraulische Modellversuche durchgeführt werden, da diese oft teuer sind. Die Erfahrung an missratenen Anlagen hat uns jedoch zur Überzeugung gebracht, dass es gesamthaft meist gesehen billiger zu stehen kommt Versuche durchzuführen, als nachträglich das ausgeführte Bauwerk zu sanieren.

Adresse des Verfassers: *F. Schaad*, dipl. ing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidg. Techn. Hochschule Zürich, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich