

Selbsttätiger Kolkverbau durch miteinander verkoppelte Platten

Zahlreiche Probleme im Wasserbau sind mit dem Entstehen von Kolken verbunden. Bedingt durch lokal auftretende hohe Strömungsgeschwindigkeiten und erodierbaren Untergrund entstehen in den Sohlen und Böschungen von Gewässern Vertiefungen (Kolke) in denen durch hoch turbulente Verwirbelung ein Teil der Strömungsenergie in Wärme umgewandelt wird.

Kolke wie auch das aus dem Kolkessel heraus transportierte und an anderer Stelle abgelagerte Material stellen damit zunächst Untiefen dar, die in der Schifffahrt zu Behinderungen führen können. Besonders kritisch sind Kolke, die sich in unmittelbarer Nähe von Bauwerken entwickeln und dann durch rückschreitende Strömungserosion deren Standsicherheit gefährden können.

Eine solche Situation kann beispielsweise bei flach gegründeten, senkrechten, wellenbelasteten Molen auf sandigem Untergrund auftreten.

Wird zur einfachen Erläuterung der Bewegungsvorgänge der senkrechte Wellenanlauf auf eine vertikale Begrenzung nach der Theorie 1. Ordnung betrachtet (siehe Abb. 1), so entsteht durch Reflexion in einer Entfernung von $\Delta = \lambda/4$ (λ - Wellenlänge) in der Bewegung der Wasseroberfläche η ein bauwerksnaher Schwingungsknoten, in dessen senkrechtem Querschnitt zu keiner Zeit vertikale Bewegungen ausgeführt werden. Die horizontalen Bewegungscharakteristika, d.h. Geschwindigkeiten und Beschleunigungen, erreichen allerdings maximale Werte.

Die Bewegungsgrößen sind ableitbar aus dem Geschwindigkeitspotential ϕ der existierenden Wellenbewegung. Es ist

$$\Phi = 2 \cdot A \cdot \cosh \frac{2 \cdot \pi \cdot (z+h)}{\lambda} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda} \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T}$$

mit

$$A = \frac{\lambda \cdot H}{2 \cdot T \cdot \sinh \frac{2 \cdot \pi \cdot h}{\lambda}}$$

Dabei bezeichnen:

- ϕ das Geschwindigkeitspotential der aus anlaufender und reflektierter Welle zusammengesetzten Bewegung
- A Potentialkonstante
- z vertikale Koordinate, beginnend im Wasserspiegel
- h Wassertiefe
- λ Wellenlänge
- x horizontale Koordinate
- t Zeitkoordinate
- T Wellenperiode
- H Wellenhöhe

Daraus ableitbar ist die horizontale Geschwindigkeit an der Gewässersohle

$$v_{x; z=-h} = \left(\frac{\partial \Phi}{\partial x} \right)_{z=-h}$$

$$= \frac{4 \cdot \pi \cdot A}{\lambda} \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda} \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T}$$

$$= v_{Bm} \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda} \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T}$$

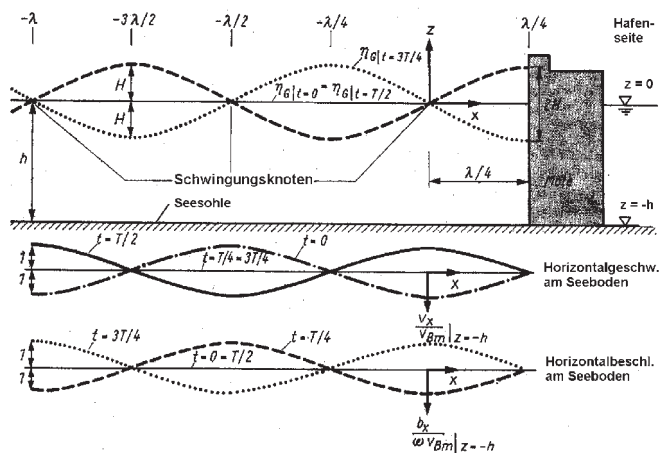


Abb. 1 Geschwindigkeits- und Beschleunigungsstruktur der Wellenbewegung bei senkrechtem Anlauf und Vollreflexion an einer senkrechten Bauwerksbegrenzung

mit der horizontalen Maximalgeschwindigkeit

$$v_{Bm} = \frac{2 \cdot \pi \cdot H}{T \cdot \sinh \frac{2 \cdot \pi \cdot h}{\lambda}}$$

sowie die horizontale Beschleunigung an der Gewässersohle

$$b_{x; z=-h} = \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \cdot \partial t} \right)_{z=-h}$$

$$= - \frac{8 \cdot \pi^2 \cdot A}{\lambda \cdot T} \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T}$$

$$= b_{xm} \cdot \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot x}{\lambda} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T}$$

mit der horizontalen Maximalbeschleunigung

$$b_{Bm} = - \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot H}{T^2 \cdot \sinh \frac{2 \cdot \pi \cdot h}{\lambda}}$$

Geschwindigkeit und Beschleunigung sind damit um T/4 phasenverschoben.

Sowohl bei den Geschwindigkeiten wie auch bei den Beschleunigungen können beachtliche Werte erreicht werden. Beispielsweise ergeben sich bei einer Wassertiefe von $h = 10$ m, einer Bemessungswellenhöhe von $H_B = 4,45$ m und einer Wellenperiode von $T = 7,24$ s Geschwindigkeiten von $v_{Bm} = 3,26$ m/s und Beschleunigungen von $b_{Bm} = 2,83$ m/s².

Unter einer solchen Belastung wird ein Seeboden aus Lockergestein erodiert. Es entsteht eine Kolkrinne, die bei senkrecht auf die Mole anlaufenden Wellen in einer Entfernung von $\lambda/4$ vor der Mole, also unter dem Schwingungsknoten beginnt und sich beidseitig ausbreitet. Durch die Kolkung selbst verändert sich die Bewegungsstruktur der Welle derart, dass die Erosionen näher an das Bauwerk herangetragen werden. Besonders in Verbindung mit molenparallelen Strömungen kann dann die Kolkung die Molengründung erreichen und die Standsicherheit gefährden.

Bei schräg anlaufenden Wellen sind die Konzentrationspunkte von Maximalwerten der Geschwindigkeit und Beschleunigung lokal begrenzt aber dichter am Bauwerk und damit noch gefährlicher.

Wegen des beschriebenen Mechanismus ist es bei auf Lockergestein

gegründeten, senkrechten Molen mit Wassertiefen $2,5 \leq h/H_s \leq 5$ (H_s -signifikante Wellenhöhe) notwendig, den Seeboden vor dem Bauwerk zu befestigen.

Möglichkeiten zur Sohlenbefestigung bestehen prinzipiell mit flexiblen Konstruktionen, die sich der Bauwerksseite des Kolkprofils anpassen und den Kolk in einem dem Bauwerk ungefährdeten Zustand absichern.

Solche flexiblen Bauweisen sind mit gewissen Einschränkungen Steinschüttungen sowie materialgefüllte Mattenkonstruktionen aus Gewebe und Maschendraht.

Steinschüttungen zur Sohlensicherung sind meist einfach ausführbare, aber stets materialaufwendige und teure Konstruktionen, die auch relativ große Bauhöhen erfordern.

Da keilförmige Fußvorschüttungen ein Brechen der Wellen und damit sehr starke Stoßbelastungen auf die senkrechte Wand erzeugen können, ist meist nur eine Flächenbelegung möglich.

Ein solcher Steinteppich sollte über eine Entfernung von $\lambda/4$ hinausgehen und mindestens in zwei Lagen ausgeführt werden. In unmittelbarer Bauwerksnähe ist ein Schotterunterbau angeraten.

Die dafür erforderlichen Steingrößen D_s (Steindurchmesser) sind ermittelbar über:

$$D_s \geq \frac{0,23 \cdot (1 + \mu)}{\frac{\rho_A \cdot \mu}{\rho} - \frac{0,75}{g} \cdot (1 + \mu) \cdot b_{Bm} \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T}} \cdot \frac{v_{Bm}^2}{g} \cdot \left[\cos \frac{2 \cdot \pi \cdot t}{T} \right]^2$$

Dabei bezeichnen weiterhin:

μ Reibungsbeiwert, für Bruchsteinmaterial $\mu = 0,84$

ρ_A Auftriebsdichte des Steinmaterials, für quarzhaltiges Material $\rho_A/\rho = 1,65$

g Erdbeschleunigung.

Für das gewählte Beispiel mit $h = 10$ m, $H = 4,45$ m, $T = 7,24$ s folgt durch Iterationsrechnung daraus

$$D_s \geq 0,35 \text{ m}$$

Bei entstehenden Randkolken fallen zunächst die äußeren, luvseitigen Steinelemente der Sohlensicherung in das sich ausbildende Kolkthal.

Reicht dann die Stabilität der im Kolk liegenden Einzelelemente aus, um nicht längs versetzt zu werden, so bauen sich allmählich, einhergehend mit dem weiteren Abbruch bzw. mit der Umarbeitung der Sohlensicherung Abpflasterungserscheinungen auf. Diese Abpflasterungen vermindern die weitere Kolkentwicklung in Richtung des zu schützenden Bauwerks. Bei ausreichend vorhandenem Steinmaterial (Unterhaltungsschüttungen) kann schließlich damit auch ein stabiler, gesicherter Zustand der bauwerksnahen Seesohle ga-

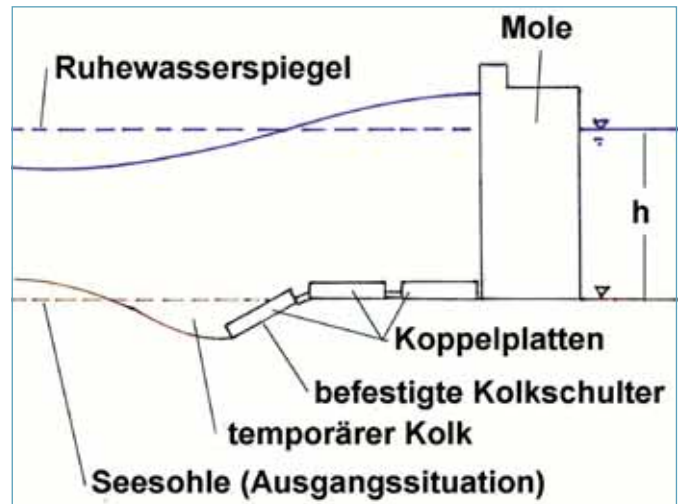


Abb. 2 Randkolkverbau durch Koppelplatten

rantiert werden.

Wesentlich günstiger als diese Bauweise sind Befestigungsarten, die gelenkig miteinander verbunden sind. Sie sollen die bauwerksnahe Kolkschulter selbsttätig verbauen, indem sie sich auf die see-seitige Kolkböschung legen. Dazu sind Matten und gekoppelte Plattenkonstruktionen mit tief liegenden Drehpunkten verwendbar.

Das Reaktionsprinzip einer solchen Befestigung ist in Abb. 2 dargestellt.

Die zunächst auf horizontalen Seeböden ausgelegten, gelenkig verbundenen Sicherungen werden am seeseitigen Ende unterhöhlt, senken sich als Gleichgewichtsreaktion in den Kolk und verbauen damit die bauwerksnahe Kolkböschung.

Die diesem Prinzip entsprechende, einzusetzende Konstruktion sollte eine sichere und zuverlässige Sicherung der abgedeckten Sohlenfläche garantieren und zusätzlich folgende Eigenschaften in sich vereinen:

- geringer Materialeinsatz und geringe Bauhöhe der Befestigung
- industrielle Vorfertigung relativ einfacher Elemente
- Montagebauweise und damit zügiger Bauablauf
- Anpassungsfähigkeit der Befestigung an vorhandene Bodenunebenheiten
- Anpassungsfähigkeit an Randkolke
- Lastverteilung bei lokal begrenzten Kräfteinwirkungen bei Mitwirkung von Nachelementen durch flächenhafte Verbindungen
- einfache Möglichkeiten der nachträglichen Erweiterung der Befestigungsfläche
- einfache nachträgliche Verbesserung der Standfestigkeit

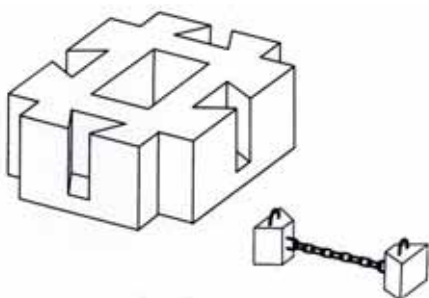


Abb. 3 Koppelplatte A mit Koppellement (rechts)

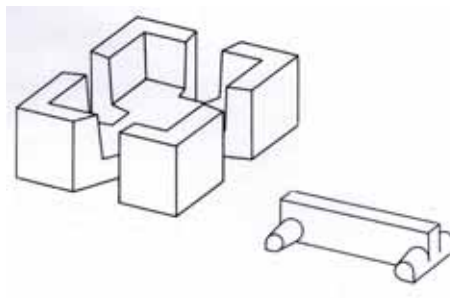


Abb. 4 Koppelplatte B mit Koppellement (rechts)

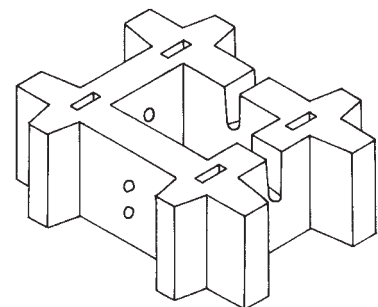


Abb. 5 Koppelplatte C (nicht abgebildet: Ketten-Riegelement, das einerseits in den unteren, kreisrunden Durchbrüchen befestigt ist und von Tauchern in den Schlitz der gegenüberliegenden Platte eingelegt wird)

- hohe Rauigkeit zum schnellen Geschwindigkeitsabbau
- lange Standzeiten (Dauerfestigkeiten) auch im aggressiven Seewasser, bei Sandschliff und anderen zusätzlichen mechanischen Belastungen.

Für diese Aufgaben wurden die Koppelplatte [1], die Hakenplatte [2], die Gitterdoppelplatte [3] und die Gelenkplatte [4] entworfen. Besonders vorteilhaft erscheint die Anwendung der Koppelplatte, die alle vorstehend geforderten Eigenschaften erfüllen kann. Ihre Grundelemente sind in den Abb. 3, 4 und 5 dargestellt. Sie werden auf der Seesohle verlegt und anschließend von Tauchern durch Einlegen der Koppellemente verbunden.

Eine Modifikation der Koppelplatte A, als Gitterplatte, ist in den Abb. 6 und 7 bei Verlegearbeiten vor der Nordmole des Fährhafens Mukran abgebildet. Deutlich erkennt man die Verbindungslöcher und Verbindungsschlitzte, in welche die Kettenelemente (siehe Abb. 6) vorher gesteckt und dann unter Wasser von Tauchern in das Nachbarelement eingelegt wurden.

Die in Mukran eingesetzten Koppelplatten wurden bauwerksnah zusätzlich mit Steinen verfüllt.

Nach über 20-jähriger Standzeit hat sich diese Konstruktion bestens bewährt und ist zu einem Refugium der Unterwasserflora und -fauna geworden.

Einsetzbar sind Koppelplattenbauweisen nicht nur bei Welleneinwirkungen, sondern bei allen hohen Beanspruchungen durch Strömungsgeschwindigkeiten, insbesondere auch bei Propellerstrahlbelastungen.

Prof. Dr.- habil. Harold Wagner
Fluß- und Seebau Consult Potsdam
Am Havelblick 5 a, 14473 Potsdam

Schrifttum:

- [1] Wagner, Harold, Koppelplatte, WPE 02B/273 1268, PS 248477 A 3
- [2] Wagner, Harold, Hakenplatte, WPE 02B/265 0162, PS 225743 A 1
- [3] Wagner, Harold, Gitterdoppelplatte, WPE 02B/314 1632, PS 271138 A 1
- [4] Wagner, Harold; Gelenkplatte, WPE 02B/300 6304, PS 258433 A 1



Abb. 6 Aufnahme der Koppelplatte zur Verlegung



Abb. 7 Verlegung der Koppelplatte im Luvbereich der Nordmole des Fährhafens Mukran