

Hollow Cubes

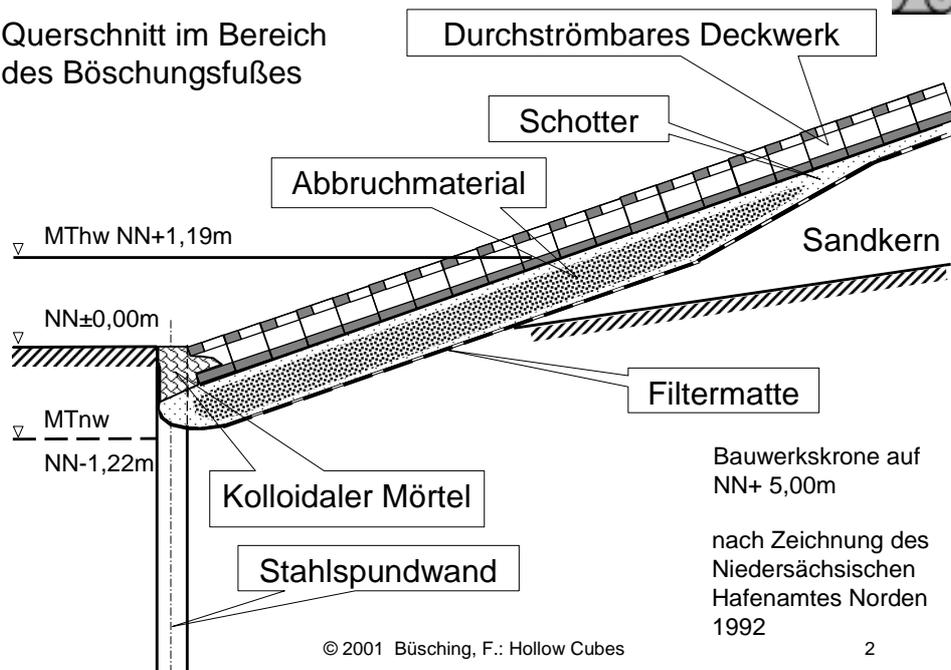
Baltrum 1992: Durchströmbare Böschungsabdeckung
Böschungsneigung 1:n = 1:3; Flächengewicht: 5 kN/m².

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

1

Hohldeckwerk Baltrum:

Querschnitt im Bereich
 des Böschungsfußes



© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

2



Hollow Cubes

- Hohlwürfel -

Hohlformkörper als Bauelemente wellenbelasteter Böschungsbauwerke

Prof. Dr.-Ing. Fritz Büsching
Bielefeld University of Applied Sciences
Fluid Dynamics Laboratory Minden

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

3

Übersicht



- Einführung: Unterschiedliche Wellenbelastungen an **vertikalen Wänden** und **Böschungen**
- Zur **Kinematik der Wellenbewegung** an einer Böschung und zum **Wirkungsprinzip von Hohlformkörpern** an wellenbelasteten Böschungsbauwerken.
- Ergebnisse hydraulischer **Modelluntersuchungen für aktuelle Ausführungsformen**
- **Naturgroßes Testbauwerk** auf Baltrum

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

4

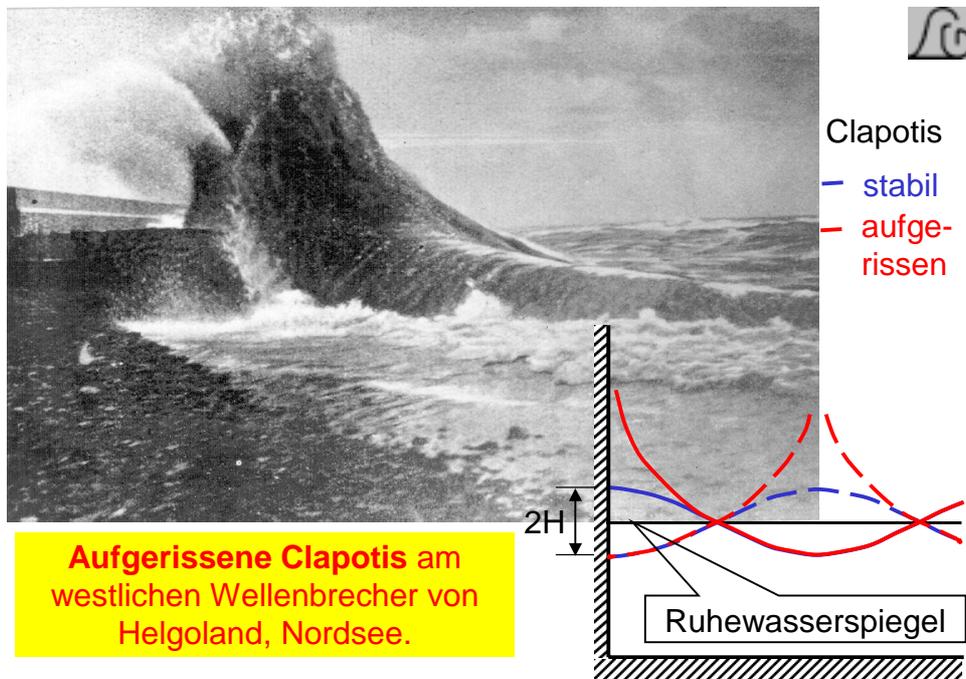


Einführung/Einordnung in die Thematik
wellenerzeugter Bauwerksbelastungen:

Unterschiedliche Wellenbelastungen an
vertikalen Wänden und **Böschungen**

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

5



© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

6

Die Wechselwirkung Welle – Bauwerk wird durch das Phänomen der *Reflexion* dominiert.

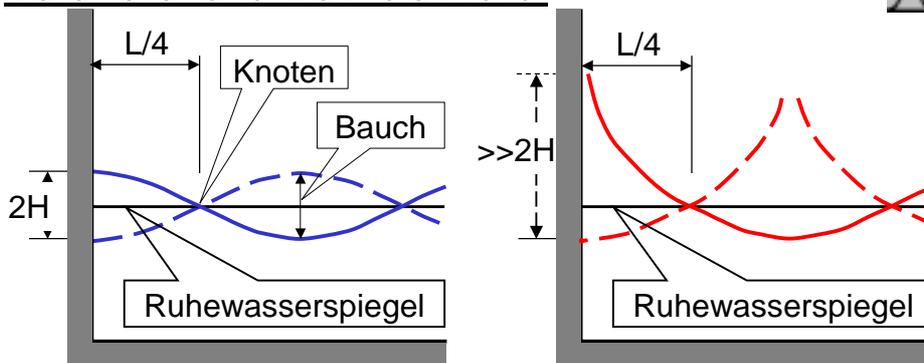


Im Küsteningenieurwesen ist dieser Effekt besonders eindrucksvoll bei Bauwerken mit **vertikaler Wand**, wo *theoretisch* die ankommenden Wellen der Höhe **H** am Bauwerk in ihrer **Höhe verdoppelt** werden. Das Ergebnis ist die wohlbekannte *stabile Clapotis* mit Schwingungsbäuchen ($2H$) und ortsfesten Knoten.

Bei Sturmereignissen sind solche **stehenden** Wellen jedoch *nicht mehr stabil*. Sie *brechen* infolge ihrer übergroßen Steilheit $S = H/L$, d.h., wenn die Wellenhöhe **H** im Verhältnis zur Wellenlänge **L** zu groß wird. Dann werden häufig schwere Schäden verursacht, insbesondere wenn an der vertikalen Wand sog. **Druckschläge** auftreten und/oder wenn anschließend große **Wassermassen** auf das Bauwerk **herniederstürzen**.

Offenbar besteht aber ein Vorteil von vertikalen Wandstrukturen in der Tatsache, dass diese **weniger Platz** erfordern als Böschungsbauwerke. © 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes 7

Wellenreflexion an vertikaler Wand:

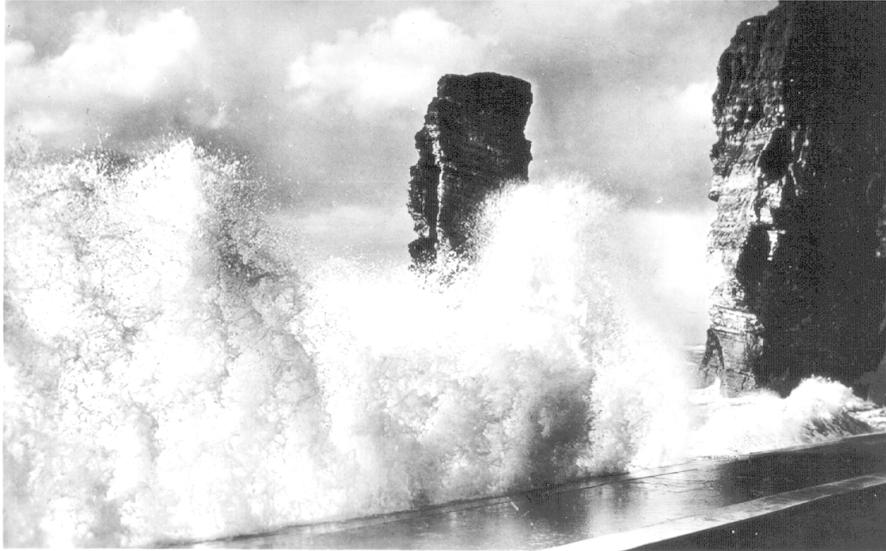


Unterkritische Wellensteilheit :

Stabile Clapotis = perfekt stehende Welle mit *ortsfesten* Knoten (nodes) und Schwingungsbäuchen (loops) mit der Doppelamplitude $2H$.

Überkritische Wellensteilheit:

Gebrochene Clapotis = aufgerissene Clapotis mit austretendem Wasser an den Schwingungsbäuchen; *Doppelamplitude* $>> 2H$.



Aufgerissene Clapotis an vertikaler Wand, Helgoland.
Ansicht von der Landseite.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

9



Raue Bruchstein-Böschungstruktur (Rubble Mound Structure)

Tarragona 1999, Mittelmeer © 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

10

An **Böschungen** (geneigten Wänden) kommt es zur **partiellen Reflexion** mit Wellenhöhen $< 2H$
- aber *unterschiedlichsten* Brechformen.



Neben den Einflussgrößen **Wellensteilheit** $S = H/L$ und **Böschungswinkel** sind für die Reflexion offenbar *noch* die an der Bauwerksoberfläche auftretenden **Energieumwandlungsprozesse** von *besonderer* Bedeutung:

Da die Wellenenergie dem Quadrat der Wellenhöhe proportional ist, wird die Höhe der *reflektierten* Welle H_r im Vergleich zur Höhe der *ankommenden* Welle H_a umso geringer, je mehr Energie an der Bauwerksoberfläche durch **Rauheit** und **Turbulenz** beim *Wellenbrechen* in Wärme umgewandelt wird und die Folge ist ein umso geringerer Reflexionskoeffizient C_r .

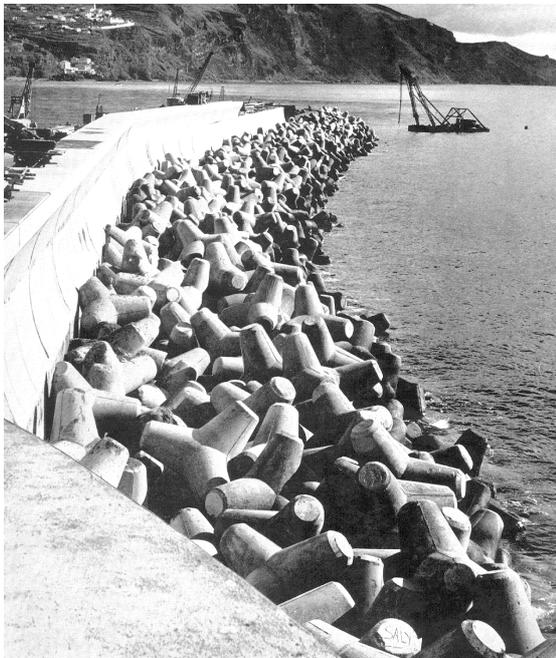
$$E \sim H^2$$

$$C_r = \frac{H_r}{H_a}$$

Dies ist der Grund, warum **raue Bruchstein- oder Formkörperdeckschichten** an Böschungsbauwerken (*rubble-mound sloping structures*) weltweit *bevorzugt* verwendet werden.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

11

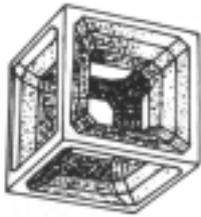


Raue Formkörperstruktur
vor einer vertikalen Wand:

Hauptmole Funchal,
Madeira:
Tetrapoden mit
Einzelmassen von 16t.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

12



Cob
England 1969



Hollow
Tetrahedron
Japan 1959



Hollow
Square
Japan 1960

Wo der **Antransport** großer Bruchsteine unwirtschaftlich ist, werden seit den 1950er Jahren **Formkörper aus Beton** verwendet, z. B.

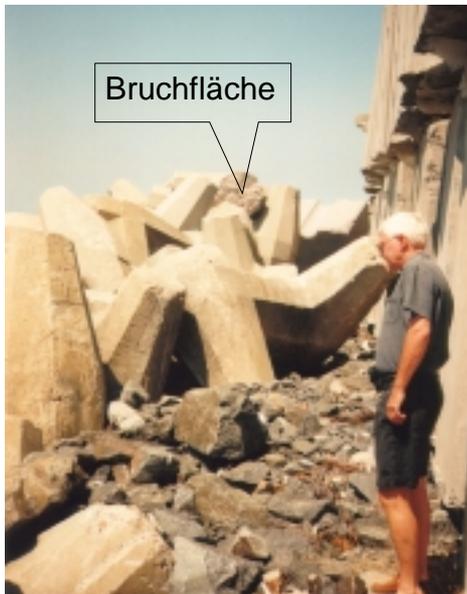
Tetrapoden, Dolosse, Accropoden, Antifer Blöcke etc....

Auch die links dargestellten **Hohlformkörper** stellen **Rauheitselemente** (erhöhte Turbulenz) dar – jedoch mit den Vorteilen:

- **besserer Verzahnung** und
- **höherer Porosität** zur Reduzierung des Gesamtgewichts und zur besseren Wellenabsorption.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

13



Zerstörte **Dolosse**
Sines, Portugal

Nachteile aller rauen Bruchstein- und Formkörper-Deckschichten an Böschungsbauwerken (rubble-mound structures):

- **begrenzte Stabilität** der *einzelnen* Armierungsblöcke, wenn diese **durch Wellen in Bewegung** geraten
- **mehrere Verzahnungsschichten** von Armierungsblöcken erforderlich

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

14

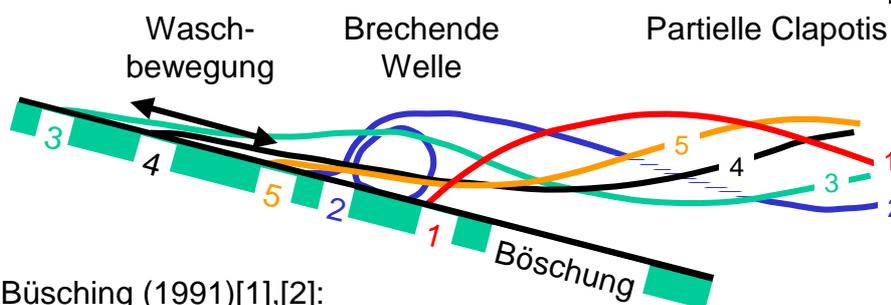


Zur Kinematik der Wellenbewegung an einer Böschung und zum Wirkungsprinzip von
Hohlformkörpern mit *böschungspareller* Durchströmung
an wellenbelasteten Böschungsbauwerken.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

15

Kinematik der Wellenbewegung an einer Böschung



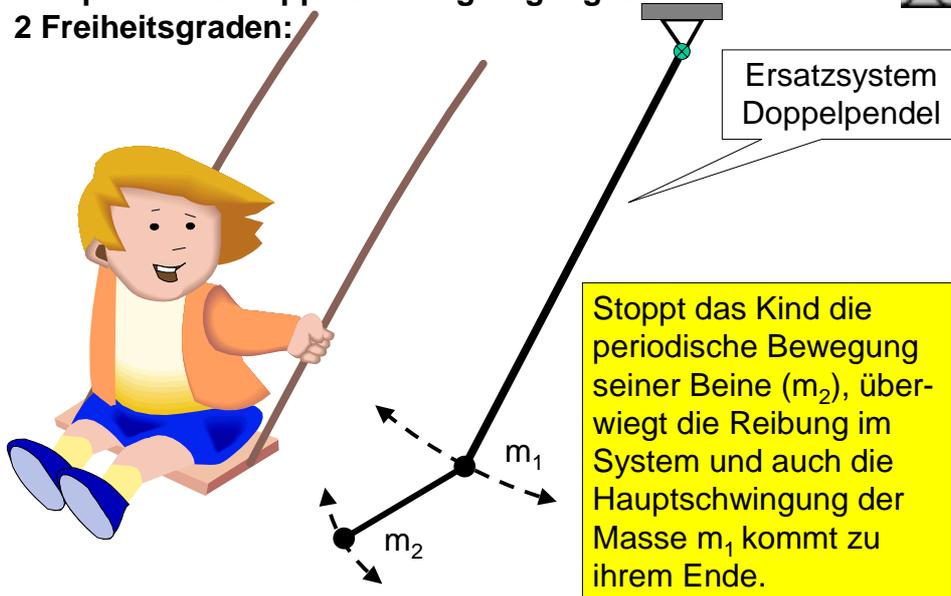
Büsching (1991)[1],[2]:

Für die Übertragung von Wellenkräften auf Böschungsbauwerke ist der **Wechselwirkungsprozess zwischen der oberflächennahen Wasserteilchenkinematik partiell stehender Wellen und derjenigen der Waschbewegung** (Wellenauflauf – Wellenablauf) von besonderer Bedeutung. Insgesamt kann ein solches System als **Koppelschwingsystem mit mehreren Freiheitsgraden** angesehen werden.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

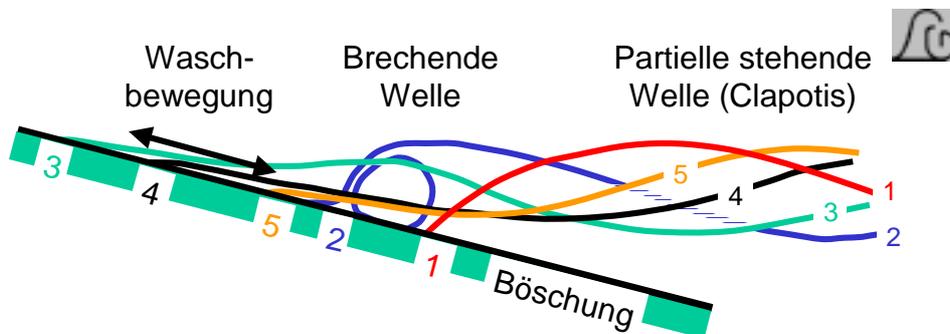
16

Beispiel eines Koppelschwingvorganges mit 2 Freiheitsgraden:



© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

17



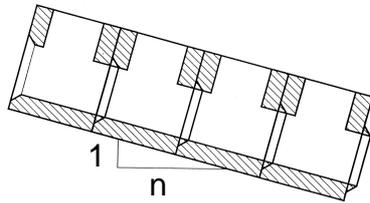
Allgemein hat bei einer Koppelschwingung die Beeinflussung *eines Freiheitsgrades* Rückwirkungen auf die übrigen Freiheitsgrade der Bewegung.

Wird an einer Böschung die **periodische Waschbewegung** (= ein Freiheitsgrad) gedämpft, hat dies auch eine Dämpfung der Teilchenbewegung der partiell stehenden Wellen (Hauptschwingung) zur Folge und die Brecherhöhen nehmen ab.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

18

Vertikalschnitt durch Hohlformkörper auf einer Böschung

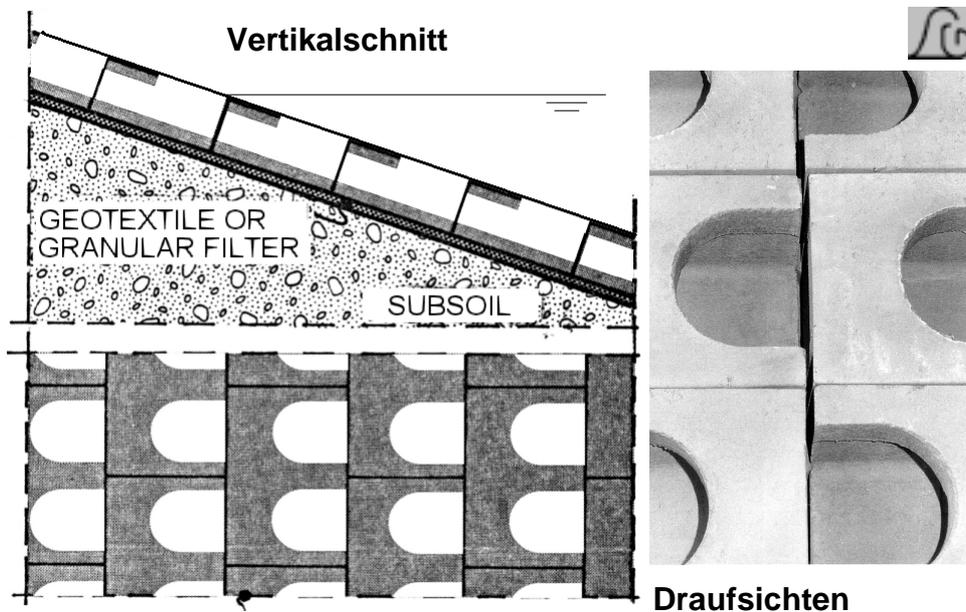


Prinzipielle Anordnung eines einlagigen durchströmbaren Böschungsdeckwerkes der Neigung $\tan\alpha = 1 : n$.
Eine Ausführungsform nach Europapatent Nr. 91103801.6-2303.

Das Strömungsfeld der Waschbewegung und seine Kopplung mit dem Orbitalgeschwindigkeitsfeld der partiell stehenden Welle (Clapotis) kann an einer Böschung insbesondere dadurch verändert werden, dass zumindest ein Teil des Rücklaufwassers **unterhalb** der Böschungsoberkante zurückgeleitet wird. Insbesondere erlaubt das dann an der Leeseite der brechenden Welle **fehlende** Wasser (des Rücklaufes der vorangegangenen Welle) nur die Ausbildung einer entsprechend **geringeren Brecherhöhe** und eines **veränderten Brechertyps**.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

19



Prinzipielle Ausführungsformen für Hohlkörperdeckwerke

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

20



Modelluntersuchungen für
aktuelle Ausführungsformen bezüglich
einer relativ steilen Böschung 1:m = 1:2

Vorerst werden hier nur Ergebnisse bezüglich der
hydraulischen Effektivität mitgeteilt.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

21



Modelluntersuchungen zu *Hohlformkörpern* für wellenbelastete
Böschungstrukturen im Labor für Hydromechanik und Wasserbau
der FH Bielefeld University of Applied Sciences seit 1990.

Derartige Tests betreffen sogenannte “**Hollow Cubes**”, als

- **ebene einlagige Böschungsabdeckung** oder
- **getrept gestufte Anordnungen in Stapelbauweise mit 2 Lagen.**

Als **Vergleichsböschung** wird für beide Ausführungsformen eine
konventionelle quasi **glatte Böschung** synchron mit **demselben
Steuerspektrum** *irregulärer Wellen* beaufschlagt.

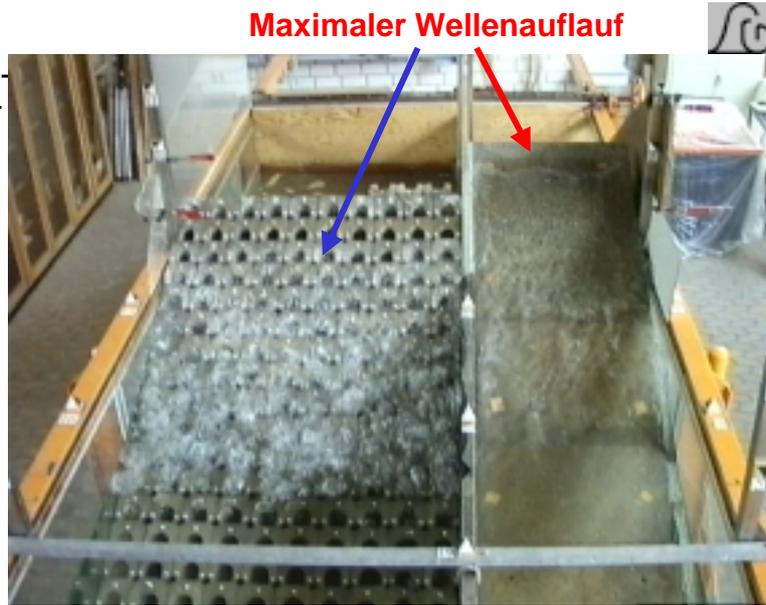
© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

22

Vergleichs-
untersuchun-
gen an einer
Böschung
1:n = 1:2

Links:
Einlagige
Hohlkörper-
Böschungs-
abdeckung

Rechts:
Quasi glatte
Böschungs-
oberfläche



Hollow Cubes (Tube Cubes)
Hohlwürfel aus Beton

Betonplatten
(quasi glatt)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

23

Maßgebliches Beurteilungskriterium:

Irreguläre Wasserspiegelauslenkungen seewärts der Böschung.

Zur *vergleichenden Beurteilung* der unterschiedlichen Reflexionswirkungen im Wellenfeld seewärts des Böschungsbauwerkes wurden *an bis zu 90 Pegelpositionen* die **Wasserspiegelauslenkungen als zeitabhängige analoge Signale quasi synchron** vor der glatten und vor der durchströmbaren Böschung gemessen.

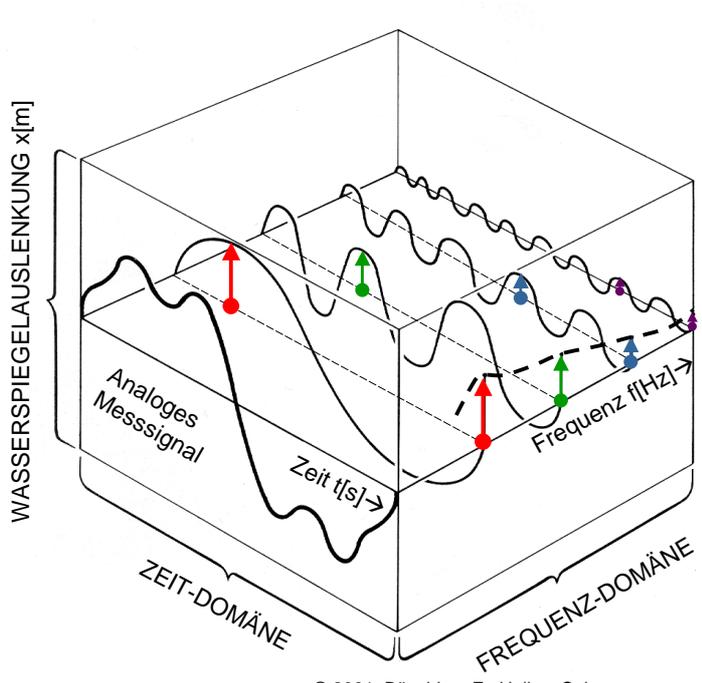
Analyse-Methode:

Fouriertransformation analoger Messsignale, Berechnung des **Energiespektrums** und dessen Integration liefert für jede Pegelposition die **Gesamtenergie** und deren **Verteilung über der Frequenz**.

Die Auftragung der **Energiegehalte** definierter Frequenzbereiche als Funktion des Böschungsabstandes bildet auch die Basis für die Berechnung frequenzabhängiger **Reflexionskoeffizienten C_r**

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

24

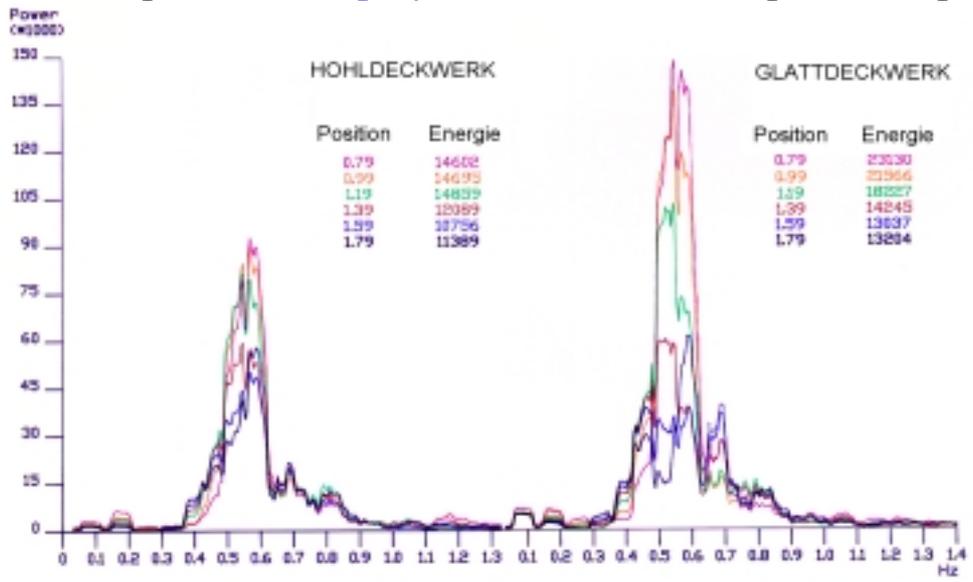


FOURIER
Transformation:
Ermittlung des
„Frequenz-
gehaltes“ eines
mit der Zeit
veränderlichen
Messsignals
 $x(t)$.

Darstellung als
Linienspektrum
bzw.
kontinuierliches
Spektrum $S_x(f)$.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

Änderung der aus *ankommenden und reflektierten* Wellen zu-
sammengesetzten *Energiespektren* mit der Böschungsentfernung:



nach (19), (20)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes



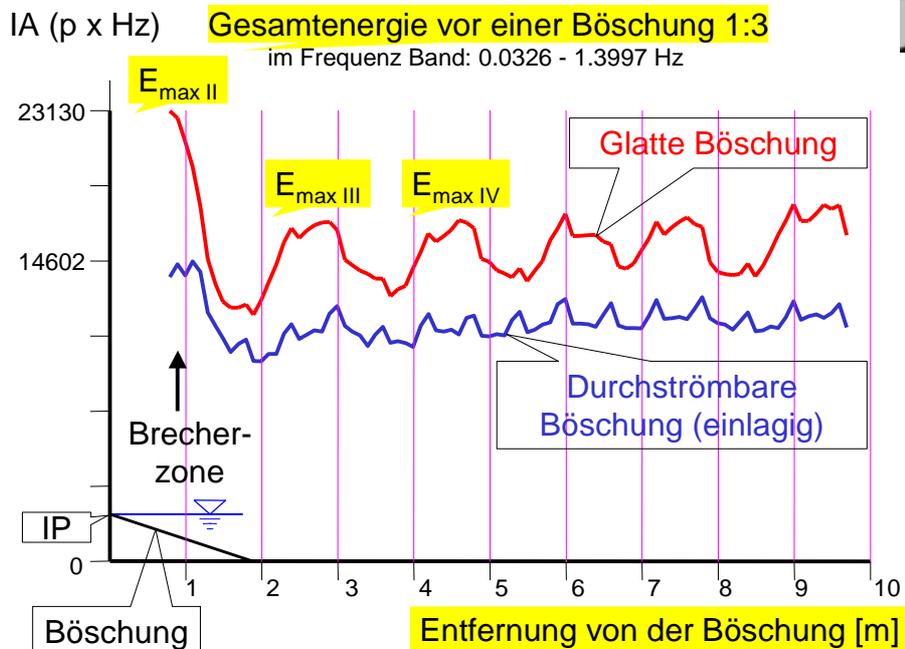
Die gemessenen bzw. berechneten **Wellenspektren (composite spectra)**, repräsentieren an jeder Pegelposition die überlagerten vertikalen Wasserspiegelauslenkungen (Quadratwerte) der *von See kommenden und der reflektierten Wellen* und die vom jeweiligen Spektrum eingeschlossene Fläche (**integrated spectrum area IA**) ist der resultierenden **Wellenenergie** proportional.

Für definierte Frequenzbereiche wird die in der Vertikalbewegung der Wasserteilchen enthaltene Wellenenergie in Abhängigkeit von der Böschungsentfernung in typischen Diagrammen dargestellt, aus deren Charakteristik auf das *Reflexionsverhalten* geschlossen werden kann.

(IP = Schnittpunkt des Wasserspiegels mit der Böschungsneigung).

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

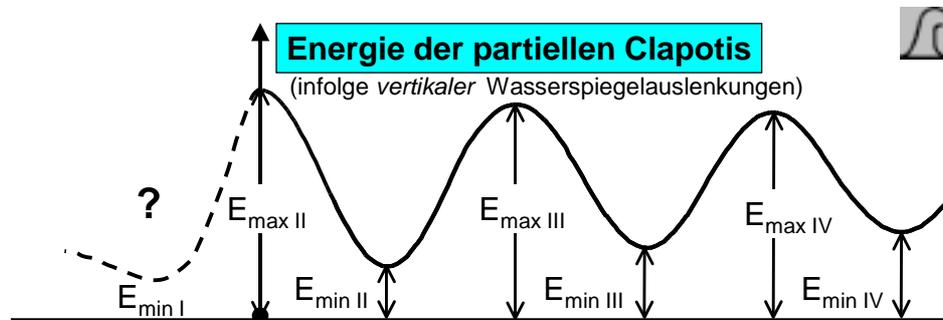
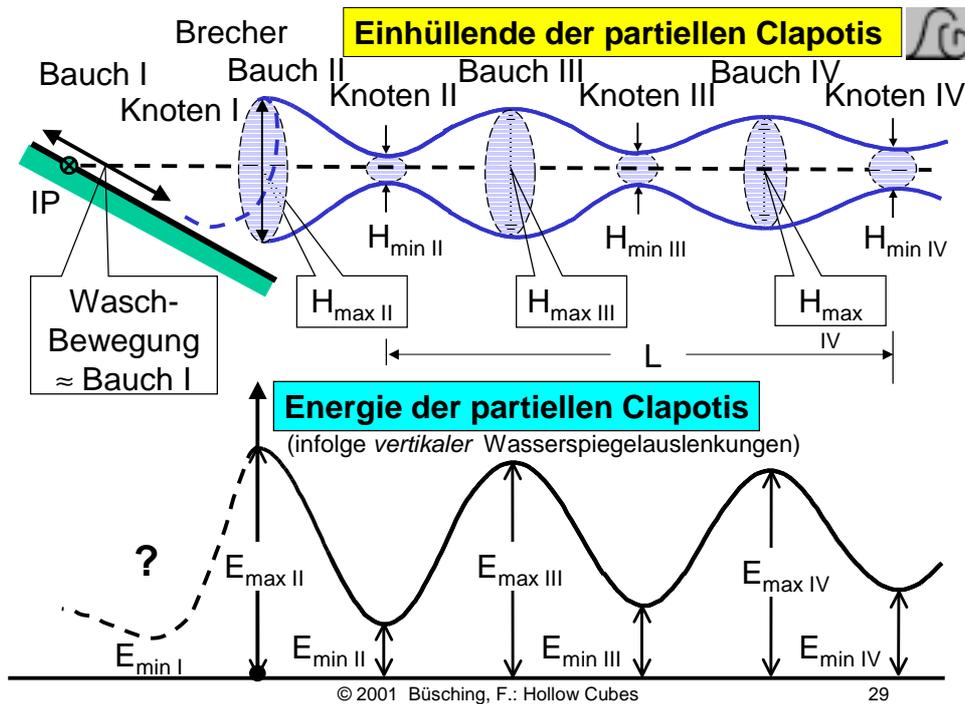
27



nach [3], (19), (20)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

28



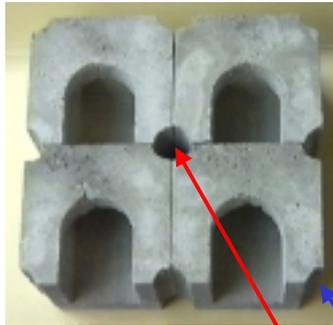
Da die *Wellenenergie* dem Quadrat der *Wellenhöhe* proportional ist ($E \sim H^2$), können für die **Berechnung von Reflexionskoeffizienten** an Stelle der *benachbarten maximalen und minimalen Wellenhöhen* auch die *Quadratwurzeln aus den benachbarten Energiemaxima und Energieminima* verwendet werden:

$$C_{R,i} = \frac{H_r}{H_a} = \frac{H_{\max,i} - H_{\min,i}}{H_{\max,i} + H_{\min,i}} = \frac{\sqrt{E_{\max,i}} - \sqrt{E_{\min,i}}}{\sqrt{E_{\max,i}} + \sqrt{E_{\min,i}}}$$

[9]

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

30



**Hollow Cubes
- Hohlwürfel -
als Bauelement
einer einlagigen
Deckschicht
(Tube Cubes)**

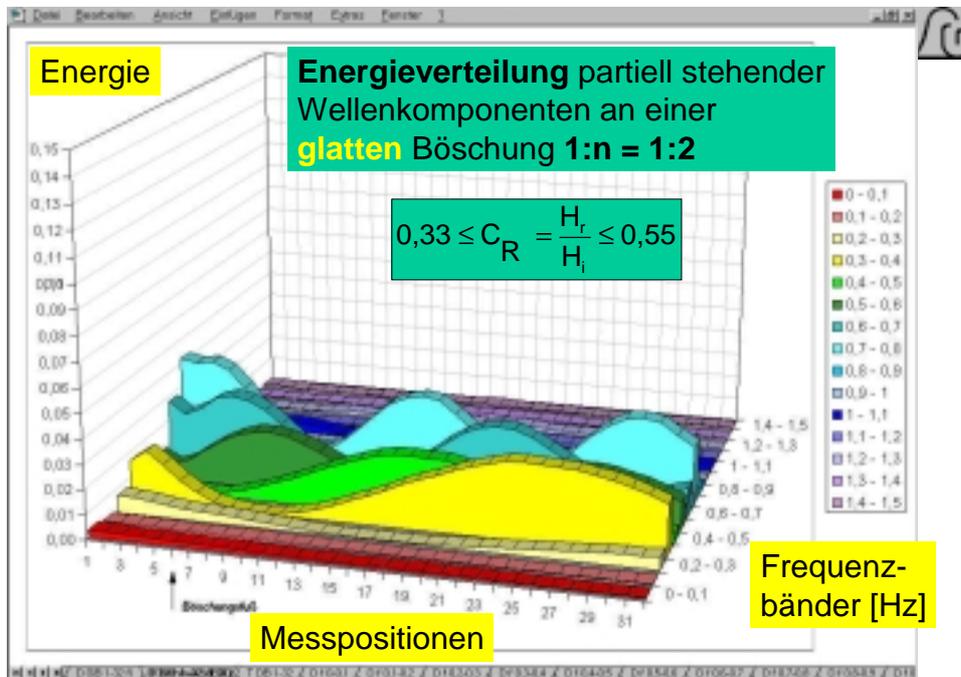
Ausnehmungen an den vertikalen Kanten

- dienen als Fixierhilfen für Hydraulikgreifer zur gleichzeitigen Aufnahme von 4 oder 9 Elementen
- bilden Entlastungsöffnungen für Druckwasser

Animation (46)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

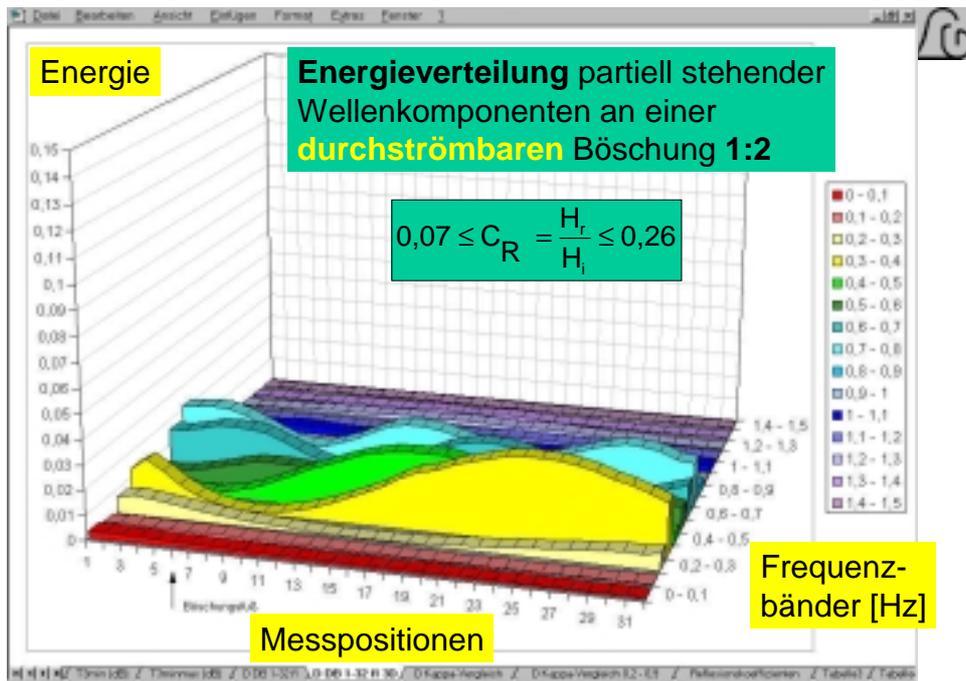
31



nach (40), (41)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

32

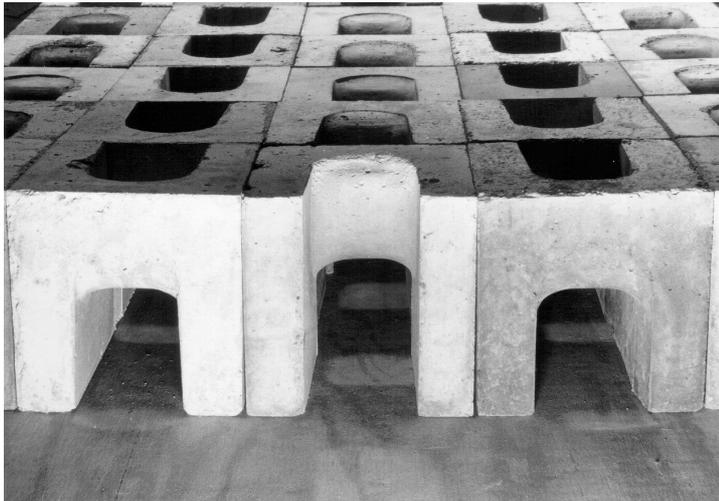


Einzelner Hohlformkörper (Tunnel Cube) als Bauelement einer einlagigen Deckschicht

Vergl. (17),(18),(46)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

34



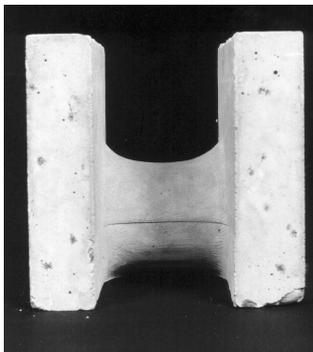
Hollow Cubes
(Tunnel Cubes)
mit einem
Steg an einer
Oberkante

Unten offene Betonformkörper (Tunnel Cubes) können vorteilhaft als Elemente einer **einlagigen Schutzschicht** nur auf **einer stabilen Unterkonstruktion** verwendet werden.

Bei Wellenbrechern können Einzelmassen *mehrere Tonnen* betragen.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

35



Hollow Cube
mit einem
Steg an einer
Unterkante.

Hollow Cubes (Tunnel Cubes)
gestapelt zu einem
gestuften durchströmbaren Ufer-
schutzbauwerk (2-lagige Stapel-
bauweise).

Neigung: 1:2

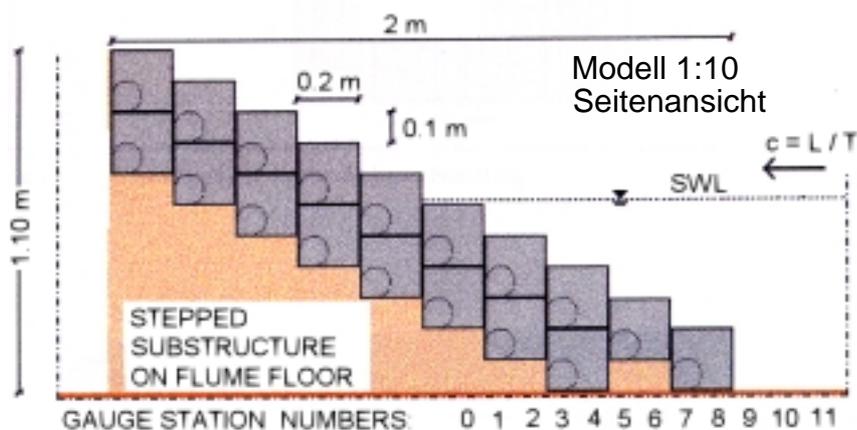
Modellmaßstab: 1:5



Ansicht von der Seeseite

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

36



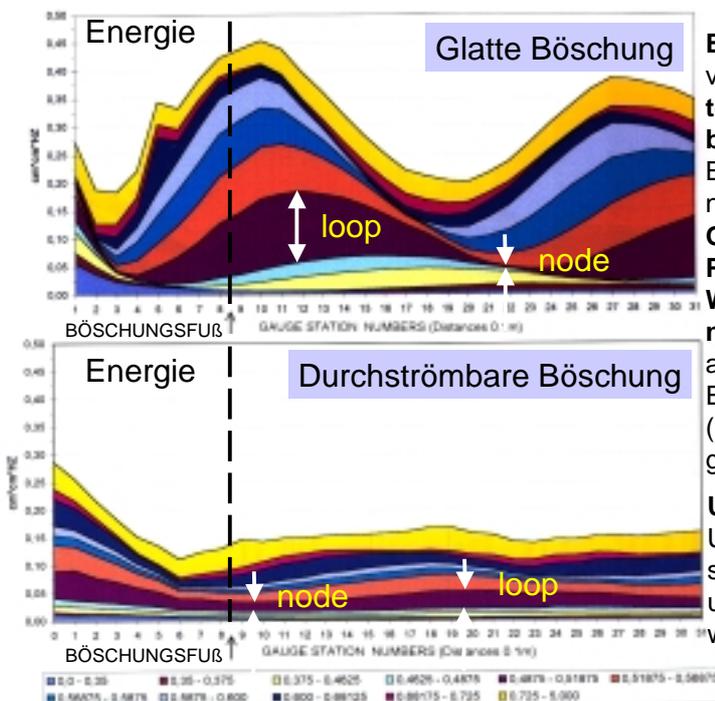
Im Gegensatz zur *zufälligen* Anordnung vieler bekannter Betonformkörper an Böschungsbauwerken hat die dargestellte **regelmäßige Stapelung** die folgenden Vorteile:

- die **Bewegungsmöglichkeit** einzelner Blöcke ist **eingeschränkt**
- die Angriffsfächen für **dynamische Liftkräfte** oder **Druckschlagkräfte** sind **äußerst gering**.

nach (34),(35)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

37



Energiegehalt von 11 benachbarten Frequenzbändern über der Böschungsentfernung abgetragen. **Oben:** Partiiell stehende Wellenkomponenten erkennbar an ausgeprägten Energiemaxima (loops) bzw. Energieminima (nodes). **Unten:** Unterschiede zwischen E-Maxima und E-Minima wesentlich geringer.

nach (34),(35), [9]

38



In Übereinstimmung mit der vorigen Darstellung sind nur **geringe Wellenwirkungen** am durchströmbar Bauwerk zu beobachten:

Die Wellen sind geradezu gezähmt.

Beispielsweise beträgt in der Nähe des Bauwerkfußes die Energie vor dem Hohlbauwerk nur noch etwa **1/4** derjenigen vor einem glatten Bauwerk.

Ein solcher Sachverhalt wird gewöhnlich durch Angabe der betreffenden Reflexionskoeffizienten deutlich gemacht. Hier je nach Frequenz:

Glattdeckwerk

$$0,5 \leq C_R = \frac{H_r}{H_i} \leq 0,85$$

Hohldeckwerk

$$0,1 \leq C_R = \frac{H_r}{H_i} \leq 0,3$$

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

39

Naturgroßes Testbauwerk auf Baltrum

Unter der Verantwortung des **Niedersächsischen Hafenamtes Norden** wurde 1992 an der Hafeneinfahrt der Insel Baltrum das auf Folie 1 dargestellte **Hohldeckwerk** als Testbauwerk errichtet. Hierfür waren Ergebnisse aus Modelluntersuchungen im Maßstab 1:n = 1:5 aus dem *Wellenkanal der FH Bielefeld* wie folgt bekannt:

Im Vergleich zu einer quasi glatten Betondeckschicht ist eine einlagige 1:3 geneigte HOHLKÖRPER-Struktur gekennzeichnet durch nachfolgende Vorteile:

- **Reflexionsbrecher- statt Sturzbrecherbrandung**
- **Verstärkter Lufteintrag**
- **Wahrscheinlichkeit von Druckschlägen geht gegen Null**
- **Brecher Energie um rd. 40% reduziert**
- **Energie der Waschbewegung um rd. 50% reduziert.**

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

40



Ostfriesische Nordseeinsel
Baltrum von Westen

Wellenbrecher mit
Hohlformkörper-
Testbauwerk

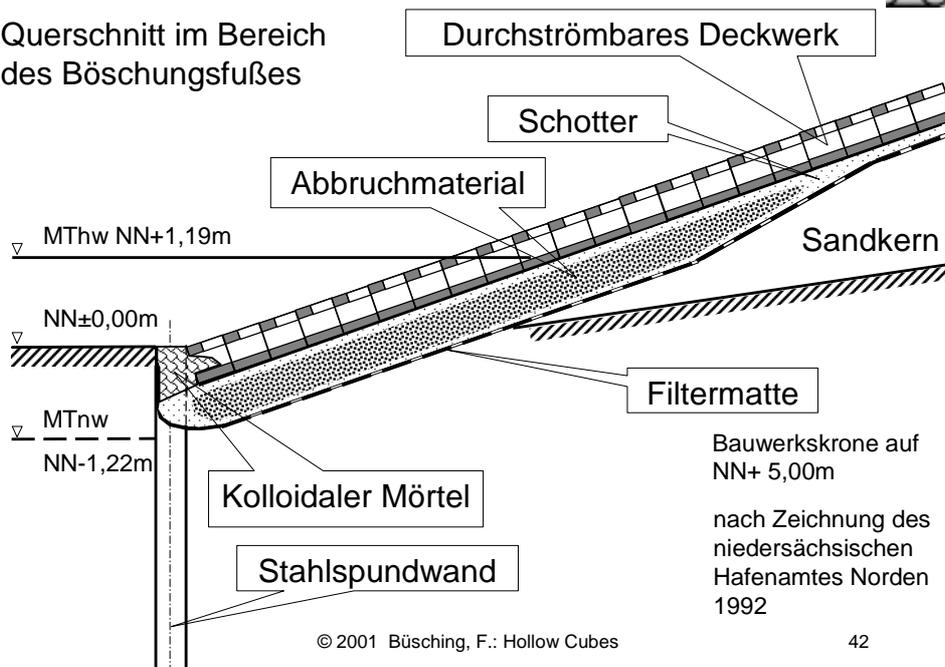
<http://www.baltrum.de>

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

41

Hohldeckwerk Baltrum:

Querschnitt im Bereich
des Böschungfußes



© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

42



Ziele des Naturversuches:

- Nachweis der **hydraulischen Funktionsfähigkeit unter natürlichen Bedingungen**; → Ausschluss der Gefahr der **Einsandung**.
- Beurteilung der **langzeitigen Bauwerksstabilität** nach **wiederholter natürlicher Sturmfluteinwirkung**.
- Klassifizierung der infolge von Sturmfluteinwirkungen ggf. auftretenden Schäden hinsichtlich der generellen Standsicherheit.
- Beurteilung der Auswirkungen ggf. unterschiedlich auftretender **Sackungen** hinsichtlich der verwendeten **Verzahnungselemente**.
- Hinweise bezüglich der **wirtschaftlichen Formkörperfertigung** und **wirtschaftlichen Bauausführung**.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

43



**Baltrum
1992 - 2000:**

**Einlagiges
durchströmbares
Hohldeckwerk**

Neigung 1:n = 1:3
Gewicht: 5 kN/m²

Erfahrungsstand:

- **Wirkungsprinzip nachgewiesen** → **keine Einsandung**, Sackungen gering → keine Funktionseinschränkung
- **Standsicher seit Bauausführung** im Frühjahr 1992:
41 Sturmtiden mit Wasserständen \approx MThw + 1,5m
3 Sturmtiden mit Wasserständen \approx MThw + 3,0m
- **Optimierung** → Im Sinne der wirtschaftlicheren Bauausführung künftig Verzicht auf **Verzahnungselemente**.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

44

Veröffentlichtes **SCHRIFTTUM** zu **“Hollow Cubes”**



- [01] Büsching, F. (1991) Durchströmbare Böschungsstrukturen, BAUINGENIEUR Nr. 66, p.11-14.
- [02] Büsching, F. (1991) Embankment Protection Structure; European Patent Office Nr.91103801.6-2303, p. 1 – 47.
- [03] Büsching, F. (1992) Wave and Downrush Interaction on Sloping Structures, Proc. 10th International Harbor Congress, p 5.17-5.25, Antwerpen, Belgium.
- [04] Büsching, F. (1994) Imperfect Reflection from Permeable Revetment Structures, 1st Int.Scientific Colloquium CAE TECHNIQUES, p.177-189, Rzeszow, Poland.
- [05] Büsching, F. (1995) Hollow Revetment Elements, COPEDEC IV , p. 961 – 976, Rio de Janeiro, Brazil.
- [06] Büsching, F. (1995) On the Change of Reflection from Different Sloping Structures,2nd Int. Scientific Colloquium CAE TECHNIQUES, p.305-314, Bielefeld, Germany.
- [07] Büsching, F. (1999) Reflection from Hollow Armour Units, COPEDEC V , p.1362 - 1370, Cape Town, South Africa.
- [08] Büsching, F. (1999) REFLECTION ESTIMATES DERIVED FROM STRUCTURAL RESPONSE SPECTRA, 4th International Colloquium CAx TECHNIQUES, Bielefeld, p. 401 - 410,
- [09] Büsching, F. (2000) Dispersion and Reflection at Sloping Structures, Proc. PDCE 2000 Conference Vol.I, p.29 – 38, Varna, Bulgaria.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

45

Andere Arbeiten zur Thematik „Hohldeckwerk“ an der FH Bielefeld University of Applied Sciences seit 1988,



Diplomarbeiten (unveröffentlicht)

- (01) Ebert, H. (1988) Wellenerscheinungen an Deichböschungen.
- (02) Scheiding, K. (1988) Beeinflussung des Wellenbrechens an Deichböschungen.
- (03) Hohmann, A. (1989) Bewegung des Sickerwassers in einem homogenen Deich während des Ablaufes einer Sturmflut.
- (04) Heidebruch, S.(1989) Reflexionserscheinungen an Sperrwerksverschlüssen mit geneigter Stauwand.
- (05) Herzog, M. (1989) Reflexionserscheinungen an Sperrwerksverschlüssen mit geneigter Stauwand.
- (06) Hupe, H. (1989) Reflexionserscheinungen an Sperrwerksverschlüssen mit geneigter Stauwand.
- (07) Wollbrink, M. (1989) Längswerke zur Sicherung von Dünen und Kliffs an der Westküste der Insel Sylt.
- (08) Welp, G. (1990) Wellenbrecher als Schutzwerke für die Hafeneinfahrt der Insel Baltrum.
- (09) Böke-Hasselmeier,M. (1990) Wellenbrecher als Küstenschutzwerke für die Westküste der Insel Sylt.
- (10) Giesecking, M. (1990) Wellen und Strömungen vor geböschten Uferschutzbauwerken.
- (11) Husmeier, R. (1990) Wellenbrecher als Küsten- und Hafenschutzbauwerke.
- (12) Bleses, O. (1991) Wellenbrecher als Küsten- und Hafenschutzbauwerke.
- (13) Stühmeier, M. (1991) Wellenbrecher als Küsten- und Hafenschutzbauwerke.
- (14) Brandt, I. (1991) Wellenbrecher als Küsten- und Hafenschutzbauwerke.
- (15) Scheer, A. (1991) Wellenbrecher als Küsten- und Hafenschutzbauwerke.

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

46

Diplomarbeiten (unveröffentlicht)



- (16) Sünderkamp, J. (1991) Reflexionserscheinungen irregulärer Wellen an geböschten Uferschutzbauwerken.
- (17) Fleer, R. (1992) Formkörper aus Beton an geböschten Uferschutzbauwerken.
- (18) Kuhnke, R. (1992) Reflexion irregulärer Wellen an geböschten Uferschutzbauwerken.
- (19) Hagemeier, K. (1992) Reflexion irregulärer Wellen an geböschten Uferschutzbauwerken.
- (20) Kramer, M. (1992) Reflexion irregulärer Wellen an geböschten Uferschutzbauwerken.
- (21) Eberhard, H. (1992) Verteilung der Energie partiell stehender Wellen vor geböschten Uferschutzbauwerken.
- (22) Lemke, C. (1993) Beeinflussung des Wellenbrechens und der Waschbewegung an geböschten Uferschutzbauwerken.
- (23) Köster, T. (1993) Reflexion kurzer unregelmäßiger Wellenfolgen an einer Böschung 1:3 bei drei unterschiedlich gestalteten Deckwerksausbildungen.
- (24) Spieß, G. (1993) Erfassung der Druckverhältnisse in brechenden – Wasserwellen und im Wellenauflauf.
- (25) Gramsch, F. (1993) Partiiell stehende Wellen an unterschiedlich geneigter Böschungsbauwerken.
- (26) Kruse, C. (1994) Vergleichende Untersuchung der Ergebnisse durchgeführter Modellversuche für wellenbelastete Böschungen unterschiedlicher Ausbildung.
- (27) Thienelt, W. (1994)
- (28) Kaminski, O. (1994)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

47

Diplomarbeiten (unveröffentlicht)



- (29) Vogelsang, U. (1994) Erfassung der Druckverhältnisse in brechenden Wasserwellen und im Wellenauflauf .
- (30) Meyer, O. (1995) Partiiell stehende Wellen an unterschiedlich geneigten Böschungsbauwerken.
- (31) Davenhofen, N. (1996) Verteilung der Druckspannungsenergie brechender Wasserwellen an unterschiedlich gestalteten Böschungsdeckwerken.
- (32) Kulgemeyer, K (1996)
- (33) Anneken, R. M.C. (1996) Untersuchung der Randbedingungen für die Gestaltung trapezoidaler Hohlformkörper aus Beton zur Verwendung an geböschten Uferschutzbauwerken.
- (34) Lemke, S. (1997) Reflexion an einer aus Beton-Hohlformkörpern bestehenden Böschung mit der Neigung 1:2.
- (35) Nicolai, A. (1997) Reflexion an einer aus Beton-Hohlformkörpern bestehenden Böschung mit der Neigung 1:05.
- (36) Bicknese, W. (1998) Standsicherheit wellenbelasteter Böschungen aus Beton- Hohlformkörpern (mit der Neigung 1:2).
- (37) Klöpffer, U. (1998) Reflexion kurzer Wellengruppen an einer Böschung aus Beton-Hohlformkörpern (Hollow Cubes).
- (38) Heidemann, D. (1998) Reflexion an einer aus Beton-Hohlformkörpern (Hollow Cubes) bestehenden Böschung mit einer Neigung 1:m = 1:1,5.
- (39) Ripke, M. (1998)
- (40) Bierauer, M-A. (1999)
- (41) Corinth, K.S. (1999)
- (42) Ortman, O. (2000)

© 2001 Büsching, F.: Hollow Cubes

48

Diplomarbeiten (unveröffentlicht)



- (43) Kix, U. (2001) Reflexion an einer aus Beton-Hohlformkörpern
(44) Reischl, C. (2001) (Hollow Cubes) bestehenden Böschung mit einer
(45) Rocklage, O. (2001) Neigung $1 : m = 1 : 2,5$.

Präsentationen

- (46) Keull, K., Büsching, F. (1999) CD Präsentation des *Labors für Hydromechanik und Wasserbau* der FH Bielefeld, 3. Multimediatag der Bielefelder Hochschulen 21. Okt. 1999.
(47) Büsching, F. (2000) CD KUESTE 2000, Vorlesungen Küsteningenieurwesen

Forschungsförderung

A. Mittel der Fachhochschule Bielefeld

- Büsching, F. (1987/88) Wellen- und strömungserzeugte Belastungen von Stahlwasserbaukonstruktionen
Büsching, F. (1989/90) Wave and Downrush Interaction on Seadikes
Büsching, F. (1991/93) Random Wave Reflection from Sloping Structures
Büsching, F. (1994/96) Küstenschutzbauwerke
Büsching, F. (1997/98) Selektive Reflexion an wellenbelasteten Böschungsbauwerken

B. Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)

- Büsching, F. (1998/2000) Bemessung wellenbelasteter Hohldeckwerke, *FKZ 1701098*.