



Wellenbrechen:

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen dem Brechen der Wellen auf *offenem Meer*, wo der Einfluss der Grundberührung fehlt, und dem Brechen der Wellen in *Brandungszonen*, also in Ufernähe. Während der Brechprozess auf offenem Meer (Tiefwasser) bei der Bemessung sog. *Offshorebauwerke* eine Rolle spielen kann, sind die Küsten *ständig* den beim Brandungsvorgang wirkenden formändernden Kräften ausgesetzt.

Das Brechen der *instationären* Wellen in Brandungszonen ist dem von der *stationären* Gerinneströmung bekannten Prozess des *Wechselsprunges* vergleichbar:

Bei beiden Vorgängen treten Energieumwandlungsraten auf, die um Größenordnungen höher sind als Reibung an der Sohle oder innere Reibung zwischen den Flüssigkeitsteilchen.

Es ist bemerkenswert, dass bei beiden Naturvorgängen der genannte beträchtliche Energieumsatz auf relativ *kurzer* Strecke erfolgen kann.



Die zur Erzeugung der Wellen erforderliche Energie wird über hunderte von Kilometern vom Wind auf die Wasseroberfläche übertragen und pflanzt sich gegebenenfalls noch über Tausende von Kilometern fort. Der Abbau dieser Energie erfolgt indessen oft auf nur ganz wenigen Metern. Insbesondere bei solchen Randbedingungen können an den Küsten verheerende Zerstörungskräfte auftreten.

Der Brechprozess selbst ist gekennzeichnet durch die Orbitalbewegung der sich bis zum Brechpunkt kontinuierlich verformenden Welle. Sowohl das Verhältnis der momentanen Orbitalgeschwindigkeit zur momentanen Wellenfortschrittsgeschwindigkeit als auch das Verhältnis der beteiligten Beschleunigungen ist von Bedeutung.



Nach Stokes werden periodische Wellen instabil, wenn bei anwachsender Wellenhöhe der Tangentenwinkel am Wellenkamm $\gamma = 120^\circ$ wird. Für *Tiefwasserwellen* hat Michell (1893) die zugehörige Grenzsteilheit zu $H_0 / L_0 = 0,142$ ermittelt und Rankine (1860) die Übereinstimmung von Orbitalgeschwindigkeit u_c am Wellenkamm und Wellenfortschrittsgeschwindigkeit c .

Für das Brechen der Wellen in *Brandungszonen* gelten für den kritischen Kammwinkel γ und die kritische Orbitalgeschwindigkeit u_c die gleichen Feststellungen. Als maximale Grenzsteilheit H/L im Flachwasser wurde jedoch vielfach die Beziehung bestätigt: $\max H/L = 0,142 \cdot \tanh 2\pi d/L$ (auch Sylt, 1974).

Mit Bezug auf die *Theorie der Einzelwellen*, die hier eher als die Theorie nach Airy-Laplace zutreffen dürfte, kommt noch das Kriterium der *relativen Wassertiefe* hinzu. Als Mittelwert einer Vielzahl theoretischer Untersuchungen gilt etwa $\max (H_b/d_b) = 0,82$. Unter Berücksichtigung des sog. Brandungsstaues wurden aber in Naturmessungen höhere Werte gemessen. Näheres vergl. z.B. Büsching (1974).



Zusammenstellung der Kriterien des Wellenbrechens bei Grundberührung :

$$w \geq c \quad \gamma \leq 120^\circ$$

$$a \geq g$$

$$\frac{H}{L} \geq 0,142 \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi}{L} \cdot d\right)$$

$$H \geq d$$

Nach Naturuntersuchungen brechen Wellen in der Brandungszone im Mittel bei:

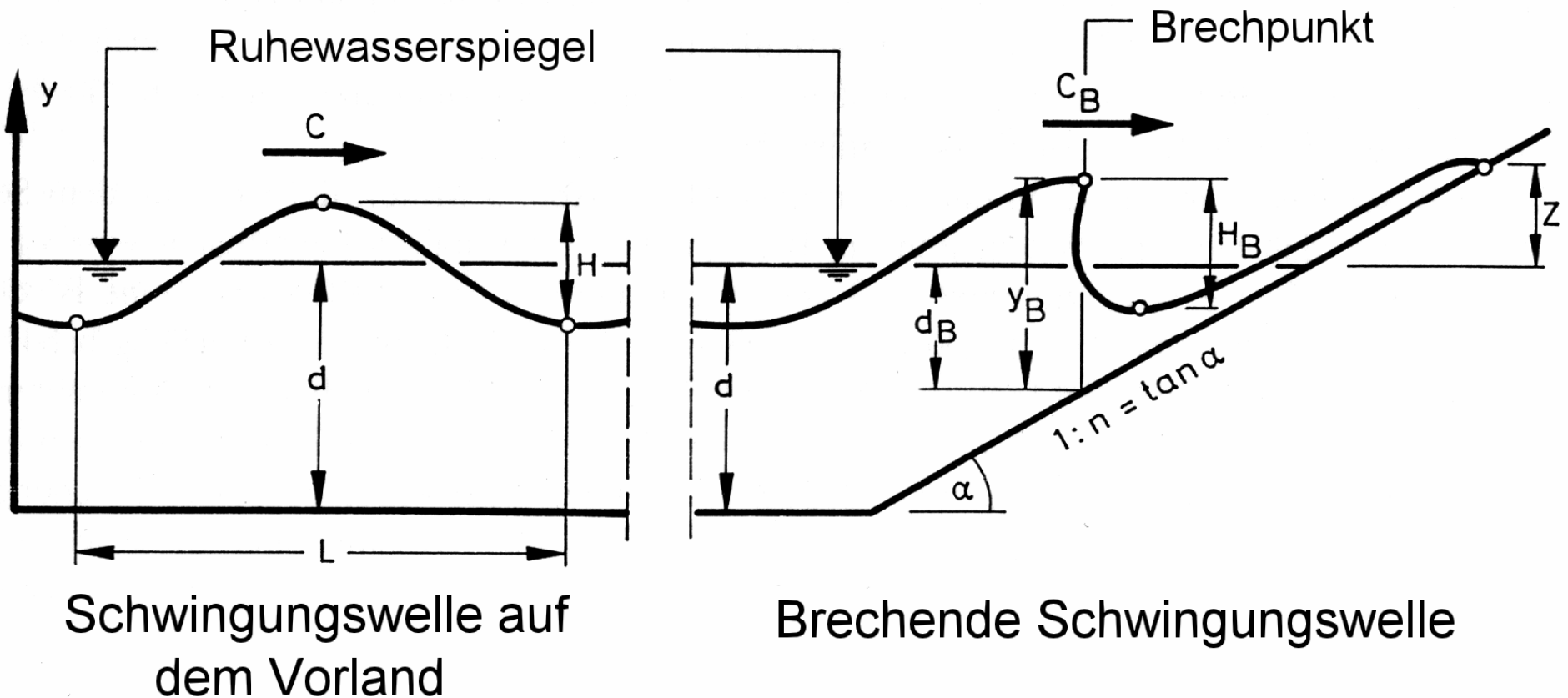
$$\frac{H}{d} \approx 1$$

Als Maximalwert wurde gemessen (Sylt, 1974):

$$\max\left(\frac{H}{d}\right) = 1,93$$



Geometrie brechender Schwingungswellen:



Schwingungswelle auf dem Vorland

Brechende Schwingungswelle

Nur bei *konstanter* Wassertiefe und fehlender Windwirkung sind Wellen symmetrisch. Die Randbedingung eines geneigten Bodens bewirkt eine kontinuierliche Verformung der Welle bis sie bricht und anschließend den Wellenauflauf z erzeugt.

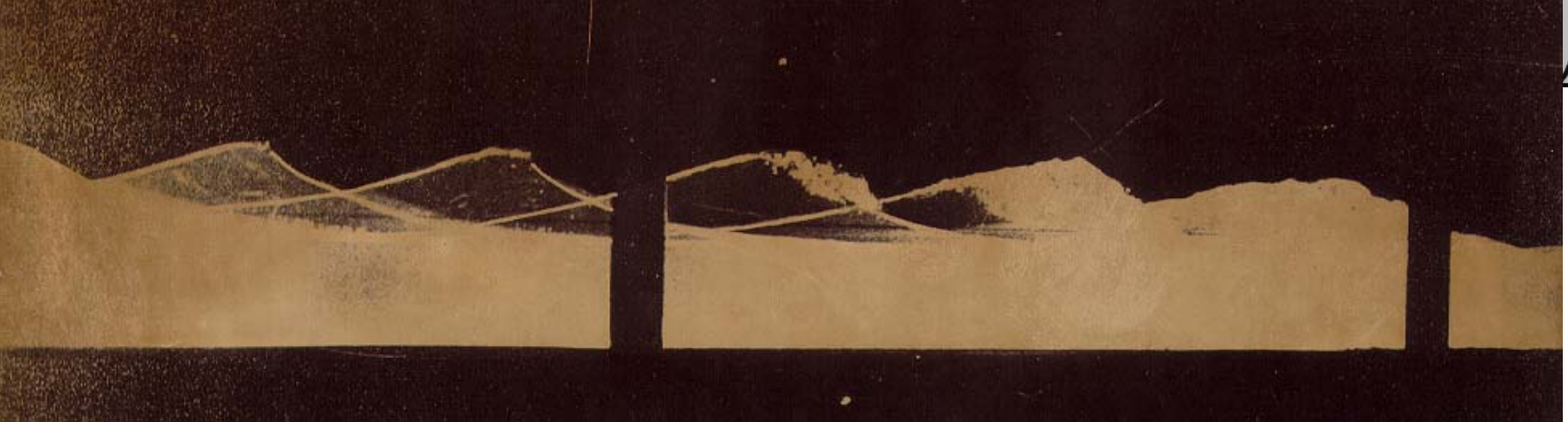


Brecherklassifikation:

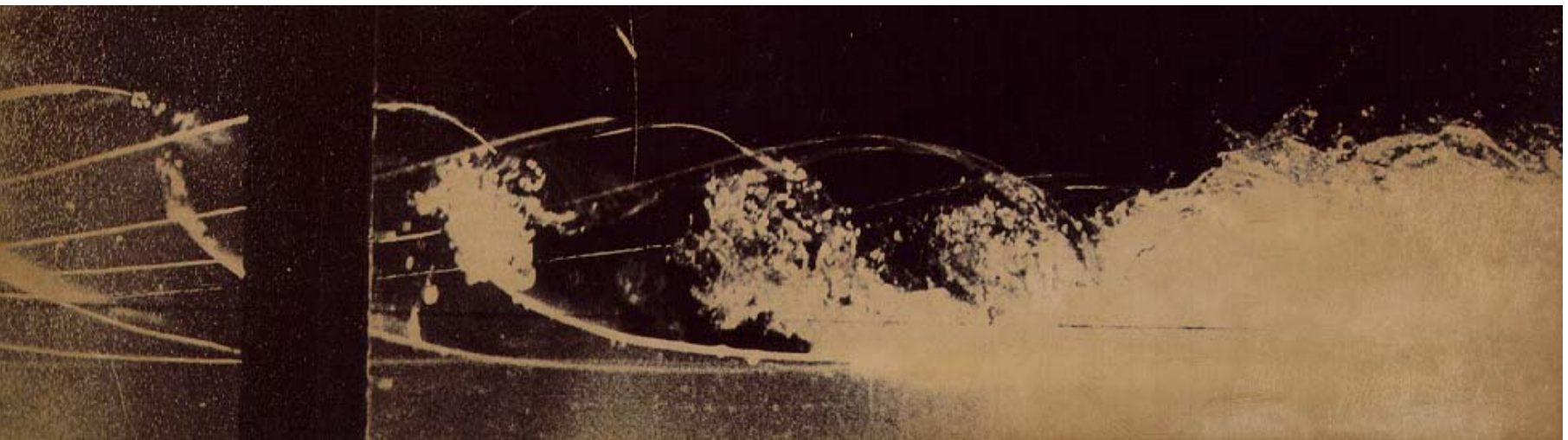
Abhängig von der Strandneigung (bzw. Böschungsneigung)

$1 : n = \tan \alpha$ und von der Wellensteilheit H_0/L_0 bzw. H_b/L_0 werden 4 Hauptformen der Brechergeometrie unterschieden:

Schwallbrecher	(Spilling Breaker)
Sturzbrecher	(Plunging Breaker)
Partieller Sturzbrecher	(Collapsing Breaker)
Reflexionsbrecher	(Surging Breaker)

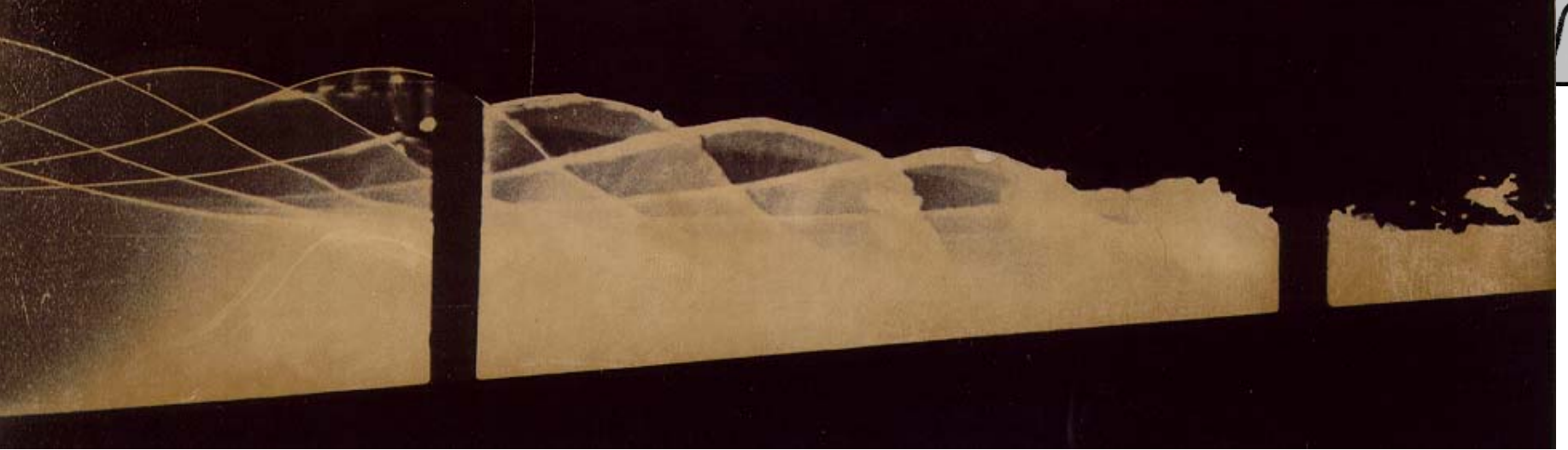


Schwallbrecher (Spilling Breaker)

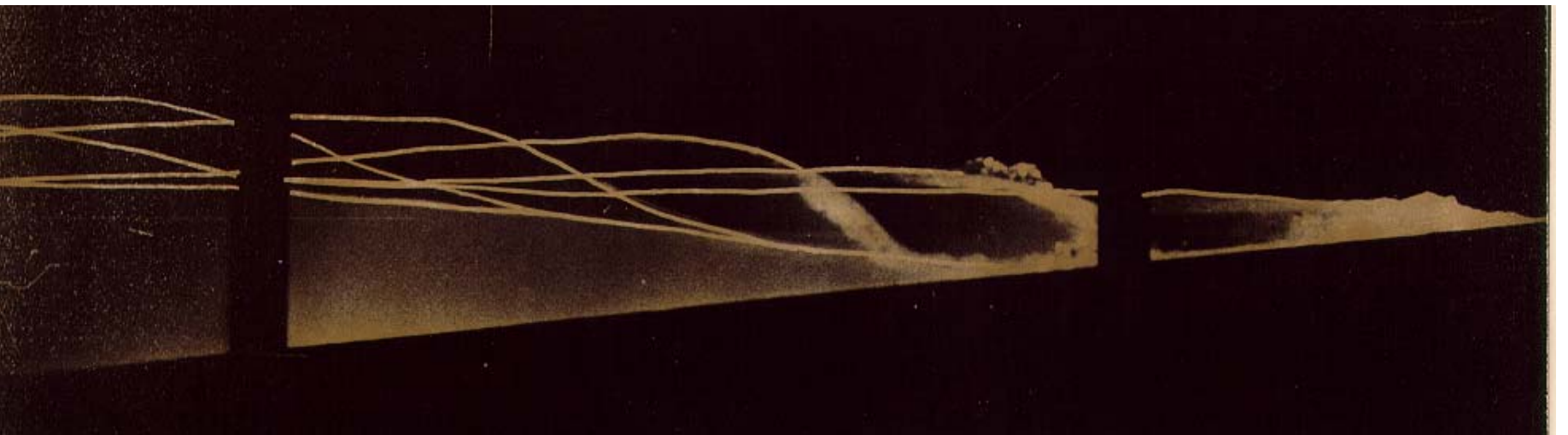


Sturzbrecher (Plunging Breaker)

Bilder aus Film:
Breaking Waves von
Kjeldsen, S.P. 1968



Partieller Sturzbrecher (Collapsing Breaker)

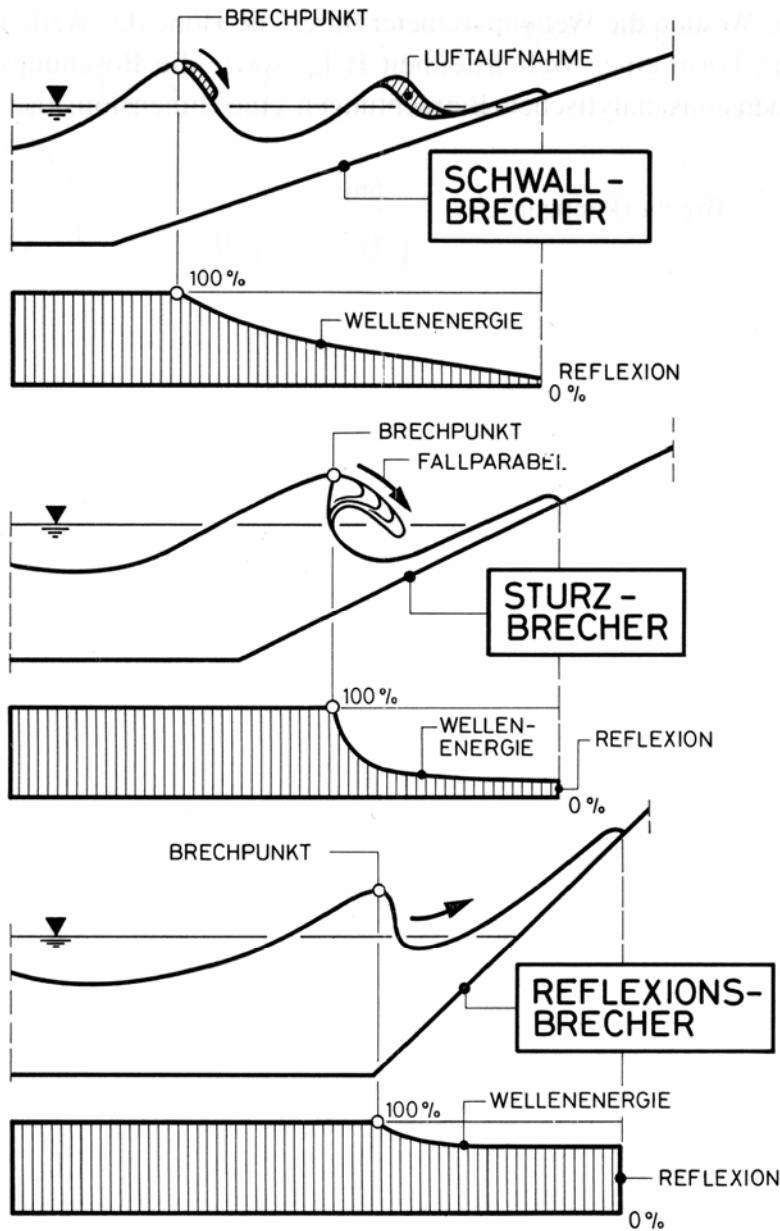


Reflexionsbrecher (Surging Breaker)

Bilder aus Film:
Breaking Waves von
Kjeldsen, S.P. 1968



Energieumwandlung und Wellenauflauf bei unterschiedlichen Brecherformen.



Führböter, A.: Wellenbelastung von Deich- und Deckwerksböschungen, Kap.3, Handbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, Bd. 46, 1991



Die Brecherkennzahl ξ geht auf Irribarren und Nogales (1949) zurück:

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} \cdot \frac{1}{n}$$

mit $L_0 = \frac{g}{2 \cdot \pi} \cdot T^2$ wird

$$\xi = \xi(H, T, n) = \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{H}} \cdot T \cdot \frac{1}{n}$$

Bezugsgrößen:

$H = H_b$ = Brecherhöhe

L_0 = Wellenlänge im
Tiefwasser

$\tan \alpha = 1:n$ = Böschungs-
neigung

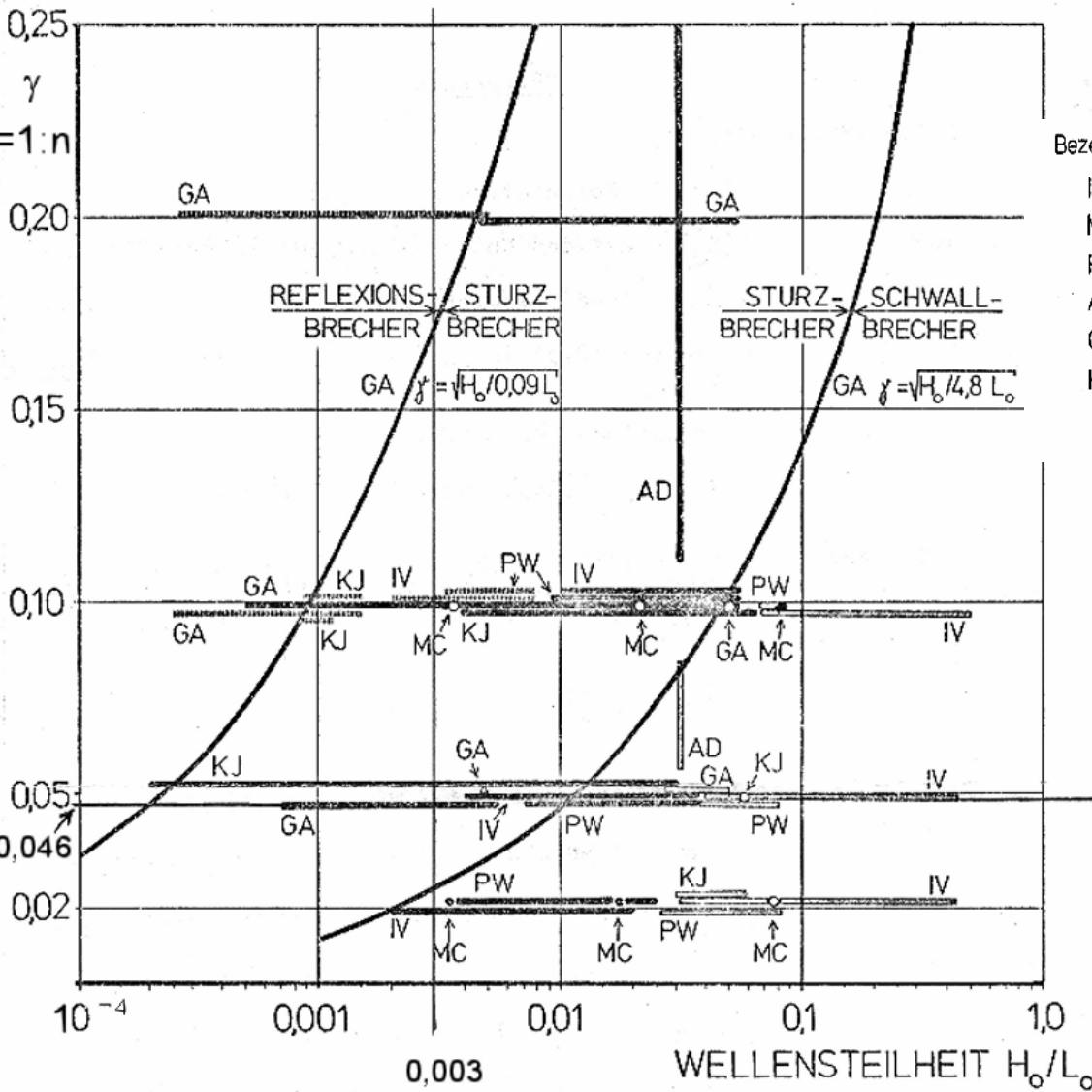
$\xi < 0,5$ Schwallbrecher

$0,5 < \xi < 3,3$ Sturzbrecher

$\xi > 3,3$ Reflexionsbrecher



Versuchsergebnisse:



Bezeichnung Verfasser

- IV IVERSEN (1951, 1952)
- MC MORISON u. CROOKE (1953)
- PW PATRICK u. WIEGEL (1954, 1955)
- AD ADEYMO (1966)
- GA GALVIN (1968)
- KJ KJELDSSEN (1968)

- ◻ Reflexions- und partielle Sturzbrecher (Surging and Collapsing Breakers)
- Sturzbrecher (Plunging Breakers)
- Schwallbrecher (Spilling Breakers)

Grenzkurven nach Galvin:
Parameter $B_0 = H_0/L_0 \cdot \gamma^2$

Reflexions-/ Sturzbrecher:
 $B_0 = 0,09$

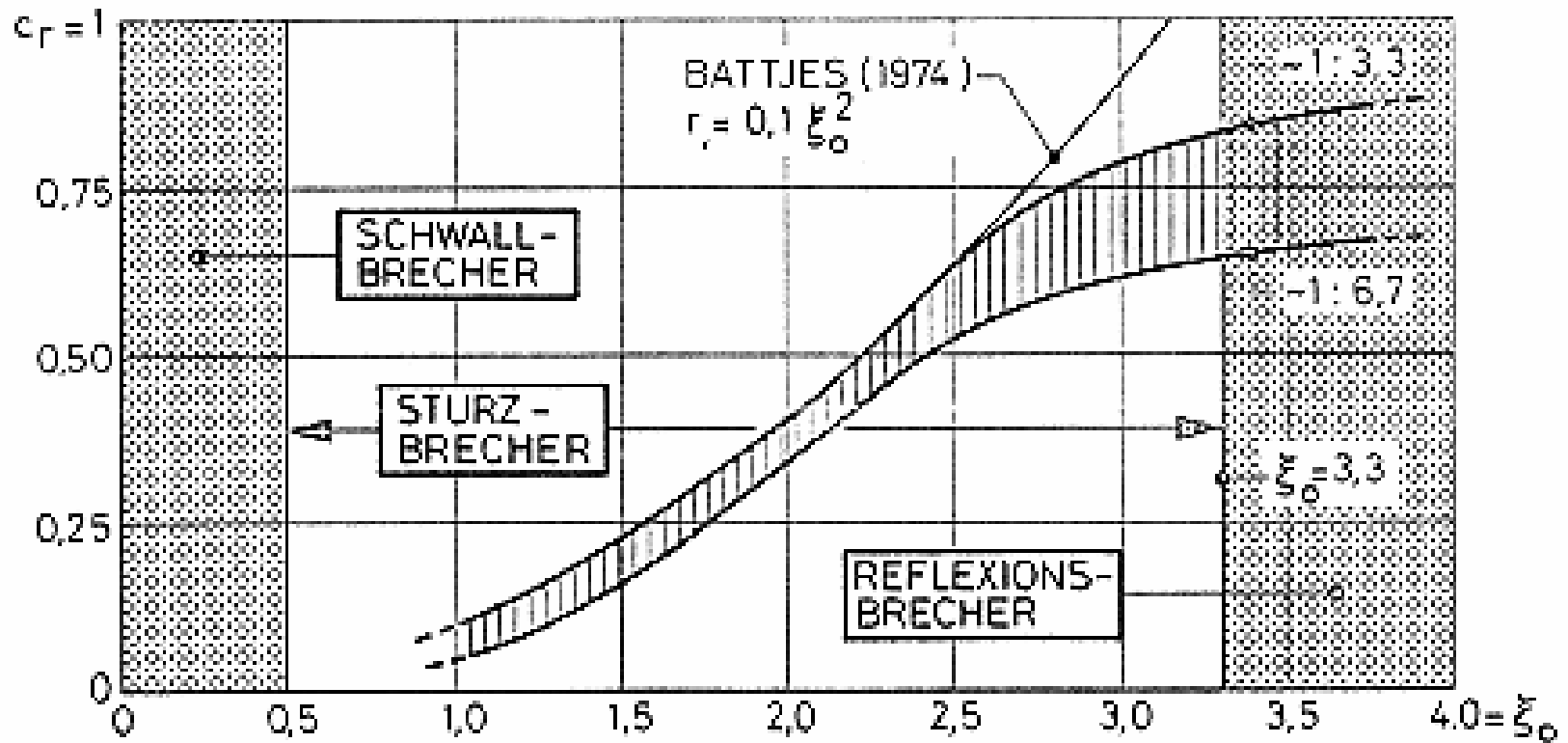
Sturz-/Schwallbrecher:
 $B_0 = 4,8$

Nach Büsching, F.: Über Orbitalgeschwindigkeiten irregulärer Brandungswellen, Mitt. d. Leichtweiss-Instituts TU Braunschweig, H. 42, 1974

Brecherform in Abhängigkeit von Tiefwasserwellensteilheit H_0/L_0 und Böschungsneigung $\gamma = 1:n$.

Reflexionskoeffizient als Funktion der Brecherkennzahl ξ

Reflexionsfaktor H_r / H_a



$\xi < 0,5$ Schwallbrecher

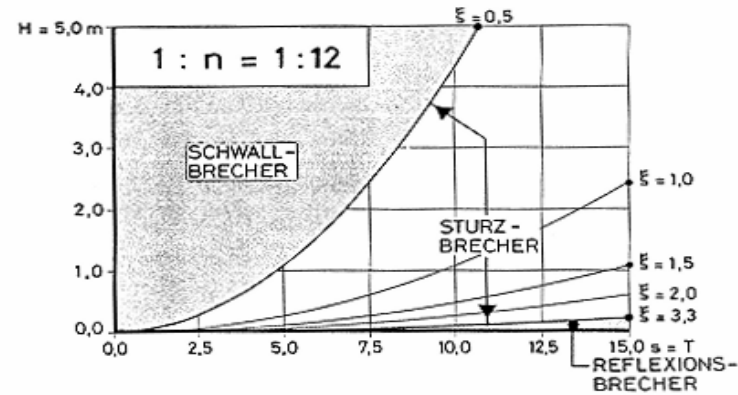
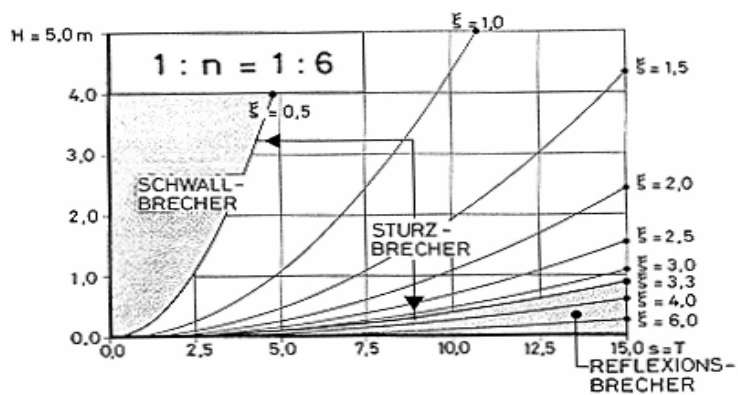
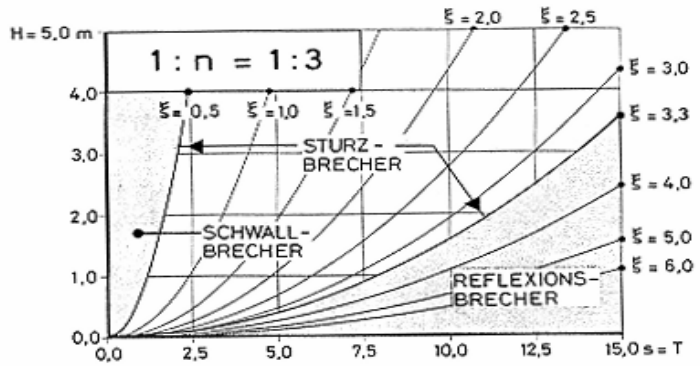
$0,5 < \xi < 3,3$ Sturzbrecher

$\xi > 3,3$ Reflexionsbrecher

Führbörter, A.: Wellenbelastung von Deich- und Deckwerksböschungen, Kap.3, Handbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, Bd. 46,1991

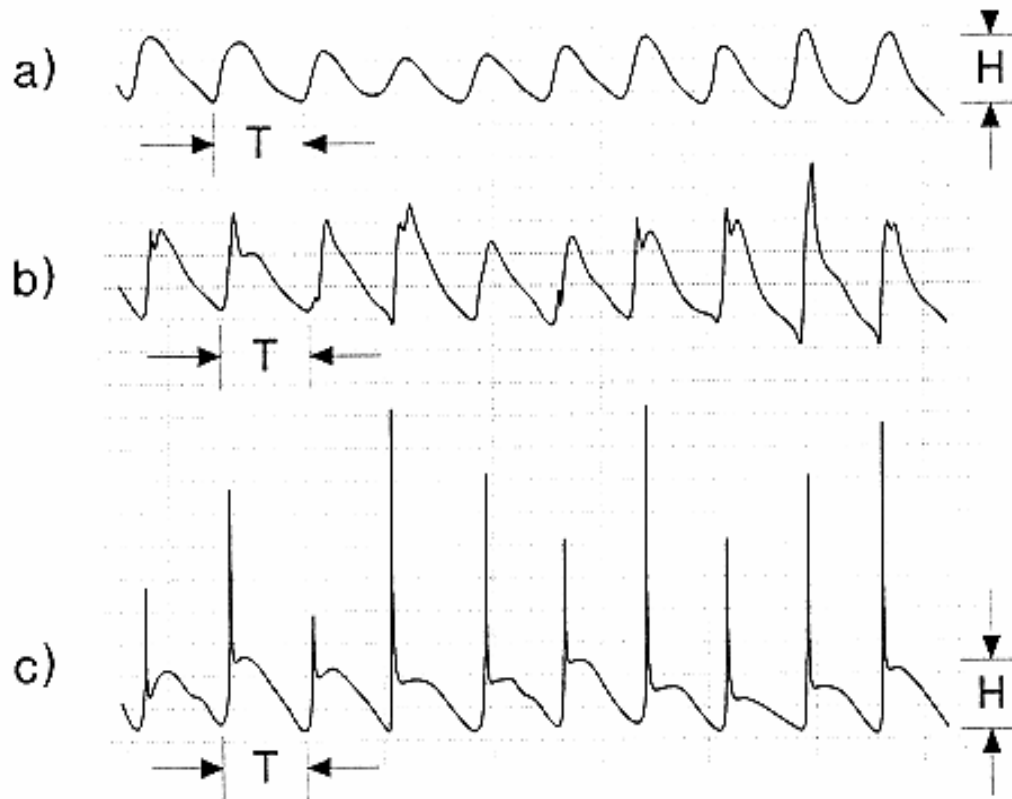


Veränderung der Brecherformen in Abhängigkeit von der Böschungsneigung und der Wellenhöhe.



Führböter, A.:
Wellenbelastung von Deich-
und Deckwerksböschungen,
Kap.3,
Handbuch der
Hafenbautechnischen
Gesellschaft, Bd. 46,1991

Druckspannungen an vertikalen Wänden oder an Böschungen:



a) Quasistationäre Druckspannungen $p/\gamma \sim H$

b) Übergangsformen

c) Druckschlagbelastungen $p_{\max}/\gamma \gg H$

Führbörter, A.: Wellenbelastung von Deich- und Deckwerksböschungen, Kap.3,
Handbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, Bd. 46,1991