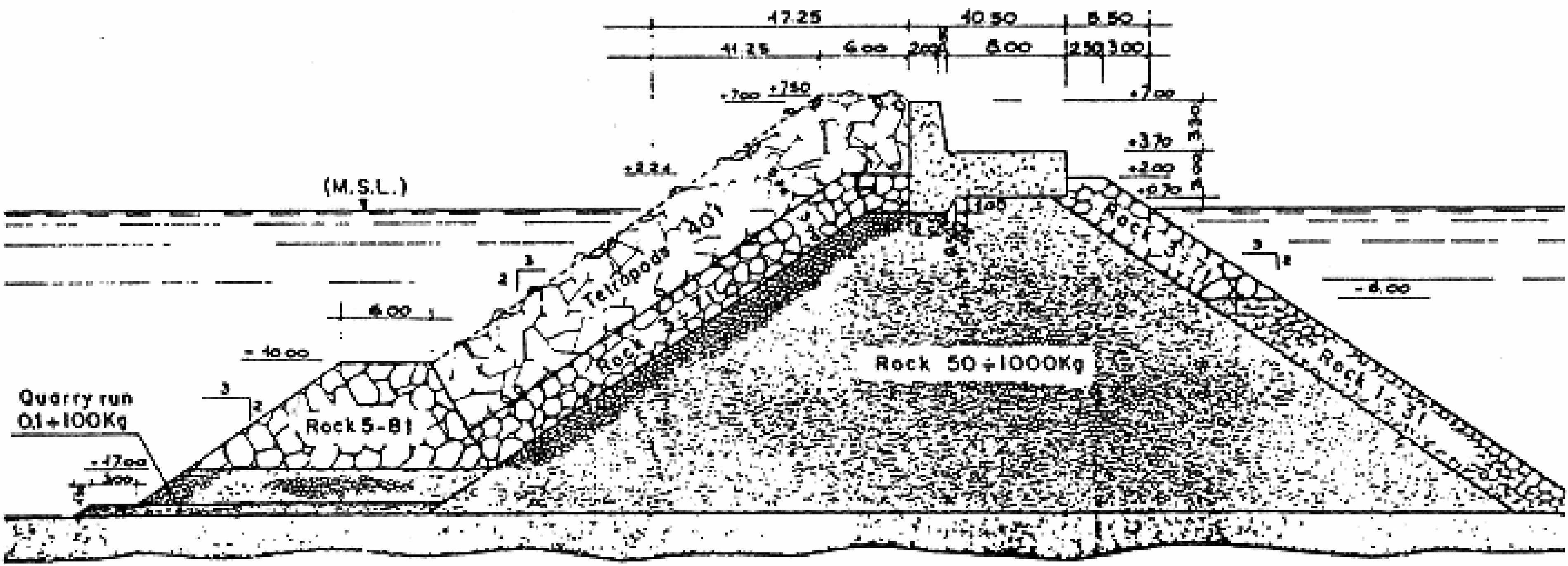
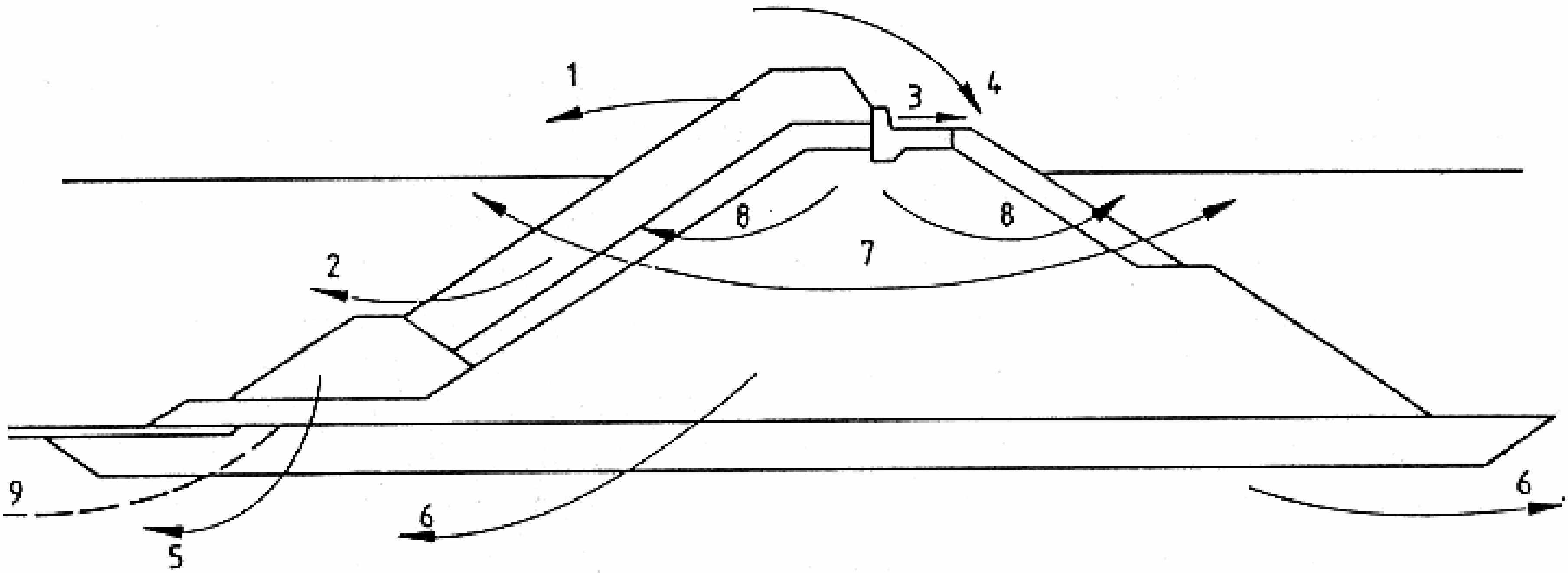
Küstenschutzbauwerke

Wellenbrecher (Böschungsbauweise)



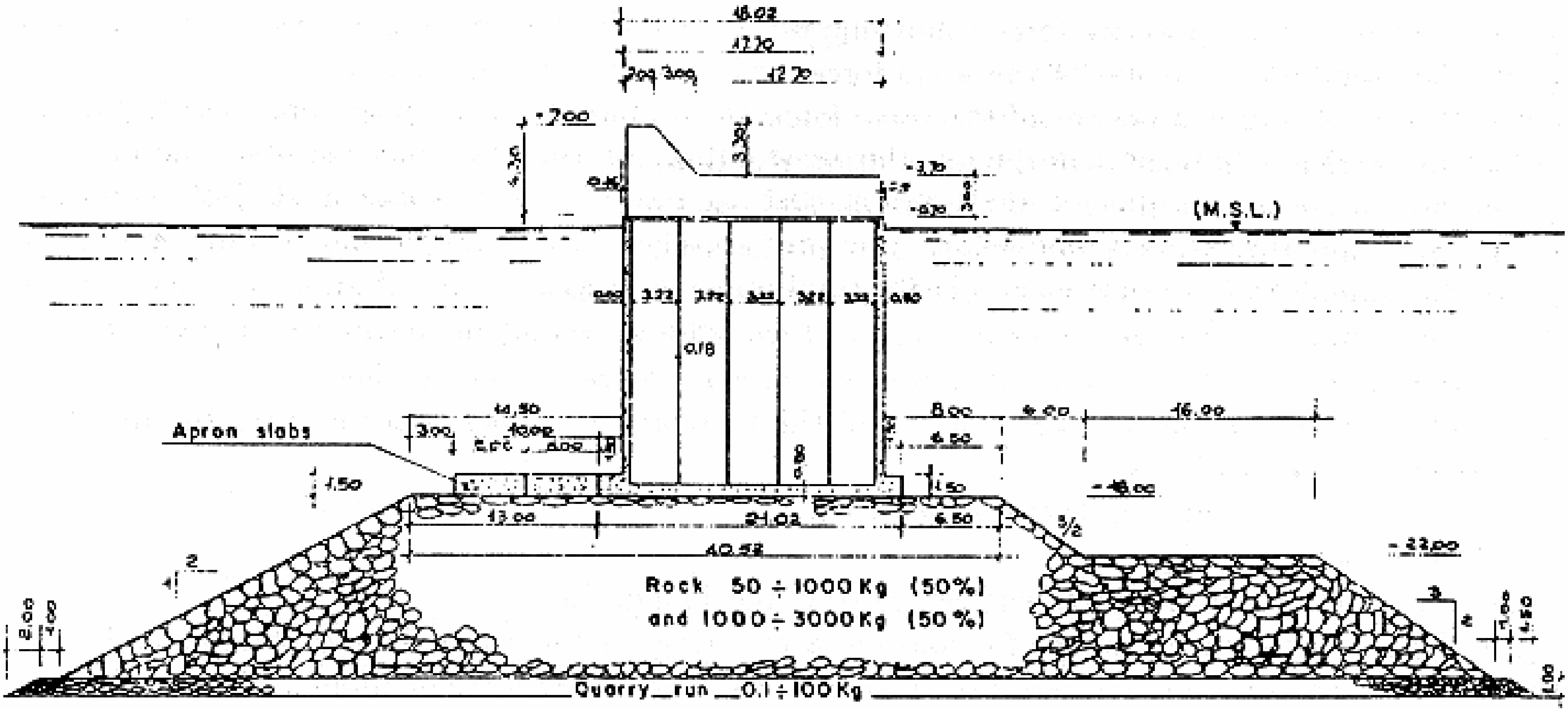


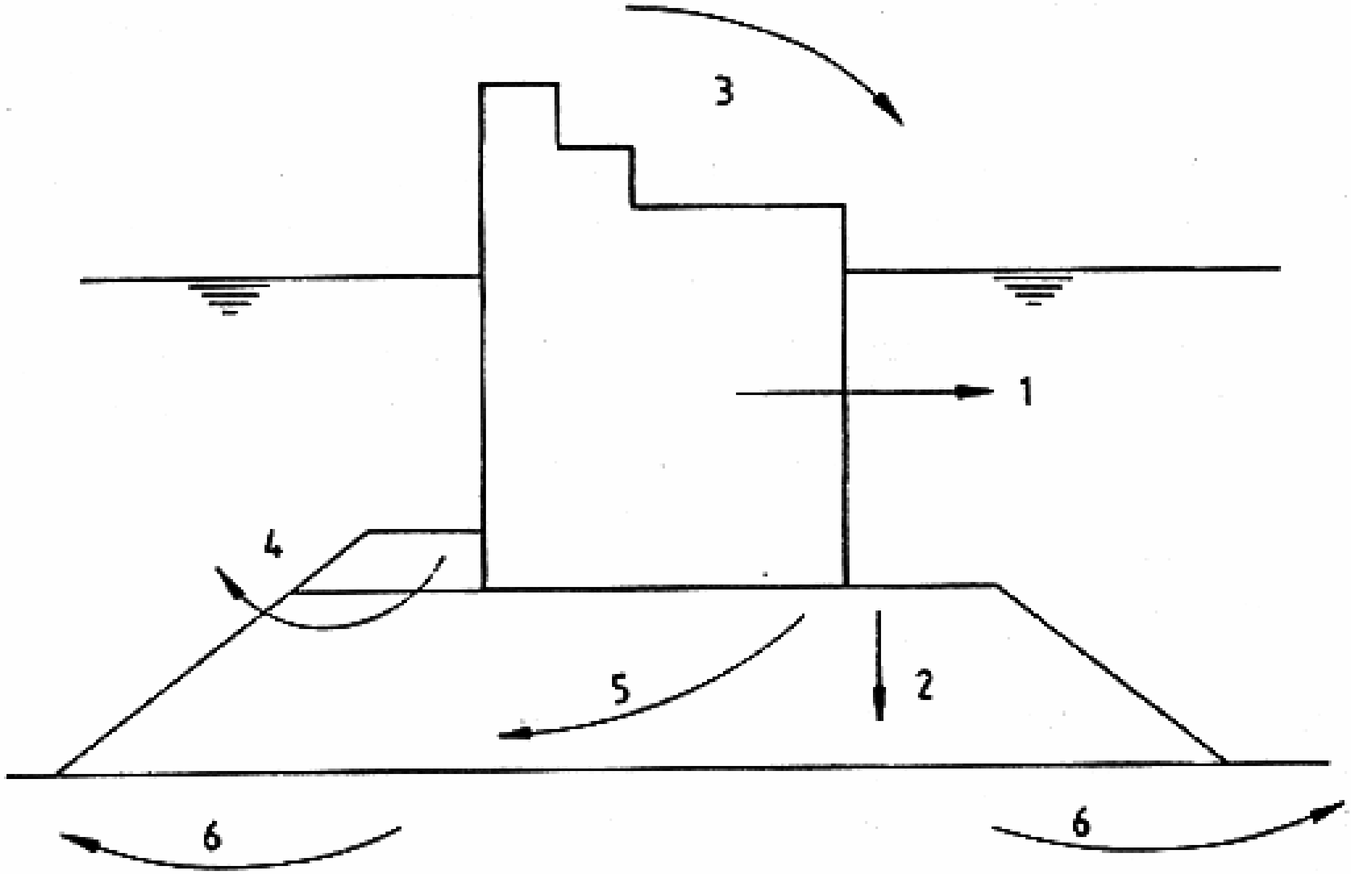
Möglichkeiten des Bauwerksversagens:

1 Verlust oder Beschädigung von Armierungsblöcken
2 Gleiten v. Armierungsblöcken
3 Kippen o. Gleiten der Krone
4 Erosion durch Wellenüberlauf
5 Erosion an der Stützberme
6 Sackungen, Setzungen; Grundbruch
7 Ausspülen v. Kernmaterial
8 Bewegungen infolge Porenwasserüberdruckes
9 Fußerosion

Küstenschutzbauwerke

Wellenbrecher (Caisson - Bauweise)





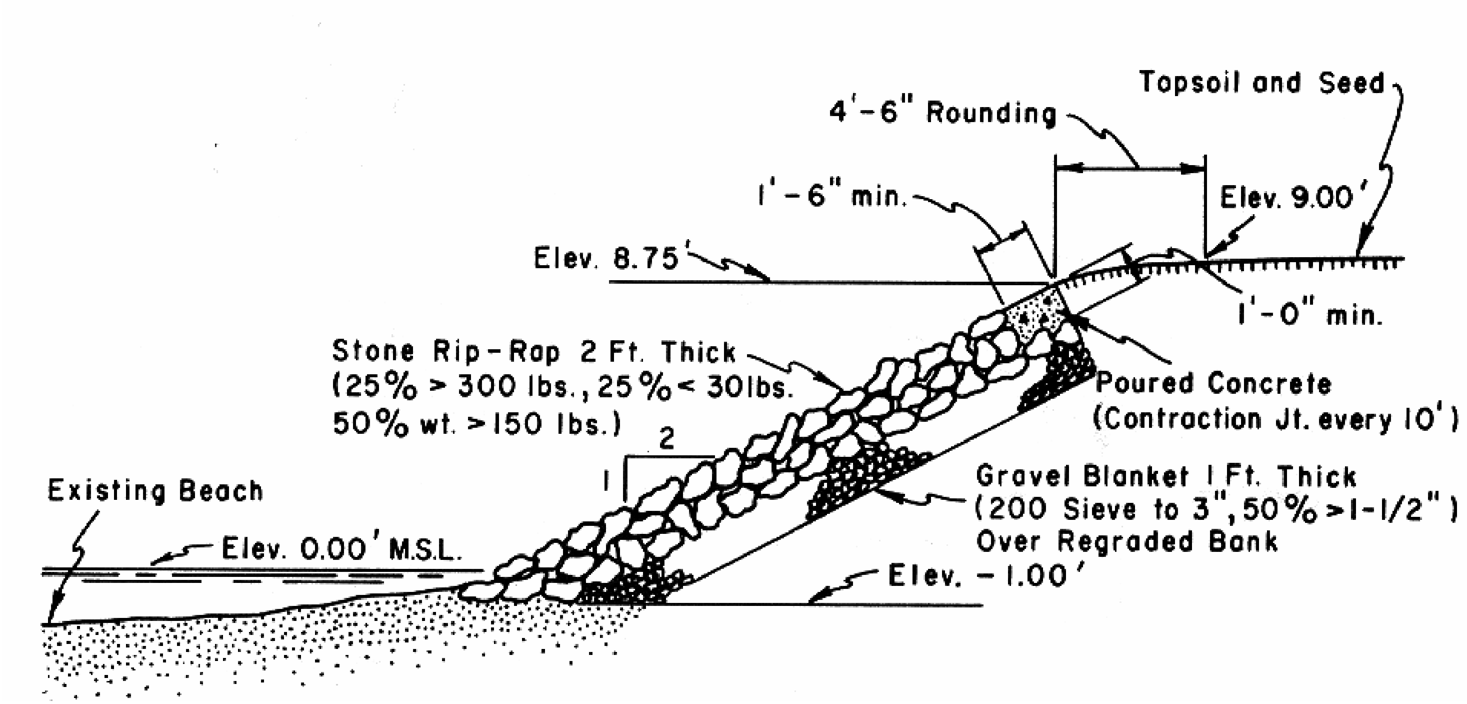
Möglichkeiten des Bauwerksversagens:

1 Gleiten
2 Bruch der Fußstruktur
3 Kippen
4 Erosion der Fußschürze
5 Sackungen, Setzungen der Fußstruktur
6 Gründungsversagen, Grundbruch

Steinschütt-Deckwerk

Stabilität von Böschungsbauwerken / Wellenbrechern

Die Aufgabe geschütteter Wellenbrecher (aus Bruchsteinen) oder anderer wallartig geschütteter/geschichteter Böschungsbauwerke (aus Betonblöcken) mit rauher Oberfläche (Rubble-Mound Structures) besteht darin, einen möglichst großen Anteil der Wellenenergie durch den Brechvorgang der Wellen in Turbulenz und schließlich in Wärme umzusetzen, vergl. auch Partielle Reflexion.



Für die Stabilität derartiger Bauwerke gegen die Wellenwirkungen sind <u>*ausreichende* Eigengewichtskräfte</u> der Baukomponenten (Schüttsteine, Betonformkörper) auf geneigter Unterlage entscheidend. Insbesondere wird untersucht, unter welchen Bedingungen die Reibkräfte zwischen Einzelblöcken und deren Unterlage ausreichen, um ein Abrutschen zu verhindern. Diesbezügliche Daten bzw. Erfahrungen sind in der Vergangenheit vielfach gesammelt worden. Ein empirischer Ansatz für die Bemessung, der den komplexen Randbedingungen weitgehend Rechnung trägt, stammt von IRRIBARREN (ab 1938) und HUDSON (ab 1953).

Erforderliches Blockgewicht W in kN:

$$\boxed{W = \frac{\rho_k \cdot g \cdot H^3}{K_D\left(\rho_k/\rho - 1\right)^3} \cdot \frac{1}{\cot\alpha}}$$

ρ_K = Dichte der Blöcke

ρ = Dichte des Meerwassers

g = Erdbeschleunigung

H = Entwurfswellenhöhe, α = Böschungsneigung

K_D = Stabilitätskoeffizient (Form, Rauhigkeit, Lageverbund)

Als wesentliche Einflussgrößen bezüglich der stabilen Lage der Baukomponenten sind in der Formel die nachfolgenden Kraftwirkungen berücksichtigt:

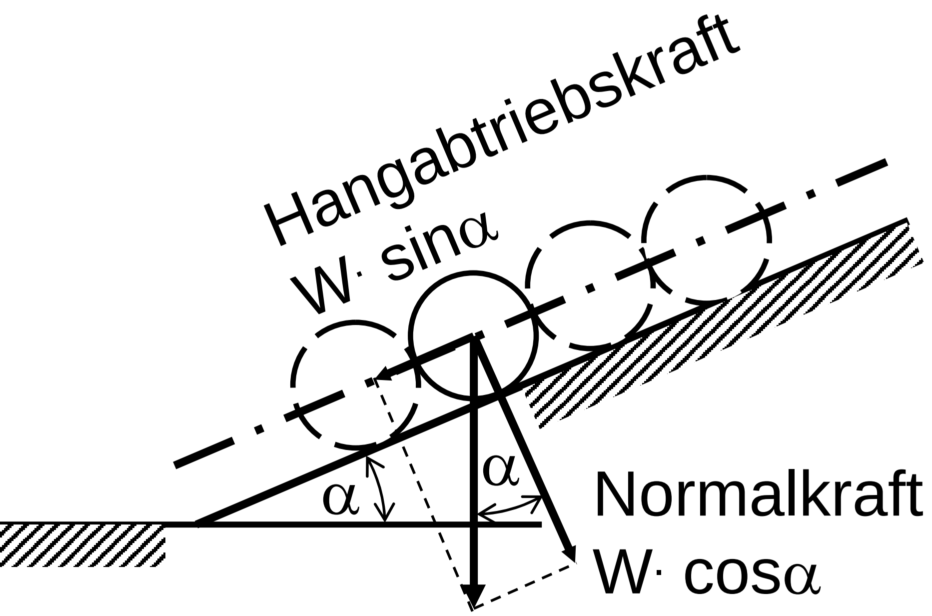
1. Hydrodynamische Auftriebskräfte (Liftforces) infolge wellen-erzeugter Wasserbewegungen (Waschbewegung bestehend aus Wellenauflauf und -ablauf) auf der Böschung,
2. Hydrostatischer Auftrieb
3. Reibkräfte jeder Art,- insbesondere zwischen den Baukomponenten und an deren Unterlage.

Von großer Bedeutung ist, dass die Wellenhöhe $H = H_S$ mit der Potenz 3 in die Formel eingeht. Das wird nachfolgend gezeigt !

<u>Staudruckkräfte</u> infolge von Stoßwirkungen bleiben indessen ebenso unberücksichtigt wie etwa eine *Abhängigkeit von der <u>Wellenperiode T</u>.*

Anwendungsfreundliche Auswertungen der Formel befinden sich in “Shore Protection Manual”, CERC 1984 oder jünger.

Grundlagen zur HUDSON-Formel:



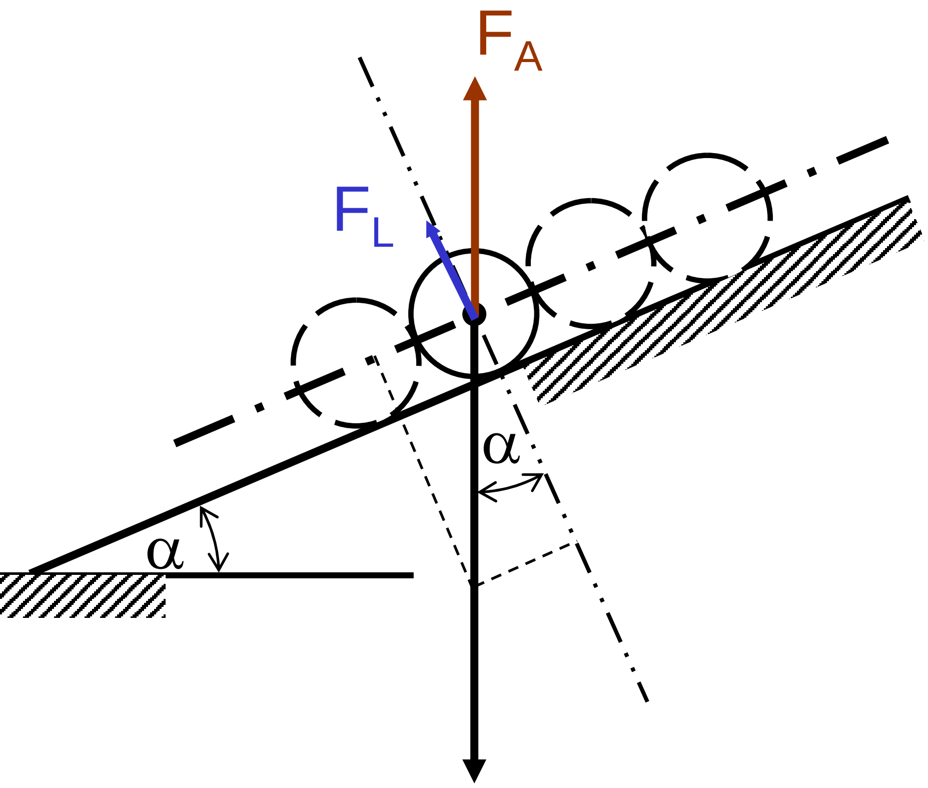
Körper auf einer geneigten Ebene (Böschung) bleiben in ihrer Position, wenn die *Reibkraft* zwischen den Körpern und der Unterlage größer ist als die *Hangabtriebskraft* der Körper. (Hinsichtlich der Stabilität günstige Wechselwirkungen zwischen den Einzelkörpern sollen hier unberücksichtigt bleiben.)

Wenn die Einzelkörper am Rollen gehindert sind, ist die Reibkraft nach Coulomb: $R = \mu F_N = \mu\ W \cos\alpha$.

Stabilitätskriterium: $R = \mu\ W \cos\alpha > W \sin\alpha$ bzw. $\mu > \tan\alpha$

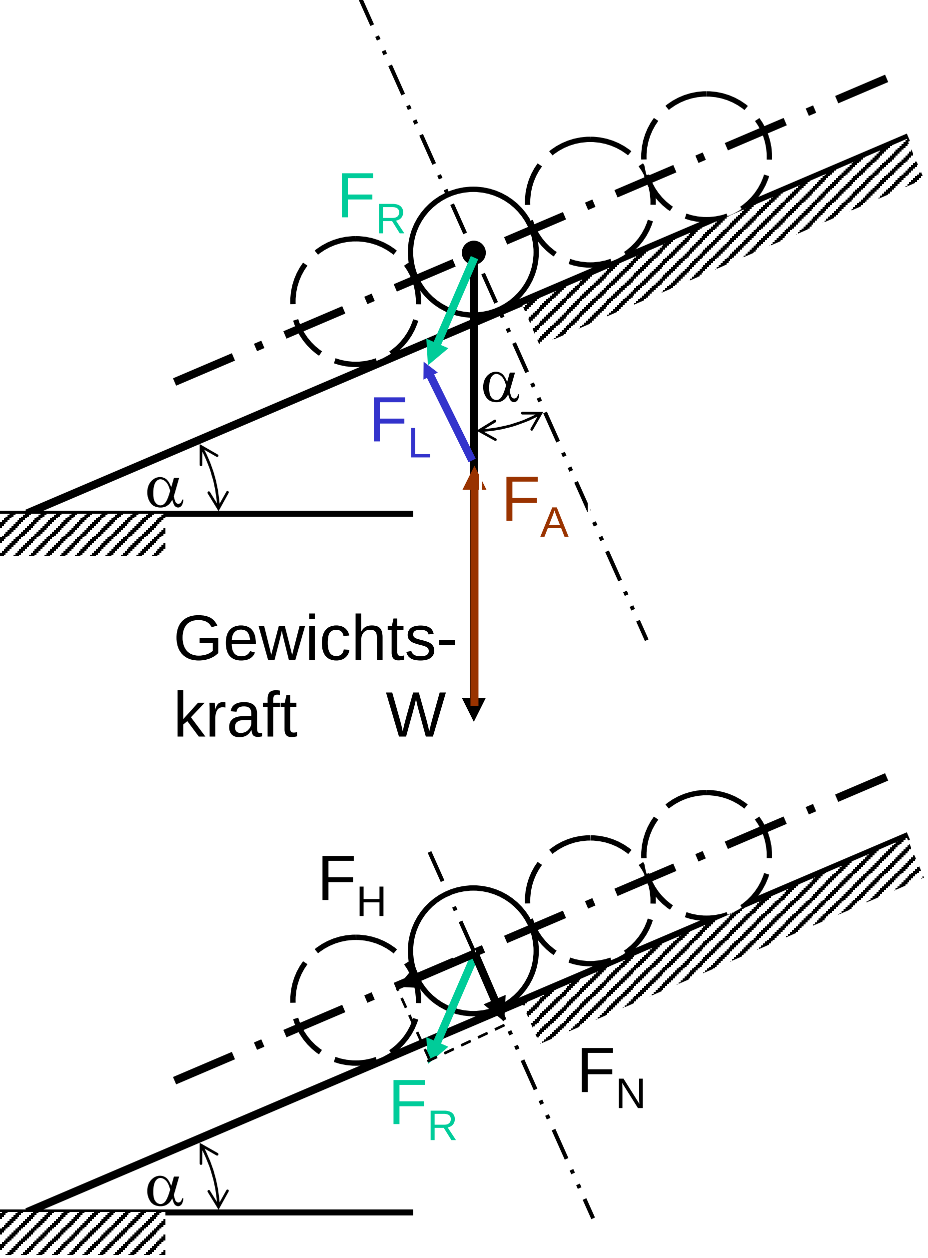
Dieses Kriterium wird bei Böschungen 1:n = 1:3 oft als erfüllt angesehen.

Bei *wellenbelasten* Körpern müssen zusätzlich *hydrostatische* und *hydrodynamische Auftriebskräfte* berücksichtigt werden.



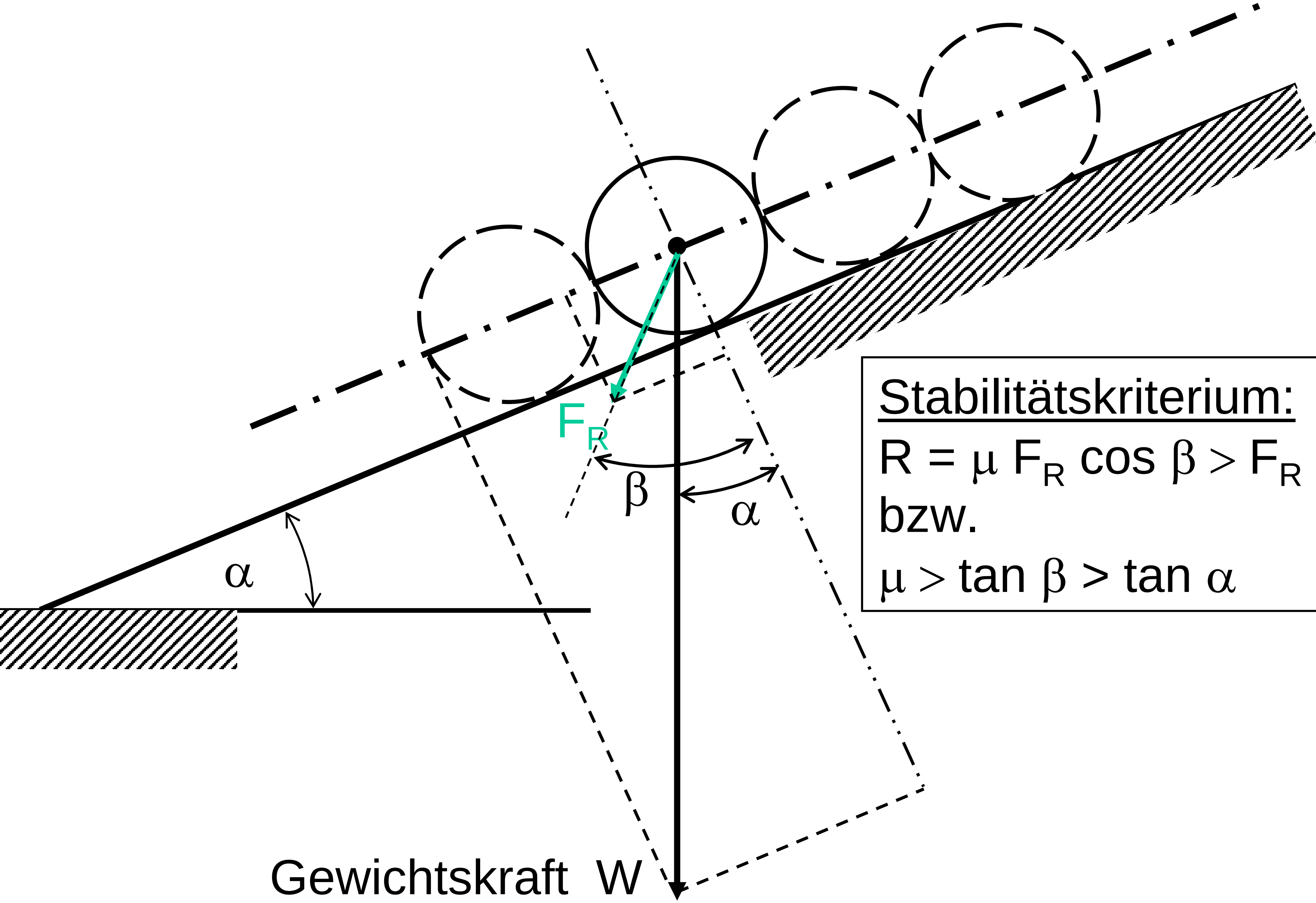
Gewichtskraft W

Der hydrostatische Auftrieb F_A wirkt der Eigengewichtskraft W entgegen.
Da die durch das Wellenbrechen erzeugte Waschbewegung etwa böschungsparallel erfolgt, kann der hydrodynamische Auftrieb als sog. Liftkraft F_L senkrecht dazu angenommen werden.



Die aus W, F_A und F_L gebildete Resultierende F_R hat einen *wesentlich* kleineren Betrag als die Gewichtskraft W (die bei unbenetzter Böschung *ausschließlich* wirksam ist) und weicht von der Vertikalen in Richtung der Falllinie (böschungsabwärts) ab.

Dies hat die Folge, dass die Hangabtriebskraft F_H hier in Relation zur Normalkraft F_N und damit auch zur Reibkraft größer wird. Damit ist die Gleitsicherheit gegenüber der unbenetzten Böschung bei gleichen Reibungsverhältnissen wesentlich geringer !!



Stabilitätskriterium:

$R = \mu\, F_R \cos\beta > F_R \sin\beta$

bzw.

$\mu > \tan\beta > \tan\alpha$

Die Eigengewichtskraft des Körpers ist

$$W = \rho_K \cdot g \cdot V$$

Da die Form von Bruchsteinen (oder Betonformkörpern) unregelmäßig ist, wird das Volumen V in Anlehnung an dasjenige eines Würfels formuliert. Ist die Seitenfläche des Würfels (= Projektionsfläche) A, kann geschrieben werden:

$$V = \left(\sqrt{A}\right)^3 = A^{3/2}$$

Wird die Unregelmäßigkeit durch einen Koeffizienten k_1 berücksichtigt ist

$$\boxed{W = k_1 \cdot \rho_K \cdot g \cdot A^{3/2}} \quad (1)$$

Für die unbekannte Liftkraft, für die eine Abhängigkeit von der *Wellenhöhe H* vorausgesetzt wird, kann ein Ansatz etwa lauten:

$$\boxed{F_L = k_2 \cdot \rho_W \cdot g \cdot H \cdot A} \quad (2)$$

$$(= m \cdot a = p \cdot A)$$

$$\boxed{F_L = k_2 \cdot \rho_W \cdot g \cdot H \cdot A} \quad (2)$$

Darin ist formal $\rho_W \cdot g \cdot H$ die *hydrostatische* Druckspannung an der Oberfläche oder einer Projektionsfläche A des Körpers infolge der Wellenhöhe H.

Mit dem Koeffizienten k_2 wird der tatsächlich *hydrodynamische* Charakter der Kraft berücksichtigt.

Für F_L kann eine Abhängigkeit zur Gewichtskraft W über die in beiden Formulierungen enthaltene Fläche A hergestellt werden.

Aus Gleichung (1): $A = \left(\frac{W}{k_1 \cdot \rho_K \cdot g} \right)^{2/3}$ eingesetzt in (2):

$$F_L = k_2 \cdot \rho_W \cdot g \cdot H \cdot \left(\frac{W}{k_1 \cdot \rho_K \cdot g} \right)^{2/3} = k' \cdot \rho_W \cdot g \cdot H \cdot \left(\frac{W}{\rho_K \cdot g} \right)^{2/3} \quad (3)$$

Die hydrostatische <u>Auftriebskraft</u> ist

$$\boxed{F_A = \rho_W \cdot g \cdot V}$$

und hat eine der Gewichtskraft vergleichbare Struktur.

Hier kann eine Abhängigkeit der Auftriebskraft von der Gewichtskraft W über das in beiden Formulierungen enthaltene Volumen V hergestellt werden:

$$V = \frac{W}{\rho_K \cdot g}$$

$$\boxed{F_A = \frac{\rho_{W}}{\rho_K} \cdot W}$$

<u>Stabilitätsbedingung für das Gleiten auf der Böschung:</u>

Während die Resultierende aus Eigengewichtskraft W und Auftriebskraft $F_A(W)$ Beiträge zur Hangabtriebskraft F_H und zur Normalkraft F_N liefert, vermindert die Liftkraft $F_L(W)$ die Normalkraft, vergl. 17.10

Resultierende aus Eigengewichtskraft W und Auftriebskraft F_A(W):

$$W - F_A = W - \frac{\rho_W}{\rho_K} \cdot W = W \cdot \left(1 - \frac{\rho_W}{\rho_K}\right)$$

Hangabtriebskraft F_H(W):

$$F_H = W \cdot \left(1 - \frac{\rho_W}{\rho_K}\right) \cdot \sin \alpha$$

Normalkraft F_N(W):

(-Liftkraft (3))

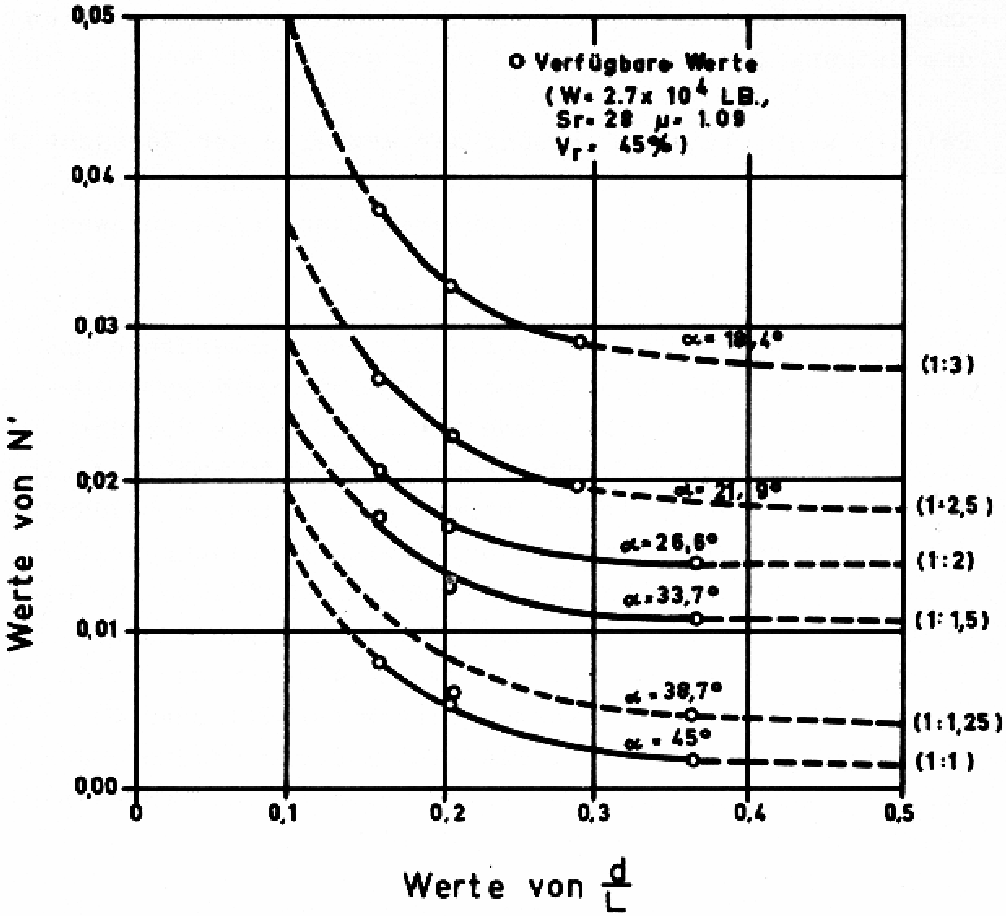
$$F_N = W \cdot \left(1 - \frac{\rho_W}{\rho_K}\right) \cdot \cos \alpha - k' \cdot \rho_W \cdot g \cdot H \cdot \left(\frac{W}{\rho_K \cdot g}\right)^{2/3}$$

Reibkraft $R = \mu \cdot F_N > F_H$:

$$\mu \cdot \left[W \cdot \left(1 - \frac{\rho_W}{\rho_K}\right) \cdot \cos \alpha - k' \cdot \rho_W \cdot g \cdot H \cdot \left(\frac{W}{\rho_K \cdot g}\right)^{2/3} \right] > W \cdot \left(1 - \frac{\rho_W}{\rho_K}\right) \cdot \sin \alpha$$

Erforderliche Gewichtskraft:

$$\boxed{W > \frac{(k')^3 \cdot \mu^3 \cdot \rho_K \cdot g \cdot H^3}{\left(\frac{\rho_K}{\rho_W} - 1\right)^3 \cdot (\mu \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)^3} = \frac{N' \cdot \mu^3 \cdot \rho_K \cdot g \cdot H^3}{\left(\frac{\rho_K}{\rho_W} - 1\right)^3 \cdot (\mu \cdot \cos \alpha - \sin \alpha)^3}}$$

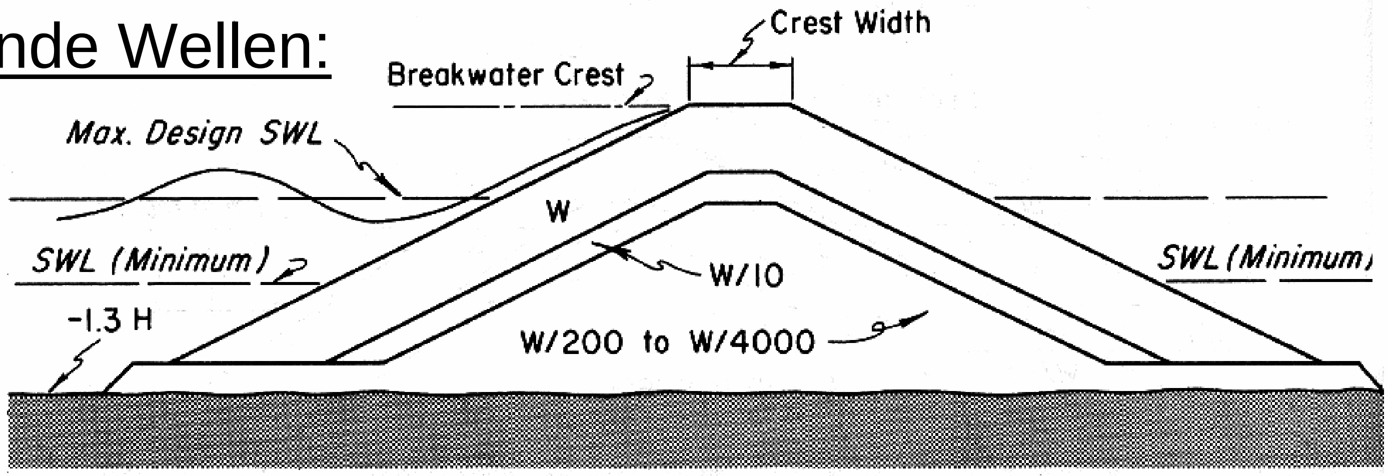


Abhängigkeit des Beiwertes N' vom Verhältnis d/L nach Versuchen von HUDSON. (2)

Hier wird über den Stabilitätsbeiwert N´ einer Abhängigkeit von der Wellenlänge bzw. Periode Rechnung getragen.
Dies ist für den K_D -Wert der heute verwendeten HUDSON-Formel, vergl. 17.07 nicht der Fall !

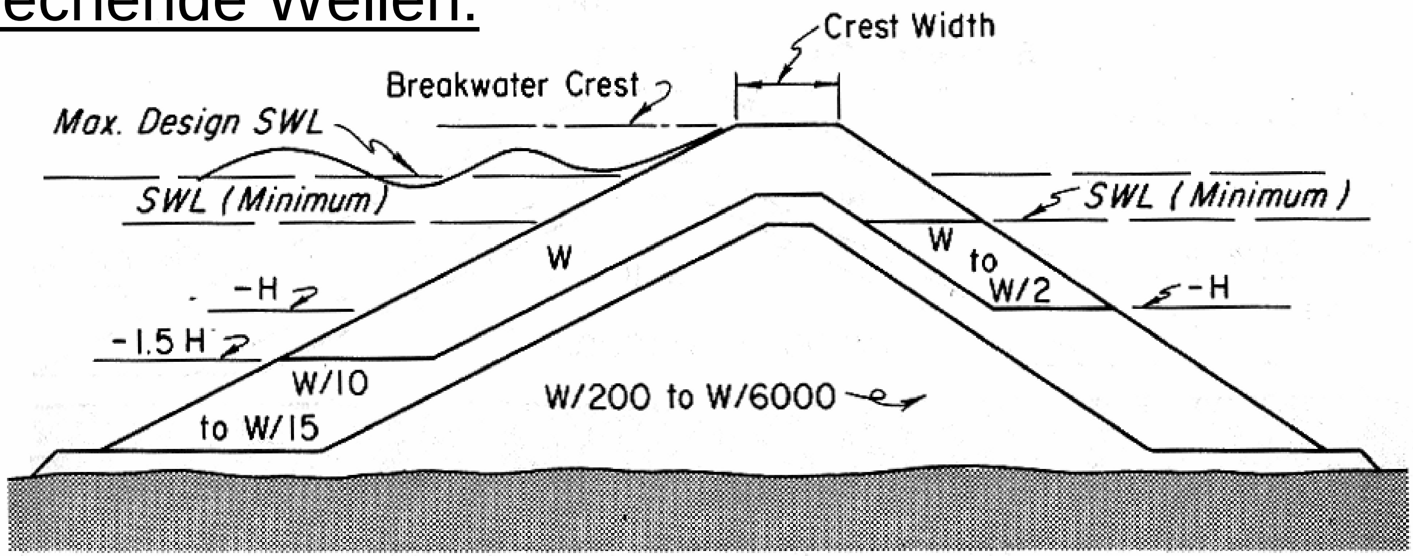
aus: Magens, K.: Seegang und Brandung für Planung und Entwurf im Seebau und Küstenschutz Mitt. d. Franzius-Inst. H.14, 1958.

Brechende Wellen:



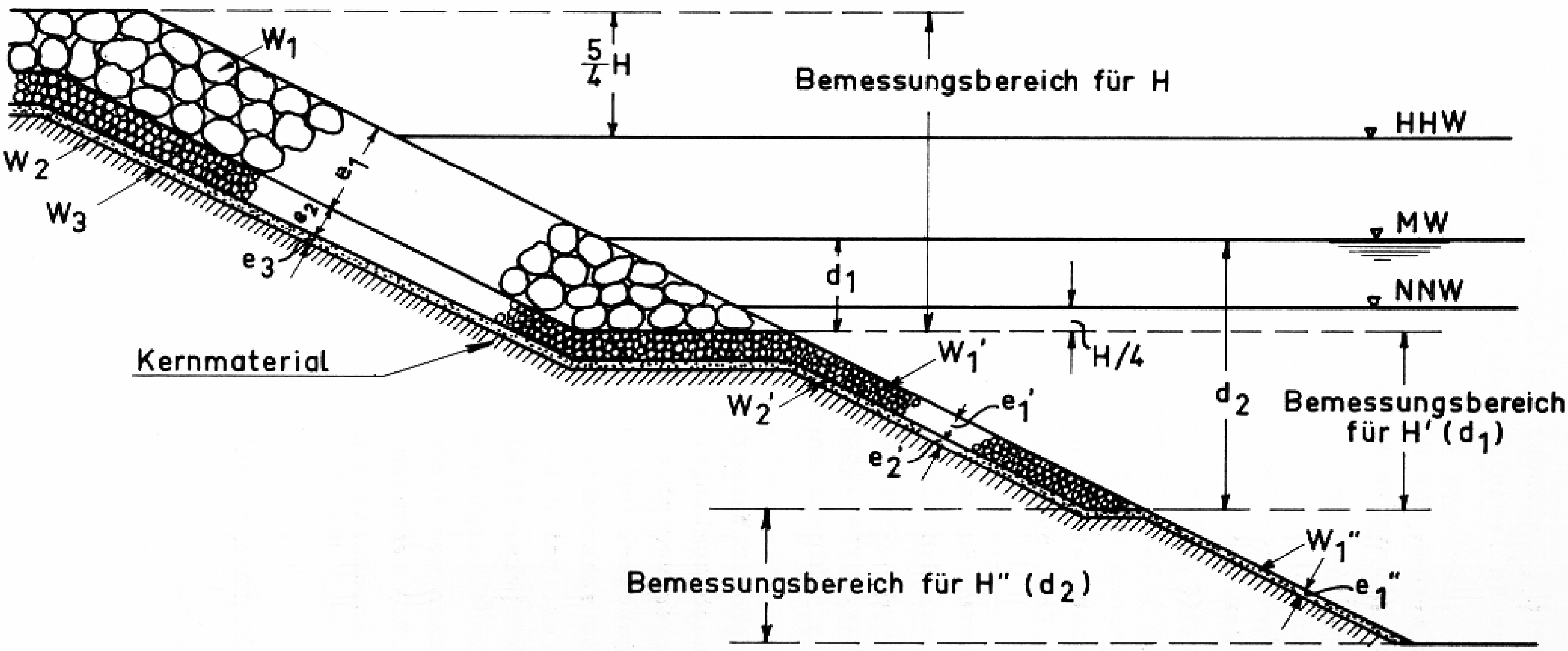
Recommended Three-layer Section

Nicht brechende Wellen:



Recommended Three-layer Section

Quelle: CERC 1977



Ausbildung eines geschütteten Deckwerks nach IRIBARREN.

aus: Magens, K.: Seegang und Brandung für Planung und Entwurf im Seebau und Küstenschutz Mitt. d. Franzius-Inst. H.14, 1958.

Das nach HUDSON / IRIBARREN gefundene Blockgewicht W gilt (nach den zugehörigen Versuchen und den Empfehlungen des CERC) für Standorte mit *brechenden Wellen* sowohl für die gesamte seeseitige Böschung als auch für die gesamte leeseitige Böschung, während bei Bauwerken, an denen Wellen nicht brechen (und die nur selten überströmt werden), in größerer Wassertiefe kleinere Blockgewichte ausreichen, vergl. 17.18.
Nach IRIBARREN sind die berechneten Blockgewichte nur bis zu einer Tiefe NNW -H/4 erforderlich, vergl. 17.19.
Für größere Wassertiefen kann (entsprechend der hier kleineren Orbitalbahnen und -geschwindigkeiten) zur Bestimmung der kleineren Blockgewichte eine kleinere Wellenhöhe H´ in der Formel verwendet werden. Diese ergibt sich entsprechend 17.19 zu:

$$\boxed{H' = \frac{\pi \cdot H^2}{L_0 \cdot \sinh^2 \dfrac{2 \cdot \pi \cdot d_1}{L}}}$$

Aufbau der Deckschichten:

Empfehlung mindestens 3 Blockdicken bei Bruchsteinen oder mindestens 2 Blockdicken bei künstlichen Armierungsblöcken.

Das Kernmaterial muss gegen Ausräumung geschützt werden. Für die Kornabstufung der Schichten gilt die Regel, dass die Korngröße unter jeder 3-lagigen Schicht mindestens 1/3 der Korgröße der darüberliegenden betragen soll. Alle Schichten mit zum Kern hin abnehmenden Korgrößen sollen ebenfalls 3-lagig ausgeführt werden, vergl. 17.19.

Wird die Blockform durch Würfel bzw. Kugeln angenähert, ergibt sich die Kantenlänge bzw. der Durchmesser δ_i (einer Lage) zu :

$$\delta_i = \sqrt[3]{\frac{W_i}{\gamma_K}} \quad \text{(Würfel) bzw.} \quad \delta_i = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot W_i}{\gamma_K \cdot \pi}} \quad \text{(Kugel)}$$

Der Durchmesser der darunterliegenden Kornstufe ist

$$\delta_{i+1} = \frac{1}{3} \cdot \delta_i \quad \text{und das zugehörige Blockgewicht} \quad W_{i+1} = \gamma_K \cdot \delta_{i+1}^3$$