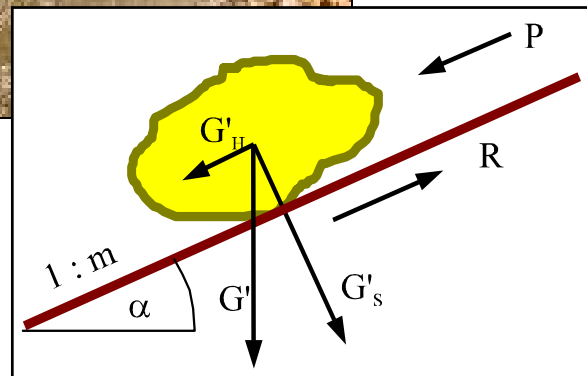




Das Lebensministerium

Stabilität von Wellenschutzschichten aus Bruchsteinmaterial

Bemessung der Steingrößen



Arbeitsblatt 1/2002

Arbeitsblatt 1/2002

Wellenschutzschichten aus Bruchsteinmaterial



Titelbild

Speicher Altenberg

Foto: Landestalsperrenverwaltung

Impressum

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG)

Zur Wetterwarte 11

01109 Dresden

Autoren:

apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Pohl

TU Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

01062 Dresden

Dr.-Ing. Stefan Dornack

LfUG, Referat Trinkwasserversorgung, Abwasserbeseitigung, Wasserbau
(Abschn. 6.2)

Redaktion:

Referat Trinkwasserversorgung, Abwasserbeseitigung, Wasserbau

Redaktionsschluss:

März 2002

Stabilität von
Wellenschutzschichten
aus Bruchsteinmaterial

Bemessung der Steingrößen

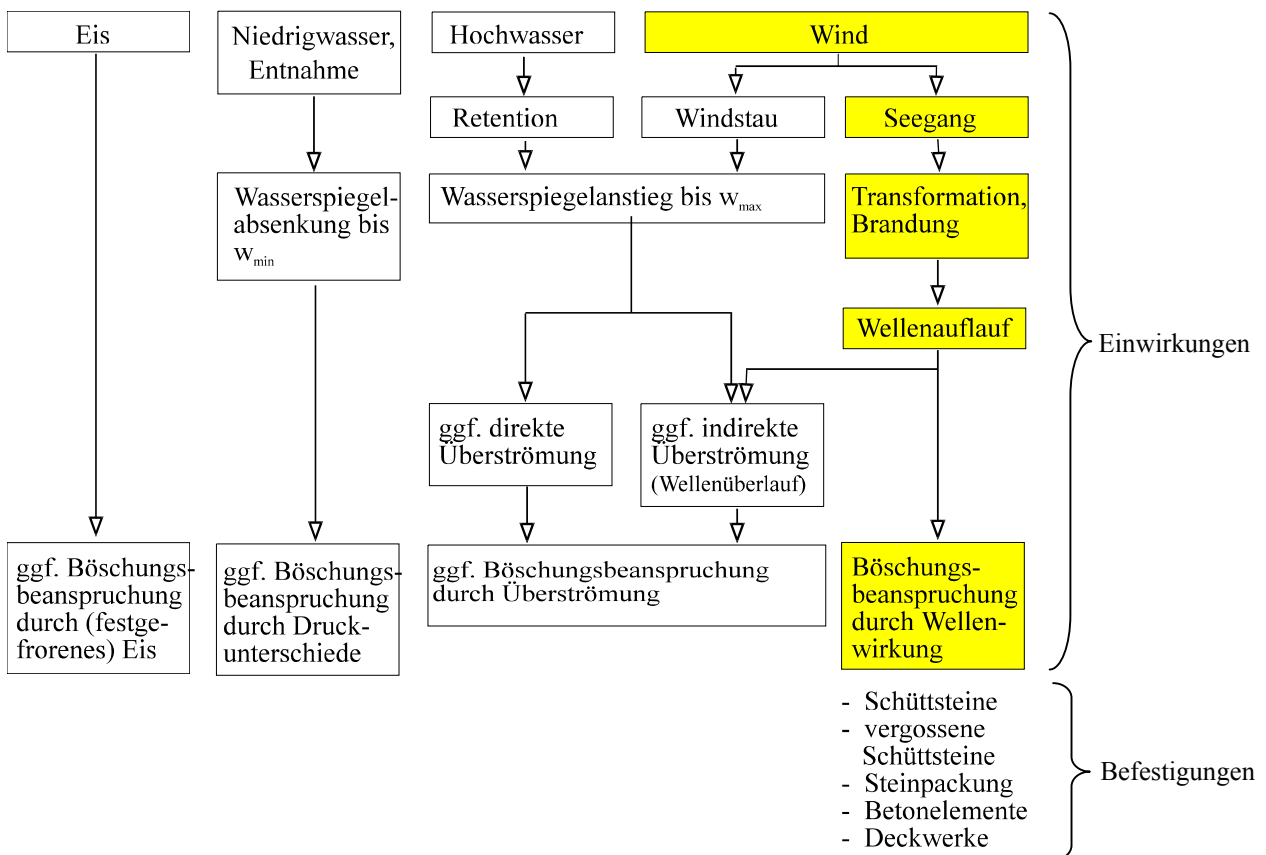
Inhalt

1	EINFÜHRUNG	4
2	ANWENDUNGSBEREICH.....	4
3	SYMBOLE UND FORMELZEICHEN	5
4	ANFORDERUNGEN AN DAS BRUCHSTEINMATERIAL	6
5	EINGANGSGRÖßEN: WELLENKENNWERTE	7
6	DECKSCHICHTBEMESSUNG	7
6.1	GEWICHT DES SCHÜTTSTEINES IN DER DECKLAGE	7
6.2	AUSWAHL DES BRUCHSTEINMATERIALS.....	9
6.3	DECKSCHICHTDICKE	9
6.4	BEFESTIGUNGSGRENZEN.....	10
7	SCHRIFTTUM UND VERWEISUNGEN	11
8	ANLAGE 1 GRÖßENKLASSEN UND KORNVERTEILUNG FÜR WASSERBAUSTEINE.....	13
9	ANLAGE 2 BEISPIEL.....	15

1 Einführung

Das vorliegende Arbeitsblatt dient zur Ermittlung der erforderlichen Steingrößen oder -massen für Böschungsbefestigungen aus geschütteten oder gesetzten Bruchsteinen, die durch Windwellen beansprucht werden (Wellenschutzschichten). Die Stabilität der Böschungsbefestigung gegenüber anderen Einwirkungen und die Standsicherheit der Böschungen müssen gesondert nachgewiesen werden.

Die hier behandelten Böschungsbeanspruchungen sind in der nachfolgenden Darstellung möglicher Einwirkungen farblich hinterlegt.



Grundlage des Arbeitsblattes sind die Ergebnisse des Forschungsvorhabens: Berechnungsansätze zur Ermittlung der Überflutungssicherheit sächsischer Talsperren, Teil 2: „**Bemessungsverfahren für Wellenschutzschichten an Talsperrendämmen**“ (Pohl, 1996).

2 Anwendungsbereich

Das vorliegende Arbeitsblatt gilt für Staudämme von Stauanlagen im Sinne der DIN 19700 Teil 10 sowie für durch Windwellen beanspruchte Uferbereiche von stehenden Binnengewässern.

3 Symbole und Formelzeichen

verwendete (übliche) Symbole	Symbol DVWK-Mbl. 246	Symbol DIN 4044, 4048, 4049	Einheit	Bedeutung	Herkunft des Wertes
A	-	-	-	Krümmungsverbundwert	aus Versuchen: A = 0,4 für Bruchsteine
b _S	-	-	m	Mittlere Steinbreite	Mittelwert der bei etwa l _S /2 gemessenen größten und kleinsten Steinabmessung (Breite) senkrecht zu l _S
d _S	-	d _n	m	Nomineller Steindurchmesser in Anlehnung an eine volumengleiche Kugel der erforderlichen Masse	Gleichung (3)
g	-	-	m/s ²	Erdbeschleunigung	Konstante
h	d	h _d	m	Wassertiefe	Messung, Planung
H	h _{We}	H (4049) h _{We}	m	Wellenhöhe, vertikal gemessener Höhenunterschied zwischen Wellenberg und Wellental	Seegangsprognose oder Naturmessungen
\bar{H}	\bar{h}_{We}	-	m	mittlere Wellenhöhe	Seegangsprognose oder Naturmessungen
H _{1/3}	H _{1/3}	-	m	mittlere Wellenhöhe des höchsten Drittels unregelmäßiger Wellen	Seegangsprognose oder Naturmessungen
H _S	H _S	-	m	signifikante Wellenhöhe	Seegangsprognose oder Naturmessungen, Wellenspektrum H _S ≈ H _{1/3} ≈ 1,6 · \bar{H}
K _S	-	-		Schluckfähigkeitsbeiwert	aus Versuchen (s. Abschn. 6.1)
K ₀	-	-		Strukturbeiwert, abhängig von Steinform und Herstellungstechnologie der Schüttung	form- und materialspezifisch, aus Versuchen: K ₀ = 3,5 für Bruchsteine
L	l _{We}	L (4049) l _{We}	m	Wellenlänge, horizontale Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen (oder -tälern)	Berechnung aus gemessener oder berechneter Wellenperiode bzw. -geschwindigkeit, seltener aus Messungen (z.B. Luftbildern)
\bar{L}	\bar{l}_{We}	-	m	mittlere Wellenlänge	Seegangsprognose oder Naturmessungen
l _S	-	-	m	Steinlänge, größte Abmessung eines Bruchsteins	Messung, überschläglich nach Gl. (4)
s _D	-	-	m	Dicke der Schutzschicht senkrecht zur Böschungsoberfläche	Bauwerksabmessungen oder Projekt, Gl. (6)

verwendete (übliche) Symbole	Symbol DVWK-Mbl. 246	Symbol DIN 4044, 4048, 4049	Einheit	Bedeutung	Herkunft des Wertes
t_D	-	-	s	Einwirkungszeit der Wellen	Prognose oder Messung, Gl. (1)
T	T_{We}	T (4049) T_{We}	s	Wellenperiode, zeitlicher Abstand des Durchganges zweier aufeinanderfolgender Wellenberge (oder -täler)	Seegangsprognose oder Naturmessungen
\bar{T}	\bar{T}_{We}	-	s	mittlere Wellenperiode	Seegangsprognose oder Naturmessungen
T_P	-	-	s	Peakperiode, Wellenperiode mit der höchsten Energiedichte	Wellenspektrum, $T_P \approx 1,1 \cdot \bar{T}$
V	-	-	%	Verlustrate	Vorgabe, Ergebnis aus Modellversuchen (s. Abschn. 6.1)
α	α		°	Böschungswinkel gegen die Horizontale $m = \cot \alpha$	Bauwerksabmessungen oder Projekt
α_{gr}	-		°	Grenzwinkel für die Lagestabilität der Schutzschicht ohne Wellenangriff	$\alpha_{gr} = 52^\circ \cdot V^{0,115}$ verlustabhängiger Grenzneigungswinkel (mit V in %)
ρ_S	-	ρ_S	kg/m ³	Reindichte des Schüttmaterials	Stoffkonstante
ρ	-	ρ	kg/m ³	Dichte des Wassers	Stoffkonstante

4 Anforderungen an das Bruchsteinmaterial

Die für den Aufbau der Deckschicht vorgesehenen Steine müssen witterungsbeständig sein (z.B. sicher gegen Frost, Insolation, Lösung und mechanische sowie chemische Einwirkungen). Sie dürfen die Gewässergüte nicht beeinträchtigen, sollten eine hohe Dichte besitzen und kubisch sein. Bei der Materialauswahl sollen die Hinweise der Technischen Lieferbedingungen für Wasserbausteine (TLW 1997) berücksichtigt werden.

Nach den Filterregeln (z.B. in WAPRO 3.04 / 06., 1985 und SCHAEF 1995) müssen die zwischen der Schutzschicht (Deckschicht) und der eigentlichen Dammschüttung (Basismaterial) liegenden Schichten so bemessen werden, dass eine ausreichende Durchlässigkeit (Schluckfähigkeit), eine ausreichende Sicherheit gegen Suffosion und Kontakterosion sowie möglichst keine Kolmationsneigung vorhanden sind.

Der Einbau des Bruchsteinmaterials auf der Böschung soll von unten nach oben erfolgen. Insbesondere bei steilen Böschungen ist eine Fußsicherung vorzusehen.

5 Eingangsgößen: Wellenkennwerte

Die Kennwerte der an der zu untersuchenden Stelle maßgebenden Welle müssen als Eingangswerte der Berechnung bekannt sein. Die Bestimmung der Wellenkennwerte (Wellenhöhe und Wellenperiode bzw. -länge) kann aus Messungen oder Vorhersagen bzw. Nachrechnungen erfolgen (vgl. *DVWK-Merkblatt Freibordbemessung 1996*).

Gegebenenfalls müssen Transformation, Refraktion und Diffraktion der Wellen berücksichtigt werden.

Die Einwirkzeit t_D des durch die signifikante Wellenhöhe $H_S \approx H_{1/3}$ und die Wellenperiode T_P beschriebenen Seeganges wird (wie auch die Windgeschwindigkeit für die Seegangsberechnung) für die jeweilige Ortslage einem meteorologischen Gutachten entnommen.

Wenn ein solches Gutachten nicht zur Verfügung steht, kann für die Einwirkzeit t_D hilfsweise ein Wert angenommen werden, der nicht unter einer Stunde liegt. Für die Bemessung gebräuchlich ist

$$3600 \text{ s} \leq t_D \leq 3000 T_P. \quad (1)$$

6 Deckschichtbemessung

6.1 Gewicht des Schüttsteines in der Decklage

Mit Gl. (2) kann das erforderliche Steingewicht G des Einzelsteines einer durch Wellen belasteten Deckschicht ermittelt werden:

$$\frac{G}{H_S^3} = \underbrace{1}_{\substack{\text{Steinform,} \\ \text{Schluckfähigkeit}}} \cdot \underbrace{1}_{\text{Verluste}} \cdot \underbrace{\frac{\rho_S \cdot g}{\left(\frac{\rho_S}{\rho} - 1\right)^3}}_{\text{Dichteverhältnis}} \cdot \underbrace{\left(\frac{\bar{L}}{H}\right)^4}_{\substack{\text{Wellen-} \\ \text{steilheit} \\ \leq 1}} \cdot \underbrace{\frac{\tan \alpha}{\tanh^3\left(6 - \frac{6 \cdot \alpha}{\alpha_{gr}}\right)}}_{\text{Böschungsneigung}} \cdot \underbrace{\frac{1}{\left(1 - \frac{A \cdot d_S}{R}\right)^3}}_{\text{Krümmung}} \cdot \underbrace{\left[\frac{\ln\left(1 + \frac{t_D}{T_P}\right)}{5,5}\right]^3}_{\text{Belastungsdauer}} \quad (2)$$

Bei im Grundriss gekrümmten Dammbauwerken oder Uferbefestigungen ($R \neq 0$) muss der Steindurchmesser d_S zunächst geschätzt werden (s.a. Gl. (3)).

Nach Versuchsergebnissen von WAGNER 1996 gilt für das untersuchte Bruchsteinmaterial:

$K_0 = 3,5$	Strukturbeiwert
$K_S = 1$	für eine zweilagige Deckschicht auf einem Erdstofffilter und durchlässigen Baukörper (K_S dreilagig $\approx 1,1$)
$K_S = 0,6$	für eine zweilagige Deckschicht auf einer undurchlässigen, nicht schluckfähigen Unterlage (K_S dreilagig $\approx 0,7$)
$A = 0,4$	Krümmungsverbundwert
$\alpha_{gr} = 52^\circ \cdot V^{0,115}$	verlustabhängiger Neigungswinkel (mit V in %, also z.B. V = 2 für 2% zugelassener Verlustanteil)

Es wird empfohlen, die Bemessung mit einem Risikoansatz von V = 2 % durchzuführen. Für V > 9 % besteht durch Versagen der Deckschicht Gefahr, dass das ganze Bauwerk zerstört wird. Für die Anwendung der Gleichung (2) gilt weiterhin:

$$H_S = 1,6 \cdot \bar{H}$$

$$T_P = 1,1 \cdot \bar{T}$$

$$\frac{\left(\frac{\bar{L}}{\bar{H}}\right)^{\frac{3}{4}}}{12,82} \leq 1$$

Für Steilheiten $\bar{H}/\bar{L} \leq 1/30$ wird der Term für die Wellensteilheit zu eins gesetzt.

$$\frac{\tan \alpha}{\tanh^3\left(6 - \frac{6 \cdot \alpha}{\alpha_{gr}}\right)}$$

Der Nenner des Koeffizienten für die Böschungsneigung kann bei Natursteinen und flacheren Böschungen als 1:1,5 sowie einer dreilagigen Schutzschicht zu eins gesetzt werden. Steilere Winkel als der Grenzwinkel α_{gr} sind auch ohne Wellenbelastung nicht standsicher.

Der Einfluss der Krümmung der Dammachse im Grundriss hat für nur wenige Anwendungsfälle im Talsperrenbau Bedeutung, da der zugehörige Koeffizient für große Radien R nach eins strebt. Lediglich für konvexe Dammbereiche (z.B. an Mittelbauwerken) muss dieser Einfluss berücksichtigt werden.

Wenn die empfohlenen oder Standardwerte benutzt werden ($K_0 = 3,5$; gerade Dammachse oder gerades Ufer; $H_S = 1,6 \cdot \bar{H}$; V = 2 %; $\tan \alpha < 1/1,5$), vereinfacht sich die Gleichung (2) wie folgt:

$$\frac{G}{\bar{H}^3} = \frac{0,605}{K_S} \cdot \frac{\rho_s \cdot g}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)^3} \cdot \frac{\left(\frac{\bar{L}}{\bar{H}}\right)^{\frac{3}{4}}}{12,82} \cdot \tan \alpha \cdot \left[\frac{\ln\left(1 + \frac{t_D}{T_P}\right)}{5,5} \right]^3 \quad (2a)$$

$$\frac{G}{\bar{H}^3} = \frac{2,836 \cdot 10^{-4}}{K_S} \cdot \frac{\rho_s \cdot g \cdot \tan \alpha}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)^3} \cdot \left(\frac{\bar{L}}{\bar{H}}\right)^{\frac{3}{4}} \cdot \left[\ln\left(1 + \frac{t_D}{T_P}\right) \right]^3 \quad (2b)$$

6.2 Auswahl des Bruchsteinmaterials

Die Auswahl des Bruchsteinmaterials kann entsprechend dem Ergebnis von Gl. (2) nach dem erforderlichen Steingewicht erfolgen. Die in Abschnitt 4 geforderten Materialeigenschaften sind zu gewährleisten.

Aus wirtschaftlichen Gründen erfolgt die Auswahl des Bruchsteinmaterials oft nach den Größenklassen für Wasserbausteine (TLW; Anlage 1).

Hierfür ist zunächst der erforderliche, dem Gewicht entsprechende Steindurchmesser d_S (Durchmesser einer gleich schweren Kugel) zu bestimmen:

$$d_S = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} \cdot \frac{G}{\rho_S \cdot g}} \quad (3)$$

Für die Materialauswahl ist der Steindurchmesser d_S in die größte Steinlänge l_S der unregelmäßigen Bruchsteine umzurechnen. Die Steinlänge kann unter Beachtung der Steinformen des verfügbaren Bruchsteinmaterials überschläglich bestimmt werden zu

$$l_S = 1,3 \dots 1,6 \cdot d_S \quad (1,3 \text{ für runde, } 1,6 \text{ für längliche Steinform}) \quad (4)$$

(s. Tab. A1.2 in Anlage 1). Für den Einbau einer Wellenschutzschicht als mehrlagige Steinschüttung (vgl. DIN 4047-5 Pkt. 3.2.11, Ausgabe 03/1989) wird zumeist abgestuftes Material entsprechend den Schüttsteinklassen nach TLW bzw. Anlage 1 verwendet ($U > 1$). Die nach Gl. (4) berechnete Steinlänge l_S entspricht hier der Länge $l_{S,50}$ der Kornverteilungslinie (von 50 Masseprozent der Steine unterschritten). Es ist die nächst größere Standardgrößenklasse nach TLW zu wählen, für die gilt:

$$l_S \text{ berechnet} \leq l_{S,50} \text{ gewählte Standardgrößenklasse} \quad (5)$$

Wegen der Auswirkung auf die Schichtdicke des Deckwerks kann es aus wirtschaftlichen Gründen sinnvoll sein, die Möglichkeit des Einsatzes von Zwischenklassen zu prüfen.

Einlagige Schutzschichten sind als Setzpack (vgl. DIN 4047-5 Pkt. 3.2.12, Ausgabe 03/1989) aus Bruchsteinen annähernd gleicher Größe ($U \approx 1$) einzubauen. Die Größe der Bruchsteine soll die nach Gl. (3) und (4) berechnete Steinlänge l_S nicht unterschreiten.

6.3 Deckschichtdicke

Aus Gründen der Standsicherheit, der Verlustkompensation, der Schluckfähigkeit und der Wirtschaftlichkeit sollten Schutzschichten aus Schüttsteinen dreilagig ausgeführt werden.

Die Mindestschüttdicke von Schutzschichten aus ungleichförmigem Material (z.B. Schüttsteinklassen nach den TLW mit $U \approx 1,9 \dots 2,7$) erhält man somit näherungsweise zu:

$$s_D \geq 2,5 \cdot l_{S,50} \quad (6)$$

mit $l_{S,50}$ der gewählten Schüttsteinklasse.

Gleichung (6) gilt auch für Steinschüttungen aus gleichförmigem Material ($U \approx 1$).

6.4 Befestigungsgrenzen

Die obere Befestigungsgrenze ist die Dammkrone.

Die untere Befestigungsgrenze für das nach Gl. (2) hinsichtlich seiner Steingröße berechneten Materials liegt um den empirisch ermittelten Höhenbetrag h_b unter dem maßgebenden Wasserspiegel:

$$h_b \approx 1,5 \cdot H_S \quad (7)$$

Im Einzelfall sollte geprüft werden, ob die Verwendung unterschiedlicher Steingrößen oder Steinklassen auf verschiedenen Böschungshöhen wirtschaftlich ist. Die Größe der auf der Böschung weiter unten liegenden Befestigungssteine kann erhalten werden, wenn die Wellenkennwertbestimmung für einen geringeren Beckenwasserstand (z.B. $h - h_b$) erfolgt. Weil sich für diesen Wasserstand kleinere Wellenabmessungen ergeben, werden auch die Steingewichte kleiner sein.

Für die weitere Abstufung kann die Berechnung mit den Gleichungen (2), (3), (4) und (6) mehrmals wiederholt werden.

Bei der Festlegung der Steingröße und der Befestigungsgrenzen ist die Stabilität der Deckschicht gegenüber anderen Lastfällen (z.B. Eis, vgl. Abschnitt 1) zu berücksichtigen.

7 Schrifttum und Verweisungen

DIN 4044 Hydromechanik im Wasserbau, Begriffe 07/1980

DIN 4048 Wasserbau Begriffe, Teil 1 Stauanlagen, 01/1987

DIN 4049 Hydrologie, Teil 1 Begriffe quantitativ, 09/1979

DIN 19700 Stauanlagen, Teil 10, Gemeinsame Festlegungen E 2001

DIN 19700 Stauanlagen, Teil 11, Talsperren E 2001

DIN 52102 Prüfung von Natursteinen und Gesteinskörnungen; Bestimmung von Dichtigkeitsgrad und Gesamtporosität, Dichte, Trockenrohddichte,

DIN 52103 Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen; Bestimmung von Wasseraufnahme und Sättigungswert DIN 52105; Prüfung von Naturstein; Druckversuch

DIN 52106 Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen; Untersuchungsverfahren zur Beurteilung der Verwitterungsbeständigkeit

DVWK Merkblatt 246/1997: Freibordbemessung an Stauanlagen.

TECHNISCHE LIEFERBEDINGUNGEN FÜR WASSERBAUSTEINE TLW Ausgabe 1997, Drucksachenstelle bei der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte, Am Waterlooplatz 5, 30169 Hannover

WAPRO 3.04 / 06. Lastannahmen im Wasserbau. Belastung durch Windwellen. Böschungsbefestigungen. Werkstandard des VEB Kombinat Wassertechnik und Projektierung Wasserwirtschaft, 1985

DORNACK, S.: Überströmbare Dämme - Beitrag zur Bemessung von Deckwerken aus Bruchsteinen. - In: Dresdner wasserbauliche Mitteilungen 20/2001

HANSEN, U.: Wasserbausteine im Deckwerksbau. Bemessung und Konstruktion. Westholsteinische Verlagsanstalt Boyers & Co., Heide 1985

HASSINGER, R.: Beitrag zur Hydraulik und Bemessung von Blocksteinrampen in flexibler Bauweise. Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, H. 74, Universität Stuttgart, Stuttgart 1991

KNAUSS, J.: Flachgeneigte Abstürze, glatte und rauhe Sohlrampen. Bericht Nr. 41 der Versuchsanstalt für Wasserbau der Technischen Universität München. München / Obernach 1979

KNIEß, H.-G.: Bemessung von Schüttsteindeckwerken im Verkehrswasserbau - Teil 1: lose Steinschüttungen. Mitteilungsblatt Nr. 42 der Bundesanstalt für Wasserbau, 1977

KOBUS, H.; WESTRICH, B.; HASSINGER, R.: Hydraulische Gestaltung von Hochwasserentlastungsanlagen. Teil 4: Bemessungsgrundlagen für Dammscharten und Flutmulden. Gutachten 86 / 37 im Auftrag des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg, Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, Stuttgart 1986 (unveröffentlicht)

PLATZER, G.: Die Hydraulik der breiten Blocksteinrampe (Rampenneigung 1:10) - eine Bemessungsgrundlage. Bundesanstalt für Wasserbauversuche und hydrometrische Prüfung, Wien 1983

POHL, R: Berechnungsansätze zur Ermittlung der Überflutungssicherheit sächsischer Talsperren, Teil 2 „Bemessungsverfahren für Wellenschutzschichten an Talsperrendämmen“, TU Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, 1996 (Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie)

SCHAEF, H.-J.: Örtliche Standsicherheit (Suffosion und Erosion) bei Sickerwasserströmungen. Erläuterungen zum Bodenmechanischen Arbeitsblatt 4.4 der ehemaligen Obersten Bergbehörde Leipzig.- In: Veröffentlichungen des Institutes für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg (1995)2

WAGNER, H: Bemessung von Steingrößen in geschütteten Deckwerken. - In: Dresdner wasserbauliche Mitteilungen 09/1996, S. 177-198

WHITTAKER, J.; JÄGGI, M.: Blockschwellen. - Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Heft 91, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich 1986

8 Anlage 1 Größenklassen und Kornverteilung für Wasserbausteine

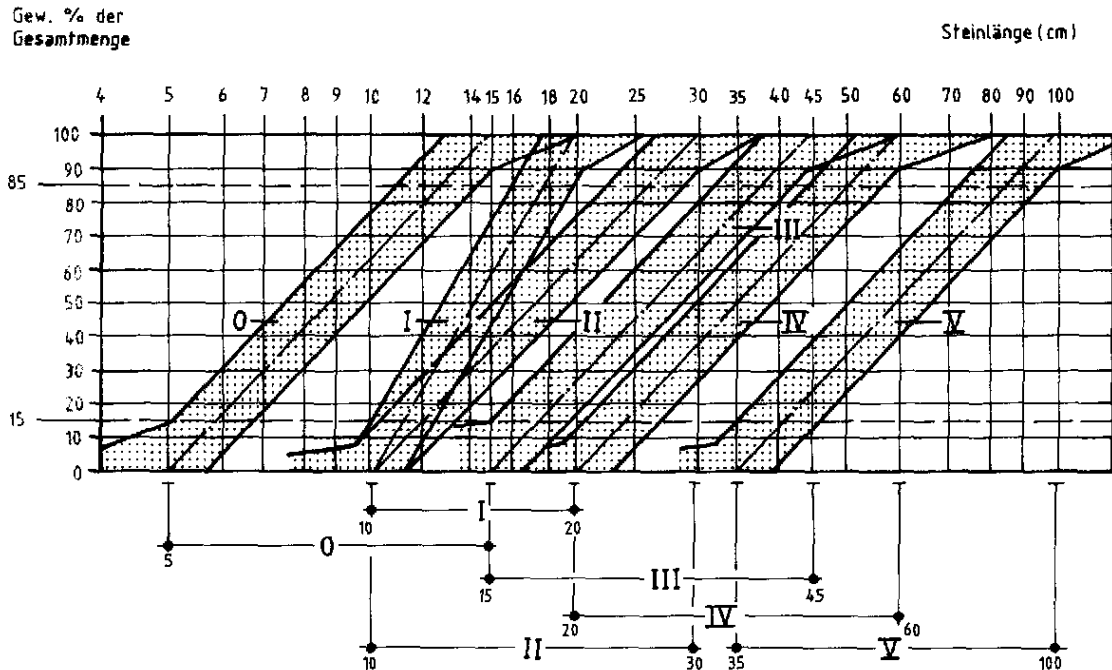


Bild A1.1: Kornverteilungsbänder der Schüttsteinklassen 0 - V nach den TLW (BAW - Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen)

Klasse	l_s [cm]	$U = l_{s60} / l_{s10}$ [-]	Korngrößen l_s [cm]				Schüttstärke [cm] $s_D = 2,5 \cdot l_{s50}$ (Gl. (6))
			l_{s15}	l_{s50}	l_{s85}	l_{s100}	
0	5 - 15	2,4	5	10	15	17	25
I	10 - 20	1,9	10	15	20	22	40
II	10 - 30	2,6	10	20	30	33	50
III	15 - 45	2,7	15	30	45	50	75
IV	20 - 60	2,5	20	40	60	65	100
V	35 - 100	2,1	35	50	100	110	125

Tabelle A1.1: Kenngrößen der Schüttsteinklassen (nach Hansen 1985)

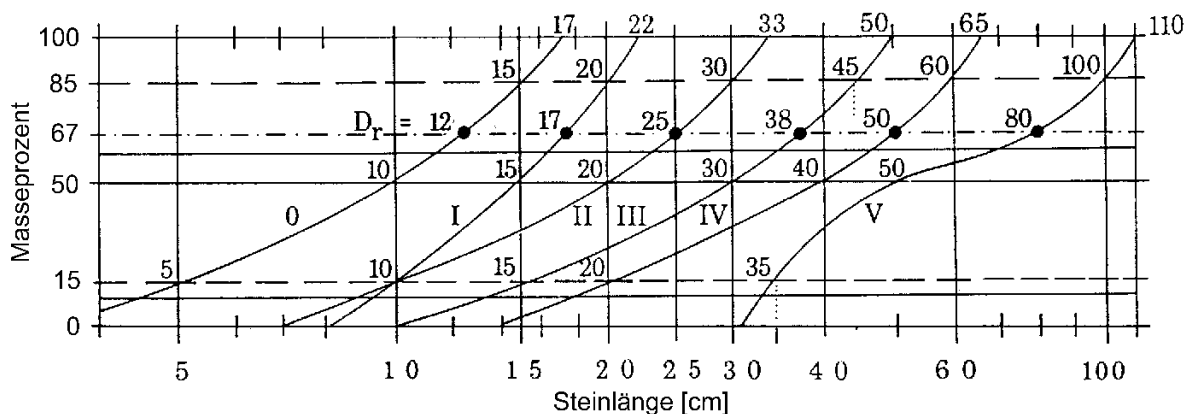


Bild A1.2: Empfohlene Kornverteilungen der Schüttsteinklassen 0 - V (aus Hansen 1985)

Dornack 2001	$l_s = 1,34 \cdot d_s$
	$l_s = 1,61 \cdot b_s$
Hassinger 1991	$l_s = 1,57 \cdot d_s$
	$l_s = 1,82 \cdot b_s$
Whittaker/Jäggi 1986	$l_s = 1,48 \cdot d_s$
	$l_s = 1,58 \cdot b_s$
Kobus et al. 1986	$l_s = 1,59 \cdot d_s$
Platzer 1983	$l_s = 1,51 \cdot d_s$
Knieß 1983	$l_s = 1,29 \cdot d_s$
Knauss 1979 (nur theoretisch)	$l_s = 1,5 \cdot d_s$

Tabelle A1.2 : Steinformen von in Modellversuchen verwendeten Bruchsteinen
(mittlere Werte)

9 Anlage 2 Beispiel

Für eine dreilagige Wellenschutzschicht sollen die Schüttsteine dimensioniert werden.
Gegeben ist:

<u>Wellenkennwerte:</u>	$\bar{H} = 0,3 \text{ m}$	$H_S \approx H_{1/3} \approx 1,6 \cdot \bar{H} = 0,48 \text{ m}$
	$\bar{T} = 1,82 \text{ s}$	$T_P \approx 1,1 \cdot \bar{T} = 2 \text{ s}$
	$\bar{L} \approx 5,17 \text{ m}$	$t_D = 1,5 \text{ h}$
<u>Damm und Deckwerk:</u>	$\tan \alpha = 1 : 2$	$\alpha = 26,57^\circ$ *)
	$R \rightarrow \infty$ *)	(gerade Achse, gerechnet mit $R = 10.000 \text{ m}$)
	$K_0 = 3,5$ *)	Strukturbeiwert
	$K_S = 1,1$	für dreilagige Deckschicht auf Erdstofffilter und durchlässigen Baukörper
	$A = 0,4$ *)	Krümmungsverbundwert
	$\alpha_{gr} = 52^\circ \cdot V^{0,115}$ *)	verlustabhängiger Neigungswinkel ($V = 2$)
	$\rho_S = 2.650 \text{ kg/m}^3$	
	$\rho_W = 1.000 \text{ kg/m}^3$	

*) Werte sind für die Berechnung mit der vereinfachten Gleichung (2b) nicht erforderlich.

Steingewicht und Durchmesser nach Gl. (2) und (3):

$$G = 85 \text{ N} \qquad d_S = 0,18 \text{ m}$$

Steingröße zur Auswahl der Steinklasse (Gl. (4)): $l_S = 1,3 \dots 1,6 \cdot d_S = 0,24 \dots 0,29 \text{ m} = l_{S50}$

Nach Anlage 1 ist die Schüttsteinklasse III ($l_{S50} = 30 \text{ cm}$) zu verwenden. ¹⁾

Schichtdicke nach Gl. (6) mit $l_{S,50} = 0,30 \text{ m}$ (Schüttsteinklasse III):

$$s_D = 0,75 \text{ m}$$

Untere Befestigungsgrenze nach Gl. (7):

$$h_b = 0,72 \text{ m}$$

Ein Vergleich des maßgebenden Steingewichtes für unterschiedliche Einwirkzeiten t_D verdeutlicht den Einfluss der Belastungsdauer. Die Abweichung der Ergebnisse der Gleichungen (2) und (2b) liegt in der Größenordnung von etwa 1%.

	$t_D = 1 \text{ h}$	$t_D = 1,5 \text{ h}$
G [N] Gl. (2)	72,5	84,9
G [N] Gl. (2b) vereinfacht	71,7	84,0

¹⁾ Alternativ wäre die Verwendung gleichförmigen Materials mit einem Gewicht des Einzelsteines von $G = 85 \text{ N}$ und der Einbau der Deckschicht als einlagiger Setzpack (vgl. 6.2) zu untersuchen.