



BAW-Brief Nr. 2 - November 2005

583 – G

Zur Handhabung der neuen Norm DIN EN 13383 für Wasserbausteine und deren Umsetzung in einer Steinbemessung

1 Einleitung

Seit 2002 gilt die europäische Norm DIN EN 13383 „Wasserbausteine“ [1]. Sie besteht aus den beiden Teilen „Teil 1: Anforderungen“ von August 2002 und „Teil 2: Prüfverfahren“ von Juli 2002. Hiermit sind erstmals in Deutschland die Anforderungen an Wasserbausteine normativ geregelt.

Die DIN EN 13383 ist als deutsche Norm anzuwenden und dementsprechend auch in den deutschen Regelwerken zu berücksichtigen. Als wesentlicher Schritt hierzu wurden die „Technischen Lieferbedingungen Wasserbausteine (TLW)“ überarbeitet und zum April 2004 als „TLW 2003“ in der WSV eingeführt; sie ersetzt die Ausgabe „TLW 1997“.

Als wesentliche Änderung gegenüber den früheren Regelungen der TLW 1997 wurden mit den neuen Regelwerken neue Größen- und Gewichtsklassen eingeführt. Weitere Neuerungen sind in [3] erläutert.

Nachfolgend werden die ersten Erfahrungen mit den Größenklassen wiedergegeben und darauf aufbauend Empfehlungen für deren Anwendung gegeben.

Zeitgleich zur neuen TLW sind mit den „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB)“ [5] erstmals Bemessungsregeln für Deckschichten mit Wasserbausteinen erschienen. Der vorliegende BAW-Brief geht darauf ein, wie ein berechneter Bemessungswert in eine Steinklasse entsprechend der neuen Normung umgesetzt werden kann.

2 Anpassung der Steinklassen

2.1 Klassifizierungsmerkmale

Für die Ausschreibung von Wasserbausteinen galt bis zum April 2004 (Einführung der TLW 2003) in Deutschland die Klassifizierung der TLW 1997. Das Klassifizierungsmerkmal der TLW 1997 ist die größte Steinlänge, die europäisch mit L, nachfolgend als D_{TLW97} (Steinlänge nach TLW 1997) bezeichnet wird. D_{TLW97} wird über Ausmessen des Wasserbausteins über die größte Steinlänge (größte Diagonale durch den Stein) ermittelt, wie es in Bild 1 dargestellt ist.



Bild 1: Größte Steinlänge D_{TLW97}

Anhand des D_{TLW97} wurden in der TLW 1997 die Steinklassen festgelegt. Tabelle 1 zeigt die Einteilung für die üblicherweise in Deckschichten eingebauten Steinklassen II – IV. Es war jeweils ein Unterkorn von 15 % und ein Überkorn von 10 % zugelassen. Die maximale Steingröße durfte das 1,3-fache der oberen Klassengrenze nicht überschreiten.

Klasse	D_{TLW97} [cm]
II	10 – 30
III	15 – 45
IV	20 – 60

Tabelle 1: Steingrößen nach TLW 1997

Für diese seit langen Jahren existierenden Klassen liegen umfangreiche Erfahrungen für die verschiedenen Einsatzgebiete an den Wasserstraßen vor.

Mit Erscheinen der neuen DIN EN 13383 wurde es erforderlich, die Technischen Lieferbedingungen für Wasserbausteine (TLW) anzupassen. Die bedeutendste Änderung war dabei in der Definition der Steinklassen vorzunehmen. Die EN 13383 beinhaltet die drei verschiedenen Grundklassen

- Größenklassen CP (Coarse Particles),
- leichte Gewichtsklassen LM (Light Mass),
- schwere Gewichtsklassen HM (Heavy Mass)

die in jeweils fünf Unterklassen weiter differenziert werden.

Die Größenklassen werden über den Durchgang durch ein Quadratlochsieb definiert, d. h. über den Durchmesser D. Bild 2 zeigt diese Korngrößendefinition anschaulich. Entsprechend den Klassengrenzen werden die Korngrößeklassen als CP_{x/y} bezeichnet, mit x als unterer und y als oberer Klassengrenze, jeweils in mm. Für die Verwendung in Deckschichten ist nur die Klasse CP_{90/250} mit Korngrößen im Wesentlichen zwischen 9 und 25 cm relevant (genauer s. [1]).



Bild 2: Größenermittlung D über ein Quadratlochsieb

Die Gewichtsklassen LM und HM sind über die Masse der Einzelsteine definiert. Sie werden weiter unterschieden in Klassen mit einem vorgegebenen Wertebereich für das mittlere Steingewicht (Klassen A:

LMA und HMA) und ohne diesbezügliche Vorgaben (Klassen LMB und HMB). In die TLW 2003 wurden die B-Klassen aufgenommen. Für Deckschichten relevant sind die Klassen LMB_{5/40} und LMB_{10/60}, seltener LMB_{40/200}.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass die in DIN EN 13383 definierten Grenzen der Gewichtsklassen deutlich enger gefasst sind als die alten Klassengrenzen der TLW 1997. Bei den neuen Größenklassen CP und den alten TLW 1997-Klassen sind die Klassengrenze ähnlich weit gestreckt.

2.2 Vergleich Steinklassen alt - neu

Für den möglichst einfachen Übergang von den alten zu den neuen Steinklassen ist es erforderlich, die alten und neuen Klassen einander zuzuordnen.

Hierzu wurden vergleichende Messungen an Wasserbausteinen aus verschiedenen natürlichen Gesteinen mit unterschiedlichen Größen (überwiegend Klasse III nach TLW 1997) durchgeführt. Diese Messungen sind in Bild 3 dargestellt.

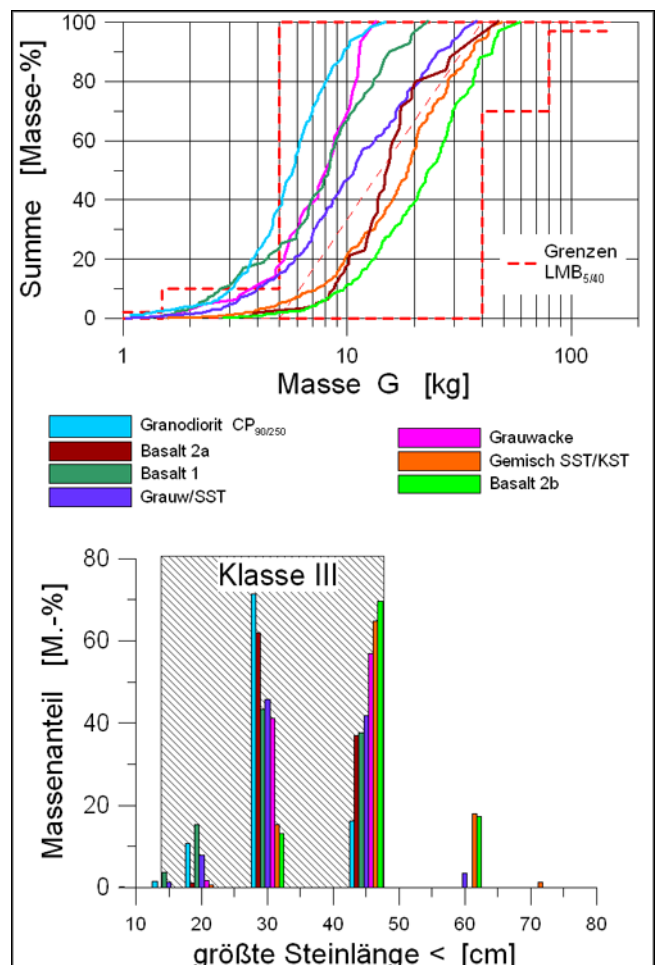


Bild 3: Vergleich Steingrößen D_{TLW97} (unten) und LMB_{5/40} (oben)

Im Bild 3 oben sind Ergebnisse der Gewichtsbestimmung als Summenkurve über der logarithmischen Gewichtsskala dargestellt. Zur Orientierung sind die Klassengrenzen der Klasse LMB_{5/40} entsprechend der EN 13383-1 mit dem zulässigen Über- und Unterkorn eingezeichnet. Im unteren Teil von Bild 3 ist die Einordnung der selben Steine entsprechend dem Kriterium der alten TLW 1997 (größten Steinlänge D_{TLW97}) dargestellt.

Für vergleichende Berechnungen wurden die Formeln (1) bis (3) aus [3] verwendet.

$$D_{TLW97} = 1,6 D_n \quad (1)$$

$$D_n = 0,866 D \quad (2)$$

$$G = D_n^3 \rho_s \quad (3)$$

mit: D_n = nominaler Durchmesser (Kantenlänge eines gewichtsgleichen Würfels), D = Siebdurchmesser, ρ_s = Rohdichte, G = Masse Einzelstein

Die Formeln (1) und (2) enthalten Mittelwerte für empirische Faktoren, die auf langjährigen Erfahrungen hinsichtlich der geometrischen Formen von Wasserbausteinen beruhen. Diese Faktoren können im Einzelfall abhängig von der Steinart und der Produktionstechnik der Wasserbausteine deutlich variieren, sodass die berechneten von den tatsächlichen Werten deutlich abweichen können.

Anhand der Messungen und der Berechnungen werden nachfolgend die alten Klassen II, III und IV der TLW 1997 den neuen Klassen zugeordnet. Die Betrachtungen beziehen sich, soweit nicht anders erwähnt, auf natürliche Gesteine mit Rohdichten $\rho_s = 2,3$ bis $3,0 \text{ t/m}^3$. Zur Veranschaulichung wird noch in „grobe/schwere“ bzw. „mittlere“ bzw. „leichte/kleine“ Klasse unterschieden (Lage der Summenlinie *deutlich über* bzw. *auf* bzw. *deutlich unter* der linearen Verbindung der Klassengrenzen).

Klasse II, TLW 1997

Anhand der in Bild 3 dargestellten Messungen ist erkennbar, dass die Steinfraktionen mit einem für LMB_{5/40} erhöhten Feinkornanteil (4 Fraktionen links in Bild 3) in die alte Klasse III eingeordnet werden können. Für die bereits nach neuer Norm für CP 90/250 hergestellte Steinfraktion (hellblau, Granodiorit) ist auch eine Einordnung in Klasse II möglich.

Es kann daher geschlossen werden, dass die Siebgrößenklasse CP_{90/250} zwischen den alten Klassen II und III liegt. Die Verwendung von CP_{90/250} an Stelle der alten Klasse II liegt somit bei Dichten $\rho_s = 2,3 - 3,0 \text{ t/m}^3$ auf der sicheren Seite.

Klasse III, TLW 1997

Rechnerisch beträgt die Masse G des Einzelsteins an der Obergrenze der Klasse III ($D_{TLW97,III} = 45 \text{ cm}$) $G = 59,0 \text{ kg}$. Zur sicheren Gewährleistung des oberen Spektrums der alten Klasse III wäre es erforderlich, die Klasse III (TLW 1997) der Klasse LMB_{10/60} (EN 13383) zuzuordnen. Die untere Klassengrenze ($D_{TLW97,III} = 15 \text{ cm}$, $G = 2,2 \text{ kg}$) entspricht dagegen einem Unterkorn in der leichteren Gewichtsklasse LMB_{5/40}.

Aus Bild 3 (oben) ist erkennbar, dass die ausgemessenen Steinfraktionen zum Teil deutlich den zulässigen Anteil an Unterkorn überschreiten, d. h. sie sind kleiner als LMB_{5/40}. Demnach genügen auch die untersuchten Steinfraktionen, die einen für LMB_{5/40} zu großen Unterkornanteil haben, den Anforderungen der Klasse III.

Die zwei größten Fraktionen (orange, hellgrün) überschreiten die Kriterien der Klasse III (Überrückteil bei $D_{TLW97} > 58,5 \text{ cm}$ bzw. Überrückteil bei $D_{TLW97} > 45 \text{ cm}$ über 10 Gew.-%). Sie sind demnach in Klasse IV der TLW 1997 einzuordnen, wobei sie im unteren Bereich dieser Klasse liegen („kleine Klasse“). Nach neuer Norm entsprechen beide Fraktionen der LMB_{5/40}.

Im Ergebnis dieser Vergleiche kann festgestellt werden, dass die alte Steinklasse III bei natürlichen Gesteinen (Dichten $\rho_s = 2,3 - 3,0 \text{ t/m}^3$) mit hinreichender Sicherheit durch die neue Klasse LMB_{5/40} abgebildet wird. Bei hohen Dichten $\rho_s \geq 3,6 \text{ t/m}^3$ wird die alte Klasse III durch die neue Klasse LMB_{10/60} ersetzt.

Klasse IV, TLW 1997

Die alte Klasse IV entspricht nach Messungen bei Steindichten $\rho_s = 2,6 - 3,0 \text{ t/m}^3$ ungefähr der neuen Klasse LMB_{10/60}.

Dies deckt sich auch mit den Praxiserfahrungen, nach der die Klasse LMB_{10/60} beim Einbau mit den für Klasse III konstruierten Schüttgerüsten Probleme bereitet, da die Steine zu groß sind.

Allerdings kann auch eine „schwere“ LMB_{5/40} bereits einer „kleinen“ Klasse IV entsprechen.

Wo bisher eine Klasse IV nach alter TLW mit $\rho_s > 3,0 \text{ t/m}^3$ erforderlich war, sollte zukünftig die Klasse LMB_{40/200} gewählt werden.

Zusammenfassender Vergleich der Steinklassen

Auf Grund der bisherigen Erfahrungen können für natürliche Gesteine mit $\rho_s = 2,3 - 3,0 \text{ t/m}^3$ die alten Steinklassen, wie in Tabelle 2 aufgeführt, in die neuen Steinklassen überführt werden.

TLW 1997 (alt)	TLW 2003 (neu)
Klasse II	CP _{90/250}
Klasse III	LMB _{5/40}
Klasse IV	LMB _{10/60}

Tabelle 2: Überführung der alten in die neuen Steinklassen, $\rho_s = 2,3 - 3,0 \text{ t/m}^3$

2.3 Wasserbausteine für verklammerte Deckwerke

Insbesondere bei hoher hydraulischer Belastung oder unter beengten Platzverhältnissen kann es erforderlich sein, ein verklammertes Deckwerk herzustellen. Das Steingerüst eines zu verklammernden Deckwerks muss hinsichtlich des Porenraums optimiert sein. Zum einen dürfen die Poren nicht zu groß sein, damit der Verklammerungsmörtel nicht durch das Deckwerk „durchfällt“. Zum anderen dürfen die Poren nicht zu klein werden, da dann der Verklammerungsmörtel nicht im erforderlichen Umfang in den Porenraum eindringen kann.

In der Vergangenheit hat sich für die Verklammerung eine „grobe“ Steinklasse II, ggf. auch eine Mischklasse II/III, nach alter TLW 1997 bewährt. Dementsprechend sollte für verklammerte Deckwerke zukünftig die Klasse CP_{90/250} gewählt werden.

3 Festlegung der Steinklasse aus einer Bemessung nach GBB

3.1 Festlegung der erforderlichen Steingröße

Im „Merkblatt für die Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen (MAR)“ [4] sind die Erfahrungen mit Deckwerken bis Anfang der 90er-Jahre wiedergegeben. Hierbei sind für Regelfälle die möglichen Deckwerksbauweisen aufgeführt. In den letzten Jahren hat sich von diesen Regelbauweisen die Verwendung von Wasserbausteinen der Klasse III mit einer Korndichte $\rho_s \geq 2,6 \text{ t/m}^3$ und einer Deckwerksdicke $d_b \geq 60 \text{ cm}$ für die Ausbaumaßnahmen an den großen Kanalstrecken durchgesetzt.

Mit den im Mai 2004 erschienenen „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB)“ [5] ist ergänzend zu den Regelbauweisen auch eine Bemessung der erforderlichen Steingröße für den Einzelfall möglich. Grundlage der Bemessung ist eine Ermittlung der hydraulischen Einwirkungen (Wellen und Strömungen) auf das Deckwerk.

Die wesentlichen Einwirkungen resultieren aus dem Schiffsbetrieb. Es sind:

- Heckquerwelle
- Rückströmung
- Wiederauffüllungsströmung der brechenden Heckquerwelle
- Propulsionsströmung der Antriebe

Aus den Einwirkungsgrößen wird die erforderliche Bemessungsgröße der Wasserbausteine D_{50} berechnet. D_{50} ist die Siebgröße bei 50 % Siebdurchgang, d. h. 50 % der Steine sind größer als die Bemessungsgröße D_{50} . Die entsprechenden Rechenvorschriften sind im GBB [5] enthalten.

Da die CP-Klassen wie das D_{50} über quadratische Siebgrößen definiert sind, ist eine direkte Zuordnung zwischen dem Bemessungsergebnis und der Steinklasse möglich.

Für die Auswahl der Gewichtsklassen ist zunächst eine Umrechnung des Bemessungswertes D_{50} in ein G_{50} erforderlich. Auf den Formeln (2) und (3) basierend gilt der Zusammenhang

$$G_{50} = 0,65 \rho_s D_{50}^3 \quad (4).$$

Die Ermittlung des Bemessungswertes G_{50} an einer Steinfraktion ist beispielhaft in Bild 4 gezeigt.

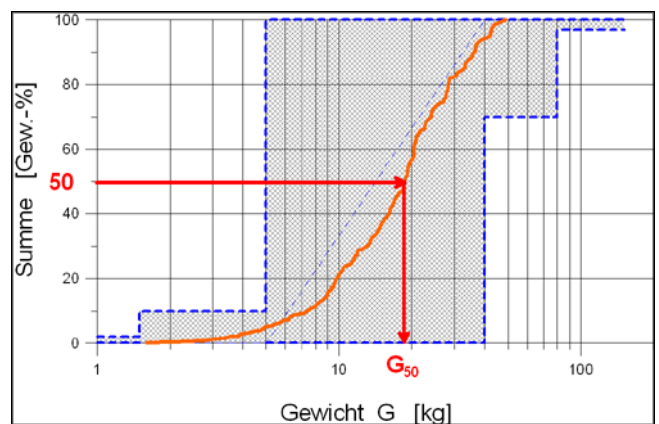


Bild 4: Klassengrenzen LMB_{5/40} und Bemessungswert G_{50}

Der Bemessungswert D_{50} bzw. G_{50} ist jedoch keine in der DIN EN 13383 festgelegte Größe.

Mit der Angabe einer Steinklasse allein wird das Bemessungsziel nur dann sicher erreicht, wenn die untere Klassengrenze der gewählten Steinklasse größer oder gleich dem Bemessungswert ist. Dies ist jedoch unwirtschaftlich, da die Steine und damit auch die erforderliche Deckwerksdicken in der Regel viel größer werden als nach der Bemessung erforderlich. Bei Auswahl einer Steinklasse der DIN EN 13383 auf der Grundlage einer Bemessung ist daher zusätzlich der

50 %-Wert, je nach Klassenparameter als D_{50} oder G_{50} , vorzugeben.

3.2 Hydraulisch gleichwertige Steine

Im Rahmen von Bauvergaben werden alternativ zum Amtsentwurf häufig geänderte – in der Regel höhere – Gesteinsdichten ρ_s angeboten.

Die Gesteinsdichte geht reziprok in den Bemessungswert ein. Daher sind bei höherer Gesteinsdichte kleinere bzw. leichtere Steine zulässig.

Die Bewertung der technischen Gleichwertigkeit bei geänderter Dichte ist u. a. unter dem Gesichtspunkt der Lagestabilität des Einzelsteins durch die Nachweise entsprechend dem GBB [5] durchzuführen.

3.3 Ausschreibung und Kontrollprüfung bei Bemessung nach GBB

Wurde die erforderliche Steinklasse in einer Bemessung nach GBB [5] ermittelt, so muss in einer Ausschreibung neben der gewählten Steinklasse auch die der Bemessung zu Grunde gelegte Gesteinsdichte ρ_s (nach DIN EN 13383-2 [1]) als Mindestwert angegeben werden. Die Verwendung einer höheren Gesteinsdichte liegt – soweit die übrigen Parameter der Deckschicht (z. B. Dicke d_D) nicht verändert werden – auf der sicheren Seite. Bezüglich der Steindichte ist auch zu beachten, dass die DIN EN 13383 relativ geringe Toleranzen beinhaltet.

Weiterhin ist in der Ausschreibung der Bemessungswert der Steingröße D_{50} bzw. G_{50} festzulegen. Für die Kontrolle auf Einhaltung des Bemessungswertes sollten in Kontrollprüfungen 100 Steine untersucht werden. Diese sind entsprechend EN 13383-2 [1] und DIN 52101 [7] aus dem gelieferten Material zu entnehmen. G_{50} ist einfach aus der Summenkurve der gewogenen Steine hinreichend genau ablesbar.

Die Ermittlung von D_{50} ist nicht zielgenau möglich, da die Kornverteilung versuchstechnisch bedingt stufenweise über diskrete Quadratlochsiebe ermittelt wird. Zur Ermittlung von D_{50} wird die folgende Methodik vorgeschlagen.

Es sind bei der Ermittlung der Größenverteilung alle im Wertebereich der jeweiligen Steinklasse vorhandenen Standardsiebe zu verwenden (z. B. bei $CP_{90/250}$: 45/63/90/125/180/250/360 mm). Die den 50 % am nächsten liegenden prozentualen Siebdurchgänge P in % (nach unten P_u / nach oben P_o) und die entsprechenden Siebdurchmesser D_o und D_u werden für die Ermittlung von D_{50} herangezogen, indem zwischen den zwei Wertepaaren P_u/D_u und P_o/D_o logarithmisch-linear interpoliert wird (s. Bild 5).

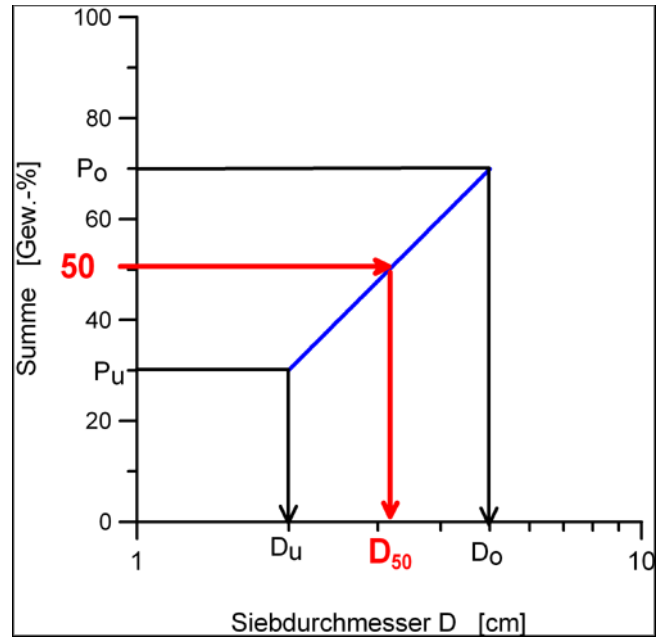


Bild 5: Ermittlung von D_{50}

Bei der log-linearen Interpolation berechnet sich D_{50} zu

$$D_{50} = D_u \left(\frac{D_o}{D_u} \right)^{\frac{50-P_u}{P_o-P_u}} \quad (5).$$

4 Erforderliche Deckschichtdicken d_D für die Stabilität des Steingerüsts

Die erforderliche Deckwerksdicke d_D ergibt sich aus drei Kriterien:

1. Stabilität des Steingerüsts,
2. Mindestdicken aus Ankerwurf und Schiffsanfahrt,
3. Stabilität der Gewässerböschung.

Mit der Einführung der neuen Steinklassen müssen auch die erforderlichen Deckwerksdicken d_D hinsichtlich der Stabilität des Steingerüsts (erstes Kriterium) überdacht werden.

In der Vergangenheit bewährt hat sich der Aufbau von $d_D = 60$ cm, Klasse III, $\rho_s \geq 2,65$ t/m³. Hierbei entspricht die Deckwerksdicke d_D ca. dem 1,33-fachen der oberen Klassengrenze $D_{TLW97} = L = 45$ cm bzw. der einfachen Länge des längsten Überkorns.

Zur Übertragung dieser Erfahrung auf die neuen Steinklassen ist es erforderlich, die größten zu erwartenden Steinlängen $L (= D_{TLW97})$ abzuschätzen. Bei Annäherung der Steinform durch einen Ellipsoid unter der Annahme, dass der größte Halbmesser des Ellipsoids entsprechend EN 13383 nicht größer als das Dreifache der kleinsten Halbmesser ist, berechnet sich die Steinlänge L eines Steines mit dem Gewicht G zu

$$L = \sqrt[3]{\frac{18 G}{\pi \rho_s}} \quad (6)$$

Zusammen mit den Formeln (1) und (2) ergeben sich die in Tabelle 3 aufgeführten größten Steinlängen L für die Klassenobergrenze und das zulässige Überkorn. Diese berechneten Werte wurden bereits durch einige Messungen bestätigt. Zu beachten ist, dass eine Rohdichte $\rho_s = 2,65 \text{ t/m}^3$ zu Grunde gelegt wurde, was für alle natürlichen Gesteine ($\rho_s = 2,3 - 3,0 \text{ t/m}^3$) hinreichend genau ist.

	Steinlänge L [cm]		
	CP _{90/250}	LMB _{5/40}	LMB _{10/60}
obere Grenze	35	44	51
Überkorn	50	56	64

Tabelle 3: Berechnete größte Steinlängen L (D_{TLW97}), Ellipsoid

Abgeleitet aus den Steinlängen ergeben sich für die verschiedenen Steinklassen die in Tabelle 4 aufgeführten Mindestdicken der Deckschichten d_D . Hierbei wurde auf die erreichbare Einbaugenauigkeit von 5 cm gerundet. Zu beachten ist, dass in den Gewichtsklassen für Rohdichten $\rho_s > 3,0 \text{ t/m}^3$ (in der Regel nur industriell hergestellte Steine) kleinere Steine und somit geringere Deckschichtdicken erforderlich werden. Diese sind ergänzend angegeben.

Steinklasse	$d_{D,\min}$ [cm]
CP _{90/250}	50
LMB _{5/40}	60 (55)*
LMB _{10/60}	70 (65)*

* Werte für $\rho_s > 3,0 \text{ t/m}^3$

Tabelle 4: Mindestdicken $d_{D,\min}$ der Deckschicht

Diese Werte sind als **Mindestdicken** anzusehen, die sich aus der Erfordernis eines stabilen Steingerüsts ergeben. Bei der Festlegung der Deckwerksdicke nach GBB [5] oder MAR [4] sind unbedingt noch die weiteren Kriterien hinsichtlich der Mindestdicke von Deckschichten zu beachten.

5 Ausblick

In dem vorliegenden BAW-Brief werden baupraktische Vorschläge zur Umsetzung der Steinklassen nach neuer Norm gemacht. Ebenso ist dargelegt, wie aus einer Bemessung nach GBB [5] die passende Steinklasse gewählt werden kann und welche Kriterien dabei zu berücksichtigen sind. Die Praxis wird diesbezüglich weitere Erkenntnisse liefern, die in die Regelwerke und Vorschriften einfließen sollen. Daher wird um Rückmeldung an den Autor hinsichtlich einschlägiger Erfahrungen zu den behandelten Themenkomplexen gebeten.

Literatur

- [1] DIN EN 13383 Wasserbausteine, Teil 1: Anforderungen, August 2002, Teil 2: Prüfverfahren, Juli 2002
- [2] Technische Lieferbedingung Wasserbausteine TLW 2003
- [3] Abromeit, H.-U.: „Anpassung der Technischen Lieferbedingungen Wasserbausteine an die neue DIN EN 13383 – Wasserbausteine“, BAW-Brief Nr. 1, März 2004
- [4] „Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen (MAR)“, BAW 1993
- [5] „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB)“, Mitteilungsblatt Nr. 87 der BAW, Karlsruhe, Mai 2004
- [6] Abromeit, H.-U.: „Ermittlung technisch gleichwertiger Deckschichtdicken“, Mitteilungsblatt Nr. 75 der BAW, Karlsruhe, Januar 1997
- [7] DIN 52101, Ausgabe: 2005-06, Prüfverfahren für Gesteinskörnungen – Probenahme

Dr.-Ing. Jan Kayser
Abteilung Geotechnik
Referat Erdbau und Uferschutz
Tel.: 0721 9726-3100
Fax: 0721 9726-4830
e-mail: jan.kayser@baw.de

584 – G Teil- und Vollverguss von Deckwerken – Herstellung und Qualitätssicherung

1 Veranlassung

Der Verguss von Deckwerken ist eine der Regelbauweisen nach MAR [1] und wird im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) eingesetzt, wenn die Lagestabilität der Wasserbausteine bei den vorliegenden dynamischen hydraulischen Einwirkungen (Wellen, Schraubenstrahl, etc.) auf Grund des Einzelgewichtes der Wasserbausteine bzw. der Einbaudicke der Wasserbausteine unter den gegebenen Böschungsneigungen nicht ausreichend ist. Des Weiteren wird ein Verguss meist in Vorhäfen und an Liegestellen erforderlich, um einen ausreichenden Widerstand gegen die in diesen Bereichen hohen mechanischen (z. B. aus Ankerwurf) sowie hydraulischen Belastungen bei Manövrierfahrt zu erhalten.

In den letzten Jahren wurde von der BAW in zunehmendem Maße die Beobachtung gemacht, dass die Qualität der Vergussarbeiten nicht immer den Anforderungen der Regelwerke entspricht. Die langfristige Folge hiervon können Schäden an den Böschungs- und Sohlensicherungen sein, wodurch ein erhöhter Unterhaltungsaufwand und eine Sanierung deutlich vor Erreichen ihrer planmäßigen Lebensdauer erforderlich wird. Ein Beispiel einer Beschädigung ist in Bild 1 für ein planmäßig teilvergossenes, d. h. durchlässiges Deckwerk auf einer Tondichtung dargestellt. Die Oberfläche des Deckwerkes ist hier jedoch durch den Verguss bereichsweise undurchlässig geworden. Durch Wellenbelastung hervorgerufene Druckänderungen können dadurch nicht überall unter dem Deckwerk schnell genug abgebaut werden und führen so zu einer Druckwechselbelastung auf das Deckwerk. Diese kann dann langfristig einen Aufbruch des Deckwerkes bewirken.

Aus diesen Gründen werden im Folgenden die wesentlichen Anforderungen an Herstellung und Qualitätssicherung von vergossenen Deckwerken zusammengefasst. Ausführliche Hinweise zu Planung, Herstellung und den erforderlichen Prüfungen eines Vergusses sind im Merkblatt der BAW „Anwendung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen (MAV)“ [2] sowie in den „Richtlinien für die Prüfung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen (RPV)“ [3] enthalten.

Abschließend wird ein Ausblick auf die zukünftige Struktur des Regelwerkes gegeben.



Bild 1: Uferabbrüche an einem zu dicht vergossenen, eigentlich durchlässigen Deckwerk

2 Herstellung von vergossenen Deckwerken

2.1 Anforderung an ein vergossenes Deckwerk

In der Regel erfolgt der Verguss heutzutage aus wirtschaftlichen Gründen mit zementgebundenem Vergussmörtel. Bitumengebundener Vergussmörtel wurde in den letzten Jahren an den Binnenwasserstraßen nicht angewendet.

Wird der zementgebundene Vergussmörtel unter Wasser eingebracht, so hat er im frischen Zustand einen hohen Widerstand gegen Erosion aufzuweisen. Dies kann einerseits durch die Zugabe von geeigneten Zusatzmitteln (Additiven) erreicht werden, andererseits kann der Mörtel auch durch Aufbereitung in einer Kolloidmühle bei einer Hochgeschwindigkeitsscheraktion (Kolloidalmörtel) diese Anforderung erfüllen.

Je nach den lokalen Anforderungen ist ein durchlässiges oder dichtes Deckwerk erforderlich. Das dichte Deckwerk kann als Vollverguss ausgeführt werden, bei dem über die ganze Tiefe des Deckwerkes alle Hohlräume mit dichtem Vergussstoff ausgefüllt werden. Häufiger wird jedoch ein durchlässiges Deckwerk als Teilverguss ausgeführt, wobei ein Teil der Hohlräume mit dichtem Vergussstoff ausgefüllt wird und so die einzelnen Wasserbausteine miteinander fest verbunden („verklammert“) werden. Der Teilverguss wird deshalb auch als „Verklammerung“ bezeichnet (s. Bild 2). Die Herstellung eines durchlässigen Deckwerkes durch einen Vollverguss aus durchlässigem Vergussstoff hat sich nicht durchgesetzt.



Bild 2: Beispiel eines mit dichtem Vergussstoff verklammerten durchlässigen Deckwerkes

Entscheidend für die Qualität eines Teilvergusses ist, neben dem Vergussstoff selbst, die Verteilung des Vergussstoffes über die Tiefe, welche nach ZTV-W LB 210 [4] vorgegeben ist (s. Bild 3). Eine gute Verteilung ermöglicht eine Verblockung der Wasserbausteine untereinander, sodass die losen Steine zu größeren Einheiten verbunden werden, die nicht mehr mobilisiert werden können. Die Vergussstoffverteilung wird sowohl von der Fließfähigkeit des Vergussstoffes als auch von dem Herstellungsverfahren sowie der Größenklasse, Abstufung und Lagerungsdichte der Wasserbausteine beeinflusst. Insbesondere ist darauf zu achten, dass in keiner Tiefe, vor allem nicht direkt auf der Filterschicht, eine dichte Sperrschicht entsteht, unter der sich sonst Porenwasserüberdrücke aufbauen.

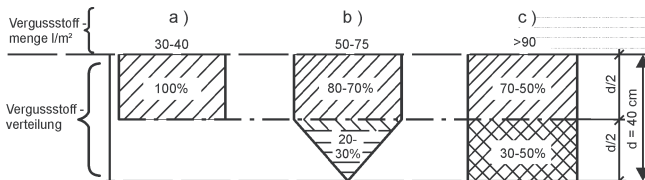


Bild 3: Vergussstoffverteilung über die Tiefe nach ZTV-W LB 210

2.2 Verfahren zum Teilverguss von Deckwerken

Der Teilverguss eines Deckwerkes kann sowohl im Trockenen als auch unter Wasser erfolgen. Die Wasserwechselzone stellt den am meisten beanspruchten Übergangsbereich dar, in der auch der frische Vergussstoff, wie beim Unterwasserverguss, einen hohen Widerstand gegen Erosion haben muss.

Der Verguss kann von Hand oder mit Maschinen erfolgen. Für beide Herstellungsarten ist Fachwissen und Erfahrung mit den Verfahren unabdingbar. Deshalb haben die ausführenden Firmen nach ZTV-W LB 210 im Rahmen einer Grundprüfung den Nachweis zu erbringen, dass sie geeignete Geräte vorhalten, anforderungsgerechte Materialien verbauen und das Personal hinreichend gut geschult ist.

Der Teilverguss von Hand wird vorwiegend über Wasser und in der Wasserwechselzone sowie bei kleineren Baumaßnahmen auch unter Wasser angewendet. Bei Wassertiefen von mehr als 1 m müssen nach MAV die Vergussarbeiten bei großen Vergussflächen maschinell ausgeführt werden.

2.2.1 Teilverguss von Hand

Der Teilverguss von Hand muss unter Wasser von mit dem Teilverguss vertrauten und erfahrenen Tauchern ausgeführt werden. Eine unmittelbare visuelle Kontrolle ist für den Taucher nicht möglich. Das Einbringen der erforderlichen Vergussstoffmenge pro m² muss der Taucher ausschließlich durch die Abstimmung seiner Bewegungen und deren Geschwindigkeit auf die Fördermenge der Pumpe steuern. Je größer die Pumpenleistung, desto schwieriger wird es für den Taucher, eine gleichmäßige Verteilung des Vergussstoffes zu gewährleisten (s. Bild 4). Dies wird noch dadurch erschwert, dass ein dicker Pumpenschlauch deutlich schwieriger zu führen ist. Grundsätzlich trifft das auch auf einen Teilverguss im Trockenen zu, wenngleich dann die Möglichkeit einer visuellen Kontrolle besteht.



Bild 4: Beispiel für eine mangelhafte Ausführung mit einer zu großen Pumpe



Bild 5: Beispiel für eine gute Ausführung mit einer richtig angepassten Pumpe

Deshalb sollte der Teilverguss mit speziellen Pumpen erfolgen, welche die Förderung mit einer ausreichend geringen Pumprate ermöglichen (s. Bild 5). Die Fördermenge ist vor Baubeginn zu überprüfen.

2.2.2 Maschineller Teilverguss

Der maschinelle Einbau hat den wesentlichen Vorteil, dass sich die pro m² eingebrachte Vergussstoffmenge regeln lässt und dadurch eine gleichmäßigere Verteilung gewährleistet ist. Über eine Dokumentation der Maschinenparameter lassen sich dann die eingebrachten Mengen kontrollieren.

Grundsätzlich ist jedoch bei der Herstellung der Anschlüsse zwischen zwei Produktionsphasen darauf zu achten, dass nicht zu viel Vergussstoff eingebracht wird, oder unzulässige Fehlstellen entstehen.

Für den maschinellen Einbau sind folgende Verfahren erprobt:

Einbau mit linienförmiger Verteilung

Hierbei erfolgt das Einbringen des Vergussstoffes mit einem Verteilerwagen (Bild 6), der mit definierter Schrittgeschwindigkeit über das Deckwerk läuft und den Vergussmörtel durch gesteuerte Schlauchbewegungen gleichmäßig in etwa böschungparallelen Linien verteilt.



Bild 6: Verteilerwagen

Einbau mit punktueller Verteilung

Beim Steinverblockungsverfahren (Bild 7) wird der Mörtel punktuell eingebracht. An einem stabilen Stahlrahmen sind mehrere hydraulisch gesteuerte Ventilstützen befestigt, die durch Ventile in ihrem Öffnungs- und Schließverhalten genau gesteuert werden können. Der Stahlrahmen wird durch Versetzen auf dem Deckwerk positioniert.



Bild 7: Steinverblockungsverfahren

Einbau mit flächenhafter Verteilung

Der Einbau des Vergussstoffes erfolgt durch Verklappen von einem schwimmenden Verklappgerüst (Bild 8) mit zentrisch gelagerten Lamellen. Die Einbaumenge wird über Wasser anhand der Dicke der auf den Lamellen aufgetragenen Mörtelschicht überwacht. Das Verfahren ist nicht für Kolloidalmörtel geeignet und wurde in den letzten Jahren nicht mehr eingesetzt, da die relativ geringe Vergussstoffmenge bei einem Teilverguss schwer zu dosieren ist.



Bild 8: Verklappgerüst

3 Qualitätssicherung und Prüfumfang

Um eine qualifizierte Ausführung der Vergussarbeiten zu ermöglichen, sehen die ZTV-W im Leistungsbereich 210 ein mehrstufiges System von Prüfungen vor. Zunächst ist unabhängig von einer Baumaßnahme eine Grundprüfung durchzuführen. In einem zweiten Schritt wird unter den jeweiligen Randbedingungen der Baumaßnahme vor der Bauausführung eine Eignungsprüfung durchgeführt. In der dritten Stufe der Qualitätssicherung erfolgen während der Bauausführung Eigenüberwachungsprüfungen des Auftragnehmers und Kontrollprüfungen des Auftraggebers.

3.1 Grundprüfung

In den ZTV-W werden Grundprüfungen folgendermaßen definiert:

„Grundprüfungen sind Prüfungen des Auftragnehmers zum Nachweis der grundsätzlichen Eignung von nicht erprobten Baustoffen, Baustoffgemischen und Baustoffsystemen für den vorgesehenen Verwendungszweck.“

Als Baustoffsystem ist hierbei auch das Einbauverfahren selbst sowie das Zusammenwirken von Einbauverfahren und Baustoff anzusehen. Der Prüfumfang der Grundprüfung ist in der RPV geregelt. Neben der Bestimmung einiger Materialkennwerte erfolgt eine Systemprüfung durch Erstellung eines Probekörpers in einem Probenzylinder von etwa 3 m² Grundfläche. Dieser wird je nach Anwendungszweck über oder unter Wasser vergossen und anschließend die Vergussstoffverteilung überprüft. Eine erfolgreich bestandene Grundprüfung ist fünf Jahre gültig und kann, sofern sich an den Randbedingungen nichts verändert hat, auf Antrag verlängert werden.

Grundprüfungen sind nach den ZTV-W LB 210 von einer anerkannten Prüfstelle durchzuführen. Im Fall der Vergussstoffe erfolgen die Grundprüfungen durch die BAW.

Der Nachweis der Grundprüfung sollte vom Auftragnehmer bereits mit Angebotsabgabe verlangt und der BAW zur Prüfung auf Vollständigkeit und Gültigkeit vorgelegt werden.

3.2 Eignungsprüfung

Unter den spezifischen Randbedingungen der jeweiligen Baustelle entsprechen die Einbaubedingungen und Materialien meist nicht mehr vollständig denen der Grundprüfung (z. B. andere Zuschläge lokaler Herkunft, Wassertemperatur, Strömung). Die ZTV-W schreibt deshalb vor der Ausführung der Vergussarbeiten die Durchführung einer Eignungsprüfung vor:

„Eignungsprüfungen sind Prüfungen des Auftragnehmers zum Nachweis der Eignung der Baustoffe, der Baustoffgemische und der Baustoffsysteme unter Berücksichtigung des Einbauverfahrens für den vorgesehenen Verwendungszweck entsprechend den Anforderungen des Bauvertrages.“

Durch die Eignungsprüfung wird die für die jeweilige Baumaßnahme tatsächlich erforderliche Vergussstoffmenge ermittelt und als Richtwert festgeschrieben. Hierfür ist bei Teil- und Vollverguss die Erstellung eines Probekörpers erforderlich, der unter den Gegebenheiten der Baumaßnahme vergossen wird und nach ZTV-W eine Grundfläche von etwa 3 m² haben muss. Die Vergussstoffverteilung im Probekörper wird überprüft

und muss den Anforderungen der ZTV-W entsprechen. Der sonstige Prüfumfang der Eignungsprüfung ist in der RPV geregelt und entspricht weitgehend dem Umfang der Grundprüfung.

Die Eignungsprüfung ist wesentliches Element der Qualitätssicherung von Vergussarbeiten. Der Zustand der für die Baumaßnahme vorgesehenen Geräte und Materialien sowie das vorgesehene Personal werden dabei rechtzeitig vor Bauausführung geprüft.

Ebenso wird der Einfluss der lokalen Randbedingungen und gelieferten Zuschläge auf die Qualität des Vergusses rechtzeitig berücksichtigt. Letztlich werden durch diese Ermittlung der tatsächlich erforderlichen Vergussstoffmengen die Kosten für die Ausführung der Vergussarbeiten optimiert.

3.3 Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfung

Die Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen werden während der Bauausführung durchgeführt.

Nach den ZTV-W sind „Eigenüberwachungsprüfungen Prüfungen des Auftragnehmers, um festzustellen, ob die Güteeigenschaften der Baustoffe, der Baustoffgemische und der Baustoffsysteme den vertraglichen Anforderungen entsprechen.“ Der Prüfumfang ist in den ZTV-W sowie den RPV geregelt. Die Erstellung eines Probekörpers von ca. 3 m² Grundfläche ist hierbei bei durchlässigen Deckwerken alle 20.000 m² durchzuführen. Bei dichten Deckschichten sind je 10.000 m² Sohlfläche bzw. je 5000 m² Böschungfläche drei Bohrkerne zu prüfen.

Die Kontrollprüfungen des Auftraggebers dienen der Kontrolle der Leistungen des Auftragnehmers. Der Prüfumfang ist vom Auftraggeber auf die jeweiligen Randbedingungen der Baumaßnahme abzustimmen. Als Richtwert können etwa 20 % des Prüfumfanges der Eigenüberwachungsprüfungen herangezogen werden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Herstellung von teil- und vollvergossenen Deckwerken stellt hohe Anforderungen an die bauausführenden Firmen sowie die Bauüberwachung. Entstehen durch eine unqualifizierte Ausführung langfristig Schäden an teilvergossenen Deckwerken, so ist eine Sanierung aufwändig. Ein Verfüllen der zerstörten Bereiche mit losen Wasserbausteinen ist langfristig meist nicht erfolgreich. Die Verzahnung zwischen dem teilvergossenen Deckwerk und den losen Wasserbausteinen ist oft so gering, dass die Wasserbausteine wieder aus den verfüllten Löchern gespült werden. Des Weiteren ist das Auffinden kleinerer, eng begrenzter Löcher schwierig, welche unter Wasser als Schadensbild durchaus entstehen können.

Werden die für die Herstellung von vergossenen Deckwerken vorgesehenen Prüfungen eingehalten, ist eine Voraussetzung für ein qualitativ hochwertiges Deckwerk erfüllt, welches langfristig einen entsprechend geringen Unterhaltungsaufwand erforderlich macht. Folgende Punkte sollten bei der Ausschreibung und vor Auftragsvergabe berücksichtigt werden:

- Vor Auftragsvergabe soll das Prüfzeugnis über die von der BAW durchgeführte Grundprüfung – einschließlich der Prüfung des Einbauverfahrens – vom Auftragnehmer vorgelegt werden.
- Die Anwendbarkeit der in der Grundprüfung geprüften Einbauverfahren und Materialien auf das konkrete Bauvorhaben soll von der BAW vor Auftragsvergabe geprüft werden.
- Rechtzeitig vor Baudurchführung ist die Eignungsprüfung vorzunehmen. Die Eignungsprüfung soll von der BAW begleitet und bewertet werden.

Die neuen europäischen Normen im Beton- und Asphaltwesen machen auch eine Überarbeitung der RPV erforderlich. Des weiteren befindet sich derzeit die ZTV-W LB 210 in der Überarbeitung. Anschließend wird das MAV überarbeitet und an die neue Normung angepasst.

5 Literatur

- [1] MAR – Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen, Bundesanstalt für Wasserbau, Ausgabe 1993
- [2] MAV – Merkblatt Anwendung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen, Bundesanstalt für Wasserbau, Ausgabe 1990
- [3] RPV – Richtlinien für die Prüfung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen, Bundesanstalt für Wasserbau, Ausgabe 1990
- [4] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau (ZTV-W) für Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210), Ausgabe 2000

Dr.-Ing. Tilman Holfelder
Abteilung Geotechnik
Referat Erdbau und Uferschutz
Tel.: 0721 9726-2820
Fax: 0721 9726-4830
e-mail: tilman.holfelder@baw.de