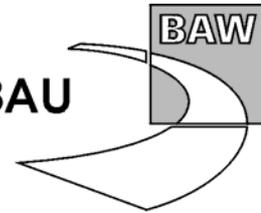




BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU
Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau

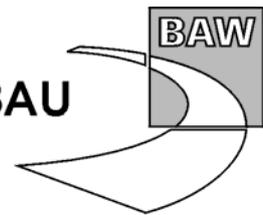


Merkblatt
Anwendung von Regelbauweisen für
Böschungs- und Sohlensicherungen
an Binnenwasserstraßen
(MAR)

Ausgabe 2008



BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU
Karlsruhe · Hamburg · Ilmenau



Merkblatt

Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR)

Herausgeber (im Eigenverlag): Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

Kußmaulstraße 17 · 76187 Karlsruhe · Telefon (0721) 9726-0 · Telefax (0721) 9726-4540

E-Mail: info.karlsruhe@baw.de · Internet: <http://www.baw.de>

Nachdruck, Übersetzung oder sonstige Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit Genehmigung des Herausgebers gestattet.

© BAW 2008

Arbeitsgruppe „MAR“

(April 2006 – Dezember 2008)

Mitglieder:

BARTNIK, Wolfgang	Dipl.-Ing., Wasserstraßen-Neubauamt Datteln
CONRADI, Stefan	Dipl.-Ing., Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost, Magdeburg
FISCHER, Uwe	Dipl.-Ing., Bundesministerium für Verkehr, Bau, und Stadtentwicklung, Bonn
FLEISCHER, Petra	Dipl.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
HEIBAUM, Michael	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
HOLFELDER, Tilman	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
KAYSER, Jan	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe (Leiter der AG)
LIEBENSTEIN, Hubert	Dipl.-Ing., Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz
NULLE, Undine	Dipl.-Ing., Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin
OSTERTHUN, Manuela	Dr.-Ing., Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte, Hannover
POHL, Martin	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Hamburg
SÖHNGEN, Bernhard	Prof. Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
SOYEAX, Renald	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
STEIN, Jürgen	Dr.-Ing., Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
THYSSEN, Heinz-Jakob	Dipl.-Ing., Wasser- und Schifffahrtsdirektion West, Münster

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung	1
2	Begriffe	2
3	Randbedingungen der Regelbauweisen	5
3.1	Allgemeines	5
3.2	Schiffsflotte und hydraulische Belastung.....	6
3.3	Gewässerquerschnitte	9
3.4	Baugrund	9
4	Deckwerkskomponenten	11
4.1	Wasserbausteine	11
4.2	Verguss.....	13
4.3	Filterlagen	13
4.4	Trennlagen.....	13
4.5	Dichtungssysteme	13
4.5.1	Allgemeines	13
4.5.2	Weichdichtungen	14
4.5.3	Hartdichtungen	14
5	Regelbauweisen	14
5.1	Allgemeines	14
5.2	Deckschichten	16
5.2.1	Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen	16
5.2.2	Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen	19
5.2.3	Dichte Deckschichten aus vollvergossenen Wasserbausteinen	20
5.3	Fußsicherung.....	21
5.4	Weichdichtungen	22
5.5	Höhe des Freibords	23
5.6	Auswahl einer Regelbauweise	23
5.6.1	Allgemeines	23
5.6.2	Erfordernis einer Dichtung.....	23
5.6.3	Einstufung der Böden	25
5.6.4	Erfordernis eines Filters bzw. einer Trennlage.....	25
5.6.5	Auswahl einer Deckschicht.....	26

6	Weitere Bauweisen	26
6.1	Allgemeines	26
6.2	Deckwerke an kombinierten Rechteck-Trapez (KRT)-Profilen.....	27
6.3	Dichte erosionsfeste Beläge	27
7	Begrünung und Bepflanzung der Regelbauweisen	28
7.1	Allgemeines	28
7.2	Durchlässige Deckschichten aus losen bzw. teilvergossenen Wasserbausteinen entsprechend Kapitel 5.2.1 bzw. Kapitel 5.2.2	30
7.3	Dichte Deckschichten aus vollvergossenen Wasserbausteinen entsprechend Kapitel 5.2.3.....	31
7.4	Hinweise zu Bewuchs auf Weichdichtungen	31
8	Hinweise für Ausschreibung, Ausführung, Qualitätssicherung und Unterhaltung.....	31
8.1	Allgemeines	31
8.2	Ausschreibung	32
8.2.1	Allgemeines	32
8.2.2	Deckschicht	33
8.2.3	Ausgleichsschicht	34
8.2.4	Mindestanforderungen für Nebenangebote.....	34
8.3	Bauausführung	35
8.4	Qualitätssicherung	36
8.4.1	Allgemeines	36
8.4.2	Peilungen zur Qualitätssicherung.....	37
8.5	Bestandsunterlagen.....	38
8.6	Hinweise zur Unterhaltung	39
9	Literatur	41
	Anlagenverzeichnis	45

1 Vorbemerkung

Dieses Merkblatt gilt für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen, die unter definierten Randbedingungen als Regelbauweisen ohne rechnerischen Nachweis anwendbar sind.

Die erste Fassung des Merkblattes wurde 1993 veröffentlicht. Seitdem haben sich die Erkenntnisse hinsichtlich der Ausführung, der Einwirkungen und der Stabilität von Deckwerken deutlich erweitert. Zusätzlich wurden Bezugsregelwerke neu erstellt oder überarbeitet. Daher war eine grundlegende Überarbeitung dieses Merkblattes erforderlich, die in der vorliegenden Ausgabe 2008 veröffentlicht wird.

Die Regelbauweisen basieren auf den Erfahrungen aus Bau und Unterhaltung von Deckwerken sowie auf den technischen Bemessungsregeln. Die technischen Bemessungsregeln sind in den „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“ /GBB/ aufgeführt.

Die Regelbauweisen sind sowohl auf die gegenwärtig fahrenden Schiffe als auch auf die zukünftige Schiffsflotte mit zunehmender Anzahl an Rheinschiffen (Großmotorgüterschiffen) ausgerichtet.

Wesentliche Grundlage hinsichtlich der Geometrien sind das „Trapez-Profil“ (T-Profil) und das „Rechteck-Trapezprofil“ (RT-Profil) der Wasserstraßenklasse Vb entsprechend den „Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen“ /RiReS/ mit einem Querschnittsverhältnis $n > 5,3$. Eine Übertragung der Regelbauweisen auf kleinere Kanäle mit gleichem Querschnittsverhältnis liegt i. d. R. auf der sicheren Seite, wenn auch die Schiffe, Abladetiefen und Uferabstände im gleichen Maße kleiner sind als in Standardprofilen. Querschnitte mit kleineren n -Verhältnissen, z. B. solche für Richtungsverkehr, erfordern bei unverklammerten Deckschichten i. d. R. eine gesonderte hydraulische Bemessung, da die Belastungen aus Rückstrom, Bugstrahlruder und bei geringerer Wassertiefe als 4 m auch aus dem Schraubenstrahl des Hauptantriebs größer sein können als in Standardprofilen.

Als Bemessungsgeschwindigkeit sind 97 % der kritischen Schiffsgeschwindigkeit festgelegt. Dieser Wert berücksichtigt die Wirtschaftlichkeit sowohl hinsichtlich des Fahrverhaltens der Schiffe als auch hinsichtlich der Deckwerksdimensionierung.

Bei Abweichungen der geometrischen, hydraulischen und geotechnischen Randbedingungen vom Regelfall ist eine Einzelfallbemessung nach /GBB/ erforderlich. Für die Bewertung der Notwendigkeit einer Einzelfallbemessung sind die Randbedingungen, unter denen die Bauweisen des MAR gelten, in Kapitel 3 umfangreich erläutert.

Alle Bauweisen sind, soweit keine weitergehenden Einschränkungen explizit genannt werden, technisch gleichwertig. Die Auswahl der Bauweise richtet sich nach technischen und wirtschaftlichen Kriterien.

Bei der Bemessung eines für eine Regelbauweise benötigten Filters sind die Merkblätter /MAG/ bzw. /MAK/ zu verwenden. Für vergossene Deckschichten gilt zusätzlich das /MAV/. Hinweise für die Ausführung von Dichtungen sind in den /EAO/ enthalten. Für die Ausschreibung und Bauausführung ist besonders die /ZTV-W 210/ zu beachten. Es sind die jeweils aktuellen Fassungen der Regelwerke zu berücksichtigen.

2 Begriffe

Im Folgenden werden kurz Begriffe erläutert, die im MAR verwendet werden. Darüber hinausgehende wesentliche Begriffe sind im /GBB/ aufgeführt.

Begrünung: Ansaat der Uferböschung mit standortheimischen Gräsern und Kräutern (bzw. Hülsenfrüchtler als Voransaat). Eine Begrünung kann weiterhin erfolgen durch natürlichen Samenanflug oder Anspülen von Pflanzenteilen, über Heusaat (Ausbringen von Heu, in dem reife Samen enthalten sind) bzw. Sodenverpflanzung oder Übertragung von Boden, der Pflanzensamen enthält.

Bepflanzung: Anpflanzung von Gehölzen (auch Einbringen von Setzstangen/Steckhölzern), Röhrichten oder Stauden.

Böschungs-/Sohlensicherung: Durchlässiges oder dichtes Deckwerk eines Gewässers zur Sicherung der Querschnittsgeometrie.

Buglastig: Beladungszustand eines Schiffes, bei dem der Bug tiefer als das Heck eintaucht und bei dem damit die Bugabmessungen für die Bemessung der Böschungs- und Sohlensicherungen bestimmend sind.

Deckschicht: Oberste erosionsfeste Schicht einer Böschungs- oder Sohlensicherung. Bei Regelbauweisen ist dies die Lage aus Wasserbausteinen.

Deckschichtdicke: Dicke der Deckschicht d_D , gemessen senkrecht zur Schichtunter- bzw. Schichtoberkante (ohne Filter und Dichtung).

Deckwerk: Gesamter Aufbau der Sicherung mit Deckschicht und Filter sowie ggf. Dichtung mit Trennlage, ohne Ausgleichsschicht. Ein **durchlässiges** Deckwerk ermöglicht den ungehinderten Wasseraustausch zwischen Untergrund und Wasserstraße. Es besteht i. Allg. aus einer Deckschicht und einem darunter liegenden Filter. Ein **dichtes** Deckwerk verhindert den Wasseraustausch zwischen Wasserstraße und Untergrund. Es besteht aus einer durchlässigen Deckschicht mit einer darunter liegenden Dichtung, getrennt durch eine geotextile

Trennlage, oder aus einer dichten Deckschicht mit einer darunter liegenden geotextilen Trennlage.

Fahrspur: Die aus nautischen und schiffshydrodynamischen Gründen erforderliche Breite innerhalb des Fahrwassers für ein fahrendes Schiff.

Filter: Ein Filter (Geotextil oder Filter aus Gesteinskörnungen (Kornfilter)) hat die Aufgabe, Boden unter den möglichen hydraulischen Einwirkungen zurückzuhalten (mechanische Filterwirksamkeit: Erosionsschutz). Er muss gleichzeitig den Durchfluss von Grundwasser ohne Ansteigen der Sickerlinie zulassen (hydraulische Filterwirksamkeit).

Flottwasser: Differenz von Wassertiefe und Tauchtiefe. Die Tauchtiefe entspricht der Summe aus Tiefgang und Einsinktiefe (= fahrdynamisches Einsinken).

Freibord: Abstand zwischen dem höchstmöglichen Wasserstand (oberer Betriebswasserstand ggf. zzgl. Sicherheitszuschlag) und dem niedrigsten Punkt des Ufers, der nicht überströmt werden darf.

Fußsicherung: Unterer Abschluss einer Böschungssicherung, wenn keine Sohlsicherung erfolgt.

Hecklastig: Beladungszustand eines Schiffes, bei dem das Heck tiefer als der Bug eintaucht, und bei dem damit die Heckabmessungen für die Bemessung der Böschungs- und Sohlsicherungen bestimmend sind. Dies ist i. d. R. der Fall bei Leer- bzw. Ballastfahrten (Heck ballastiert, damit Propeller komplett eintaucht).

Hydraulische Belastung: Die Wechselwirkung zwischen Schiff und Wasserstraße führt zu einer Verdrängungsströmung um den Schiffskörper, die verbunden ist mit einer Stauwelle am Bug, der Erzeugung kurzperiodischer Schrägwellen am Bug, einer Wasserspiegelabsenkung neben dem Schiff, der Erzeugung kurzperiodischer Querwellen am Heck und einer Wiederauffüllungsströmung, die den ungestörten Wasserspiegel wiederherstellt. Die Abfolge aus Bugwellen, Wasserspiegelabsenkung und Heckquerwellen hat etwa die Länge des Schiffes und wird als **Primärwelle (Primärwellensystem)** bezeichnet. Die kurzperiodischen Wellen, die an Bug und Heck entstehen, werden **Sekundärwellen (Sekundärwellensystem)** genannt.

Kritische Schiffsgeschwindigkeit v_{krit} : Geschwindigkeit des Schiffes im Flachwasser bzw. bei der Kanalfahrt, bei der das vom Schiff verdrängte Wasser nicht mehr vollständig im strömenden Zustand entgegen der Fahrtrichtung nach hinten abgeführt werden kann. Es beginnt der Wechsel vom strömenden zum schießenden Fließzustand (Froude-Zahl im engsten Querschnitt neben dem Schiff gleich 1). v_{krit} kann von Verdrängern i. d. R. nicht überschritten werden. Der Versuch, schneller als mit v_{krit} zu fahren, z. B. durch Steigerung der Antriebsleistung, führt bei Verdrängern i. Allg. zu noch größeren Rückströmungsgeschwindigkeiten und

Absunkwerten als bei v_{krit} , wobei die Schiffsgeschwindigkeit über Grund wieder kleiner wird oder/und das Schiff an die Sohle angesaugt wird.

Manövrierbereich: Bereich im Kanal bzw. Gewässer, in dem planmäßig Fahrtrichtungswechsel bzw. Brems- oder Beschleunigungsvorgänge der Schiffe stattfinden. Dazu gehören Wendestellen, Liegestellen, Schleusenvorhäfen sowie Be- und Entladestellen längs der Strecke.

Mindestdicke für Deckschichten: Zusätzlich zu den sich aus der geotechnischen Bemessung ergebenden rechnerisch erforderlichen Deckschichtdicken sind Mindestdicken für die Deckschichten zu berücksichtigen, die sich aus Schiffsanfahrung, Ungleichförmigkeit der Steinschüttung, Stabilität des Steingerüsts, Ankerwurf, Art des Filters oder technologischen Aspekten ergeben (Werte siehe Kapitel 6.9 und 6.11 /GBB/ und /Kayser 2005/). Maßgebend ist die jeweils größte Deckschichtdicke.

Porenwasserüberdruck: Über den hydrostatischen Porenwasserdruck hinausgehender Wasserdruck in den Poren eines Erdstoffes, der durch behinderte Volumenzunahme des Porenwassers (bei Druckänderungen im Porenwasser) oder behinderte Volumenabnahme des Korngerüsts (bei Änderungen der totalen oder effektiven Spannung des Korngerüsts) entsteht. Er wird u. a. durch schnellen Wasserspiegelabsenk hervorgerufen. Im Untergrund herrscht dann noch ein höherer Druck als an der Grenzfläche Wasser - Boden.

Primärwelle: → Hydraulische Belastung.

Querschnittsverhältnis (n-Verhältnis): Verhältnis $n = A/A_M$ der (rückströmungswirksamen) Querschnittsfläche A einer Wasserstraße bei einem bestimmten Wasserstand zur Querschnittsfläche A_M des mittschiffs eingetauchten Teils eines Schiffes.

Regelbauweise: Standardisierte Bauweise, die unter vorgegebenen Randbedingungen ohne rechnerischen Nachweis anwendbar ist.

Sekundärwelle: → Hydraulische Belastung.

Stabilität des Steingerüsts: Für die Stabilität einer Deckschicht aus losen Steinen müssen die Einzelsteine untereinander verzahnt sein. Dies erfordert unabhängig von der Bemessung eine Mindestdicke (Werte siehe /Kayser 2005/). Die Verzahnung ist Voraussetzung für die Anwendung der Formeln zur Einzelsteinbemessung nach /GBB/.

Teilverguss/Vollverguss: Bei einem Teilverguss werden die Hohlräume zwischen den Wasserbausteinen nur zum Teil, bei einem Vollverguss vollständig mit Vergussstoff verfüllt.

Trennlage: Verhindert eine Durchmischung bzw. Durchdringung von unterschiedlichen Mineralkornlagen oder eine Erosion, wobei ihre hydraulische Filterwirksamkeit im Gegensatz zum Filter eine untergeordnete Bedeutung besitzt (z. B. Schüttung von rolligem Boden auf

weichem bis breiigem Baugrund, Wasserbausteine auf Tondichtung, Erosionsschutz unter einer Hartdichtung). Sie kann gleichzeitig die Selbstheilung eines defekten Dichtungssystems unterstützen.

Vergussstoff: Baustoff, der im Einbauzustand fließfähig ist und sich nach einer stoffabhängigen Erstarrungszeit verfestigt.

Wasserspiegelabsenk/Absenkgeschwindigkeit: Die Umströmung des fahrenden Schiffes führt zu einer Absenkung des Wasserspiegels neben dem Schiff. Dieser Absenk bildet sich über die gesamte Schiffslänge aus. Bemessungsrelevant sind der Absenk am Ufer und die damit verbundene Absenkgeschwindigkeit.

Wasserwechselbereich: Bereich der Kanalböschung, der den stärksten hydraulischen Belastungen (Bug- und Heckwellen, Schwall und Sunk inf. Schleusungen, Windwellen) ausgesetzt ist. Im Sinne dieses Merkblattes erstreckt er sich von 1,0 m unter BW_u bis 0,7 m über BW_o .

3 Randbedingungen der Regelbauweisen

3.1 Allgemeines

Die Regelbauweisen sind anwendbar, wenn bestimmte Randbedingungen hinsichtlich

- der verkehrenden Schiffstypen (siehe Kapitel 3.2),
- der Gewässer- bzw. Kanalquerschnitte (siehe Kapitel 3.3) und
- der Baugrundsituationen (siehe Kapitel 3.4)

erfüllt sind. Basis der Bemessung der Regelbauweisen sind die „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“ /GGB/.

Für die Berechnung der hydraulischen Einwirkungen und für die Bemessung werden Annahmen für die Eigenschaften der Schiffe und der Wasserbausteine getroffen. Die entsprechend gewählten Parameter sind in Anlage 3.1 aufgeführt.

Es werden Wasserbausteine unterschiedlicher Steinklassen und Rohdichten entsprechend Kapitel 4.1 und Vergussstoffe entsprechend Kapitel 4.2 berücksichtigt.

Als Filter können Geotextilien oder Kornfilter entsprechend Kapitel 4.3 verwendet werden.

Als Dichtungen werden in den Regelbauweisen die bewährten Weichdichtungen bzw. Hartdichtungen entsprechend Kapitel 4.5 in Verbindung mit Trennlagen entsprechend Kapitel 4.4 angewendet.

3.2 Schiffsflotte und hydraulische Belastung

Als Bemessungsschiffe werden für die Regelbauweisen die auf Kanälen häufig verkehrenden Typen

- Europaschiff (ES)
- Großmotorgüterschiff (GMS)
- Schubverband (SV)
- überlanges Großmotorgüterschiff (üGMS)

mit Standard-Abmessungen nach Tabelle 3.2-1 zu Grunde gelegt. Diese Schiffe decken das übliche Spektrum in Binnenschiffahrtskanälen der Klasse Vb ab. Bei voll abgeladenen Schiffen (max. zulässige Abladung bei Kanalfahrt) ist die Ladung i. d. R. gleichmäßig über das Schiff verteilt. Für Leerfahrer bzw. Ballastfahrer wird eine hecklastige Vertrimmung angesetzt. Zu beachten ist, dass für die hier durchgeführten grundlegenden Berechnungen der Beiwert C_H , der den Einfluss von Schiffstyp, Abladung, Vertrimmung und Wasserspiegellängsgefälle widerspiegelt, in Abhängigkeit vom Verhältnis Tiefgang zu Wassertiefe T/h berücksichtigt wurde (siehe Anlage 3.1).

Tabelle 3.2-1 Abmessungen der Schiffstypen (Abkürzungen siehe Text)

Typ	Länge L [m]	Breite B [m]	Tiefgang T [m]		
			voll*	leer	
			Bug/Heck	Bug	Heck
ES	85	9,50	2,50	0,70	1,40
GMS	110	11,45	2,80	0,80	1,60
SV	185	11,45	2,80	0,60	1,60
üGMS	135	12,00	2,80	0,90	1,80

* max. zulässige Abladung bei Kanalfahrt

Sonderfahrzeuge wie Schlepper oder einzeln fahrende Schubboote werden nicht betrachtet, da sie im Regelfall nur selten verkehren. In Kanalabschnitten, in denen diese Fahrzeuge einen signifikanten Anteil der Flotte ausmachen und gleichzeitig davon auszugehen ist, dass diese Fahrzeuge wie die o. g. Schiffstypen im Bereich der kritischen Schiffsgeschwindigkeit verkehren, sind die daraus resultierenden, ggf. größeren Belastungen nach /GBB/ zu berücksichtigen. Sie resultieren aus der möglichen Überlagerung von Bug- und Heckwellen bzw. Primär- und Sekundärwellen, was bei den Schiffstypen in Standardkanälen entsprechend Tab. 3.2-1 nicht relevant ist. Dies gilt auch bei häufiger Belastung durch sehr große Motoryachten, wenn anzunehmen ist, dass diese im Bereich der Gleitgeschwindigkeit fahren.

Belastungen aus typischen Sportbooten sind i. d. R. geringer als die aus den Schiffstypen nach Tab. 3.2-1 und durch die Regelbauweisen abgedeckt. Die größere Auflaufhöhe von

Sekundärwellen, insbesondere von Sportbooten, ist bei der Festlegung des Freibordes berücksichtigt (siehe Kapitel 5.5).

Es wird vorausgesetzt, dass im Gewässer nur schiffsinduzierte Strömungen bemessungsrelevant sind. Die Schiffsgeschwindigkeit über Grund kann der Schiffsgeschwindigkeit durch das Wasser gleichgesetzt werden.

Nach Empfehlung im /GBB/ wird als Grundlage der Bemessung eine Schiffsgeschwindigkeit von 97 % der kritischen Schiffsgeschwindigkeit angesetzt. Dieser Wert entspricht typischen Größtwerten gemessener Schiffsgeschwindigkeiten, die nach Beobachtungen unabhängig von der zulässigen Schiffsgeschwindigkeit auftreten. Damit wird das Fahrverhalten der Binnenfahrzeuge in Kanälen abgebildet. Sonderfälle, in denen die kritische Schiffsgeschwindigkeit erreicht oder überschritten wird, treten nur sehr selten und lokal begrenzt auf, sodass sie keine Regelbemessung darstellen.

Tabellen mit den wichtigsten hydraulischen Belastungsgrößen für diese Schiffsgeschwindigkeiten im Trapez- und Rechtecktrapezprofil sind als Anlage 3.2 beigefügt. Diese Schiffsgeschwindigkeiten können in Abhängigkeit vom Querschnittsverhältnis auch unter der zulässigen Schiffsgeschwindigkeit v_{zul} nach /BinSchStrO/ liegen, wenn kleine n -Verhältnisse (Gewässerquerschnitt/Schiffsquerschnitt) vorliegen, z. B. beim GMS im T-Profil. Der umgekehrte Fall, dass die Werte für 97 % v_{krit} über v_{zul} liegen, tritt bei großen n -Verhältnissen auf (kleine Schiffsquerschnitte). Für Geschwindigkeiten abweichend von 97 % v_{krit} ist eine Bemessung nach /GBB/ erforderlich.

Als Schiffsposition wird die ungünstigste ufernahe Fahrposition eines voll abgeladenen Fahrzeugs zu Grunde gelegt: Das Schiff fährt dabei im **T-Profil** am Rand der Fahrspur entsprechend den 'Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen' /RiReS/ 1 m über dem Böschungsfußpunkt. Ein Beispiel für das voll abgeladene GMS ist in Bild 3.2-1 zu sehen. Diese Position wird auf der Grundlage von Naturversuchen auch für Leerfahrer angesetzt.

Im **RT-Profil** wurde berücksichtigt, dass die verfügbare Fahrwasserbreite in Höhe der maßgebenden Tauchtiefe in Fahrt größer als im T-Profil ist. Im Einklang mit Naturuntersuchungen, die in RT-Profilen größere Uferabstände ergaben, wird dort ein um 1,5 m größerer Abstand zum Bemessungsufer angesetzt als im T-Profil.

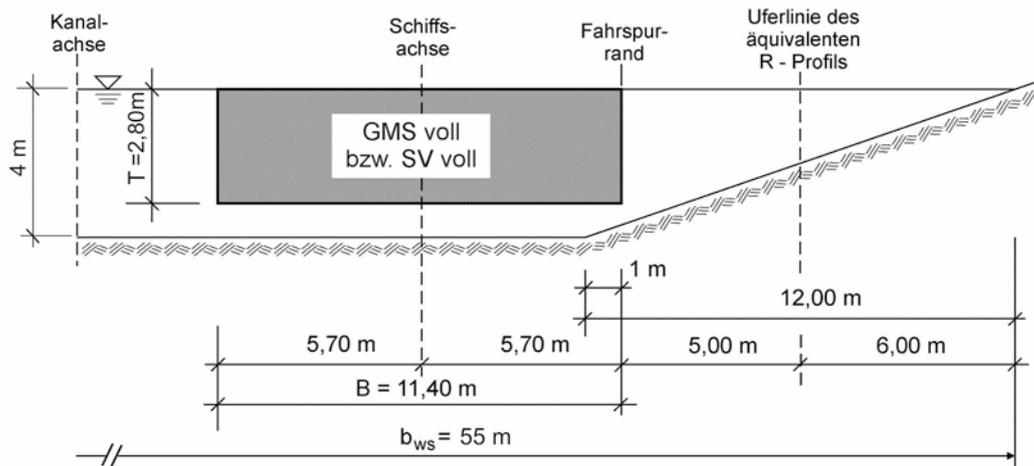


Bild 3.2-1: Beispiel für die ungünstigste Schiffposition eines GMS/SV voll im T-Profil

Die größten hydraulischen Belastungen treten im Regelfall bei der Einzelfahrt auf. Bei Begegnungen oder Überholungen ist unter Beachtung von reduzierten Fahrgeschwindigkeiten und veränderten Querschnittsverhältnissen von geringeren Belastungen auszugehen.

Eine Ausnahme bilden Belastungen durch Antriebs- und Steuerorgane der Fahrzeuge. Sie sind bei Begegnungen größer als in der Einzelfahrt, erreichen aber im Regelfall keine bemessungsrelevanten Werte.

Auswertungen aktueller Messungen zum Schraubenstrahl an der Sohle zeigen, dass moderne Großmotorgüterschiffe – insbesondere Einschrauber – bei zulässigem Flottwasser auf der freien Strecke Strahlgeschwindigkeiten in Sohlnähe von rd. 3,0 m/s erzeugen. Hierbei ist mit Einzelkolkiefen von weniger als 0,2 m bei einem Schiff in Fahrt zu rechnen, wenn lose Wasserbausteine der Klasse LMB_{5/40} mit einer Rohdichte von 2650 kg/m³ verwendet werden. Dieser anzunehmende Größtwert der Kolktiefe kann lokal akzeptiert werden. Größere, sich akkumulierende Kolkiefen sind in der Streckenfahrt unwahrscheinlich, da punktuell erhöhte Strahlbelastungen nicht immer an der gleichen Stelle auftreten.

Theoretische Berechnungen nach dem /GBB/ mit extremen Annahmen und Messungen für große Schiffe ergeben für Manövrierfahrten Strahlgeschwindigkeiten in Sohlnähe bis zu ca. 5,0 m/s. Die zugehörige Kolktiefe in einer Sohldeckschicht aus losen Wasserbausteinen LMB_{5/40} würde die Dicke der Deckschicht erreichen. In Kanalabschnitten, in denen häufig Manöver durchgeführt werden, sind deshalb angepasste Bauweisen zu wählen. Beispielsweise könnte eine größere Kanalwassertiefe gewählt oder eine teilvergossene Deckschicht verwendet werden.

3.3 Gewässerquerschnitte

Die Festlegung der Regelbauweisen gilt für die zwei hauptsächlich anzutreffenden Standard-Kanalprofile

- Trapezprofil (T-Profil) und
- Rechteck-Trapezprofil (RT-Profil).

Die Abmessungen sind in den geltenden Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschiffahrtskanälen /RiReS/ genau beschrieben. Die wesentliche Geometrie der beiden Profile ist in Tabelle 3.3-1 zusammengestellt.

Tabelle 3.3-1: Geometrie der zu Grunde liegenden Standard-Kanalprofile (Abkürzungen siehe Text) Hinweis: Für die Deckwerksbemessung wird das 1. Ufer betrachtet.

Profil	Wasserspiegelbreite b_{ws}	Wassertiefe h	Böschungsneigung 1 : m	
	[m]	[m]	1.Ufer	2.Ufer
			[-]	
T	55,0	4,00	1:3	1:3
RT	48,5	4,00	1:3	∞

Als weiteres Profil kommt das kombinierte Rechteck-Trapezprofil (KRT-Profil) zum Einsatz, das im Unterwasserbereich senkrecht und im Wasserwechselbereich geböscht ist /RiReS/ (Hinweise zur Ausführung siehe Kapitel 6.2).

Grundlage der Regelbauweisen ist der als repräsentativ anzusehende untere Betriebswasserstand BW_u , bei dem die angenommene Kanalwassertiefe von 4 m auftritt. Größere Wassertiefen führen bei gleicher Schiffsgeschwindigkeit zu geringeren Belastungen und sind deshalb im Regelfall nicht bemessungsrelevant.

3.4 Baugrund

Der unter dem Deckwerk anstehende Boden hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Deckschichtdicke, die zur Gewährleistung der lokalen Standsicherheit der mit dem Deckwerk geschützten Böschung erforderlich ist /GBB/. Die im Abschnitt 5 dargestellten Regelbauweisen gelten für fünf verschiedene Böden:

B1: Sande und Kiese

B2: Sande

B3: schluffige Sande und Kiese

B4: Schluffe, stark schluffige Sande und Kiese

B5: kohäsive Böden

Für die Deckwerksbemessung ist neben der Scherfestigkeit insbesondere die Durchlässigkeit des Bodens maßgebend. Je weniger durchlässig der anstehende Boden ist, desto größer ist der Porenwasserüberdruck unter dem Deckwerk infolge eines Wasserspiegelabsunkes vor der Böschung bei einer Schiffsvorbeifahrt und desto stärker ist seine destabilisierende Wirkung auf das Deckwerk und den Untergrund. Dies gilt jedoch nur für kohäsionslose Böden (B1 bis B4).

Besitzt der Boden eine auch unter Wasser dauerhaft wirksame Kohäsion c'_k von mindestens 3 kPa, kann davon ausgegangen werden, dass die lokale Standsicherheit durchlässiger Deckwerke entsprechend Abschnitt 7.2 des /GBB/ in der Regel ohne Nachweis gegeben ist (kohäsiver Boden B5). Maßgebend werden dann die Mindestdicken. Ist die wirksame Kohäsion $0 < c'_k < 3$ kPa, so sind die Regelbauweisen nicht anwendbar, das erforderliche Deckwerk ist nach GBB zu bemessen. Bei Böden mit $0 < c'_k < 3$ kPa und einer Durchlässigkeit von $5 \cdot 10^{-6} \geq k_k \geq 1 \cdot 10^{-6}$ m/s kann auf der sicheren Seite liegend Boden 4 angesetzt werden.

Die bodenmechanischen Kennwerte der den Regelprofilen zu Grunde gelegten Böden B1 bis B5 sind in der Tabelle 3.4-1 zusammengestellt. Auf dieser Grundlage kann eine Zuordnung der jeweils anstehenden Böden zu den Böden B1 bis B5 erfolgen. Maßgebend für die Zuordnung ist der jeweilige Feinanteil (d_5, d_{10}, d_{15}) entsprechend Tabelle 3.4-1, der hauptsächlich die charakteristische Durchlässigkeit k_k des Bodens bestimmt. Die für die Dimensionierung der Regelbauweisen durchgeführten Berechnungen erfolgten mit den jeweils unteren Durchlässigkeitsbeiwerten der Tabelle 3.4-1.

Tabelle 3.4-1: Charakteristische Bodenkennwerte für Böden B1 bis B5

Boden	Beschreibung	Durchlässigkeitsbeiwert	effektiver Reibungswinkel	effektive Kohäsion	Feuchtwichte	Wichte unter Auftrieb	Korndurchmesser d_i bei i -% Siebdurchgang		
		k_k [m/s]	φ_k' [°]	c_k' [kN/m ²]	γ_k [kN/m ³]	γ_k' [kN/m ³]	d_5 [mm]	d_{10} [mm]	d_{15} [mm]
B 1	Sande und Kiese	$k_k \geq 5 \cdot 10^{-4}$	35,0	0	19	11	–	$\geq 0,2$	–
B 2	Sande	$5 \cdot 10^{-4} > k_k \geq 5 \cdot 10^{-5}$	35,0	0	19	11	–	$\geq 0,07$	–
B 3	schluffige Sande und Kiese	$5 \cdot 10^{-5} > k_k \geq 5 \cdot 10^{-6}$	32,5	0	18	10	$\geq 0,002$	$\geq 0,02$	–
B 4	Schluffe, stark schluffige Sande und Kiese	$5 \cdot 10^{-6} > k_k \geq 1 \cdot 10^{-6}$	30,0	0 ($0 < c_k' < 3$)	18	10	–	$\geq 0,002$	$\geq 0,02$
B 5	kohäsiver Boden	$1 \cdot 10^{-6} > k_k$	$< 30,0$	$c_k' \geq 3$	–	–	–	$< 0,002$	$< 0,02$

4 Deckwerkskomponenten

4.1 Wasserbausteine

Die Anforderungen an Wasserbausteine für Deckschichten in Deckwerken sind in der /DIN EN 13383/ „Wasserbausteine, Teil 1: Anforderungen“ geregelt. Zusätzlich gelten die „Technischen Lieferbedingungen Wasserbausteine“ /TLW/ in ihrer jeweils gültigen Ausgabe.

In der /DIN EN 13383/ sind verschiedene Standard-Steinklassen mit unterschiedlicher Widerstandsfähigkeit gegen hydraulische Einwirkungen festgelegt. Kleinere Wasserbausteine sind über den Siebdurchmesser D (Kantenlänge des Quadratlochsieb) definiert und werden als $CP_{x/y}$ – Klasse bezeichnet (**C**oarse **P**article, x untere Klassengrenze [mm], y obere Klassengrenze [mm]). Die größeren Klassen werden über das Gewicht G als Leichte Gewichtsklasse $LM_{x/y}$ (**L**ight **M**ass, x untere Klassengrenze [kg], y obere Klassengrenze [kg]) oder schwere Klasse $HM_{x/y}$ (**H**eavy **M**ass) definiert. Für den Einsatz in Deckschichten an Binnenwasserstraßen werden üblicherweise die Klassen $CP_{90/250}$, $LMB_{5/40}$ und $LMB_{10/60}$ verwendet /Kaysner 2005/.

Über die Festlegungen der /DIN EN 13383/ hinaus ergibt sich bei der hydraulischen Bemessung von Deckwerken mit losen Deckschichten nach /GBB/ als Bemessungsgröße der Wert, der von 50 Gewichtsprozent der Steinfraktion unterschritten wird (G_{50} bei Gewichtsklassen und D_{50} bei Größenklassen). Beispielhaft ist G_{50} für eine Steinfraktion der Klasse $LMB_{5/40}$ (rot) in Bild 4.1-1 dargestellt. Ergänzend ist G_{50} für eine mittlere Steinfraktion (grün), die über die lineare Verbindung der oberen und unteren Nenngrenze festgelegt ist, eingetragen.

Ergänzend zu dem erforderlichen G_{50} (D_{50})-Wert muss die Summenlinie nach DIN EN 13383 innerhalb bestimmter Grenzen liegen (beispielhaft für die Klasse $LMB_{5/40}$ in Bild 4.1-1 schraffiert dargestellt).

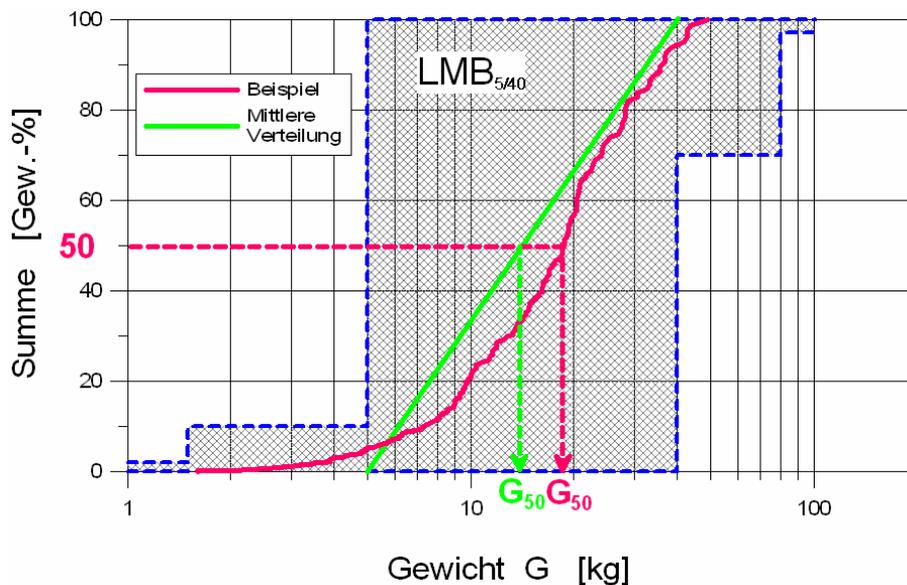


Bild 4.1-1: Definition der Bemessungswerte G_{50} beispielhaft für eine $LMB_{5/40}$ Klasse

Die verwendeten Wasserbausteine müssen mindestens den 50%-Wert der mittleren Summenkurve (log-lineare Verbindung der Klassen-Nenngrenzen, Beispiel siehe grüne Linie in Bild 4.1-1) einhalten. Dieser Wert ist im Rahmen der Bauausführung, soweit vertraglich vereinbart, zu kontrollieren. Hinweise zur Ermittlung von D_{50} bzw. G_{50} sind in der Anlage 4.1-1 enthalten.

Für die hauptsächlich verwendeten Steinklassen sind diese in Tabelle 4.1-1 aufgeführt und mit ihren Klassengrenzen, mittleren Summenkurven und üblichen Schwankungsbreiten in der Anlage 4.1-2 dargestellt. Diese Werte werden bei der Auswahl der Steinklasse in Kapitel 5.2.1 zu Grunde gelegt.

Tabelle 4.1-1: 50%-Werte für Standard-Steinklassen loser Deckschichten

Steinklasse	50% - Wert
CP _{90/250}	D ₅₀ = 150 mm
LMB _{5/40}	G ₅₀ = 14 kg
LMB _{10/60}	G ₅₀ = 25 kg

Die Regelbauweisen für die Deckschichten werden für vier verschiedene Rohdichten des Gesteins von $\rho_s = 2300 \text{ kg/m}^3$, 2650 kg/m^3 , 3000 kg/m^3 und 3600 kg/m^3 angegeben.

4.2 Verguss

Als Vergussmaterial wird der Einsatz von dichten hydraulisch gebundenen Vergussstoffen empfohlen. Der Einsatz wasserdurchlässiger Vergussstoffe hat sich gegenüber dem Teilverguss mit dichten Vergussstoffen nicht durchgesetzt. Bitumengebundene Vergussstoffe (Asphalt) werden bei den Regelbauweisen nicht behandelt, da sie an Bundeswasserstraßen aus wirtschaftlichen Gründen und auf Grund des schwierigen Einbaus unter Wasser nicht mehr eingesetzt werden. Hinweise zu den empfohlenen Vergussstoffmengen enthält das /MAV/. Dort sind auch die Anforderungen an die Ausgangsmaterialien, die erforderlichen Prüfungen und den Einbau enthalten.

4.3 Filterlagen

Für die Regelanforderungen an geotextile Filter gelten die /TLG/ und die /ZTV-W LB 210/, für die Anforderungen an Filter aus Gesteinskörnungen (Kornfilter) die /ZTV-W 210/. Kornfilter werden in der Regel ungebunden eingebaut, der Einsatz gebundener Kornfilter soll auf relativ kleinflächige (kontrollierbare) Sicherungsmaßnahmen beschränkt bleiben. Hinweise zu Filterbauweisen sind im /MAG/ bzw. /MAK/ enthalten.

4.4 Trennlagen

Als Trennlagen können je nach Anwendungsgebiet Gesteinskörnungen nach /MAK/ oder Geotextilien nach /MAG/ und /TLG/ eingesetzt werden. Trennlagen zwischen Weichdichtungen und Deckschichten haben keine hydraulische Filterfunktion. Wird eine Trennlage unter einer Dichtung eingesetzt, so muss ihre Wasserdurchlässigkeit geringer als die des angrenzenden Baugrundes sein.

4.5 Dichtungssysteme

4.5.1 Allgemeines

Dichtungen der Regelbauweisen sind ausschließlich Oberflächendichtungen. Detaillierte Hinweise zu den unterschiedlichen Dichtungssystemen und deren Eigenschaften und Anwendungsgrenzen werden in den /EAO/ gegeben. Vertikaldichtungen und Innendichtungen

der Seitendämme werden in den Regelbauweisen nicht behandelt, da sie nicht Bestandteil des Deckwerks sind.

4.5.2 Weichdichtungen

Als Weichdichtungen werden die folgenden Dichtungsarten an Wasserstraßen eingesetzt:

- Naturtondichtung
- Dauerplastische Dichtungen mit Ton und hydraulischen Bindemitteln
- Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD)

Für die Materialanforderungen und die Prüfungen von Weichdichtungen sind die /RPW/ und die /EAO/ anzuwenden.

Für GTD gelten zusätzlich die Festlegungen der /TLG/ und die Empfehlungen des /MAG/, sofern sie auf Dichtungsbahnen anwendbar sind.

4.5.3 Hartdichtungen

Als Hartdichtungen werden bei den Regelbauweisen lediglich Wasserbausteine mit einem Vollverguss aus dichtem hydraulisch gebundenem Vergussstoff nach /MAV/ und /EAO/ betrachtet. Hinweise zu den empfohlenen Vergussstoffmengen enthält das /MAV/. Dort sind auch die Anforderungen an die Ausgangsmaterialien, die erforderlichen Prüfungen und den Einbau enthalten.

5 Regelbauweisen

5.1 Allgemeines

Je nach konstruktivem Aufbau gibt es durchlässige und dichte Regelbauweisen. Als Dichtung kann eine gesonderte Dichtungsschicht unter der durchlässigen Deck- bzw. Trennschicht oder ein dichter Vollverguss der Deckschicht aus Wasserbausteinen vorgesehen werden. Über das Erfordernis einer Dichtung im Deckwerk ist nach hydrogeologischen und sicherheitsrelevanten Gesichtspunkten zu entscheiden (siehe Kapitel 5.6.2).

Als Fußsicherung ist grundsätzlich die bewährte Einbindung des Deckwerks bis 1,5 m unter die Gewässersohle vorgesehen. Unter bestimmten Randbedingungen ist eine Verringerung der Einbindetiefe bzw. auch eine Fußvorlage möglich (siehe Kapitel 5.3).

Die Sohle wird i. d. R. nur gesichert, wenn besondere Bauteile zu schützen sind, z. B. Dichtungen, sohlnahe Düker oder die Spundwände an Liegestellen. Das Erfordernis einer Sohlsicherung in Manövrierbereichen ist zu prüfen.

Die lokale Standsicherheit (entsprechend /GBB/ Kapitel 7.2, 7.3, 9.2, 9.3) der im Folgenden dargestellten Regelbauweisen ist unter Berücksichtigung der Einwirkungen aus schiffsindu-

zierten Wellen und Strömungen entsprechend den Bemessungsgrundlagen (siehe Kapitel 3) und unter Berücksichtigung von Ankerwurf gegeben. Die Gesamtstandsicherheit der wasserseitigen Böschung mit Regeldeckwerk ist unter Berücksichtigung der maßgebenden Verkehrslasten nach /GBB/ Kapitel 7.4 nachzuweisen.

Bei den geotechnischen Nachweisen für die Regelbauweisen wird das Gewicht des Kornfilters in vollem Umfang auf das Flächengewicht angerechnet. Wesentliche, statisch ungünstig wirkende Porenwasserüberdrücke treten im Kornfilter nicht auf. Maßgebend für die Gewährleistung der Standsicherheit ist dann die Gesamtschichtdicke aus Deckschicht und Kornfilter. Dies ist in den nachfolgend beschriebenen Regelbauweisen bereits berücksichtigt.

Das Gewicht einer Steinschüttung wird wesentlich durch den Hohlraumgehalt bestimmt. Der Hohlraumgehalt ist hauptsächlich vom Einbauverfahren abhängig. Entsprechende Erfahrungswerte sind in Tabelle 5.1-1 enthalten.

Tabelle 5.1-1: Hohlraumgehalt von Deckschichten aus Wasserbausteinen in Abhängigkeit vom Einbauverfahren (bei Peilung über die Steinspitzen)

Lagerungsdichte	Hohlraumgehalt n	Einbauverfahren
locker	50 - 55 %	bei Verklappen unter Wasser
mitteldicht	45 %	bei Schüttung im Trockenen bzw. bei Einbau durch Greifer/Bagger unmittelbar auf dem Planum
dicht	30 - 40 %	bei Nacharbeiten von Hand bzw. Andrücken mit dem Einbaugerät

Diese Erfahrungswerte gelten für Deckschichten mit den in Kapitel 5.2 genannten Dicken bei Peilungen über die Steinspitzen (z. B. bei Peilungen mit einem Rahmen oder Stangenpeilungen mit einem großen Teller mit einem Durchmesser von ca. 30 cm und größer). Üblich sind auch Stangenpeilungen mit Kugeln, bei denen nicht über die Steinspitzen, sondern in den oberen Steinzwischenräumen gepellt wird. Dadurch ergeben sich messtechnisch bedingt geringere Schichtdicken und insgesamt geringere Hohlraumgehalte (vgl. Kapitel 8.2). Bei Verwendung von Kugeldurchmessern von 9 cm für CP_{90/250}, 12 cm für LMB_{5/40} und 15 cm für LMB_{10/60} liegt die gemessene Oberkante des Deckwerks ca. 3 bis 5 cm unter der Höhe, die sich bei Messung über die Spitzen ergibt.

Für die nachfolgend aufgeführten Regelbauweisen wird entsprechend Tabelle 5.1-1 von einem Hohlraumgehalt von 50 % ausgegangen.

In Dammstrecken sind die Forderungen des /MSD/ hinsichtlich des Bewuchses zu berücksichtigen.

Ein nur teilweise über die Böschungshöhe gebautes Deckwerk (Teildeckwerk) wird bei den Regelbauweisen nicht berücksichtigt. Dies ist eine Sonderlösung bei speziellen Baugrundverhältnissen, z. B. bei hoch anstehendem Fels, die einen Schutz der Böschung bis zur Sohle nicht erforderlich macht. Liegt der untere Abschluss des Teildeckwerks im Fels, kann auf der sicheren Seite liegend die Deckschichtdicke der entsprechenden Regelbauweise verwendet werden.

5.2 Deckschichten

5.2.1 Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen

Diese Regelbauweise besteht aus einer Deckschicht aus geschütteten, losen Wasserbausteinen entsprechend Kapitel 4.1. Sie kann auf einem geotextilen Filter oder Kornfilter angewendet werden.

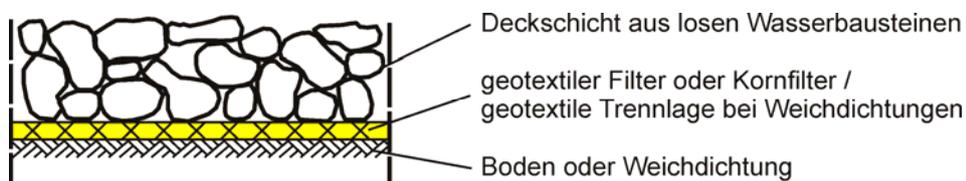


Bild 5.2.1-1: Schematische Darstellung einer durchlässigen Deckschicht aus losen Wasserbausteinen im Querschnitt

Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen haben eine große Anpassungsfähigkeit (Flexibilität) bei Untergrundverformungen. Sie besitzen einen ausreichenden Widerstand gegen Schiffsanfahrungen, soweit diese im Wesentlichen parallel zum Kanal verlaufen.

Die Lagestabilität wird bei dieser Bauweise maßgeblich durch die Größe der Einzelsteine und die Einbaudicke der Deckschicht bestimmt. Diese sind abhängig von der Rohdichte der Steine und dem Hohlraumgehalt der Steinschüttung. Begrenzte Steinbewegungen oder auch örtliche Umlagerungen können unter den zu Grunde gelegten Belastungen auftreten. Dies wird bei den Berechnungen zu den Regelbauweisen nach /GBB/ berücksichtigt (Stabilitätsbeiwert $B'_B = 2,3$ dort in Gl. (6-3)). Es kann dementsprechend ein begrenzter Unterhaltungsaufwand erforderlich werden. Fehlstellen im Deckwerk sollten zeitnah beseitigt werden. Bei hohen Strömungsbelastungen im Deckwerksbereich (z. B. in Manövrierbereichen, Vorhäfen und Liegestellen) sind die ausgewiesenen Regelbauweisen aus losen Wasserbausteinen nicht ausreichend lagestabil (siehe Kapitel 5.6.5). Das gilt ggf. auch für bauzeitliche Liegestellen.

Die für diese Regelbauweise erforderliche Größe der Einzelsteine stellt sicher, dass Oberflächenerosionen infolge brechender Wellen, Rückstrom, Wiederauffüllungsströmung und ggf.

Schraubenstrahl begrenzt bleiben. Die Einzelsteingröße ist nicht vom anstehenden Boden, sondern nur von den o. g. hydraulischen Belastungen abhängig. In der Tabelle 5.2.1-1 sind die für diese Regelbauweise erforderlichen mittleren Einzelsteingrößen D_{50} bzw. Einzelsteingewichte G_{50} und die daraus entsprechend Kapitel 4.1 abgeleiteten empfohlenen Steinklassen in Abhängigkeit von der Rohdichte der Steine zusammengestellt. Lose Wasserbausteine mit dem angegebenen jeweils erforderlichen D_{50} bzw. G_{50} gewährleisten eine ausreichende Lagestabilität der Einzelsteine für die in Kapitel 3 festgelegten Belastungsszenarien.

Abweichend von der Tabelle 5.2.1-1 kann es ggf. auch sinnvoll sein, die jeweils kleinere Steinklasse zu wählen. Allerdings muss auch die kleinere Steinklasse den für die entsprechende Rohdichte erforderlichen Wert D_{50} bzw. G_{50} einhalten, wobei der Wert in dem für die jeweilige Klasse typischen Schwankungsbereich entsprechend der Anlage 4.1-2 liegen soll. Dies ist eine erhöhte Anforderung an die jeweils kleinere Steinklasse und schränkt daher ggf. deren Verfügbarkeit ein.

Die hinsichtlich der Stabilität des Steingerüsts erforderlichen Minstdicken für Deckschichten aus losen Wasserbausteinen nehmen für eine bestimmte Rohdichte der Steine mit größer werdender Steinklasse zu (siehe Anlage 5.2.1-3). Aus diesem Grund kann es unter Umständen sinnvoll sein, die Möglichkeit der Anwendung der nächst kleineren Steinklasse mit einem G_{50} bzw. D_{50} - Wert, der über dem mittleren Wert dieser Steinklasse liegt, zu prüfen.

Tabelle 5.2.1-1: Erforderliche Steindurchmesser bzw. Steingewichte und notwendige Steinklassen für Regelprofile bei Zulassung aller Schiffstypen (ES, GMS, SV, üGMS) für verschiedene Rohdichten (2300 – 3600 kg/m³)

Rohdichte ρ_s	erforderliches D_{50}	erforderliches G_{50}	empfohlene Steinklasse
[kg/m ³]	[mm]	[kg]	-
2300	≥ 260	≥ 25	LMB _{10/60}
2650	≥ 200	≥ 14	LMB _{5/40}
3000	≥ 160	≥ 8	LMB _{5/40}
3600	≥ 120	≥ 4	CP _{90/250}

Bei Rohdichten $\rho_s < 2650$ kg/m³ werden in jedem Fall relativ große Steine und entsprechend große Schichtdicken erforderlich. Daher sollte die Rohdichte ρ_s i. Allg. 2650 kg/m³ nicht unterschreiten.

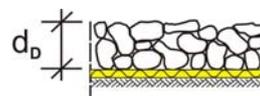
Bei Zwischenwerten für die Rohdichten ist auf der sicheren Seite liegend die Steingröße für die nächst kleinere Rohdichte zu wählen, oder es ist ein rechnerischer Nachweis mit der genauen Rohdichte nach /GBB/ zu erbringen.

Rohdichten über 3000 kg/m^3 werden i. d. R. nur mit industriell hergestellten Wasserbausteinen (Schlacken) erreicht, bei deren Verwendung die Regeln zur Umweltverträglichkeit zu beachten sind.

Nach Festlegung der Steinklasse und der Rohdichte ist die empfohlene Deckschichtdicke unter Berücksichtigung des Bodens und der Filterart der Tabelle 5.2.1-2 zu entnehmen. Die empfohlenen Deckschichtdicken auf Weichdichtungen entsprechen jedoch nur dann den angegebenen Minstdicken, wenn der Grundwasserspiegel unterhalb des durch Schiffahrt abgesenkten Kanalwasserspiegels liegt, ansonsten muss die Auftriebssicherheit nachgewiesen werden (siehe Anlage 5.6.2-1).

Tabelle 5.2.1-2: Empfohlene Deckschichtdicken (lose Wasserbausteine) für Böschung und Sohle unter Beachtung der Böden nach 3.4

Rohdichte [kg/m^3]	WBSt-Klasse	Empfohlene Deckschichtdicken d_b [m] bei Fußeinbindung (Einbindetiefe: 1,50 m)					
		Böschung				Sohle	
		Geotextil nach MAG			Kornfilter nach MAK	Geotextil nach MAG	Kornfilter nach MAK
		B1, B2, B5*	B3	B4	alle Böden	alle Böden	alle Böden
2300	LMB _{10/60}	0,70	0,85	0,95	0,70	0,70	0,70
2650	LMB _{5/40}	0,60	0,70	0,80	0,60	0,60	0,60
3000	LMB _{5/40}	0,55	0,60	0,70	0,55	0,60	0,55
3600	CP _{90/250}	0,50	0,50	0,60	0,50	0,60	0,50



*B5 einschließlich Weichdichtungen

Zusätzlich sind in der Anlage 5.2.1-1 die für Böschung und Sohle neben den Werten der Tabelle 5.2.1-2 entsprechenden Schichtdicken für anwendbare alternative Steinklassen zusammengestellt. Dabei wurden die sich aus der geotechnischen Bemessung für die Böschung rechnerisch ergebenden Deckschichtdicken (grafisch dargestellt in der Anlage 5.2.1-2) und die Minstdicken für Böschung bzw. Sohle hinsichtlich Schiffsanfahrung, Ankerwurf, Stabilität des Steingerüsts usw. (Anlage 5.2.1-3) berücksichtigt. Der jeweils größere Wert ist maßgebend und wurde in der Anlage 5.2.1-1 bzw. in der Tabelle 5.2.1-2 mathematisch auf $5/100 \text{ [m]}$ auf- bzw. abgerundet. Dabei erfolgte keine Unterscheidung für das Trapez- und Rechteck-Trapezprofil. Grundlage der empfohlenen Deckschichtdicken sind Mittelwerte aus den berechneten Ergebnissen für beide Profilarten.

Bei Deckschichten auf Weichdichtungen sind zusätzlich besondere Anforderungen entsprechend Kapitel 5.4 zu beachten.

Sind Steine mit Rohdichten zwischen den in Anlage 5.2.1-1 aufgeführten Werten zu verwenden, kann die erforderliche Dicke der Deckschicht unter Berücksichtigung der Mindestdicken nach den Diagrammen in Anlage 5.2.1-2 interpoliert werden.

5.2.2 Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen

Diese Regelbauweise besteht aus einer Deckschicht aus geschütteten Wasserbausteinen entsprechend Kapitel 4.1 und einem Teilverguss aus einem dichten Vergussstoff entsprechend Kapitel 4.2. Sie kann auf einem geotextilen Filter oder Kornfilter angewendet werden.



Bild 5.2.2-1: Schematische Darstellung einer durchlässigen Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen im Querschnitt

Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen besitzen nur eine begrenzte Flexibilität, die von der Vergussstoffmenge bestimmt wird. Beschädigungen können infolge Schiffsanfahrung auftreten. Da sich lokale Fehlstellen an teilvergossenen Deckschichten vergrößern können, sollten sie zeitnah beseitigt werden.

Die Ausführung von Vergussarbeiten unter Wasser ist besonders zu überwachen /ZTV-W 210/.

Für die Herstellung von teilvergossenen Deckschichten wird die Größenklasse $CP_{90/250}$ empfohlen. Um eine ausreichende Hohlraumgröße zu erhalten, sollte in den Verdingungsunterlagen der Feinkornanteil der Steinklasse durch Forderung eines Mindestwertes von $D_5 = 90$ mm begrenzt werden. Es können auch Steine der Klasse $LMB_{5/40}$ eingesetzt werden.

Für die Auswahl einer Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen der Klassen $CP_{90/250}$ und $LMB_{5/40}$ sind in der Anlage 5.2.2-1 die für Böschung und Sohle empfohlenen Schichtdicken für die verschiedenen Böden B1 bis B5 bzw. Weichdichtungen unter Berücksichtigung der Rohdichte der Steine zusammengestellt. Dabei wurden die sich aus der geotechnischen Bemessung für die Böschung rechnerisch ergebenden Deckschichtdicken (grafisch dargestellt in der Anlage 5.2.2-2) und die Mindestdicke, die für die verwendeten Steinklassen generell 40 cm beträgt, berücksichtigt. Der jeweils größere Wert ist maßgebend und wurde in der Anlage 5.2.2-1 mathematisch auf 5/100 [m] auf- bzw. abgerundet. Dabei erfolgte keine Unterscheidung für das Trapez- und Rechteck-Trapezprofil. Grundlage der empfohlenen Deckschichtdicken sind Mittelwerte aus den berechneten Ergebnissen für beide Profilarten.

Bei Deckschichten auf Weichdichtungen sind zusätzlich besondere Anforderungen entsprechend Kapitel 5.4 zu beachten.

Bei Verwendung von Steinen mit Rohdichten zwischen den in Anlage 5.2.2-1 aufgeführten Werten kann die erforderliche Schichtdicke unter Berücksichtigung der Minstdicken nach den Diagrammen in Anlage 5.2.2-2 interpoliert werden.

5.2.3 Dichte Deckschichten aus vollvergossenen Wasserbausteinen

Diese Regelbauweise besteht aus einer Deckschicht aus geschütteten Wasserbausteinen entsprechend Kapitel 4.1 und einem Vollverguss aus einem dichten hydraulisch gebundenen Vergussstoff entsprechend Kapitel 4.2. Sie darf nur auf einer geotextilen Trennlage entsprechend Kapitel 4.4 angewendet werden. Es wird die Gewichtsklasse LMB_{5/40} oder LMB_{10/60} empfohlen.

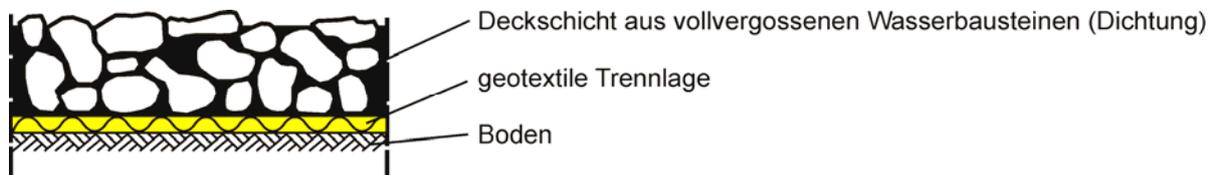


Bild 5.2.3-1: Schematische Darstellung einer dichten Deckschicht aus vollvergossenen Wasserbausteinen im Querschnitt

Sind Ausgleichsschichten unter einer dichten Deckschicht erforderlich, so müssen diese gegenüber dem anstehenden Untergrund weniger durchlässig, jedoch filterstabil sein. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sich bei einem lokalen Schaden im dichten Deckwerk das Druckpotenzial des Kanalwassers auf Grund der größeren Wasserwegigkeit in der Ebene großflächig unter der Deckschicht verteilt und auftriebsbedingt zu Schäden führen kann.

Dichte Deckschichten aus vollvergossenen Wasserbausteinen besitzen keine Flexibilität. Beschädigungen durch Schiffsanfahrung können auftreten. Fehlstellen in dichten Deckschichten müssen beseitigt werden, um die Dichtwirkung wieder herzustellen.

Die Minstdicke für eine dichte, vollvergossene Deckschicht entsprechend Anlage 5.2.3 ist ausreichend, wenn der Grundwasserspiegel dauerhaft unter dem bei Schiffsvorbeifahrt abgesenkten Kanalwasserspiegel liegt. Wirkt zeitweise oder ständig ein Wasserüberdruck hinter der Dichtung sind die erforderlichen Deckschichtdicken zur Gewährleistung einer ausreichenden Auftriebssicherheit zu berechnen. In Anlage 5.2.3 sind die erforderlichen Minstdicken sowie beispielhaft rechnerisch erforderliche Deckschichtdicken bei verschiedenen Wasserüberdrücken dargestellt.

5.3 Fußsicherung

Die Stabilität des Deckwerkes auf der Böschung hängt u.a. sehr stark von der konstruktiven Ausbildung des Deckwerksfußes ab. Auf Grund der bisherigen Erfahrungen wird die Fußeinbindung – auch Fußverlängerung genannt – für die Regelbauweisen empfohlen. Für die Böden B2, B3 und B4 entsprechend Kapitel 3.4 sind die aufgeführten Regelbauweisen ausschließlich mit einer Fußeinbindung mit einer Mindesteinbindetiefe von $t = 1,50$ m unter planmäßiger Gewässersohle anwendbar (siehe Bild 5.3-1). Das gilt auch für kohäsive Böden B5, wenn diese nicht erosionsstabil sind. Der Fußgraben wird in der Regel mit dem anstehenden Boden verfüllt.

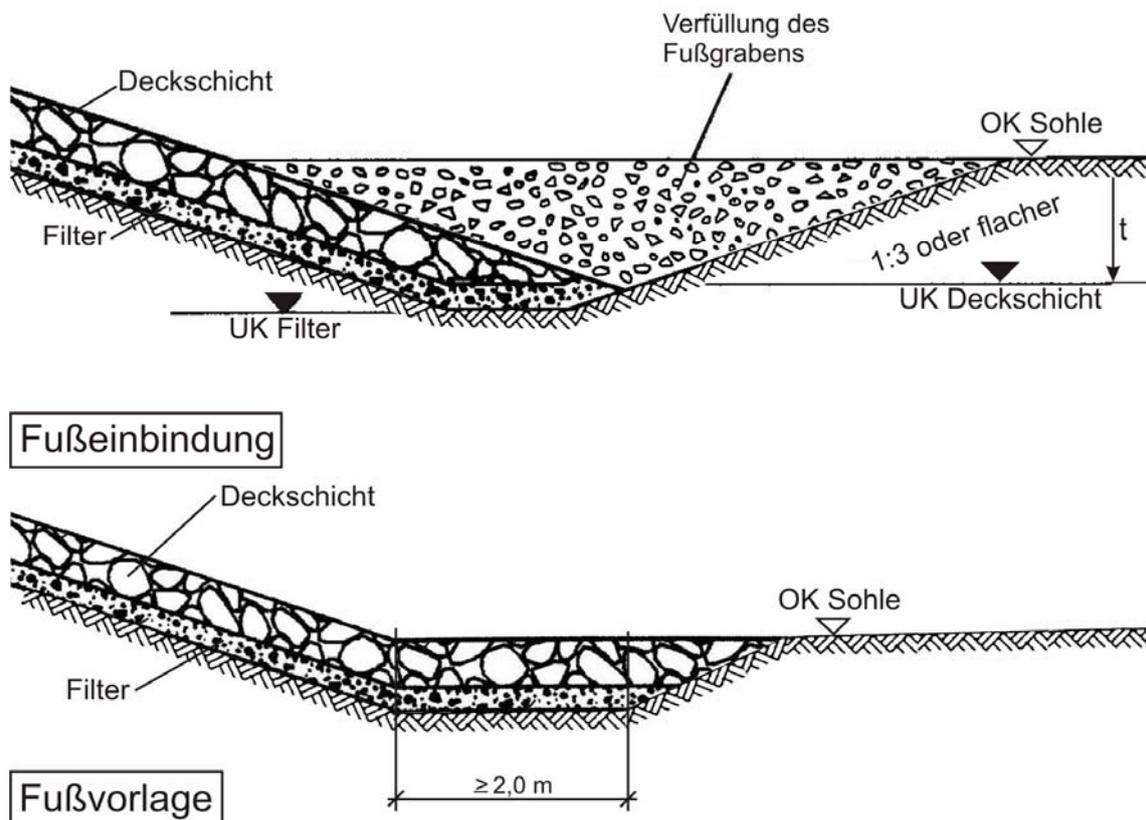


Bild 5.3-1: Konstruktive Ausbildung der Fußsicherung

Entspricht der unter dem Deckwerk anstehende Baugrund dem Boden B1, kann bei Beibehaltung der in den Anlagen 5.2.1-3 und 5.2.2-2 aufgeführten Deckschichtdicken die Tiefe der Fußeinbindung auf 1 m reduziert werden oder als Alternative eine Fußvorlage entsprechend Bild 5.3-1 als Fußsicherung angewendet werden. Diese Möglichkeiten bestehen auch bei anstehendem Fels oder festen bindigen Böden (B5), die erosionsstabil sind.

Die Regelbauweisen berücksichtigen keine Kolke unmittelbar am Böschungsfuß, da mögliche schiffahrtsbedingte Kolke erfahrungsgemäß erst einige Meter vom Böschungsfuß ent-

fernt entstehen. Sollten dennoch lokale Kolke direkt am Böschungsfuß auftreten, sind diese im Rahmen der Unterhaltung zu beseitigen. Alternativ kann die Fußsicherung des Deckwerks um die prognostizierte Kolkentiefe über die Standardtiefe von 1,5 m hinaus unter Gewässersohle vertieft oder der Fußgraben mit gröberem Material als der anstehende Boden – z. B. Kies – verfüllt werden. Dieser muss gegenüber dem anstehenden Boden filterstabil sein. Es kann auch eine Einzelfallbemessung nach /GBB/ unter Berücksichtigung eines Kolks durchgeführt werden.

Bei sehr erosionsanfälligen Böden – z. B. Boden B4 – kann die Herstellung des Fußgrabens bereits problematisch sein. In diesem Fall sollten sehr flache Böschungsneigungen für den Graben vorgesehen werden. Der Einbau des Deckwerks sollte unmittelbar nach Herstellung des Fußgrabens erfolgen.

Die Fußspundwand wird nur in Ausnahmefällen ausgeführt und deshalb bei den Regelbauweisen nicht betrachtet. Die Einwirkungen und Widerstände auf die Spundwand sind nach /GBB/ zu ermitteln. Die im MAR angegebenen Deckschichtdicken für die Regelbauweisen können auf der sicheren Seite liegend angewendet werden. Die Spundwand ist eine langfristig stabile, jedoch relativ aufwändige Fußsicherung, einsetzbar nur in rambaren Böden ohne Rammhindernisse wie beispielsweise alte Deckwerksreste. Die Böschungssicherung muss filterstabil an den Spundwandkopf angeschlossen werden. Eine Kolkentiefe vor der Spundwand von 1,50 m (bei Böden B2 bis B4, je nach Erosionsstabilität auch bei Boden B5) bzw. 0,75 m (bei Boden B1) ist bei der Bemessung nach /GBB/ Abschnitt 7.2.5.5 zu berücksichtigen.

5.4 Weichdichtungen

Über Weichdichtungen entsprechend Kapitel 4.5.2 sind durchlässige Deckschichten aus losen (Kapitel 5.2.1) oder vergossenen (Kapitel 5.2.2) Wasserbausteinen anwendbar. Da eine Wasserwegigkeit in der Ebene unter der Weichdichtung zu vermeiden ist, sind Ausgleichsschichten nicht zulässig, die durchlässiger als der anstehende Untergrund sind. Ansonsten besteht die Gefahr, dass sich bei einem lokalen Schaden in der Dichtung das Druckpotenzial des Kanalwassers großflächig unter der Dichtung verteilt und zu auftriebsbedingten Schäden führen kann.

Bei Anwendung von Tondichtungen sollten zwischen Dichtung und Wasserbausteinen ausschließlich geotextile Trennlagen entsprechend Kapitel 4.4 verwendet werden. Bei Kornfiltern besteht die Gefahr, dass sich mögliche Fehlstellen in der Dichtung nach dem Toneinbau mit rolligem Material füllen und so zu dauerhaften Sickerstellen führen. Bei einem Geotextil können sich dagegen kleinere Fehlstellen infolge der Auflast der Deckschicht wieder schließen.

Auf Grund noch geringer Erfahrungen ist die Anwendung von Geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) und dauerplastischen Dichtungen mit Ton und hydraulischen Bindemitteln ohne erhöhten Überwachungsaufwand derzeit nur in Dammstrecken mit geringem Gefahrenpotenzial zu empfehlen /EAO/. Der aktuelle Stand zum Einsatz dieser Dichtungen kann den laufenden Informationen in den BAW-Briefen bzw. auf der BAW-Internetseite (www.baw.de) entnommen werden.

GTD werden in der Regel mit einer Sandmatte (Geotextil mit Sand bzw. mineralischen Stoffen als beschwerende Einlage) verlegt. Auf einer GTD dürfen maximal Wasserbausteine der Klasse LMB_{5/40} ohne Überkorn eingebaut werden, um im Aufprallbereich der Steine lokale Bentonitverquetschungen zu minimieren.

Dauerplastische Dichtungen mit Ton und hydraulischen Bindemitteln können auf Grund der Fließfähigkeit des Materials nicht auf geneigten Flächen eingebaut werden.

5.5 Höhe des Freibords

Eine Böschungssicherung muss auch einen möglichen Wellenauflauf abdecken und sollte daher mindestens 70 cm höher als der entsprechende Bemessungswasserstand geführt werden. Dieser Bemessungswasserstand ist der obere Betriebswasserstand BW_o bzw. der höchste schiffbare Wasserstand HSW.

5.6 Auswahl einer Regelbauweise

5.6.1 Allgemeines

Die Auswahl einer Regelbauweise wird von den örtlichen Randbedingungen (z. B. Baugrund, Topographie, Grundwasserstand) und den Anforderungen (z. B. Schifffahrtsbelastung, Freizeiteinwirkungen, Umweltverträglichkeit), die an das Deckwerk zu stellen sind, beeinflusst. Hierbei sind unterschiedliche, zum Teil gegensätzliche Faktoren untereinander abzuwägen. Die nachfolgenden Punkte sind bei der Auswahl einer Regelbauweise zu prüfen bzw. festzulegen.

5.6.2 Erfordernis einer Dichtung

Die Dichtung einer Wasserstraße kann erforderlich werden, wenn der niedrigste Betriebswasserstand eines Kanals über dem höchsten Grundwasserstand liegt, d. h. ein ständiges hydraulisches Gefälle vom Kanal zum Grundwasser besteht (siehe Bild 5.6-1 oben). Dabei können folgende Gesichtspunkte unterschieden werden:

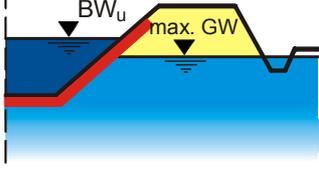
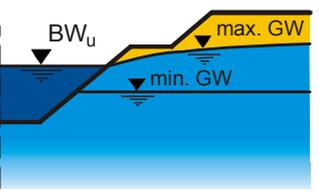
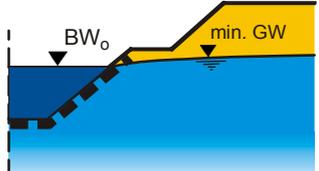
- a) Dammsicherheit (Erzielung ausreichender Sicherheit im Lastfall 1),
- b) Vernässung von Grundstücken und Gebäuden,
- c) hohe Sickerverluste (Richtwert für zulässige Sickerverluste im Hinblick auf die Betriebskosten der Ersatzwasserbeschaffung: 15 l/s/km),

d) Beeinträchtigung von Trinkwasserfassungsanlagen.

Ausreichende Grundwasserdaten sind für die Beurteilung, ob eine Dichtung erforderlich ist, und zur Beweissicherung Voraussetzung.

Wenn eine Dichtung angewendet werden soll, sind mögliche Deckwerksbauweisen für die Übergangsbereiche zu den nicht gedichteten Bereichen Bild 5.6-1 (Mitte) zu entnehmen. Dabei ist zu beachten, dass Dichtungen in Übergangsbereichen vom Einschnitt zur Dammstrecke oder bei stark wechselnden Grund- und Kanalwasserständen durch Wasserüberdruck von der Landseite her belastet werden können. Eine entsprechende Bemessung der Deckschichtdicke bzw. des Deckschichtgewichtes nach /GBB/, Kap. 7.3 ist dann erforderlich und kann zu großen Deckschichtdicken führen. In den Anlagen 5.6.2-1 (für lose Deckschichten) und 5.6.2-2 (für teilvergossene Deckschichten) sind für Tondichtungen und GTD beispielhaft erforderliche Schichtdicken bei verschiedenen Wasserüberdrücken dargestellt. Unabhängig davon sind die Mindestdicken nach Anlage 5.2.1-3 bzw. 5.2.2-3 zu berücksichtigen.

Alternativ kann auch der Grundwasserstand durch technische Maßnahmen (z. B. Drainagen, Brunnen) auf einen statisch zulässigen maximalen Grundwasserstand begrenzt werden (vgl. Bild 5.6-1, Mitte, Fall a). Die Umweltverträglichkeit einer solchen technischen Maßnahme ist zu berücksichtigen.

Auswahlkriterium		Deckwerksbauweise
$BW_u > \text{max. GW}$		ggf. dichtes Deckwerk
$BW_u \leq \text{max. GW}$ und $BW_o \geq \text{min. GW}$		a.) ggf. dichtes Deckwerk Bei Begrenzung auf einen maximal zulässigen Grundwasserstand, der sich aus dem Nachweis gegen Abheben (/GBB/, Kapitel 7.3.3) bei BW_u mit dem vorhandenen bzw. vorgesehenen Deckschichtgewicht ergibt.
$BW_o < \text{min. GW}$		b.) durchlässiges Deckwerk Wasserverluste sind vorhanden und müssen zulässig sein. Es ist zu prüfen, ob eine Vernässung der umliegenden Bereiche auftreten kann.
		durchlässiges Deckwerk

max. GW: höchster zu erwartender Grundwasserstand
min. GW: niedrigster zu erwartender Grundwasserstand

Bild 5.6-1: Kriterien für die Auswahl einer dichten oder einer durchlässigen Deckwerksbauweise

Dichtungen sind mindestens bis 0,50 m über den oberen Betriebswasserstand (BW_o) bzw. den höchsten schiffbaren Wasserstand (HSW) zu ziehen.

5.6.3 Einstufung der Böden

Die erforderlichen Deckschichtdicken werden stark von dem der Bemessung zu Grunde gelegten Baugrund beeinflusst. Bei unterschiedlichen Böden oder geschichtetem Baugrund ist eine Entscheidung zu treffen, welcher Boden für die Bemessung angesetzt werden soll. Hierbei ist grundsätzlich der Boden auszuwählen, der nach Zuordnung zu den Böden B1 – B5 nach Abschnitt 3.4 zu den größten Deckschichtdicken führt. Bodenschichten mit geringer Mächtigkeit (≤ 1 m) können in der Regel vernachlässigt werden.

5.6.4 Erfordernis eines Filters bzw. einer Trennlage

Ob ein Filter für die vorgesehene Böschungs- oder Sohlensicherung erforderlich ist, muss für Geotextilien nach dem /MAG/ oder für Kornfilter (Filter aus Gesteinskörnungen) nach dem /MAK/ geprüft werden.

Trennlagen aus Geotextilien sollten unterhalb einer dichten Deckschicht und oberhalb einer Tondichtung eingesetzt werden. Darüber hinaus sind Trennlagen vorzusehen, wenn eine

Durchmischung bzw. Durchdringung von unterschiedlichen Mineralkornlagen (z. B. Schüttung von rolligem Boden auf weichem bis breiigem Baugrund) vermieden werden soll.

5.6.5 Auswahl einer Deckschicht

In der **freien Strecke** sind bei ordnungsgemäßer Ausführung die Deckschichtbauweisen nach Kapitel 5.2 als technisch gleichwertig zu betrachten. Hier sind im Grundsatz alle beschriebenen Deckschichtbauweisen anwendbar. Sie besitzen jedoch unterschiedliche Stärken und Schwächen, die bei der Auswahl einer Bauweise projektspezifisch zu bewerten sind. Zu beachten sind die Anforderungen aus Bau und Betrieb (Bauausführung, Widerstandsfähigkeit, Durchlässigkeit etc.), aus der Unterhaltung (Kontrollierbarkeit, Schadensgröße, Reparaturaufwand), der Umweltverträglichkeit und der Wirtschaftlichkeit (Herstellungs- und Unterhaltungskosten).

In **Manövrierbereichen** (z. B. Liege- und Wendestellen, Schleusenvorhöfen oder Bereiche mit starken Querschnittswechseln) sind größere Belastungen aus den Antriebs- und Steuerorganen der Fahrzeuge zu beachten, die hinsichtlich der Lagestabilität der Einzelsteine zu größeren hydraulischen Einwirkungen als in der freien Strecke führen. Eine entsprechende Bemessung würde zu Dimensionierungen führen, die weit über die Regelbauweisen hinausgehen.

Sofern eine Böschungs- bzw. Sohlsicherung gegen Kolke erforderlich ist, werden in Manövrierbereichen Deckschichten aus vergossenen Wasserbausteinen (Kapitel 5.2.2 bzw. 5.2.3) empfohlen. Auch andere Maßnahmen sind möglich, z. B. größere planmäßige Wassertiefen an Liegeplätzen oder Dalben zur Fixierung des kleinsten Abstandes zwischen Schiff und Ufer, um die Belastung aus Bugstrahlrudern zu begrenzen.

Auch Beschleunigungs- und Stoppbereiche von Schleusenvorhöfen sind hinsichtlich einer Gefährdung bei Kolkbildung zu untersuchen. Für die Länge des Beschleunigungsbereiches können als Anhaltswerte für moderne Fahrzeuge ca. 100 m bei einem GMS bzw. 200 m bei einem SV angesetzt werden. Für den Stoppbereich sind rund 200 m für ein GMS bzw. rund 300 m für einen SV zu veranschlagen.

6 Weitere Bauweisen

6.1 Allgemeines

Als weitere Bauweisen werden in den nachfolgenden Kapiteln die häufiger angewendeten

- Deckwerke an KRT-Profilen (Kapitel 6.2) und
- Bauweisen mit dichten, erosionsfesten Belägen (Kapitel 6.3)

erläutert. Deckwerke an KRT-Profilen unterliegen geringeren Belastungen als im RT- oder T-Profil und werden daher nicht unter den Regelbauweisen erfasst, obwohl das KRT-Profil auch den Regelquerschnitten /RiReS/ zugeordnet wird.

Dichte Beläge wurden in der Vergangenheit großflächig an Wasserstraßen eingebaut. Auf Grund technologischer und wirtschaftlicher Entwicklungen haben sie jedoch in den letzten zwei Jahrzehnten eine nur untergeordnete Rolle gespielt und werden daher nicht mehr als Regelbauweise angesehen.

Steinbepackte Drahtbehälter (z. B. Gabionen und Steinmatratzen) werden nur in geringem Umfang in Bereichen mit zumeist besonderen geometrischen Randbedingungen (z. B. hinsichtlich der Böschungsneigungen) eingesetzt und sind daher keine Regelbauweise.

6.2 Deckwerke an kombinierten Rechteck-Trapez (KRT)-Profilen

Deckwerke an KRT-Profilen dienen der Sicherung der oberhalb der Spundwand liegenden kurzen Böschung (Regelabmessungen siehe /RiReS/). Dieser Bereich unterliegt wesentlich geringeren hydraulischen Belastungen als eine Böschung im Trapez-Profil.

Folgende Bauweisen sind hier möglich:

- 60 cm lose Wasserbausteine ab Klasse LMB_{5/40} auf geotextilem oder Kornfilter (siehe Kapitel 5.2.1) oder
- 40 cm teilvergossene Wasserbausteine Klasse CP_{90/250} (Vergussmenge nach /MAV/) auf geotextilem oder Kornfilter (siehe Kapitel 5.2.2).

6.3 Dichte erosionsfeste Beläge

Ein Belag ist eine Deckschicht mit einem homogenen Aufbau, einer gleichmäßigen Einbaudicke und einem gleichmäßigen Flächengewicht (z. B. Asphaltbeton). Auf Grund seiner inneren Festigkeit bedarf er keiner Schutzschicht. Unter einem Belag wird auch eine Deckschicht aus gleichartigen Einzelelementen verstanden, die einen flächenhaften Zusammenhalt besitzen (z. B. Betonverbundsteine).

Dichte erosionsfeste Beläge müssen die Böschung und die Gewässersohle schützen und dichten. Sie werden in Asphaltbauweise oder aus Beton hergestellt.

Beton ist starr und kann sich Untergrundverformungen nicht anpassen. Asphalt ist auf Grund der viskoelastischen Eigenschaften des Bitumens bedingt flexibel und kann äußere Beanspruchungen wie Setzungen oder Druck- oder Scherbelastungen temperaturabhängig bis zu einem gewissen Grad aufnehmen.

Beton- und Asphaltbeläge sind empfindlich gegen schnelle, lokal hohe Beanspruchungen wie z. B. Schiffsanfahrung.

Unter einem dichten Belag ist eine Trennschicht zum anstehenden Boden oder einer ggf. vorhandenen Ausgleichsschicht vorzusehen. Eine Wasserwegigkeit in der Ebene unter dem dichten Belag ist zu vermeiden. Daher sind Trenn- oder Ausgleichsschichten, die durchlässiger sind als der Untergrund, unter dichten Belägen nicht zulässig. Ansonsten würde sich bei einem lokalen Schaden der Dichtung das Druckpotenzial des Kanalwassers großflächig unter dem dichten Belag verteilen. Auf Grund der instationären Druckwechselbelastungen aus dem Absink würden dann auftriebsbedingt weit reichende Schäden im dichten Belag bis ca. 1 m unter dem Wasserspiegel entstehen.

Für Beton gelten Mindestdicken von 15 cm im Trockeneinbau und 20 cm beim Einbau unter Wasser.

Für die Planung und Herstellung von Asphaltbelägen im Wasserbau gelten die /EAAW/. Sie sind i. d. R. nur im Trockenen einzubauen.

Dichte Beläge sind anfällig gegen Durchwurzelung. Ein entsprechender Aufwand zur Entfernung von Bewuchs in der Unterhaltung ist insbesondere bei Asphaltdeckwerken erforderlich.

Bei hohen GW-Ständen ist die Auftriebssicherheit nach Kapitel 7.3 /GBB/ nachzuweisen.

7 Begrünung und Bepflanzung der Regelbauweisen

7.1 Allgemeines

Bei allen Regelbauweisen ist eine standortgerechte Begrünung (Ansaat) und Bepflanzung der Ufer oberhalb des Wasserspiegels aus folgenden Gründen anzustreben:

- Förderung von Pflanzen und Tieren entlang der Wasserstraßen
- Verbesserung von Naturhaushalt und Landschaftsbild
- Erhöhung der Stabilität der Ufer durch Bewurzelung
- Verbesserung des Windschutzes für die Schifffahrt

Allerdings sind auch mögliche nachteilige Auswirkungen zu beachten wie beispielsweise:

- Erhöhte Unterhaltung wegen Bewuchspflege
- Uferabbrüche an der Bewuchskante
- Gefährdung der Dichtung bei Durchwurzelung
- Vermehrter Eintrag von Treibgut (abgebrochene oder abgestorbene Pflanzen) in die Fahrrinne
- Verschlechterung der Sicht der Schiffsführer bei hohem Bewuchs
- Verminderung der Standsicherheit bei Dämmen (siehe /MSD/)

Generell sind Begrünung (Ansaat) und Bepflanzung der Regelbauweisen auf Grund der vorgegebenen Ufergeometrie und Deckwerkskonstruktionen sowie der relativ großen Uferbelastungen durch die Schifffahrt in den Regelquerschnitten nur eingeschränkt möglich.

Eine Begrünung kann beispielsweise auf natürlichem Wege durch Samenanflug oder Anspülen von Pflanzenteilen in die in den Hohlräumen einer Steinschüttung abgelagerten Schwemmstoffe erfolgen. Zur Unterstützung und Beschleunigung einer Begrünung kann die Deckschicht zusätzlich mit ungedüngtem Oberboden abgedeckt und dort eine Ansaat standortheimischer Gräser und Kräuter oder eine andere Begrünungsmöglichkeit erfolgen. Der Oberboden sollte nicht nur auf die Deckschicht aufgebracht werden, sondern auch möglichst viele der Hohlräume der Steinschüttung ausfüllen. Im Wasserwechselbereich ist jedoch ein schnelles Wiederausspülen des Oberbodens durch die hydraulische Uferbelastung zu erwarten. Deshalb sollte die Oberbodenabdeckung nur oberhalb des Horizontes Normalwasserstand + 50 cm bzw. Mittelwasserstand + 50 cm erfolgen.

Mehr Stabilität und gleichzeitig eine schnellere Begrünung und Bepflanzung kann erreicht werden, wenn der gesamte Hohlraum der Deckschicht aus Wasserbausteinen mit einem Alginat-Oberboden-Gemisch aufgefüllt wird. Das ist ein in Spezialmischanlagen aufbereiteter, vorher fein gesiebter Oberboden, dem Alginat mit Montmorillonit-Kolloiden (= Bentonit) zugesetzt wird. Durch Mischung mit Wasser entsteht ein fließfähiger, wasserunlöslicher Ton-Humus-Komplex mit thixotropen Eigenschaften, der in die Hohlräume der Steinschüttung gepumpt werden kann (siehe /STLK 207/, S. 16). Gegenüber normalem Oberboden wird eine höhere Erosionsstabilität im eingebauten Zustand erreicht. Deshalb kann das Alginat-Oberboden-Gemisch unmittelbar oberhalb des Horizontes Normalwasserstand bzw. Mittelwasserstand in die Deckschicht eingebracht werden.

Außerdem ist eine Initialbepflanzung mit Gehölzen oder Setzstangen/Steckhölzern (z. B. Strauchweiden) bzw. mit Vegetationsbulten (in Durchmesser und Länge je etwa 15 cm große bewurzelte Röhrichtpflanzen oder Stauden, Wurzelballen oft kokosfaserrummantelt) in die mit dem ungedüngten Oberboden oder die mit dem Alginat-Oberboden-Gemisch gefüllten Hohlräume der Steinschüttung zu empfehlen – soweit dies aus technischer Sicht möglich ist und die Standsicherheit des Deckwerks nicht gefährdet wird. Vegetationsbulte sollen in uferparallelen Reihen (Reihenabstand: jeweils ca. 30 - 40 cm) eingebracht werden. Innerhalb der Reihen sollte der Pflanzabstand ebenfalls ca. 30 - 40 cm betragen.

Bei der Begrünung und Bepflanzung sind die unterschiedlichen Feuchteansprüche der eingebrachten Arten zu berücksichtigen. Röhrichtpflanzen wie Schilf oder Gelbe Schwertlilie gedeihen optimal unter nassen Bedingungen, wie sie vom Normalwasserstand bzw. Mittelwasserstand bis etwa 10 bis 20 cm darüber vorhanden sind. Großseggen und Arten der feuchten Hochstaudenfluren können etwas trockener stehen, gedeihen auf Standorten höher

als 30 bis 40 cm über dem Normalwasserstand bzw. Mittelwasserstand aber in der Regel kümmerlich.

Neben den Feuchtebedingungen sind die Lichtverhältnisse für den Erfolg einer Begrünung oder Bepflanzung wichtig. Schilf gedeiht nur bei nicht zu stark beschattetem Ufer. Werden Gehölze gepflanzt, können diese je nach Lichteinfall benachbarte Ansaaten aus Gräsern und Kräutern oder Schilfpflanzungen beeinträchtigen.

Eine optimale Bepflanzung hängt stark von den Rahmenbedingungen vor Ort ab, sodass generelle Empfehlungen bezüglich der zu verwendenden Arten nicht erfolgen können. Es wird die Aufstellung von Pflanzplänen mit Angabe geeigneter Arten durch fachkundige Experten empfohlen.

Generell sind bei der Begrünung und Bepflanzung immer standortgerechte, heimische (standortheimische) Pflanzen zu verwenden. Saatgut und Pflanzmaterial sollen aus dem Naturraum stammen, in dem die Maßnahme durchgeführt wird.

Es ist jeweils eine flächenhafte Bepflanzung anzustreben. Einzeln stehende Pflanzen können lokal zu erhöhten Strömungsbelastungen führen, die die Stabilität der einzelnen Pflanze gefährden.

7.2 Durchlässige Deckschichten aus losen bzw. teilvergossenen Wasserbausteinen entsprechend Kapitel 5.2.1 bzw. Kapitel 5.2.2

Eine Begrünung und Bepflanzung von durchlässigen Deckschichten aus losen bzw. teilvergossenen Wasserbausteinen hängt von verschiedenen Faktoren und Randbedingungen ab. Dazu zählen neben den Hinweisen aus Kapitel 7.1 beispielsweise auch die Dicke der Deckschicht, die Steingrößen, die Größe der Hohlräume des Steingerüsts, die Stabilität der Deckschicht gegenüber der Umlagerung von Steinen oder die unterschiedliche Wellenbelastung der verschiedenen Wasserstraßen.

Durch das Aufbringen bzw. den zusätzlichen Einbau von Oberboden oder eines Alginat-Oberboden-Gemisches ist sowohl eine Begrünung, z. B. durch eine Ansaat mit standortheimischen Gräsern und Kräutern, als auch eine Bepflanzung der Deckschicht mit Röhricht, Stauden und Gehölzen möglich (siehe Kapitel 7.1).

Bei losen Deckschichten können durch die auftretende Wellenbelastung lokal begrenzte Steinumlagerungen auftreten, die zu einer Schädigung von Pflanzen oder Pflanzenteilen führen können. Dies ist bei teilvergossenen Deckschichten kaum der Fall, allerdings ist die von den Pflanzen besiedelbare Oberfläche gegenüber einer losen Deckschicht reduziert. Um bei teilvergossenen Deckschichten möglichst günstige Bedingungen für die Begrünung und Bepflanzung zu erzielen, ist die empfohlene Vergussmenge und -verteilung nach /MAV/ einzuhalten.

Im Wasserwechselbereich und unter Wasser bieten die freien Hohlräume des Steingerüsts der Fauna umso günstigere Entwicklungsbedingungen, je größer der Hohlraumanteil bzw. die besiedelbare Steinoberfläche ist. Deshalb ist auch für die faunistische Besiedlung die Einhaltung der empfohlenen Vergussstoffmengen und –verteilung nach /MAV/ von Bedeutung.

7.3 Dichte Deckschichten aus vollvergossenen Wasserbausteinen entsprechend Kapitel 5.2.3

Dichte Deckschichten aus geschütteten Wasserbausteinen und einem Vollverguss aus einem dichten hydraulisch gebundenen Vergussstoff können i. d. R. auf Grund des fehlenden Porenraumes nicht durchwurzelt werden und damit auch nicht begrünt werden.

Es darf keine Bepflanzung (Gehölze und Röhrichte) auf der Böschung zugelassen werden. Aufkommender Gehölz- und Röhrichtbewuchs ist sofort zu beseitigen.

7.4 Hinweise zu Bewuchs auf Weichdichtungen

Bei Strecken mit Weichdichtungen ist eine Begrünung mit Gräsern und Kräutern möglich, eine Bepflanzung ist jedoch erst in ausreichendem Abstand zur Dichtung zulässig (siehe /MSD/), da verschiedene Röhricht- und Gehölzarten in der Lage sind, Weichdichtungen zu durchwurzeln. Unerwünschter Bewuchs auf der Dichtung kann zu hohen Unterhaltungskosten führen. Im Vorfeld ist einzuschätzen, welcher Bewuchs sich unplanmäßig auf der Dichtung einstellen könnte und wie dieser zu unterhalten ist.

8 Hinweise für Ausschreibung, Ausführung, Qualitätssicherung und Unterhaltung

8.1 Allgemeines

Böschungs- und Sohlensicherungen sind auf Basis des /STLK 210/ unter besonderer Beachtung der folgenden Merkblätter auszuschreiben:

- Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen /MAR/
- Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen /MAG/
- Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen /MAK/
- Merkblatt Anwendung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen /MAV/
- Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen /EAO/.

Die nachfolgenden Kapitel 8.2 und 8.3 enthalten ergänzende Hinweise zur Ausschreibung und Ausführung.

Darüber hinaus sind Teile der Merkblätter, die Vertragsbestandteil werden sollen, explizit als Vertragsbestandteil zu vereinbaren.

8.2 Ausschreibung

8.2.1 Allgemeines

Die in Kapitel 8.2 gegebenen Hinweise sind an geeigneter Stelle in die Verdingungsunterlagen aufzunehmen.

Wird ein Bauvertrag abgeschlossen, sind neben den ATV zusätzlich als technische Vertragsbedingungen die /ZTV-W LB 210/ zum Vertragsbestandteil zu machen.

Die Eigenschaften der Materialien müssen vom Auftraggeber (AG) beschrieben werden. Die Anforderungen sind in der Ausschreibung zu formulieren, entsprechend den Hinweisen in /ZTV-W LB 210; MAK; MAV; MAG/.

Der Einbau der erforderlichen Materialien darf nur durch solche Einbauverfahren erfolgen, die den Einbau der vorgesehenen Menge je Flächeneinheit sicherstellen. Es empfiehlt sich eine Dokumentation der Einbauverfahren und Einbaugeräte – besonders bei Einbau unter Wasser – mit der Angebotsabgabe einzufordern.

Alle Leistungen zur Güteüberwachung und Überwachung der Ausführungen (vgl. 8.4) sind in die Einheitspreise einzurechnen, soweit diese nicht in eigenen Positionen des LV erfasst sind.

Müssen Bauwerksanschlüsse ausgeführt werden, sind sie detailliert zu erläutern und ggf. zusätzlich zeichnerisch darzustellen.

Es sind zulässige Toleranzen des Baugrundplanums anzugeben.

In der Aufforderung zur Abgabe eines Angebotes ist zu regeln, inwieweit die Nachweise für

- die Grundprüfungen von Bauprodukten und Bauverfahren und
- die Konformitätserklärungen der Hersteller und die Zertifikate der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) für Bauprodukte

bereits bei der Angebotsabgabe vom Bieter vorzulegen sind.

Dies ist in jedem Fall für die in Tabelle 8.2.1-1 aufgeführten Stoffe und Verfahren zu fordern.

Tabelle 8.2.1-1: Erforderliche Nachweise zur Angebotsabgabe

		Konformitätserklärung und Zertifikat der WPK	Grundprüfung
Stoffe	Geotextilien und geotextilverwandte Produkte (DIN EN 13253)	X	X
	Wasserbausteine (DIN EN 13383)	X	
	Geosynthetische Dichtungsbahnen (DIN EN 13362)	X	X
	Dauerplastische Dichtungsstoffe mit Ton und hydraulischen Bindemitteln		X
	Hydraulisch- und bitumengebundene Vergussstoffe		X
Verfahren	Bauverfahren zum Einbau von Vergussstoffen		X
	Bauverfahren zum Einbau von Dichtungsstoffen und Dichtungssystemen		X

Die Anforderungen an Bauprodukte und Bauverfahren sind entsprechend klar herauszustellen, da bei einem Fehlen der erforderlichen Nachweise nach Tabelle 8.2.1-1 das Angebot aus formalen Gründen auszuschließen ist.

8.2.2 Deckschicht

Die folgenden Punkte sind zu berücksichtigen, sofern sie relevant sind:

- Festlegung des erforderlichen mittleren Steingewichts G_{50} nach Tabelle 5.2.1-1 bzw. die erforderliche mittlere Steingröße D_{50} bei losen Deckschichten mit entsprechender Rohdichte
- Bei vergossenen Deckschichten die Hinweise zu den Verdingungsunterlagen des /MAV/

Ergänzend zu der WPK und den Kontrollprüfungen des AG (siehe Kapitel 8.4) wird empfohlen, in der Ausschreibung als besondere Leistung zusätzliche Nachweise für die Einhaltung der Anforderungen an die Wasserbausteine nach /DIN EN 13383/ und /TLW/ vom Auftragnehmer (AN) zu fordern. Die Prüfungen sind durch ein nach /RAP Waba/ anerkanntes Prüfinstitut an auf der Baustelle angelieferten Wasserbausteinen durchzuführen. Hierfür wird ein Umfang von einer Prüfung je 10.000 m² Deckwerksfläche empfohlen.

Die erste Eigenüberwachungsprüfung des AN ist an der ersten Steinlieferung durchzuführen.

Es ist festzulegen, wie die mittlere Einbaudicke der Deckschicht ermittelt wird (Messprogramm, Messverfahren und Art der Auswertung des Messprogramms). Die Messprofile sind

vom AG festzulegen. Über die Messungen ist ein Protokoll zu führen, das dem AG zu übergeben ist (siehe auch 8.4.2).

Bei Einbau der Deckschicht empfiehlt es sich, für Bauwerksanschlüsse ein Nacharbeiten und nachträgliches Abgleichen der Steinschüttung zu fordern.

Beim Einbau von Oberboden auf der Deckschicht ist darauf zu achten, dass kein Wurzelwerk von Pflanzen eingebracht wird, das die Deckschicht schädigt oder die spätere Unterhaltung erschwert. Problematisch ist beispielsweise der unbeabsichtigte Einbau von Robinie oder Japan-Knöterich. Die Arten können schon durch kleine Wurzelstücke angesiedelt werden. Die Herkunft des einzubauenden Bodens und der Bewuchs am Entnahmeort sind zu prüfen.

8.2.3 Ausgleichsschicht

Eine ggf. erforderliche Ausgleichsschicht ist profilgerecht einzubringen.

Unter durchlässigen Deckwerken muss das Material filterstabil (siehe /MAK/) und durchlässiger als der anstehende Boden sein. Eine einlagige Ausgleichsschicht kann sowohl aus Sand und Kies als auch aus Splitt und Schotter bestehen.

Unter dichten Deckwerken muss die Ausgleichsschicht gleich oder geringer durchlässig als der anstehende Boden sein.

8.2.4 Mindestanforderungen für Nebenangebote

Nebenangebote sind nur zuzulassen, wenn sie die in den Verdingungsunterlagen vorgegebenen Mindestanforderungen erfüllen. Die Mindestanforderungen an die Böschungs- und Sohlensicherung und die Bedingungen, unter denen sie gelten, müssen in der Leistungsbeschreibung für den AN deutlich beschrieben sein.

Die Dicke der Deckschicht nach Leistungsverzeichnis gilt nur in Verbindung mit der geforderten Mindestrohndichte sowie der ausgeschriebenen Steingrößenklasse und Filterart sowie dem festgelegten Messverfahren (Peilverfahren).

Werden in Nebenangeboten Änderungen am Deckwerk vorgeschlagen (Änderung von z. B.: Deckschichtdicke, Steinklasse, Rohndichte, Art des Filters oder der Dichtung), muss nachgewiesen werden, dass das geänderte Deckwerk die Mindestanforderungen erfüllt. Grundlage für die Nachweise sind die hydraulischen Einwirkungen, die dem Entwurf für die Ausschreibung zu Grunde gelegt wurden. Diese sind für die Regelbauweisen in Kapitel 3 aufgeführt.

Bei Vorlage eines Nebenangebotes sind vom Bieter mindestens folgende Nachweise bei Angebotsabgabe zu erbringen:

- Standsicherheit des Deckwerks nach /GBB/ sofern keine Regelbauweise nach /MAR/
- Erosionsfestigkeit der Deckschicht z. B. durch Nachweis des erforderlichen D_{50} nach /GBB/ oder /MAR/
- Berücksichtigung der Mindestdicken nach Kapitel 5.2 bzw. Anlage 5.2.1-3
- Rohdichte und Größenklasse der Wasserbausteine mit mindestens vorhandenem D_{50} bzw. G_{50}
- Hohlraumgehalt der Steinschüttung, vorgesehene Filterart mit ihren Eigenschaften (Einbaudicke; Rohdichte)
- Nachweis der Gesamtstandsicherheit nach DIN 4084 (wenn erforderlich)

Es sind Änderungen der betroffenen Vordersätze darzulegen.

8.3 Bauausführung

Ergänzend zu den Anforderungen in Kapitel 8.2 sind nachfolgend Hinweise aufgeführt, die während der Bauausführung beachtet werden sollen.

Warenbegleitdokumente und CE-Kennzeichnung nach /DIN EN 13383; DIN 13253; DIN 13362/ müssen vor der Bauausführung vorgelegt werden, und die darin angegebenen Werte müssen die Ausschreibung erfüllen.

Die erste Kontrollprüfung des AGs ist an der ersten Steinlieferung durchzuführen.

Die einzelnen Planumsoberflächen (Rohplanum, Dichtung, Filter etc.) müssen frei von Fremdkörpern sein. Erosionsrinnen oder Löcher im Rohplanum sind ggf. mit einer Ausgleichsschicht zu beseitigen.

Die Stoffe müssen so aufbereitet und gemischt werden, dass sie die in der Eignungsprüfung nachgewiesene Beschaffenheit und Zusammensetzung aufweisen und keine schädlichen Verunreinigungen enthalten.

Die fertige Steinschicht ist mit geeigneten Mitteln (z. B. Peilung von ausreichend dichten Querprofilen) nachzuweisen. Querprofile sollten möglichst in der gleichen Achse wie die Querprofile für die Rohsole gelegt werden.

Eine mechanische Belastung des fertigen Deckwerks oder seiner Teilschichten mit Baugeräten ist nur zulässig, wenn auf der Baustelle der Nachweis erfolgt, dass diese Belastung unschädlich ist.

Bei feinkörnigen Böden und bei Dichtungen können Schlammblasen unter dem Geotextil auftreten. Diesbezüglich sind Taucheruntersuchungen am fertigen Deckwerk durchzuführen. Werden Schlammblasen festgestellt, ist deren Relevanz für das Bauvorhaben unter Hinzuziehung eines mit der Fragestellung vertrauten geotechnischen Sachverständigen zu bewerten, ggf. sind Maßnahmen zur Beseitigung und zur weiteren Vermeidung durchzuführen.

Gegen Erosion und Ankerwurf nicht widerstandsfähige Dichtungen und Filterschichten müssen umgehend (spätestens nach 48 h /ZTV-W LB 210/) durch die Deckschicht gesichert werden. Wird von dieser Frist im Bauablauf abgewichen, so sind vom AN der entsprechende Zeitraum und die erforderlichen Kontrollmaßnahmen zum Nachweis der Lagestabilität bzw. der Festigkeit des Dichtungsmaterials anzugeben. Nur bei Zustimmung durch den AG ist eine Abweichung möglich.

8.4 Qualitätssicherung

8.4.1 Allgemeines

Das Einhalten der Anforderungen an die Herstellung, Eigenschaften und Verarbeitung von Baustoffen, Baustoffsystemen und Bauteilen und an die fertige Leistung wird durch eine Qualitätssicherung sichergestellt, die aus der Qualitätssicherung der Baustoffe und der Qualitätssicherung der Ausführung besteht.

Für Böschungs- und Sohlsicherungen an Wasserstraßen werden Baustoffe

- allein nach harmonisierten europäischen Normen (Wasserbausteine, Gesteinskörnungen),
- nach harmonisierten europäischen Normen in Verbindung mit wasserbauspezifischen Ergänzungen (Geotextilien) und
- nach nationalen wasserbauspezifischen Regelwerken (Verguss, Dichtungston, dauerplastische Dichtungsstoffe mit Ton und Zement)

verwendet.

Produkte gemäß harmonisierten europäischen Normen (u. a. Wasserbausteine, Gesteinskörnungen) müssen mit den Begleitdokumenten CE-Kennzeichnung und Konformitätserklärung geliefert werden. Voraussetzung für eine CE-Kennzeichnung der Baustoffe im Anwendungsbereich des MAR ist die Konformitätserklärung des Herstellers, mit der dieser die Übereinstimmung seines Produktes mit der harmonisierten Norm erklärt, und ein Zertifikat über die normgemäße werkseigene Produktionskontrolle (WPK).

Für Geotextilien wird die Einhaltung von Eigenschaften gemäß harmonisierten europäischen Normen durch die CE-Kennzeichnung bescheinigt. Darüber hinaus wird der Nachweis der

ergänzenden wasserbauspezifischen Anforderungen durch ein Grundprüfzeugnis der BAW bescheinigt.

Für Verguss, Dichtungston, dauerplastische Dichtungsstoffe mit Ton und Zement wird der Nachweis der grundsätzlichen Eignung von Baustoffen und Bauverfahren durch ein Grundprüfzeugnis der BAW bescheinigt. Die baustellenspezifische Eignung von Baustoffen und Bauverfahren ist mit Beginn der Bauausführung in Form einer Eignungsprüfung durch den AN nachzuweisen.

Für die WSV enthält das Verzeichnis „Technisches Regelwerk Wasserstraßen“ /TR-W/ eine Zusammenfassung der im Verkehrswasserbau und den damit zusammenhängenden Anwendungsbereichen maßgebenden technischen Regeln.

Der AN trägt die Verantwortung für eine vertragsgemäße Bauleistung. Diese hat er mit seiner Eigenüberwachung für Baustoffe und Bauausführung gemäß /ZTV-W 210/ nachzuweisen.

Ergänzend zu der WPK im Rahmen der Stoffherstellung und zur Eigenüberwachung des AN sollte der AG baubegleitende Kontrollprüfungen der Baustoffe und der Bauausführung durchführen. Art und Umfang der Kontrollprüfungen sind soweit wie möglich in der Baubeschreibung festzulegen, damit sich der AN auf Störungen im Bauablauf und ggf. erforderliche Bereitstellung von Geräten einrichten kann.

Für Arbeiten unter Wasser sollten Kontrollprüfungen, ggf. mit entsprechenden Probenahmen, durch Taucher des AG erfolgen.

8.4.2 Peilungen zur Qualitätssicherung

Nach /ZTV-W 210/ sind die erreichten Deckwerksdicken nachzuweisen. Dies erfolgt standardgemäß mit Stangenpeilungen. Zum Nachweis der qualitätsgerechten Herstellung werden zusätzlich Flächenpeilungen empfohlen.

Die Ergebnisse der Peilungen sind zu archivieren. So können sie mit regelmäßigen Kontrollpeilungen im Rahmen der Verkehrssicherungspeilungen verglichen und ggf. auftretende Schäden im Rahmen der Unterhaltung beseitigt werden.

Bei der Abnahmepeilung mit Stangen ist die Ausführung der Stangenspitze zu beachten. Die in Kapitel 5.2 angegebenen Deckschichtdicken gelten für Peilungen über die Steinspitzen, z. B. bei Peilungen mit einem Rahmen oder Stangenpeilungen mit einem großen Teller mit einem Durchmesser von etwa 30 cm und größer. Üblich sind auch Stangenpeilungen mit Kugeln (Durchmesser 9 cm für CP_{90/250}, 12 cm für LMB_{5/40} und 15 cm für LMB_{10/60}, vgl. Hinweise zum /STLK 210/), bei denen nicht über die Steinspitzen, sondern in den oberen Steinzwischenräumen gepeilt wird. Dadurch ergeben sich messtechnisch bedingt geringere Schichtdicken und geringere Hohlraumgehalte (vgl. Kapitel 5.1). Bei Verwendung dieser Ku-

geldurchmesser liegt die gemessene Oberkante des Deckwerks ca. 3 bis 5 cm unter der Höhe, die sich bei Messung über die Spitzen ergibt.

Bei der flächigen Peilung sind präzise Peilverfahren zu verwenden. Unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren durch das Messschiff und der Schiffsbewegungen ist eine Genauigkeit mit einer Abweichung von maximal +/-10 cm in Lage und Höhe für einen beliebigen Sohlenpunkt zu erreichen.

Bei der Bestimmung des Stützpunktgitters für das digitale Geländemodell ist das Ziel, eine möglichst hohe Auflösung der Strukturen auf der Sohle und in der Böschung zu erhalten. Die Auflösung wird je nach Messverfahren (Auslegerpeilung oder Fächerecholot) durch die Schiffsgeschwindigkeit, Signalfrequenz, Peilstreifenbreite und Anzahl bzw. Abstand der Sensoren (Schwinger) bestimmt. Es wird ein Punktraster von maximal 0,30 x 0,30 m² empfohlen.

8.5 Bestandsunterlagen

Von der ausgeführten Böschungs-/Sohlensicherung sind Bestandsunterlagen zu fertigen, aus denen alle wesentlichen Einzelheiten hervorgehen. Dazu gehören folgende Unterlagen:

- Stationierung des Einbaubereiches
- Beschaffenheit des Untergrundes nach /DIN EN ISO 14688/ und /DIN 18196/ (Baugrundgutachten)
- Bauweise der Böschungs- oder Sohlensicherung mit detaillierter Beschreibung der Einbautechnik, Fußausbildung und Bauwerksanschlüsse
- Ggf. bei Nebenangeboten Nachweise zur Einhaltung der Mindestanforderungen
- Bei Weichdichtungen aus Erdstoffen und dauerplastischen Materialien mit hydraulischen Bindemitteln die bodenmechanischen Kennwerte beim Einbau, Art und Menge eventueller Zusatzstoffe sowie Herkunft der Stoffe
- Bei GTD der Verlegeplan (Typ, Produktinformationen)
- Filterart (Geotextil: Typ, Produktinformationen; Kornfilter: Kornverteilung)
- Steingrößenklasse und Einbaudicke, Gesteinsart, Herkunft der Steine (Angabe des Steinbruches oder bei künstlichen Steinen des Herstellers), Korngrößen- bzw. Massenverteilung, Rohdichten, CE – Kennzeichnungen und Konformitätszertifikate
- Bei vergossenen Deckschichten Vergussstoffart und –menge (l/m²), Einbauverfahren, Einbaulageplan mit wichtigen Kennwerten (Erosionsverlust, Ausbreitmaß, Mengen)
- Bautagebuch mit Besonderheiten beim Einbau (z. B. evtl. Mängel bei den Kontrollprüfungen oder Vorbehalte bei der Abnahme, Taucherberichte, Peilprotokolle)

- Abnahmepeilungen der Böschungen und der Sohle

8.6 Hinweise zur Unterhaltung

Herstellung und systemgerechte Reparatur loser Deckschichten sind auch unter Wasser mit geringem Geräteaufwand möglich.

Die Vergabe von Herstellung und systemgerechter Reparatur verklammerter Deckschichten unter Wasser ist nur an eine Fachfirma mit nach MAV bestandener Grundprüfung oder durch Regiebetrieb der WSV zulässig.

9 Literatur

- /BinSchStrO/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Binnenschifffahrtsstraßen-Ordnung, BinSchStrO
 Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, 2005
- /RiReS/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen
 BMVBS, Intranet der WSV
- /EAAW/ Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau, EAAW
 DGGT, Entwurf, Ausgabe 2008
- /DIN EN 13253/ Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.)
Geotextilien und geotextilverwandte Produkte
 Beuth-Verlag, Berlin
- /DIN EN 13362/ Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.)
Geosynthetische Dichtungsbahnen
 Beuth-Verlag, Berlin
- /DIN EN 13383/ Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.)
Wasserbausteine
 Teil 1 und Teil 2
 Beuth-Verlag, Berlin
- /DIN EN ISO 14688/ Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.)
Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden
 Teil 1 und Teil 2
 Beuth-Verlag, Berlin
- /DIN 18196/ Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.)
Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
 Beuth-Verlag, Berlin

- /DIN 52101/ Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.)
Prüfverfahren für Gesteinskörnungen – Probenahme
Beuth-Verlag, Berlin
- /EAO/ Bundesanstalt für Wasserbau
Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen, Mitteilungsblatt Nr. 85
Eigenverlag, Karlsruhe 2002
- /GBB/ Bundesanstalt für Wasserbau
Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen, Mitteilungsblatt Nr. 87
Eigenverlag, Karlsruhe 2004
- /Kayser 2005/ Bundesanstalt für Wasserbau
BAW-Brief Nr. 2/05, Zur Handhabung der neuen Norm DIN EN 13383 für Wasserbausteine und deren Umsetzung in einer Steinbemessung
Eigenverlag, Karlsruhe 2005
- /MAG/ Bundesanstalt für Wasserbau
Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)
Eigenverlag, Karlsruhe 1993
- /MAK/ Bundesanstalt für Wasserbau
Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK)
Eigenverlag, Karlsruhe 1989
- /MAV/ Bundesanstalt für Wasserbau
Merkblatt Anwendung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen (MAV)
Eigenverlag, Karlsruhe 2007
- /MSD/ Bundesanstalt für Wasserbau
Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)
Eigenverlag, Karlsruhe 2005

- /RAP Waba/ Bundesanstalt für Wasserbau
Richtlinie für die Anerkennung von Prüfstellen für Wasserbausteine im Verkehrswasserbau
Eigenverlag, Karlsruhe 2007
- /RPW/ Bundesanstalt für Wasserbau
Richtlinien für die Prüfung von mineralischen Weichdichtungen im Verkehrswasserbau
Eigenverlag, Karlsruhe 2006
- /STLK 207/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Standardleistungskatalog für den Wasserbau, Landschaftsbau (Leistungsbereich 207)
Internetseite der BAW
- /STLK 210/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Standardleistungskatalog für den Wasserbau, Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210)
Internetseite der BAW
- /TLG/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen
BMVBS, Intranet der WSV
- /TLW/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine
BMVBS, Intranet der WSV
- /TR-W/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Verzeichnis der wesentlichen Technischen Regelwerke – Wasserstraßen –
BMVBS, Intranet der WSV
- /ZTV-W 210/ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen-Wasserbau für Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210)
Internetseite der BAW

Anlagenverzeichnis

- Anlage 3.1:** Grundlage der hydraulischen Berechnung und Bemessung nach /GBB/
- Anlage 3.2.1:** Hydraulische Belastungsgrößen bei 97 % v_{krit} für das Regel T-Profil
- Anlage 3.2.2:** Hydraulische Belastungsgrößen bei 97 % v_{krit} für das Regel RT-Profil
- Anlage 4.1-1:** Hinweise zur Ermittlung der mittleren Steingröße D_{50} bzw. des mittleren Steingewichtes G_{50}
- Anlage 4.1-2:** Summenkurven der Wasserbausteine - Klassen $LMB_{10/60}$, $LMB_{5/40}$, $CP_{90/250}$,
- Anlage 5.2.1-1:** Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen - Für Böschung und Sohle empfohlene Deckschichtdicken d_D
- Anlage 5.2.1-2:** Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen - Dokumentation der berechneten Deckschichtdicken d_D für den Böschungsbereich (mit Geotextil)
- Anlage 5.2.1-3:** Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen - Berechnete Mindestdicken
- Anlage 5.2.2-1:** Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen - Für Böschung und Sohle empfohlene Deckschichtdicken d_D (mit Geotextil)
- Anlage 5.2.2-2:** Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen - Dokumentation der berechneten Deckschichtdicken d_D für den Böschungsbereich (mit Geotextil)
- Anlage 5.2.3:** Dichte Deckschichten aus vollvergossenen Wasserbausteinen auf Geotextil – erforderliche Deckschichtdicken d_D gegen Auftrieb
- Anlage 5.6.2-1:** Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen auf Geotextil mit Dichtung – erforderliche Deckschichtdicken d_D gegen Auftrieb
- Anlage 5.6.2-2:** Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen auf Geotextil mit Dichtung – erforderliche Deckschichtdicken d_D gegen Auftrieb

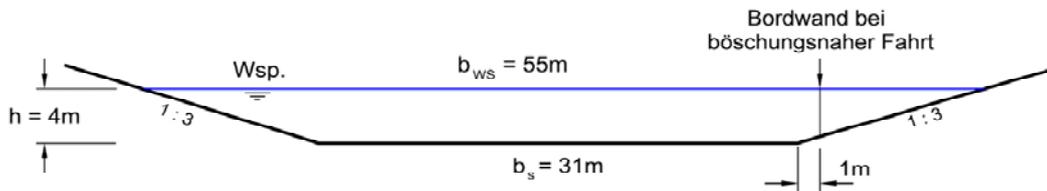
Anlage 3.1: Grundlage der hydraulischen Berechnung und Bemessung nach /GBB/

Zeichen	Bezeichnung	Formel GBB	Wert	
L_H	Entwicklungslänge Grenzschicht Schiff: $L_H = f_{EL} L$	(5-18)	Faktor $f_{EL} = 0,8$	
A_w	Faktor für Sekundärwellenhöhe	(5-47) (5-43)	0,25; für SV 0,35	
C_H	Berechnung Heckabsunk	(5-29)	voll 1,3; leer 1,5 außer ¹⁾ : ES voll 1,35 bei $T/h = 0,625$ üGMS leer 1,47 bei $T/h = 0,45$	
C	Absunkzeit	(5-37)	GMS/üGMS: 1,7; ES/SV: 1,3	
β_λ	Faktor wellenbildende Schiffslänge	(5-42)	$\beta_\lambda = 0,9$	
L_{Pris}	Länge des prismatischen Schiffsquerschnitts: $L_{Pris} = f_{L,pris} L$	(5-40)	GMS, üGMS, ES: $f_{L,pris} = 0,8$ SV: $f_{L,pris} = 0,9$	
f_B	Faktor Einflussbreite	(5-8),(5-7)	$f_B = 3$	
K_{ss}	Sandrauheit der Schiffshaut	(5-18)	$K_{ss} = 0,0003m$ ES: $K_{ss} = 0,0005m$	
Faktor Bugabsunk	Berechnung der Bugwelle	(5-28)	Faktor 1,1	
B'_B, B^*_B	Beiwert Auftretenshäufigkeit B^*_B , Stabilitätsbeiwert B'_B	(6-3),(6-4), (6-5)	begrenzter Unterhaltungsaufwand d. h. „unsichere“ Seite $B'_B = 2,3$; $B^*_B = 3,0$	
SF	Shape-Faktor, Steinbemessung, Umrechnung von D_n auf D	(6-2)	SF = 0,65	
Ψ	Formfaktor Umrechnung von D_n auf Steinlänge $D_{TLW} (L)$	(6-15) explizit	$\Psi = 1,8$	
y	Abstand der Schiffsachse von der Kanalachse	Bild 5.14	T-Profil ES: 11,75m GMS, SV: 10,78m üGMS: 10,5m	RT-Profil ²⁾ ES: 9,86m GMS, SV: 8,86m üGMS: 8,61m
n	Hohlraumgehalt der Steinschüttung	(7-2)	50 %	
g	Erdbeschleunigung		$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	
ϕ'_D	Innerer Reibungswinkel der Steinschüttung bzw. des Deck- schichtmaterials		$\phi'_D, \text{ bodenmechanisch} = \phi'_D, \text{ hydraulisch} = 55^\circ$	

Anmerkung: Schubverband als starres Schiff gerechnet

¹⁾ lineare Interpolation zwischen $C_H = 1,3$ und $C_H = 1,5$ ²⁾ Exzentrizität vom Profilschwerpunkt abzgl. 1,5 m wg. anderem Fahrverhalten im RT-Profil

Anlage 3.2.1: Hydraulische Belastungsgrößen bei 97 % v_{krit} für das Regel-T-Profil



Regel-Trapez-Profil für 97 % v_{krit}

		ES		GMS		SV		ügMS	
		leer	voll	leer	voll	leer	voll	leer	voll
v_{krit}	[m/s]	3.63	3.04	3.32	2.66	3.27	2.61	3.13	2.58
$\Delta \bar{h}_{u,Bug}$	[m]	0.12	0.36	0.12	0.36	0.08	0.33	0.12	0.35
$\Delta \bar{h}_{u,Heck}$	[m]	0.40	0.46	0.43	0.47	0.44	0.47	0.45	0.47
$\hat{v}_{rück,u,Bug}$	[m/s]	0.30	1.03	0.34	1.16	0.23	1.08	0.35	1.15
$\hat{v}_{rück,u,Heck}$	[m/s]	1.30	1.48	1.49	1.63	1.53	1.67	1.58	1.68
u_{max}	[m/s]	2.10	2.53	2.46	2.53	2.51	2.52	2.56	2.50
$H_{sek,q} / 2$	[m]	0.15	0.10	0.13	0.08	0.18	0.11	0.12	0.08
$H_{u,Bug}$	[m]	0.20	0.61	0.20	0.60	0.13	0.54	0.19	0.57
$H_{u,Heck}$	[m]	0.93	0.95	0.97	0.91	0.98	0.91	0.98	0.91
$t_{a,B}$	[s]	3.8	4.5	5.9	7.4	4.6	5.8	6.5	7.8
$t_{a,H}$	[s]	23.1	27.6	33.3	41.5	57.2	71.5	42.1	51.0
$\bar{v}_{za,B}$	[m/s]	0.05	0.14	0.03	0.08	0.03	0.09	0.03	0.07
$\bar{v}_{za,H}$	[m/s]	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02

für $\rho_s = 2650 \text{ [kg/m}^3\text{]}$

Max nur ES und GMS
Min bei t_a

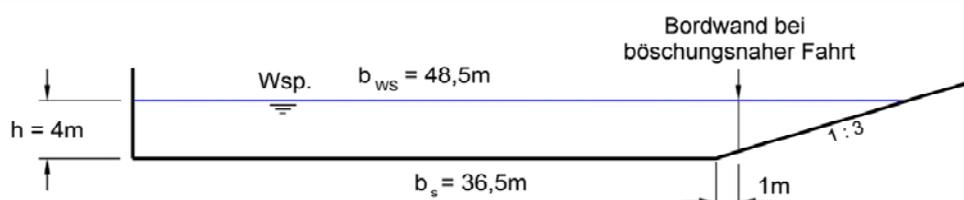
Hinweis:
Bei Übereinstimmung können bis zu drei Markierungen auftreten !!

Max ohne üGMS
Min bei t_a

Max aller Schiffe
Min bei t_a

Symbole:

- v_{krit} kritische Schiffsgeschwindigkeit
- $\Delta \bar{h}_{u,Bug} / \Delta \bar{h}_{u,Heck}$ mittlere Wasserspiegelabsenkung am Ufer am Bug/Heck
- $\hat{v}_{rück,u,Bug} / \hat{v}_{rück,u,Heck}$ Rückströmungsgeschwindigkeit am Bug/Heck
- u_{max} Geschwindigkeit der Wiederauffüllungsströmung
- $H_{sek,q}$ Höhe der Sekundärquerwelle
- $H_{u,Bug} / H_{u,Heck}$ Maximalwert der Wellenhöhe am schiffsnäheren Ufer bei exzentrischer Fahrt am Bug/Heck
- $t_{a,B} / t_{a,H}$ Absinkzeit am Bug/Heck
- $\bar{v}_{za,B} / \bar{v}_{za,H}$ Absinkgeschwindigkeit am Bug/Heck

Anlage 3.2.2: Hydraulische Belastungsgrößen bei 97 % v_{krit} für das Regel-RT-ProfilRegel-Rechteck-Trapez-Profil für 97 % v_{krit}

		ES		GMS		SV		ügMS	
		leer	voll	leer	voll	leer	voll	leer	voll
v_{krit}	[m/s]	3.81	3.18	3.48	2.78	3.42	2.73	3.27	2.69
$\Delta \bar{h}_{u,Bug}$	[m]	0.13	0.40	0.13	0.40	0.09	0.36	0.13	0.38
$\Delta \bar{h}_{u,Heck}$	[m]	0.44	0.50	0.48	0.51	0.48	0.52	0.49	0.52
$\hat{v}_{rück,u,Bug}$	[m/s]	0.32	1.08	0.35	1.21	0.24	1.13	0.37	1.20
$\hat{v}_{rück,u,Heck}$	[m/s]	1.36	1.55	1.56	1.71	1.60	1.74	1.65	1.75
u_{max}	[m/s]	2.02	2.55	2.45	2.57	2.51	2.57	2.57	2.56
$H_{sek,q} / 2$	[m]	0.15	0.11	0.14	0.09	0.19	0.12	0.12	0.08
$H_{u,Bug}$	[m]	0.21	0.64	0.20	0.62	0.14	0.56	0.20	0.59
$H_{u,Heck}$	[m]	0.97	0.98	1.01	0.94	1.02	0.95	1.01	0.94
$t_{a,B}$	[s]	4.0	4.7	6.2	7.7	4.8	6.0	6.7	8.1
$t_{a,H}$	[s]	22.4	26.8	32.3	40.4	55.0	69.0	40.7	49.5
$\bar{v}_{za,B}$	[m/s]	0.05	0.13	0.03	0.08	0.03	0.09	0.03	0.07
$\bar{v}_{za,H}$	[m/s]	0.04	0.04	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02

für

$$\rho_s = 2650 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Max nur ES und GMS
Min bei t_a

Hinweis:

Bei Übereinstimmung können bis zu drei Markierungen auftreten !!

Max ohne üGMS

Min bei t_a **Max aller Schiffe**Min bei t_a

Symbole:

$$v_{krit}$$

$$\Delta \bar{h}_{u,Bug} / \Delta \bar{h}_{u,Heck}$$

$$\hat{v}_{rück,u,Bug} / \hat{v}_{rück,u,Heck}$$

$$u_{max}$$

$$H_{sek,q}$$

$$H_{u,Bug} / H_{u,Heck}$$

$$t_{a,B} / t_{a,H}$$

$$\bar{v}_{za,B} / \bar{v}_{za,H}$$

kritische Schiffsgeschwindigkeit

mittlere Wasserspiegelabsenkung am Ufer am Bug/Heck

Rückströmungsgeschwindigkeit am Bug/Heck

Geschwindigkeit der Wiederauffüllungsströmung

Höhe der Sekundärquerwelle

Maximalwert der Wellenhöhe am schiffsnäheren Ufer

bei exzentrischer Fahrt am Bug/Heck

Absinkzeit am Bug/Heck

Absinkgeschwindigkeit am Bug/Heck

Anlage 4.1-1: Hinweise zur Ermittlung der mittleren Steingröße D_{50} bzw. des mittleren Steingewichtes G_{50}

In der Ausschreibung ist 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 /DIN EN 13383-2/ und /DIN 52101/ aus dem gelieferten Material zu entnehmen.

G_{50} ist aus der halblogarithmischen 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 Stein-klasse 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 (siehe Bild).

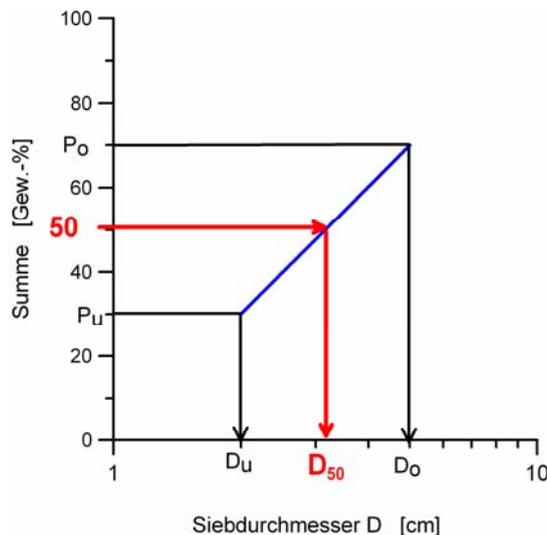
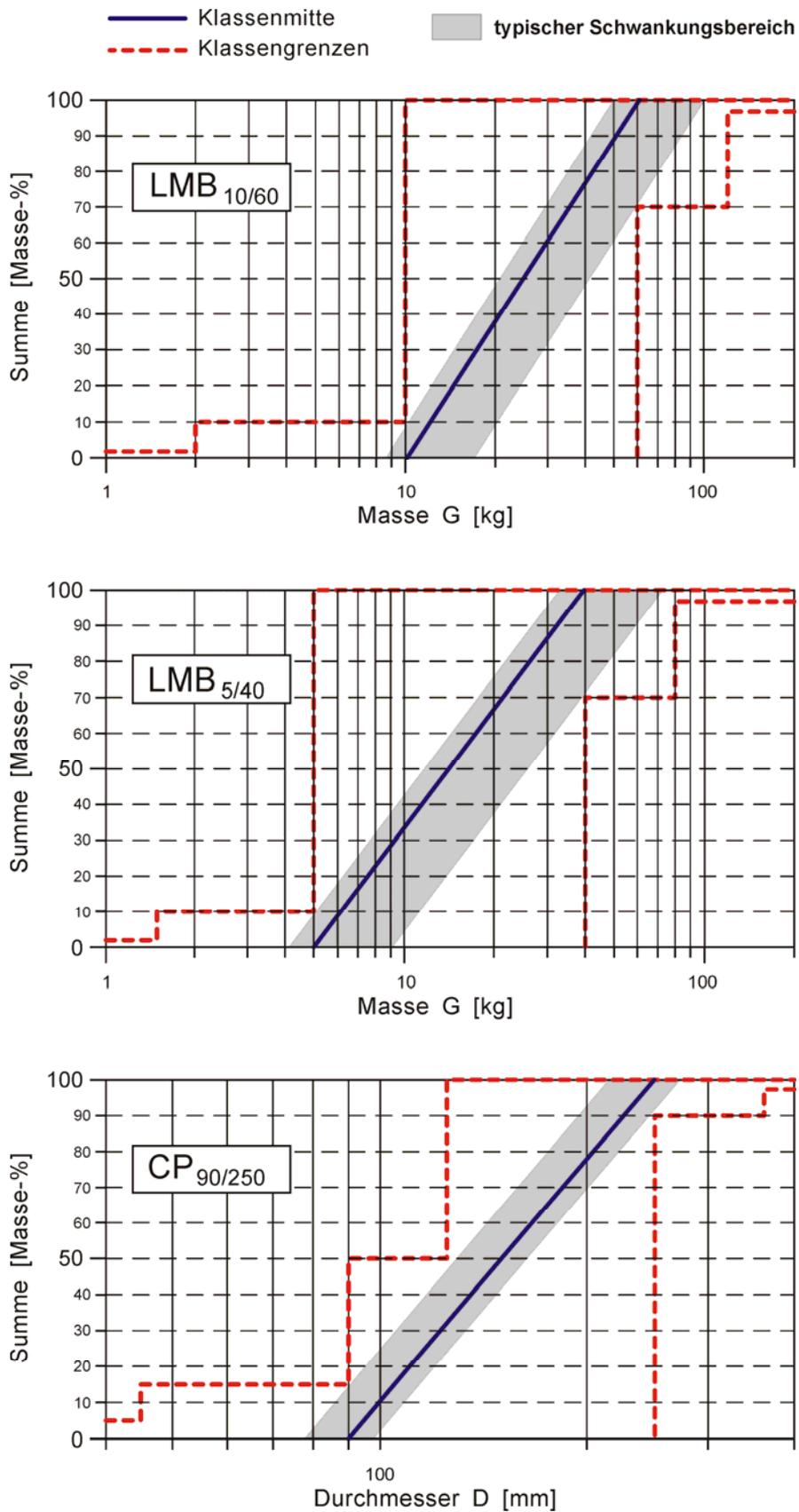


Bild: Ermittlung von D_{50} durch Interpolation

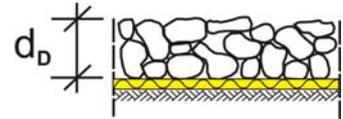
Bei der log-linearen Interpolation berechnet sich D_{50} zu:

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

Anlage 4.1-2: Summenkurven der Wasserbausteine - Klassen LMB_{10/60}, LMB_{5/40}, CP_{90/250}

Typischer Schwankungsbereich: Bereich in dem die Summenkurven i. d. R. zum Großteil verlaufen (diese Angabe ist informativ und stellt keine Anforderung dar).

Anlage 5.2.1-1: Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen – Für Böschung und Sohle empfohlene Deckschichtdicken d_D



Seite 1

Empfohlene Deckschichtdicken ^{a.)} d_D für Böden B1, B2, B5, Weichdichtungen ^{b.)}

WBSt-Klasse	Rohdichte ρ_S [kg/m ³]	Empfohlene Deckschichtdicken d_D [m] bei Fußeinbindung (Einbindetiefe: 1,50 m)			
		Böschung		Sohle	
		Geotextil	Kornfilter ^{c.)}	Geotextil	Kornfilter ^{c.)}
CP _{90/250}	3600	0,50	0,50	0,60	0,50
LMB _{5/40}	2650	0,60	0,60	0,60	0,60
	3000	0,55	0,55	0,60	0,55
	3600	0,55	0,55	0,60	0,55
LMB _{10/60}	2300	0,70	0,70	0,70	0,70
	2650	0,65	0,65	0,65	0,65
	3000	0,65	0,65	0,65	0,65
	3600	0,60	0,60	0,60	0,60

Empfohlene Deckschichtdicken ^{a.)} d_D für Boden B3

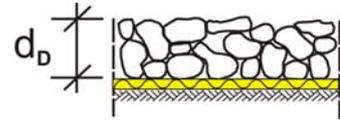
WBSt-Klasse	Rohdichte ρ_S [kg/m ³]	Empfohlene Deckschichtdicken d_D [m] bei Fußeinbindung (Einbindetiefe: 1,50 m)			
		Böschung		Sohle	
		Geotextil	Kornfilter ^{c.)}	Geotextil	Kornfilter ^{c.)}
CP _{90/250}	3600	0,50	0,50	0,60	0,50
LMB _{5/40}	2650	0,70	0,60	0,60	0,60
	3000	0,60	0,55	0,60	0,55
	3600	0,55	0,55	0,60	0,55
LMB _{10/60}	2300	0,85	0,70	0,70	0,70
	2650	0,70	0,65	0,65	0,65
	3000	0,65	0,65	0,65	0,65
	3600	0,60	0,60	0,60	0,60

Empfohlene Deckschichtdicken ^{a.)} d_D für Boden B4

WBSt-Klasse	Rohdichte ρ_S [kg/m ³]	Empfohlene Deckschichtdicken d_D [m] bei Fußeinbindung (Einbindetiefe: 1,50 m)			
		Böschung		Sohle	
		Geotextil	Kornfilter ^{c.)}	Geotextil	Kornfilter ^{c.)}
CP _{90/250}	3600	0,60	0,50	0,60	0,50
LMB _{5/40}	2650	0,80	0,60	0,60	0,60
	3000	0,70	0,55	0,60	0,55
	3600	0,60	0,55	0,60	0,55
LMB _{10/60}	2300	0,95	0,70	0,70	0,70
	2650	0,80	0,65	0,65	0,65
	3000	0,70	0,65	0,65	0,65
	3600	0,60	0,60	0,60	0,60

Anlage 5.2.1-1: Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen – Für Böschung und Sohle empfohlene Deckschichtdicken d_D

Seite 2



Erläuterungen:

a.) Die empfohlenen Deckschichtdicken gelten für das Trapezprofil und das Rechteck-Trapezprofil entsprechend Kap. 3.3 und berücksichtigen:

1.) Mindestdicken (siehe Anlage 5.2.1-3) hinsichtlich

- Schiffsanfahrung (nach GBB-Gl. 6-20)
- Ankerwurf (nach GBB-Gl. 6-19)
- UV-Schutz bei Geotextilien (nach GBB-Gl. 6-22)
- Kornfilter (nach GBB-Gl. 6-21)
- Ungleichförmigkeit der Steinschüttung (nach GBB-Gl. 6-17)
 $\min d_D = 1,5 * D_{n50} (U)^{1/2}$ mit $U = D_{60}/D_{10}$
- Stabilität des Steingerüsts (nach BAW-Brief 2-2005, Punkt 4)

2.) Rechnerisch erforderliche Deckschichtdicken (siehe Anlage 5.2.1-2) hinsichtlich

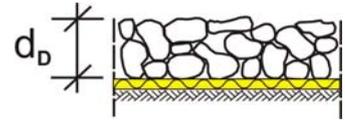
- geotechnischer Bemessung

Der jeweils maßgebende Nachweis ist farblich markiert. Die entsprechend Anlage 5.2.1-2 für das Trapez- und Rechteck-Trapez-Profil berechneten Deckschichtdicken wurden gemittelt. Die letztendlich maßgebende Deckschichtdicke wurde mathematisch auf 5/100 [m] auf- bzw. abgerundet.

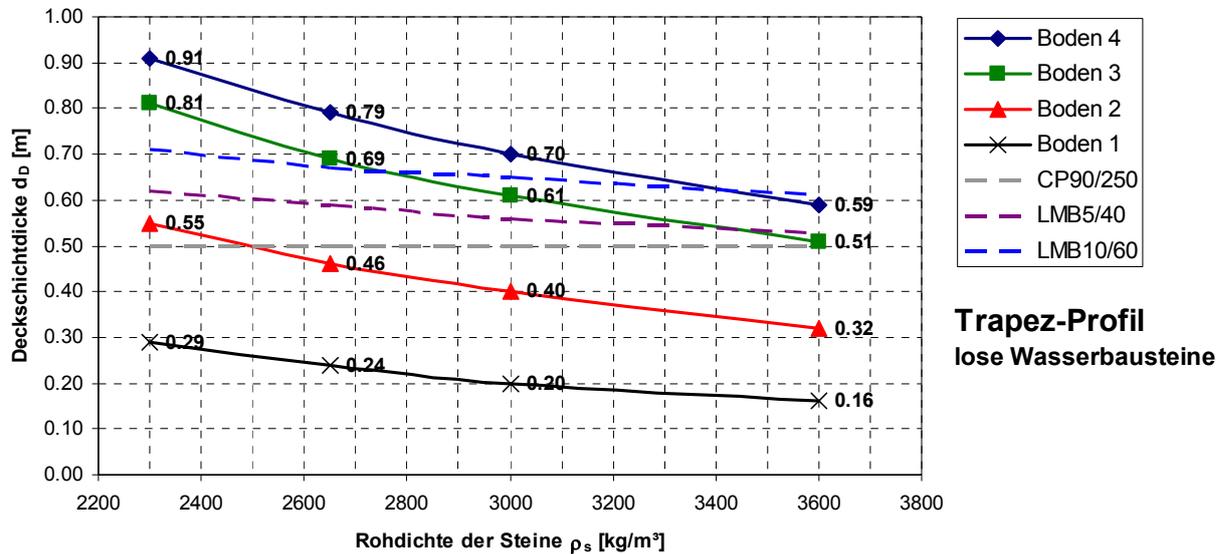
b.) Die empfohlenen Deckschichtdicken auf Weichdichtungen entsprechen nur dann den angegebenen Mindestdicken, wenn der GW-Spiegel unterhalb des durch Schifffahrt abgesenkten Kanalwasserspiegels liegt, ansonsten muss die Auftriebssicherheit nachgewiesen werden (siehe Anlage 5.6.2-1).

c.) Als Kornfilter ist bei den empfohlenen Deckschichtdicken ein Zweistufen-Mineralkornfilter (Schichtdicke: 2 x 20 cm) oder ein Mischkornfilter (Schichtdicke: 30 cm) nach MAK berücksichtigt.

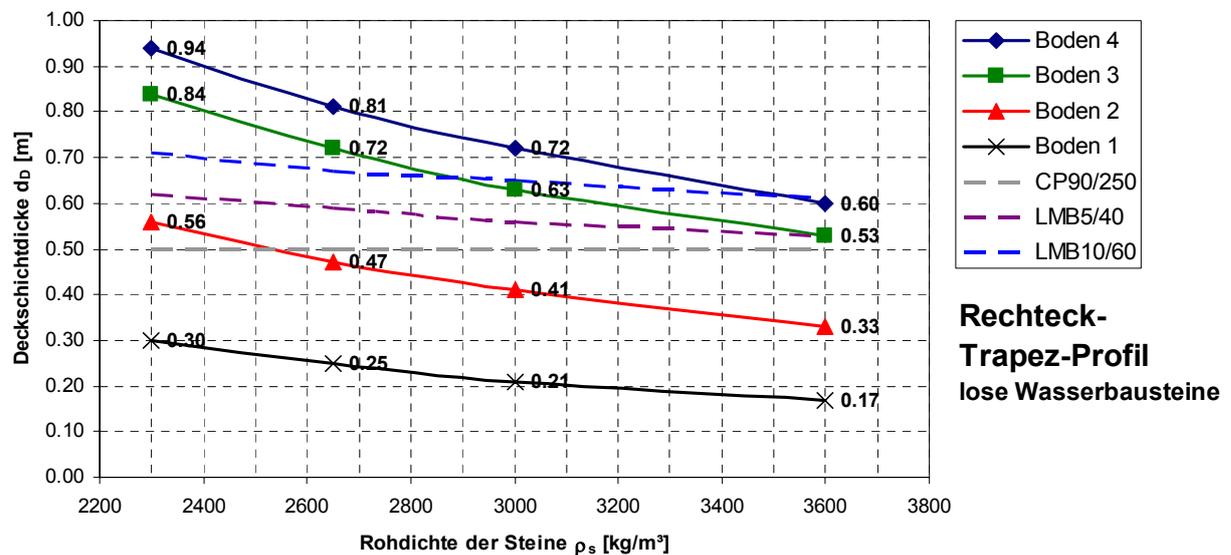
Anlage 5.2.1-2: Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen – Dokumentation der berechneten Deckschichtdicken d_D für den Böschungsbereich (mit Geotextil)



Berechnete Deckschichtdicken d_D für ein Trapezprofil



Berechnete Deckschichtdicken d_D für ein Rechteck-Trapez-Profil



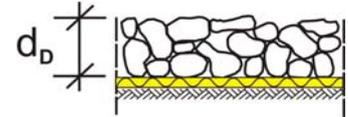
Erläuterungen:

Dargestellt sind die für den Böschungsbereich berechneten Deckschichtdicken für Böden 1 bis 4 und Mindestdicken für Steinclassen CP und LMB entsprechend Anlage 5.2.1-3 (gestrichelte Kurven).

Es wurden ein Geotextil und eine Fußeinbindung (Einbindetiefe: 1,50 m) berücksichtigt.

Für Böden B5 gelten immer die Mindestdicken.

Auf Weichdichtungen gelten die Mindestdicken nur, wenn der GW-Spiegel unterhalb des durch Schiffahrt abgesenkten Kanalwasserspiegels liegt, ansonsten muss die Auftriebssicherheit nachgewiesen werden (siehe Anlage 5.6.2-1).



Anlage 5.2.1-3: Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen – Berechnete Mindestdicken

Berechnete Mindestdicken d_D

Rohdichte [kg/m ³]	Stein-Klasse [-]	D ₅₀ Siebkorn- durchmesser [m]	Mindestschichtdicken an der Sohle		Mindestschichtdicken an der Böschung	
			auf Kornfilter [m]	auf Geotextil [m]	auf Kornfilter [m]	auf Geotextil [m]
2300	CP _{90/250}	0,150	0,50	0,60	0,50	0,50
	LMB _{5/40}	0,211	0,62	0,62	0,62	0,62
	LMB _{10/60}	0,254	0,71	0,71	0,71	0,71
2650	CP _{90/250}	0,150	0,50	0,60	0,50	0,50
	LMB _{5/40}	0,202	0,59	0,60	0,59	0,59
	LMB _{10/60}	0,242	0,67	0,67	0,67	0,67
3000	CP _{90/250}	0,150	0,50	0,60	0,50	0,50
	LMB _{5/40}	0,194	0,56	0,60	0,56	0,56
	LMB _{10/60}	0,232	0,65	0,65	0,65	0,65
3600	CP _{90/250}	0,150	0,50	0,60	0,50	0,50
	LMB _{5/40}	0,176	0,53	0,60	0,53	0,53
	LMB _{10/60}	0,219	0,61	0,61	0,61	0,61

Erläuterungen:

- wegen Schiffsanfahrung: GBB-Gl. (6-20)
- wegen Ankerwurf: GBB-Gl. (6-19)
- wegen UV-Schutz bei geotextilen Filtern (nur Böschung): GBB-Gl. (6-22)
- wegen Kornfilter: GBB-Gl. (6-21)
- wegen Ungleichförmigkeitsgrad: GBB-Gl. (6-17)
 $\min d_D = 1,5 \cdot D_{n50} (U)^{1/2}$ mit $U = D_{60}/D_{10}$
- wegen Stabilität des Steingerüsts: BAW-Brief 2/2005

Die ausgewiesenen Mindestdicken sind unabhängig vom Wasserstraßenquerschnitt (Trapez-/Rechteck-Trapezprofil).

Anlage 5.2.2-1: Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen – Für Böschung und Sohle empfohlene Deckschichtdicken d_D (mit Geotextil)



Empfohlene Deckschichtdicken d_D

Stein- klasse	Rohdichte ρ_s [kg/m ³]	Empfohlene Deckschichtdicken [m] bei Fußeinbindung (Einbindetiefe: 1,50 m)				
		Boden B1	Boden B2	Boden B3	Boden B4	Boden B5/ Weichdichtung
CP _{90/250} oder LMB _{5/40}	2300	0,40	0,40	0,45	0,70	0,40
	2650	0,40	0,40	0,40	0,55	0,40
	3000	0,40	0,40	0,40	0,45	0,40
	3600	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40

Erläuterungen:

Die empfohlenen Deckschichtdicken gelten bei Anwendung eines Geotextils für das Trapezprofil und das Rechteck-Trapez-Profil entsprechend Kap. 3.3. Die entsprechend Anlage 5.2.2-2 für das Trapez- und Rechteck-Trapez-Profil berechneten Deckschichtdicken wurden gemittelt. Die unter Berücksichtigung der Mindestdicke letztendlich maßgebende Deckschichtdicke wurde mathematisch auf 5/100 [m] auf- bzw. abgerundet.

Da die rechnerisch erforderlichen Deckschichtdicken nur unwesentlich von der angewendeten Vergussstoffmenge beeinflusst werden, gelten die in der Tabelle empfohlenen Deckschichtdicken unabhängig von der Vergussmenge für alle entsprechend Kap. 5.2.2 teilvergossenen Deckschichten im Trapez- und Rechtecktrapezprofil entsprechend Kap. 3.3. Berücksichtigt wurde bei der Berechnung des erforderlichen Deckschichtgewichtes eine Vergussstoffmenge von 50 l/m².

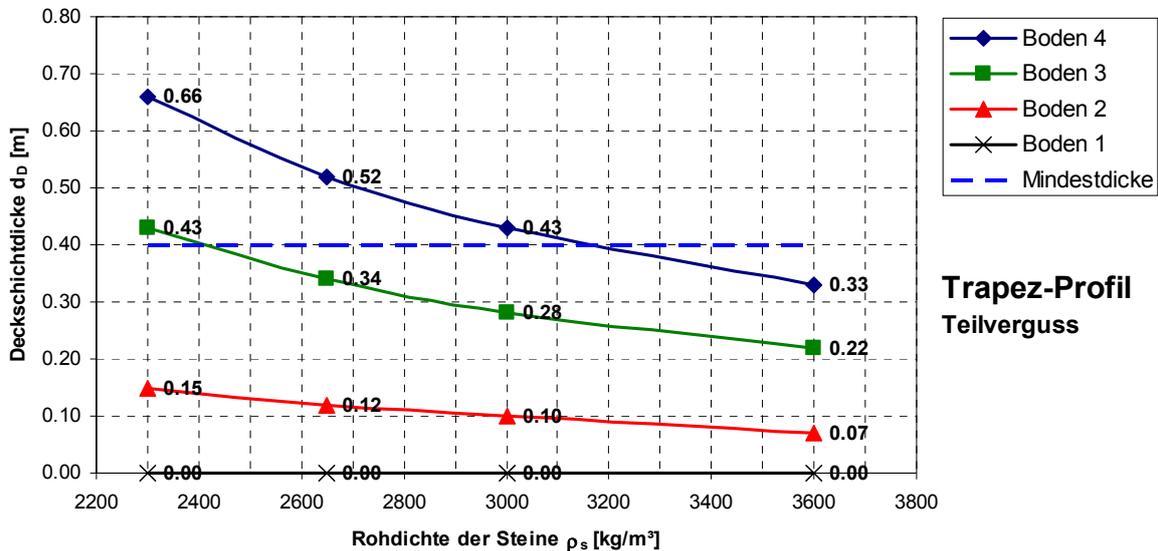
Gelbe Markierungen bedeuten, dass die Mindestdicke maßgebend ist. Diese beträgt für vergossene Deckschichten bei Verwendung der Steinklassen CP_{90/250} und LMB_{5/40} unabhängig von der Filterart 40 cm. Bei Verwendung eines Kornfilters kann die rechnerisch erforderliche Deckschichtdicke um die Dicke des Kornfilters verringert werden, wobei die Mindestdicke von 40 cm jedoch nicht unterschritten werden darf. Bei Anwendung eines Zweistufen-Mineralkornfilters (Schichtdicke: 2 x 20 cm) ist für die in der Tabelle dargestellten Varianten immer die Mindestdicke für die teilvergossene Deckschicht maßgebend.

Die auf Weichdichtungen empfohlenen Deckschichtdicken (Mindestdicken) gelten nur, wenn der GW-Spiegel unterhalb des durch Schiffahrt abgesenkten Kanalwasserspiegels liegt, ansonsten muss die Auftriebssicherheit nachgewiesen werden (siehe Anlage 5.6.2-2).

Anlage 5.2.2-2: Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen – Dokumentation der berechneten Deckschichtdicken d_D für den Böschungsbereich (mit Geotextil)

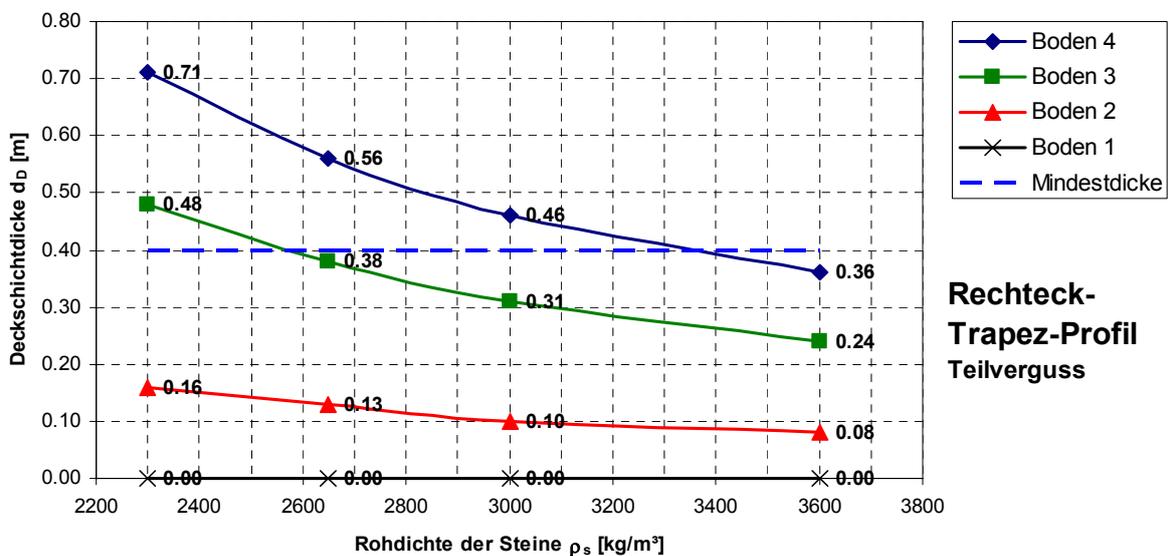


Berechnete Deckschichtdicken d_D für ein Trapezprofil



Trapez-Profil
Teilverguss

Berechnete Deckschichtdicken d_D für ein Rechteck-Trapez-Profil



Rechteck-Trapez-Profil
Teilverguss

Erläuterungen:

Dargestellt sind die für den Böschungsbereich berechneten Deckschichtdicken für die Böden 1 bis 4 und die Mindestdicken für die Steinklassen $CP_{90/250}$ und $LMB_{5/40}$ (gestrichelte Kurve).

Bei den Berechnungen wurden ein Geotextil und eine Fußeinbindung (Einbindetiefe: 1,50 m) sowie eine Vergussmasse von 50 l/m^2 als Zusatzgewicht in der Deckschicht berücksichtigt. Die rechnerisch erforderlichen Deckschichtdicken werden nur unwesentlich von der angewendeten Vergussstoffmenge beeinflusst.

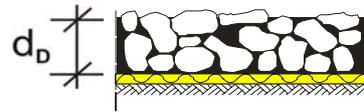
Für Boden B5 gelten immer die Mindestdicken.

Auf Weichdichtungen gelten die Mindestdicken nur, wenn der GW-Spiegel unterhalb des durch Schiffahrt abgesenkten Kanalwasserspiegels liegt, ansonsten muss die Auftriebssicherheit nachgewiesen werden (siehe Anlage 5.6.2-2).

Anlage 5.2.3: Dichte Deckschichten aus vollvergossenen Wasserbausteinen auf Geotextil – erforderliche Deckschichtdicken d_D gegen Auftrieb

Berechnungsgrundlagen:

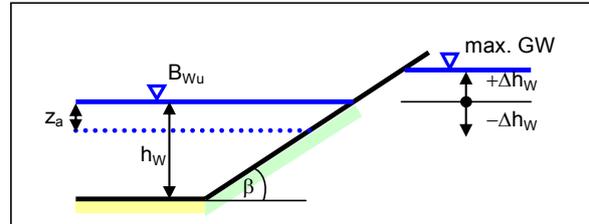
- Auftriebssicherheit $\gamma_a = 1,0$
- Absenk $z_a = 0,89$ m ($z_a =$ maßgebender Absenk für Auftriebsberechnungen)
- Hohlraumanteil $n = 50\%$
- $\gamma_W = 9,81$ kN/m³
- $\gamma_V = 22$ kN/m³



$$d_D = \frac{\gamma_A \cdot (\Delta h_W + z_a) \gamma_W - \gamma'_F d_F}{\cos \beta}$$

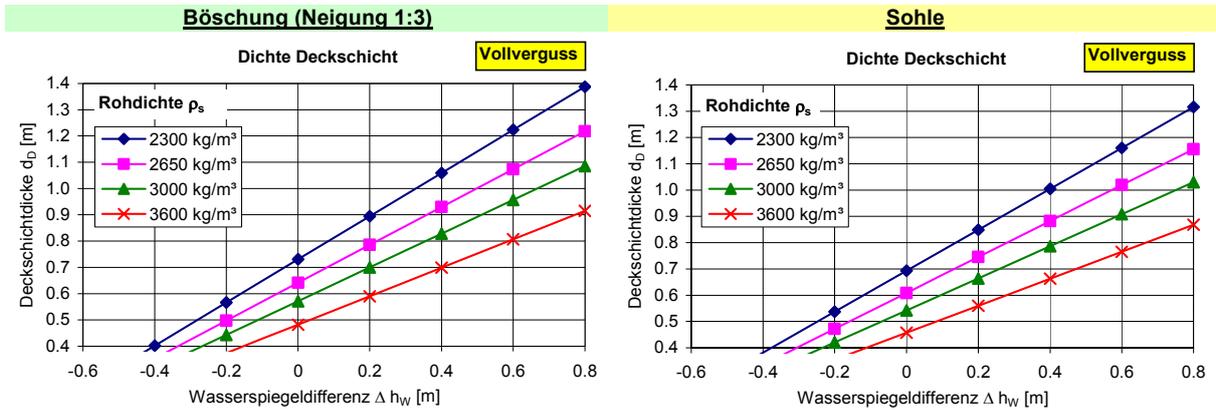
$$\frac{\gamma_A \cdot (\Delta h_W + z_a) \gamma_W - \gamma'_F d_F}{(1-n) \cdot (\gamma_S - \gamma_W) + n \cdot (\gamma_V - \gamma_W)}$$

mit $\gamma'_F \cdot d_F \approx 0$ (Geotextil)
und $\gamma_S = \rho_S \cdot g$



$$z_a = H_{u,Heck} - \frac{1}{2} H_{sek,q}$$

Maximum für z_a entsprechend Kenngrößen nach Anlage 3.2.1 bzw. 3.2.2



Mindestdicken für vollvergossene Deckschichten in Abhängigkeit von der verwendeten Steinklasse und Rohdichte:

	LMB _{5/40}	LMB _{10/60}
$\rho_s < 3000$ kg/m ³	40 cm	50 cm
$\rho_s \geq 3000$ kg/m ³	40 cm	40 cm

Anlage 5.6.2-1: Durchlässige Deckschichten aus losen Wasserbausteinen auf Geotextil mit Dichtung – erforderliche Deckschichtdicken d_D gegen Auftrieb

Berechnungsgrundlagen:

Auftriebsicherheit $\gamma_a = 1,0$

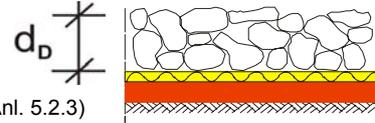
Absenk $z_a = 0,89$ m

Hohlraumanteil $n = 50\%$

$\gamma_W = 9,81$ kN/m³

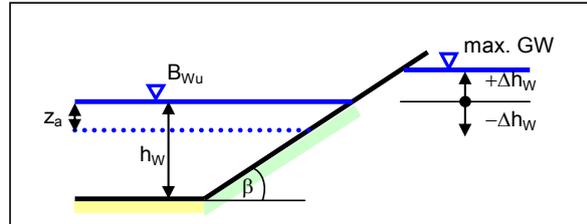
$\gamma'_{Di} = 10$ kN/m³ (Ton)

(z_a = maßgebender Absenk für Auftriebsberechnungen, Formel siehe Anl. 5.2.3)



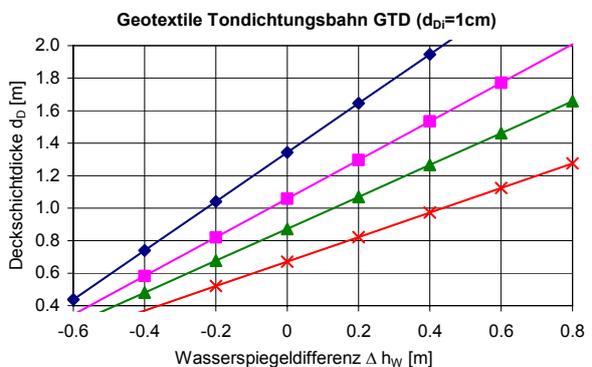
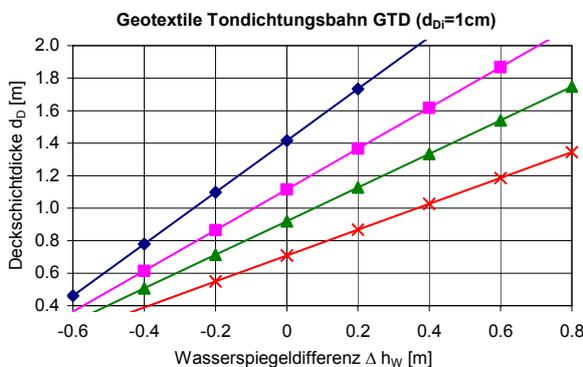
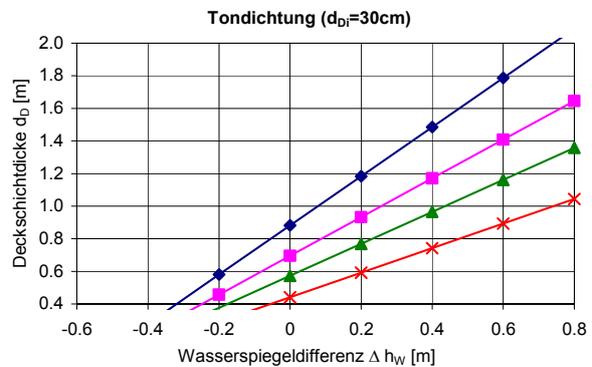
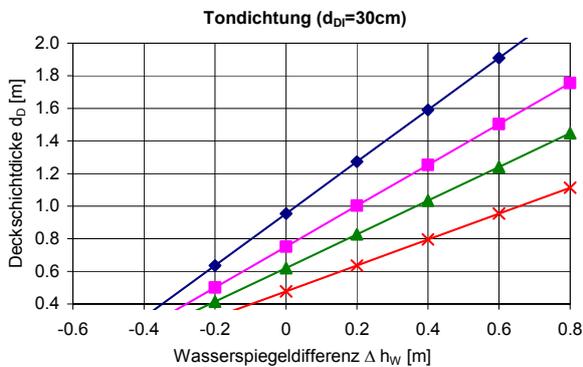
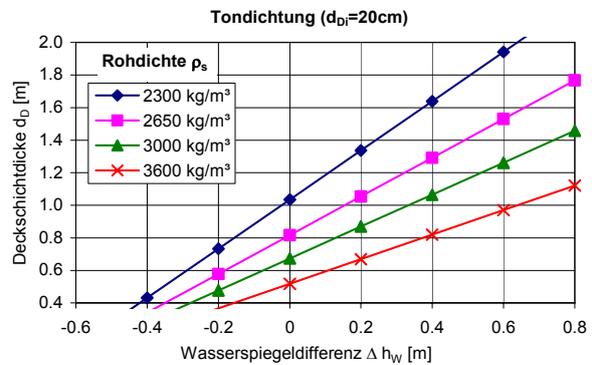
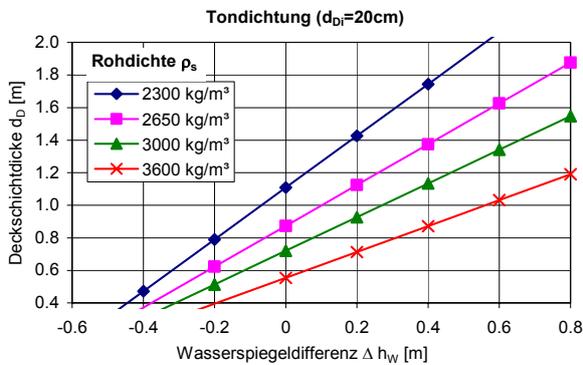
$$d_D = \frac{\gamma_A \cdot (\Delta h_W + z_a) \gamma_W - (\gamma'_F d_F + \gamma'_{Di} d_{Di})}{\cos \beta \cdot (1 - n) \cdot (\gamma_S - \gamma_W)}$$

mit $\gamma'_F \cdot d_F \approx 0$ (Geotextil)
und $\gamma_S = \rho_S \cdot g$



Böschung (Neigung 1:3)

Sohle



Die Mindestdicken nach Anlage 5.2.1-3 sind zu berücksichtigen.

Anlage 5.6.2-2: Durchlässige Deckschichten aus teilvergossenen Wasserbausteinen auf Geotextil mit Dichtung – erforderliche Deckschichtdicken d_D gegen Auftrieb

Berechnungsgrundlagen:

Auftriebsicherheit $\gamma_a = 1,0$

Absink $z_a = 0,89$ m

Hohlraumanteil $n = 50\%$

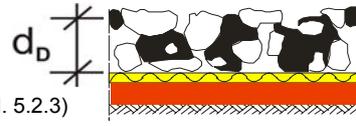
$\gamma_W = 9,81$ kN/m³

$\gamma'_{Di} = 10$ kN/m³ (Ton)

$m_V \geq 0,05$ m³/m² (= 50 l/m²)

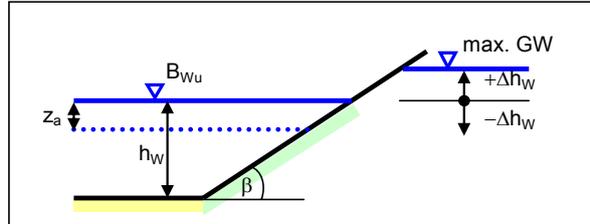
$\gamma_V = 22$ kN/m³

(z_a = maßgebender Absink für Auftriebsberechnungen, Formel siehe Anl. 5.2.3)



$$d_D = \frac{\gamma_A \cdot (\Delta h_W + z_a) \gamma_W - (\gamma'_F d_F + \gamma'_{Di} d_{Di} + m_V (\gamma_V - \gamma_W))}{\cos \beta \cdot (1 - n) \cdot (\gamma_S - \gamma_W)}$$

mit $\gamma'_F \cdot d_F \approx 0$ (Geotextil)
und $\gamma_S = \rho_S \cdot g$



Böschung (Neigung 1:3)

Sohle

