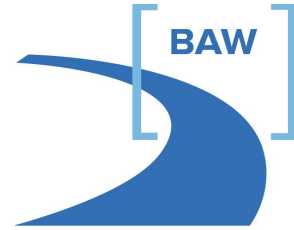




**BUNDESANSTALT
FÜR GEWÄSSERKUNDE**
Koblenz



**BUNDESANSTALT
FÜR WASSERBAU**
Karlsruhe

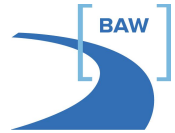


**Untersuchungen zu alternativen,
technisch-biologischen
Ufersicherungen an
Binnenwasserstraßen**

**Info-Blatt:
Ermittlung von
Schiffswellenhöhen
am Ufer**

**F & E – Projekt
(BAW – BfG)**

Stand: November 2016



Inhalt

- 1 Berechnung nach dem GBB
- 2 Anpassung des GBB an beliebige Profile
 - 2.1 Ersatztrapezprofil
 - 2.2 Abklingverhalten
- 3 Literatur

1 Berechnung nach dem GBB

Die *Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen* (GBB 2004) wurden erstmals im Mai 2004 als BAW-Mitteilungsblatt Nr. 87 veröffentlicht (BAW, 2004) und sind Anfang 2011 in einer stark überarbeiteten, aktualisierten Version als GBB 2010 erschienen (BAW, 2011). Darin werden ausführlich Konzept, Grundlagen und Bemessungsansätze zur Dimensionierung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen, insbesondere an künstlichen Wasserstraßen beschrieben. Neueste Forschungsergebnisse und internationale Fachliteratur sind im GBB 2004 bzw. GBB 2010 berücksichtigt. Voran stehen ausführliche Begriffsdefinitionen und Gedanken zum Sicherheits- und Bemessungskonzept. Den ersten Schwerpunkt des GBB bildet die Ermittlung hydraulischer Belastungsgrößen aus schiffserzeugten Wellen- und Schiffsantrieb sowie deren Verwendung für die Festlegung von Steingröße und Schichtdicke loser Deckwerke. Windwellen werden nur in GBB 2004 vorgestellt. Der zweite Schwerpunkt ist die geotechnische Bemessung der Steinschüttung unter Berücksichtigung von Deckwerksaufbau und Fußstützung. Einen schematischen Überblick zur Hauptstruktur des GBB für die Dimensionierung von losen Deckwerken gibt Bild 1.

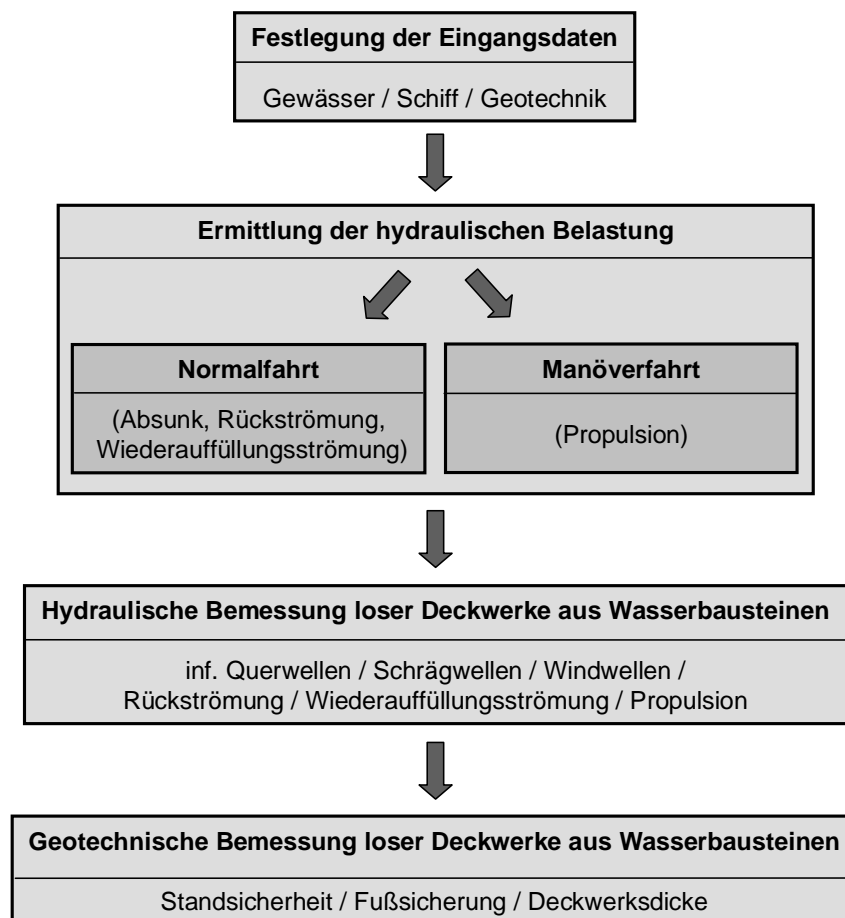


Bild 1: Hauptstruktur des GBB für die Dimensionierung von losen Deckwerken

Das GBB bietet die Möglichkeiten, folgende Einflussgruppen für die Bemessung von Uferdeckwerken einzubeziehen:

- Schiffstyp, Schiffsabmessung und Abladetiefe
- Schiffsgeschwindigkeit, Fahrposition, Vertrimmung und Fahrsituation
- Form und Hauptabmessungen des Kanalquerschnittes, Böschungsneigung
- Primär- und Sekundärwellen
- Rück- und Wiederauffüllungsströmung
- Deckwerksteinklasse, zulässige Kornverteilungsband, Rohdichte

Im Folgenden wird der Weg zur Ermittlung der hydraulischen Belastungsgrößen anhand der einzelnen Schritte und nur mit einem Minimum an Formeln kurz skizziert (vergl. Bild 2). Details dazu sind im GBB 2004 und GBB 2010 zu finden.

Berechnungsweg

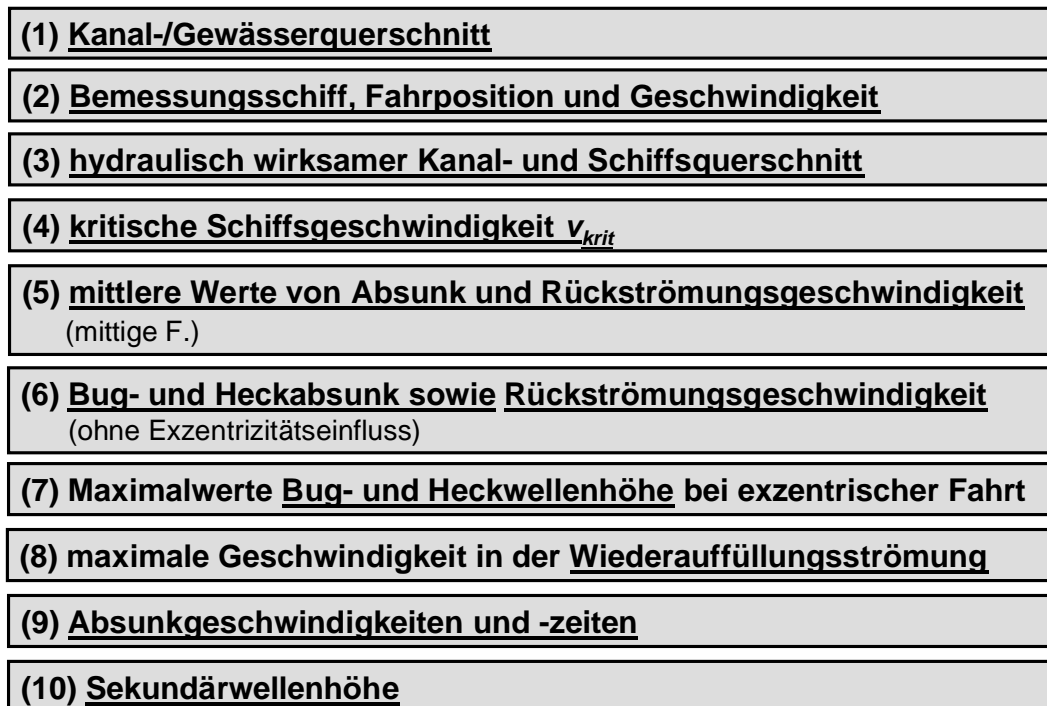


Bild 2: Ablauf der Berechnungen zur Ermittlung der hydraulischen Belastungen für die Dimensionierung von losen Deckwerken nach dem GBB

(1) Kanal-/Gewässerquerschnitt

Zunächst wird der betrachtete Kanal- bzw. Gewässerquerschnitt festgelegt. Dieser kann einem IST-Zustand entsprechen, wenn Nachrechnungen durchgeführt werden, oder aber einem SOLL-Zustand, wenn eine Planung betrachtet wird. Hierbei ist darauf zu achten, dass Kanalquerschnitte meist voll berücksichtigt werden, Fluss und besonders Seenquerschnitte aber nur mit einem wirksamen Anteil (s. **(3)**).

(2) Bemessungsschiff, Fahrposition und Geschwindigkeit

Vor jeder Berechnung sind ein oder mehrere Bemessungsschiffe zu definieren und damit deren Abmessungen, Bug-, Rumpf- und Heckform sowie Tiefgänge festzulegen. Sollen auch Manöversituationen rechnerisch erfasst werden, so sind technische Daten zu Antrieben und Rudern zu bestimmen.

Die Fahrposition, also der Abstand zwischen Schiffsachse und Ufer, ist entscheidend für die Größe der Uferbelastung. Je näher das Schiff am Ufer fährt, umso größer ist die hydraulische Belastung. In Kanälen ist es meist so, dass Einzelfahrer annähernd mittig fahren und dass ufernahe Positionen nur in der Vorbereitung von Begegnungen oder bei Überholungen vorkommen.

Auch die Wahl der relevanten Schiffsgeschwindigkeit ist von wesentlichem Einfluss. Je näher die gewählte Geschwindigkeit an der kritischen Schiffsgeschwindigkeit liegt, umso größer sind die Auswirkungen. Im GBB wird für Ausbaubemessungen generell 97 % der kritischen Schiffsgeschwindigkeit empfohlen. Bei anderen Fragestellungen kann auch die zulässige Schiffsgeschwindigkeit Grundlage der Ermittlungen sein, wenn sichergestellt ist, dass ihre Einhaltung gewährleistet ist. Auch geringere Prozentsätze der kritischen Schiffsgeschwindigkeit sind anwendbar, z. B. um technisch-biologische Uferschutzmaßnahmen bei entsprechenden Randbedingungen möglich zu machen. Zudem muss in einigen Fällen die vorhandene Leistung des Schiffsantriebs beachtet werden, aufgrund derer vielleicht nur eine begrenzte Schiffsgeschwindigkeit erreicht werden kann.

(3) Hydraulisch wirksamer Kanal- und Schiffsquerschnitt

Der maßgeblich an Absenk und Rückstrom beteiligte Bereich des Gewässerquerschnitts, der das wirksame (= äquivalente) Kanalprofil bestimmt, ist abhängig von der rechnerischen Gewässerbreite $b_r = A/h$ (s. Bild 3), der wirksamen Einflussbreite des Rückströmungsfeldes b_e und der Schiffsposition (= Exzentrizität) innerhalb des Gewässerquerschnitts. Dabei ergeben sich drei grundsätzlich verschiedene Breitenfälle (s. Bild 3): Kanalfall, Flachwassersituation und Übergangssituation.

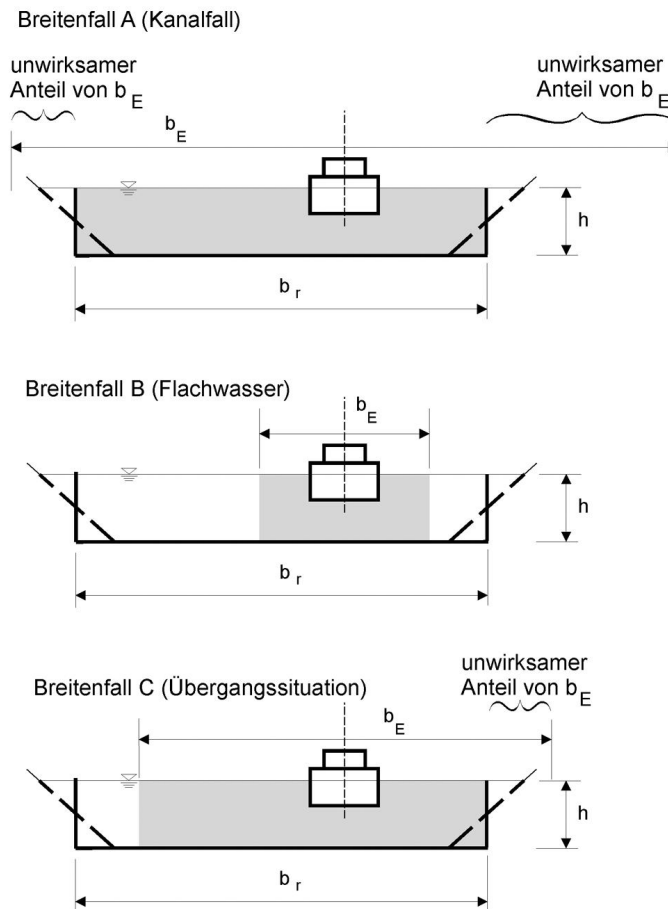


Bild 3: Grundfälle für das Verhältnis von Einflussbreite des Rückströmungsfeldes b_E zur rechnerischen Gewässerbreite b_r nach dem GBB 2010 (BAW, 2011)

Für b_E gilt folgender, vom Schiffstyp abhängiger Ansatz:

$$b_E = \frac{\pi}{2} (L + f_B B)$$

Der Einfluss des Schiffstyps wird über einen Faktor f_B erfasst, der für übliche Binnenschiffe bei $f_B = 3$ liegt. Fahren diese Schiffe in Kanälen, so gilt Breitenfall A, fahren sie jedoch in breiten Flüssen oder Seen, so müssen die Breitenfälle B oder C beachtet werden. Die Behandlung solcher Querschnittsbedingungen wird in GBB 2010 unter 5.5.1.1 weiter betrachtet und hier unter 2.2 kurz erläutert.

Bei der Anwendung der 1D-Kanaltheorie werden Energieverluste vernachlässigt, die in einer Grenzschicht entstehen, die sich bei der Umströmung zwischen Bug und Heck aufbaut. Um diese Effekte zu erfassen, wird eine effektive Schiffsquerschnittsfläche $A_{S,eff}$ definiert, die ihr Maximum am Heck (Index $_H$) hat und wie folgt berechnet wird:

$$A_{S,eff,H} = A_{S,H} + \delta_{1H} (B_m + 2 T_m)$$

$$A_{S,H} = T_H B_H \gamma_H$$

$$\delta_{1H} = 0,645 L_H \left(1,89 + 1,62 \log_{10} \frac{L_H}{K_{SS}} \right)^{-2,5}$$

Berücksichtigt werden hier die Querschnittswerte am Heck (B_H , T_H) und die mittleren Schiffsabmessungen (B_m , T_m), die Entwicklungslänge der Grenzschicht zwischen Bug und Hauptspantende (L_H) und die äquivalente Sandrauheit der Schiffshaut (K_{SS}) sowie der Volligkeitsgrad des Schiffsquerschnitts im Heckbereich (γ_H).

(4) Kritische Schiffsgeschwindigkeit v_{krit}

Ein charakteristischer Wert bei der Interaktion Schiff/Wasserstraße ist die kritische Schiffsgeschwindigkeit v_{krit} . Dafür und für den zugehörigen mittleren Wasserspiegelabsenk $\Delta \bar{h}_{krit}$ gelten folgende Gleichungen:

$$\Delta \bar{h}_{krit} = x_{krit} h_m$$

$$v_{krit} = y_{krit} \sqrt{gh_m}$$

Die Berechnung der Größen x_{krit} und y_{krit} erfolgt iterativ über mehrere Hilfsfunktionen, die mit folgenden Kennwerten des Kanals und des Schiffes verbunden sind:

$A_{K,\ddot{a}qui}$	äquivalenter Kanalquerschnitt [m ²]
$A_{S,eff}$	effektiver Schiffsquerschnitt [m ²] unter Berücksichtigung von Grenzschichteffekten an Bug und Heck
b_{WS}	Wasserspiegelbreite [m]; $b_{WS} = b_{WS,\ddot{a}qui}$
h_m	mittlere Wassertiefe [m], $h_m = A_{K,\ddot{a}qui} / b_{WS,\ddot{a}qui}$
m	Böschungsneigung [-]; $m = m_{K,\ddot{a}qui}$
n	Querschnittsverhältnis [-]; $n = n_{\ddot{a}qui} = A_{K,\ddot{a}qui} / A_{S,eff}$

Verdränger (also z. B. Güterschiffe) können diesen hydraulischen Grenzwert i. d. R. nicht überschreiten. Je näher die Schiffsgeschwindigkeit an v_{krit} liegt, umso höher ist der Leistungsbedarf. Mit der Annäherung an v_{krit} steigen auch sämtliche damit verbundenen Effekte wie Absenk, Wellenbildung, Rückströmung und Wiederauffüllungsströmung überproportional stark an. Ein typisches Diagramm zum Zusammenhang zwischen steigender Schiffsgeschwindigkeit und mittlerem Absenk ist auf Bild 4 wiedergegeben.

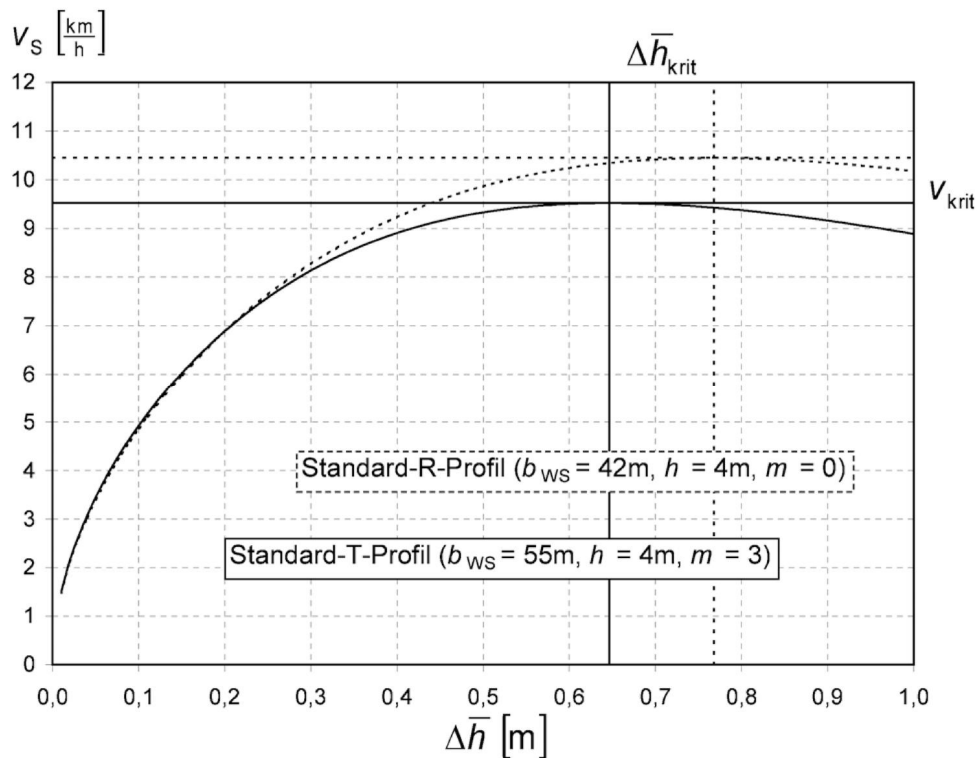


Bild 4: Zusammenhang zwischen Schiffsgeschwindigkeit v_s und mittlerem Absenk $\Delta\bar{h}$ im Regel-Trapez- und Rechteck-Trapez-Profil, berechnet nach der 1D-Kanaltheorie für die Fahrt eines GMS ($L = 110$ m, $B = 11,4$ m, $T = 2,8$ m, $\delta_{1H} = 0,19$ m)

(5) mittlere Werte von Absenk und Rückströmungsgeschwindigkeit

In jedem Fall wird nun zunächst auf der Basis der o. g. Größen für eine gewählte Bemessungsgeschwindigkeit des Schiffes v_s die mittlere Wasserspiegelabsenkung $\Delta\bar{h}$ für die mittige Fahrt bestimmt:

$$v_s = \sqrt{\frac{2 g \Delta\bar{h}}{\alpha_1 \left(\frac{A}{A - \Delta A} \right)^2 - 1}}$$

Die Lösung dieser Gleichung erfolgt iterativ. Verwendete Größen sind der Kanalquerschnitt (A), die Querschnittsreduzierung im Kanal infolge Schiffsquerschnitt und Absenk (ΔA) sowie eines Korrekturbeiwertes (α_1), der Effekte der Nähe der gefahrenen zur kritischen Schiffsgeschwindigkeit beschreibt.

Daraus lässt sich die querschnittsgemittelte Rückströmungsgeschwindigkeit $\bar{v}_{\text{rück}}$ für die mittige Fahrt errechnen:

$$\bar{v}_{\text{rück}} = \frac{\Delta A}{A - \Delta A} v_s$$

Zwischen Schiff und Ufer macht sich bei den Werten für die Rückströmungsgeschwindigkeit und den Absenkungswert ein Abklingverhalten (s. 2.2) bemerkbar, was am Ufer zu entsprechend verringerten Werten $\bar{v}_{\text{rück,u}}$ und $\Delta\bar{h}_u$ führt, die in die weitere Berechnung eingehen.

(6) Bug- und Heckabsenkung sowie Rückströmungsgeschwindigkeit (ohne Exzentrizitätseinfluss)

Im folgenden Schritt werden die maximalen Wasserspiegelabsenkungen in Höhe von Bug bzw. Heck im Uferbereich – zunächst ohne Exzentrizitätseinfluss – bestimmt. Am Bug gilt

$$\Delta\hat{h}_{u,\text{Bug}} = 1,1 \Delta\bar{h}_{u,\text{Bug}}$$

mit dem mittleren Wasserspiegelabsenkung im Uferbereich am Bug ($\Delta\bar{h}_{u,\text{Bug}}$). Am Heck gilt

$$\Delta\hat{h}_{u,\text{Heck}} = C_H \Delta\bar{h}_{u,\text{Heck}}$$

mit dem mittleren Wasserspiegelabsenkung im Uferbereich am Heck ($\Delta\bar{h}_{u,\text{Heck}}$). Der Faktor C_H erfasst Effekte von Schiffstyp, Abladung, Vertrimmung und Wasserspiegellängsgefälle.

(7) Maximalwerte Bug- und Heckwellenhöhe bei exzentrischer Fahrt

Im Folgenden findet die Exzentrizität Eingang in die Berechnung. Mit zunehmender Ufernähe steigen die Werte der Wellenhöhe an der Böschung stark an. Der Anstieg der Wellenhöhe ist abhängig vom Verhältnis der Querschnittsfläche zwischen Schiff und Ufer zum Kanalquerschnitt (bei Flachwasserfahrt zu einer äquivalenten Kanalquerschnittsfläche). Für den Maximalwert der Bugwellenhöhe am schiffsnäheren Ufer bei exzentrischer Fahrt gilt

$$H_{u,\text{Bug}} = (2,0 - 2 \frac{A'}{A}) \Delta\hat{h}_{u,\text{Bug}}$$

und für den Maximalwert der Heckwellenhöhe entsprechend

$$H_{u,\text{Heck}} = (2,0 - 2 \frac{A'}{A}) \Delta\hat{h}_{u,\text{Heck}}$$

mit dem Querschnittsverhältnis A'/A entsprechend den Fallunterscheidungen in Bild 3.

Der Einfluss der Ufernähe auf die Rückströmungsgeschwindigkeit ist gering und wird vernachlässigt.

(8) maximale Geschwindigkeit in der Wiederauffüllungsströmung

In brechenden Heckwellen, bei ungebrochenen hohen Heckwellen und bei ufernaher Fahrt tritt eine uferparallele Wiederauffüllungsströmung an der Böschung auf. Die Fließgeschwindigkeit u_{\max} darin, die in Höhe der Deckwerkssteine auftritt, erreicht bei sehr großen Wellenhöhen maximal die Schiffsgeschwindigkeit v_s . Für kleinere Wellenhöhen ist sie maßgeblich vom Verhältnis der Schiffsgeschwindigkeit zur Wellenfortschrittsgeschwindigkeit, der Froude-Zahl $\tilde{F}r$ abhängig. Die entsprechenden Gleichungen lauten:

$$u_{\max} \approx 0,3 v_s \quad \text{für } \tilde{F}r^2 > 1,83$$

$$u_{\max} \approx 0,3 v_s + 0,7 \left(1 - \frac{\tilde{F}r^2 - 0,71}{1,12} \right) v_s \quad \text{für } 0,71 \leq \tilde{F}r^2 \leq 1,83$$

$$u_{\max} \approx 1,0 v_s \quad \text{für } \tilde{F}r^2 < 0,71$$

(9) Absinkgeschwindigkeiten und -zeiten

Im Ablauf der Berechnungen folgt nun die Ermittlung der Absinkzeiten, getrennt für den Bug- und Heckabsink, und der damit verbundenen Absinkgeschwindigkeiten. Diese Werte sind wesentliche Eingangsgrößen für die geotechnische Bemessung, deren Zusammenhang auf Bild 5 zu sehen ist.

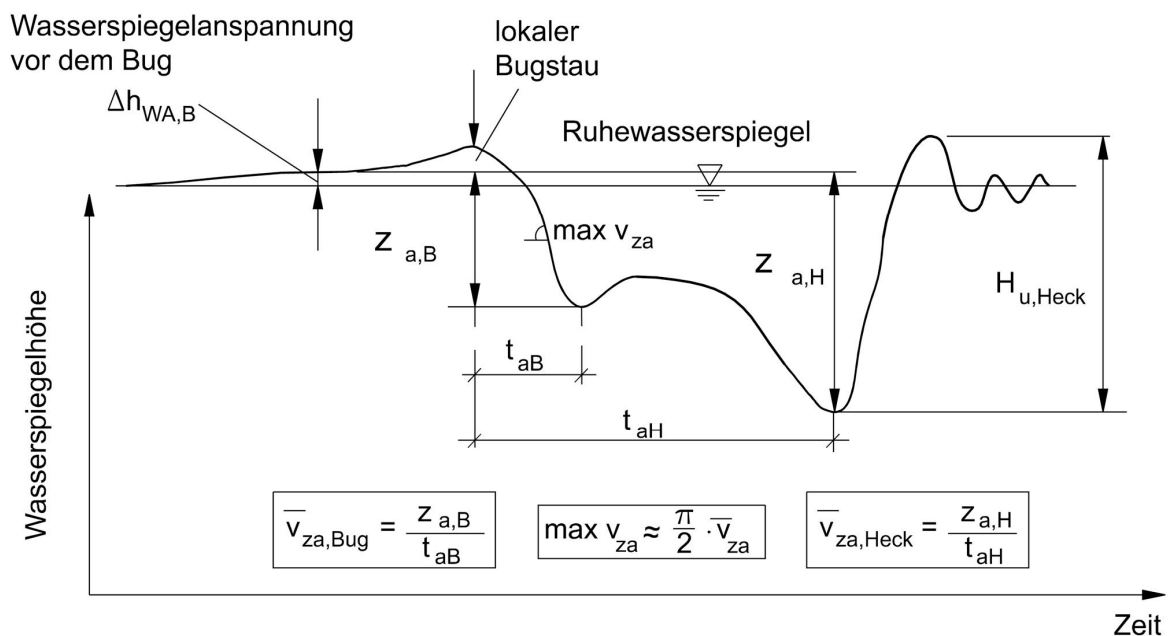


Bild 5: Prinzipieller Zusammenhang zwischen Absink $z_{a,B}$ am Bug bzw. $z_{a,H}$ am Heck, den entsprechenden Absinkzeit t_a und den Absinkgeschwindigkeiten

Der maximale schnelle Wasserspiegelabsenk an Bug $z_{a,B}$ bzw. Heck $z_{a,H}$ ergibt sich nach

$$z_{a,B} = H_{u,Bug} \left(0,91 + 0,09 f_{\Delta h_{WA,B}} \right)$$

$$z_{a,H} = 0,1 f_{\Delta h_{WA,B}} H_{u,Bug} + H_{u,Heck} - \frac{1}{2} H_{Sek,q}$$

Mit den Maximalwerten der Wellenhöhen am schiffsnäheren Ufer bei exzentrischer Fahrt an Bug bzw. Heck ($H_{u,Bug}$ bzw. $H_{u,Heck}$), einem Faktor zur Reduzierung des Einflusses der Wasserspiegelanspannung vor dem Bug ($f_{\Delta h_{WA,B}}$) und für das Heck einem Anteil der Sekundärwellenhöhe reiner Heckquerwellen ($H_{Sek,q}$). Details hierzu s. Kap. 7.1.2 in GBB 2010.

Für große, moderne Güterschiffe gehören dazu folgende Absenkzeiten an Bug $t_{a,B}$ und Heck $t_{a,H}$

$$t_{a,B} \approx 1,7 \frac{u_{eff}}{v_{SüG}}$$

$$t_{a,H} \approx t_{a,B} + \frac{L_{pris}}{v_{SüG}}$$

abhängig vom effektiven Uferabstand (u_{eff} ; Abstand Schiffsachse - rechnerische Uferlinie bei RWS) und der Schiffsgeschwindigkeit über Grund ($v_{SüG}$). Details dazu und Angaben zu Absenkzeiten von Sekundärwellen finden sich in Kap. 5.5.4.8 in GBB 2010 (BAW, 2011).

(10) Sekundärwellenhöhe

Neben den Primärwellenhöhen, die in den meisten Fällen der Bemessungswellehöhe entsprechen, spielen manchmal auch die kleineren und kurzperiodischeren Sekundärwellen, die an Bug und Heck ausgelöst werden, eine Rolle. Die Sekundärwellenhöhe, die ihr Maximum auf der Interferenzlinie von Bug- und Heckschrägwellen erreicht (s. Bild 6), berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$H_{Sek} = A_W \frac{v_s^{8/3}}{g^{4/3} (u')^{1/3}} f_{cr}$$

Hierin finden der Wellenhöhenbeiwert A_W , der abhängig von Schiffsform, Schiffsabmessungen, Abladetiefe und Wassertiefe ist, die Schiffsgeschwindigkeit v_s , der Abstand Schiffswand - Uferlinie u' und ein Geschwindigkeitsbeiwert f_{cr} , der ab 80% der kritischen Schiffsgeschwindigkeit deren zunehmend starken Einfluss berücksichtigt, Eingang.

Im Falle reiner Heckquerwellen gilt für die Sekundärwellenhöhe:

$$H_{\text{Sek,q}} = A_W \frac{v_s^2}{g} \left(\frac{B}{2u} \right)^{1/2} (f_{\text{cr}} + f_{\lambda})$$

Als andere wichtige Eingangsgrößen kommen hier die Schiffsbreite B , der Abstand u zwischen Schiffsachse und Uferlinie sowie ein Wellenlängenbeiwert f_{λ} , mit dem die Überlagerung von Heckquerwellen und Bugquerwelle erfasst wird, zur Geltung.

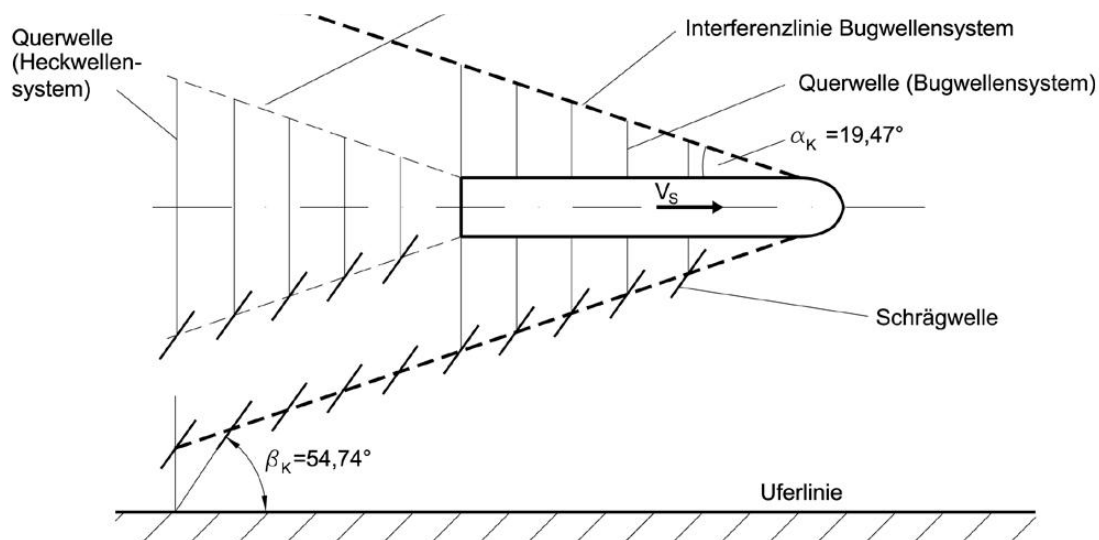


Bild 6: Sekundärwellensystem für Froudesche Tiefenzahl $Fr_h \leq 0,8$

2 Anpassung des GBB an beliebige Profile

2.1 Ersatztrapezprofil

Um die Berechnungsverfahren aus dem GBB auf freie Fließgewässer anwenden zu können, müssen natürliche Querprofile (QP) durch geometrisch vereinfachte Ersatztrapezprofile (ETP) ersetzt werden. Da das ETP die Flächen des natürlichen Querprofils bei verschiedenen Zuständen repräsentieren soll, müssen bei jedem einzelnen Querprofil ggf.

- verschiedene Untersuchungszustände wie z. B. Ausgangszustand und Geometrie gemäß Planung und
- unterschiedliche Wasserstände wie z. B. Niedrig-, Mittel- und Hochwasser, Wasserstände im Sommer und Winter oder oberer und unterer Betriebswasserstand BW_o und BW_u berücksichtigt werden, d. h. ein jeweils eigenes ETP muss erstellt werden.

Das Ersatztrapezprofil muss folgende Kriterien erfüllt:

- Flächengleichheit von ETP und Original-QP (beschränkt auf Einflussbreite); dabei muss vor allem die Flächengleichheit des Rückstromfeldes eingehalten werden
- ca. Sohlhöhengleichheit im Bereich der Fahrrinne
- Flächen, die hinter lokalen Untiefen liegen, werden als hydraulisch unwirksam betrachtet (Annahme: Sie werden von der Strömung nicht erreicht)

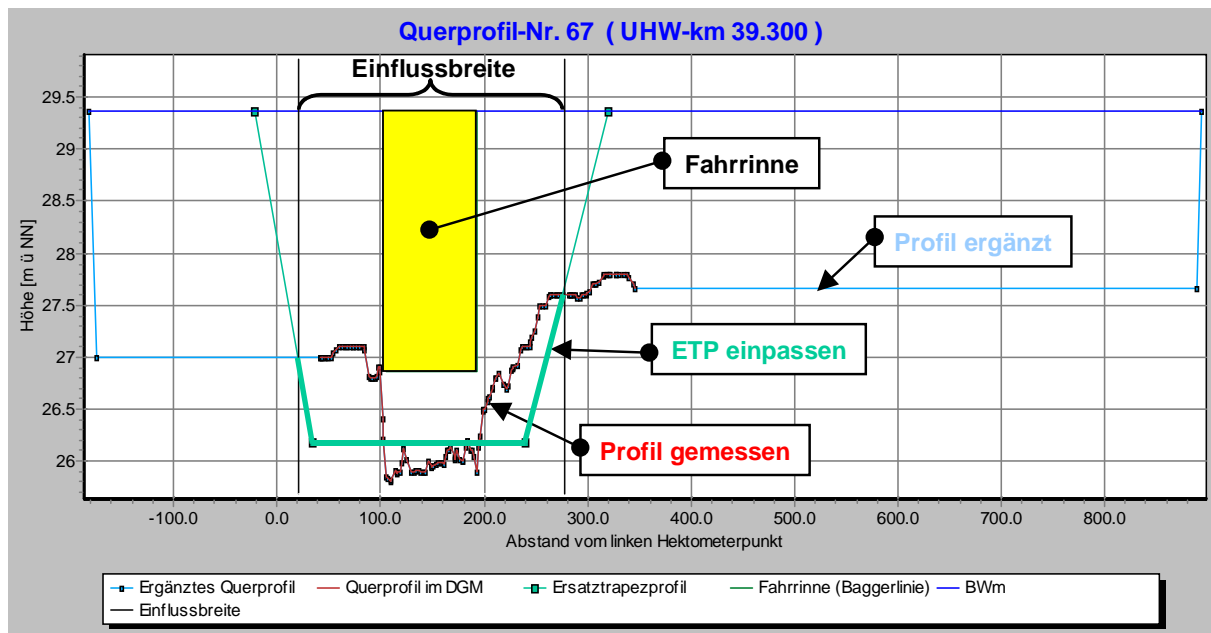


Bild 7: Prinzipskizze zum Ersatztrapezprofil am Bsp. von UHW-km 39,300; außerdem Erläuterung zum Ergänzen der Querprofile mit Uferpunkten außerhalb des DGM

Bild 7 zeigt als Beispiel die Festlegung eines Ersatztrapezprofils an der Unteren Havel-Wasserstraße, wofür eine spezielle Software entwickelt wurde, die die o. g. genannten Anforderungen erfüllt. Die Anwendung dieser Software ist in (BAW, 2008) näher erläutert.

2.2 Abklingverhalten

Für Situationen, die nicht wie überwiegend üblich kanalähnlich sind, muss die Veränderung der berechneten Schiffswellenhöhen zwischen Schiff und Ufer berücksichtigt werden. Es liegen die Breitenfälle B (Flachwasser) und C (Übergangssituation) vor (s. Bild 3). Je weiter weg das Schiff vom Ufer ist, umso mehr klingen die Größen ab. Dieses Abklingverhalten wird im GBB 2010 (BAW, 2011) in Kap. 5.5.1.1 erklärt.

An dieser Stelle soll ein Diagramm für ein GMS den Effekt verdeutlichen (Bild 8). Das Diagramm wurde für eines GMS mit $L_{\text{eff}} \approx 110$ m und $B = 11,50$ m erstellt, sodass als Kurvenscharparameter $L_{\text{eff}}/B \approx 10$ gilt. Das Verhältnis $u_{r, \text{rts}}/b_r$ gibt den Abstand des Schiffes zum rechten Ufer an ($u_{r, \text{rts}}$ - rechnerischer Abstand zum rechten Ufer, b_r - rechnerische Breite des

Gewässers). Bei $u_{r,rtS}/b_r \approx 0$ findet eine Fahrt nah am rechten Ufer, bei $u_{r,rtS}/b_r \approx 1$ dagegen eine Fahrt fern vom rechten Ufer statt. Fährt das Schiff nah am rechten Ufer, so ist nur bei großen Gewässerbreiten ein schnelles Abklingen zu erkennen (z. B. bei $b_r = 5 L$). Je enger der Querschnitt wird, umso später macht sich mit dem Entfernen vom rechten Ufer das Abklingen bemerkbar. Im engen Regel-Trapez-Profil ($b_r = 1/2 L_{eff}$) ist nur ein geringes Abklingen von 5% zu verzeichnen. Mit zunehmender Gewässerbreite gegenüber der Schiffslänge nimmt das Abklingen einer durch ufernahe Fahrt am gegenüberliegenden Ufer erzeugten Welle zu:

$b_r = 1/2 L_{eff}$ entspr. Regel-Trapez-Profil → Abklingen auf 95 %

$b_r = L_{eff}$ entspr. Gewässerbreite = Schiffslänge → Abklingen auf 60 %

$b_r = 2 L_{eff}$ entspr. Gewässerbreite = doppelte Schiffslänge → Abklingen auf 20 %

$b_r = 5 L_{eff}$ entspr. Gewässerbreite = fünffache Schiffslänge → Abklingen auf 3 %

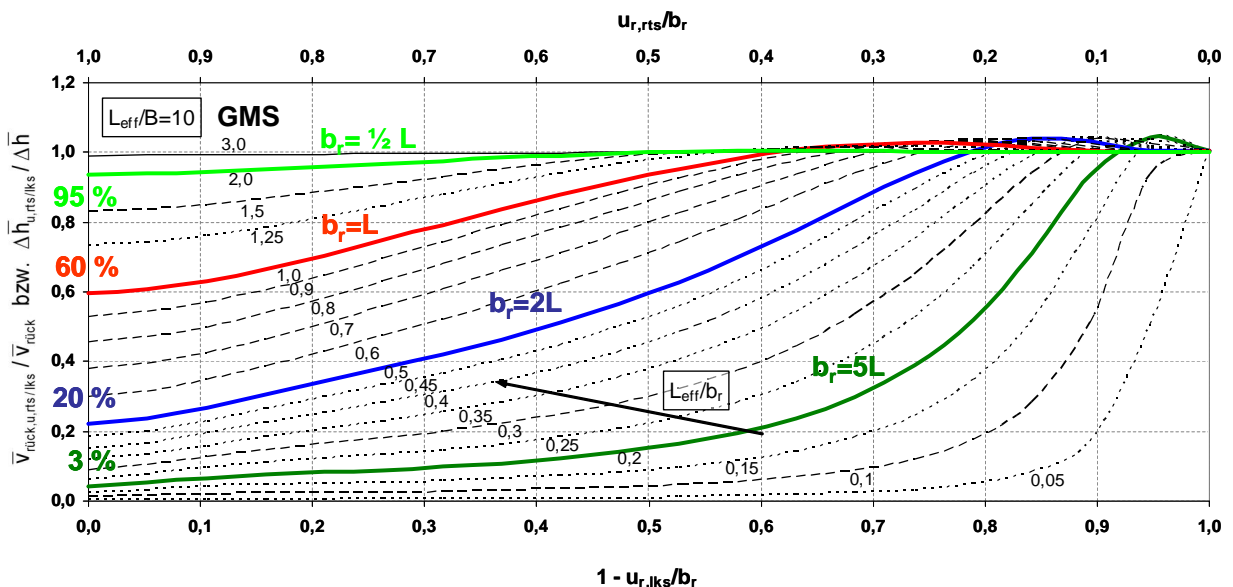


Bild 8: Diagramm zum Abklingverhalten (Erläuterungen im Text)

3 Literatur

- (BAW, 2004) Bundesanstalt für Wasserbau
Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB 2004)
BAW-Mitteilung Nr. 87
Eigenverlag, Karlsruhe 2004
- (BAW, 2011) Bundesanstalt für Wasserbau
Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB 2010)
BAW-Merkblatt
Eigenverlag, Karlsruhe März 2011
- (BAW, 2008) Bundesanstalt für Wasserbau
Ausbau der Unteren Havel-Wasserstraße (UHW-km 32,610 – 54,250) – Schiffs- und winderzeugte Wellenhöhen –
Gutachten BAW-Nr. 3.04.06303.01 (Text- und Anlagenband)
Eigenverlag, Karlsruhe September 2008