

**Anlage 2**

**Richtlinie**

**Berechnungsgrundsätze  
für Hochwasserschutzwände, Flutschutzanlagen und Uferbauwerke  
im Bereich der Tideelbe der  
Freien und Hansestadt Hamburg**

**- November 2007 -**

## **Inhaltsverzeichnis**

### **1. Allgemeines**

- 1.1 Begriffe und Definitionen

### **2. Sollhöhenermittlung für Hochwasserschutzwände und Flutschutzanlagen**

- 2.1 Prinzip der Sollhöhenermittlung
- 2.2 Grundlagen der Sollhöhenermittlung

### **3. Maßgebende Wasserstände**

- 3.1 Hoch- und Niedrigwasser
- 3.2 Ablaufendes Hochwasser - Lastfall Sunk 3 mit beschränkter Versickerung
- 3.3 Ablaufendes Hochwasser - Lastfall Sunk 3 mit ungehinderter Versickerung

### **4. Wasserüberdruck und Raumgewichtsänderungen**

### **5. Wellendruck**

- 5.1 Stehende bzw. gebrochene Welle
- 5.2 Sturzbrecher
- 5.3 Belastung von Teilflächen

### **6. Berechnungsansätze bei wellenbeeinflussenden Maßnahmen**

- 6.1 Unterwasserschwelle
- 6.2 Überlaufabweiser

### **7. Eisdruck, Zug durch Schutthalter, Pollerzug, Treibgutstoß**

- 7.1 Eisdruck
- 7.2 Zug durch Schutthalter
- 7.3 Pollerzug
- 7.4 Treibgutstoß

**8. Verkehrslasten****9. HWS - Tore****10. Lastfälle und Sicherheiten**

- 10.1 Hochwasser - Lastfälle
- 10.2 Niedrigwasser - Lastfälle

**11. Hydraulische Nachweise**

- 11.1 Hydraulischer Grundbruch
- 11.2 Sicherheit gegen Aufbruch und Auftrieb
- 11.3 Erosionssicherheit

**12. Standsicherheitsnachweise****13. Schrifttum****Anlagenverzeichnis**

**Anlage 1:** Bemessungswasserstände (BW) im Hamburger Elbbereich, gültig ab 1990

**Anlage 2:** Nomogramm zur Bestimmung des Wellenüberlaufes an HWS-Wänden

**Anlage 3:** Prinzipdarstellung der Wasserüberdruckflächen und Raumgewichtsänderungen

**Anlage 4:** Unterwasserschwelle

**Anlage 5:** Überlaufabweiser

**Anlage 6:** Empfohlene Werte für die Spundwandberechnung

**Anlage 7:** Lasteinfluss aus Ebene II auf Ebene I (Prinzipdarstellung)

## 1. Allgemeines

Die Richtlinie bezieht sich auf Hochwasserschutzwände, Flutschutzanlagen und Uferbauwerke im Tideeinfluss der Elbe.

Hochwasserschutzwände, Flutschutzanlagen und Uferbauwerke werden durch unterschiedliche Einwirkungen beansprucht. Die Ansätze der technischen Normen, insbesondere der EAU, werden in den vorliegenden Bemessungsansätzen für den Bereich der Freien und Hansestadt Hamburg spezifiziert.

Basis sind umfangreiche Messreihen und gutachterliche Auswertungen der in Hamburg vorliegenden Verhältnisse. Sollten die örtlichen Verhältnisse stark von den vorausgesetzten Randbedingungen abweichen, so sind die notwendigen Untersuchungen durchzuführen und zutreffende Anforderungen zu stellen.

Die Bemessung ist nach dem Teilsicherheitskonzept gem. DIN 1054:2005-01 bzw. EAU 2004 durchzuführen.

### 1.1 Begriffe und Definitionen

AW	Außenwasserstand	[m über NN]
BW	Bemessungswasserstand	[m über NN]
$c_t$	Transmissionskoeffizient	[-]
$\Delta \gamma'$	Veränderung der Bodenwichte infolge Grundwasserströmungsdruck	[KN/m <sup>3</sup> ]
d	Wassertiefe vor der HWS-Wand	[m]
$d_w$	Dicke der dichtenden Schicht	[m]
$F_h$	Wellenersatzlast	[KN/m]
GOK	Geländeoberkante	
HWS	Hochwasserschutz	
$\max H_{ds}$	Maximale signifikante Wellenhöhe an der HWS-Wand	[m]
$H_{sw}$	Reduzierte Wellenhöhe an der HWS-Wand unter Berücksichtigung der Wellendämpfung	[m]
Luv	Wind zugewandte Seite einschließlich eines Übergangsbereiches	
Lee	Wind abgewandte Seite	
Sunk	In Tidegebieten Wasserüberdruck in Richtung Wasserseite zum Zeitpunkt des Tideniedrigwassers	
Thw	Tidehochwasser	
$\varphi$	Stoßfaktor für Belastung durch Sturzbrecher	[-]
$p_1, p_2, p_3$	Wellendruckordinaten	[KN/m <sup>2</sup> ]
$q_t$	Örtliche Wellenüberschlagsrate im Mittel über drei Stunden im Verlauf des Sturmflutscheitels (1,5 Std. vor bis 1,5 Std. nach Thw) für die betrachtete Windrichtung	[l/ms]
$q_T$	Wellenüberschlagsrate im Mittel über drei Stunden im Verlauf des Sturmflutscheitels (1,5 Std. vor bis 1,5 Std. nach Thw) gemittelt über die Abschnittslänge für die betrachtete Windrichtung	[l/ms]
$R_c$	Freibordhöhe bei Hochwasserschutzwänden: Differenz zwischen Wandoberkante und BW bzw. AW	[m]
$T_p$	Peakperiode = Wellenperiode bei maximaler Energiedichte	[s]
$\chi_1, \chi_2, \eta$	Parameter zur Bestimmung der Druckverteilungsfigur von Wellenlasten	[-]
w	Verbauungsgrad	[-]

## 2. Sollhöhenermittlung für Hochwasserschutzwände und Flutschutzanlagen

### 2.1 Prinzip der Sollhöhenermittlung

$$\text{Sollhöhe der Hochwasserschutzanlage} = \text{Bemessungswasserstand (BW)} + \text{Freibord}$$

Das Schutzziel ist definiert mit: "Hochwasserschutz durch gleiche Sicherheit an jeder Stelle einer HWS-Anlage". Die Sollhöhe ist danach differenziert aus Größe und Einfluss örtlich unterschiedlich stark wirkender Faktoren abzuleiten und über den Verlauf der HWS-Anlagen somit nicht mehr zwingend höhen-gleich.

#### Bemessungswasserstand (BW)

(NN + 7,00 m bis + 7,80 m , vgl. Anlage 1a u. 1b)

+

Lee ← Freibord → Luv

Mindestfreibord

Freibord, abgeleitet aus:

- Wellenhöhe
- Wellenüberschlagsrate
- Wellenangriffsrichtung

= Sollhöhe

### 2.2 Grundlagen der Sollhöhenermittlung

#### 2.2.1 Bemessungswasserstand (BW)

Bemessungswasserstände sind die höchsten an einem Ort zu erwartenden Ruhewasserstände der Bemessungssturmflut, bezogen auf den Zeitraum bis zum Jahr 2085. Sie steigen stromaufwärts entlang der Elbe an und berücksichtigen einen säkularen Anstieg des Wasserspiegels von 0,30 m (vgl. Anlage 1a u. 1b).

#### 2.2.2 Wellenklima

Das Wellenklima wurde für die Elbe in Hamburg unter Sturmflutbedingungen und eingetretenem Bemessungswasserstand für ein Windspektrum 220° bis 300° und eine Windgeschwindigkeit von 20 m/s (8 bis 9 Bft.) bis zu den Elbbrücken bzw. 17 m/s ostwärts der Elbbrücken mittels Modellberechnungen simuliert.

Das Ergebnis sind Wellendaten an einer HWS- Wand

- signifikante Wellenhöhe
- Wellenangriffswinkel
- Wellenperiode

Topographische Einflüsse auf den örtlichen Seegang:

Als seegangsbeeinflussend wurden berücksichtigt:

- Vorlandbreite und -höhe
- Speicherstadtbebauung
- ggf. Straßen- u. Eisenbahnbrücken
- St. Pauli Landungsbrücken und Überseebrücken
- Hochwasserschutzanlagen

Nicht berücksichtigt wurden:

- übrige Bebauung
- Fußgängerbrücken und Landeanlagen
- Vorlandbewuchs

Für die bestehenden Hochwasserschutzwände werden dem Eigentümer der Anlage die zur Ermittlung der Sollhöhe notwendigen Daten von der zuständigen Dienststelle bei Bedarf zur Verfügung gestellt. Bei Neuplanungen und wesentlichen Umplanungen muss der Antragsteller, Rücksprache mit der zuständigen Dienststelle halten, da das Wellenklima neu ermittelt werden muss.

### 2.2.3 Ermittlung des Freibords

Die Freibordhöhe bezeichnet den Abstand vom Bemessungswasserstand zur Oberkante der HWS- Anlage. Dabei wird zwischen Luv- und Lee-Lagen unterschieden. Die Luv-Lagen umfassen die dem Windspektrum zugewandten Seiten einschließlich eines Übergangsbereiches.

Die Freibordhöhe in den Luv-Lagen sind in Abhängigkeit von der Wellenhöhe an der HWS- Wand, dem zugehörigen Wellenangriffswinkel und der Wellenüberschlagsrate (für  $v = 20$  m/s entsprechend 8 bis 9 Bft) mit Anlage 2 zu ermitteln.

Für große Wellenperioden  $T_p > 4,1$  s erhöht sich die nach Anlage 2 berechnete Überlaufrate um den Faktor  $T_p / 4,1$  s.

Der Bemessungswert für die Wellenüberschlagsrate beträgt  $q_T = 0,5$  l/m s für die ungünstigste Windrichtung eines HWS-Abschnittes.

Bei der Einteilung der HWS-Wand in einzelne Abschnitte sollte die Differenz zwischen maximaler und minimaler Wellenhöhe  $H_{qs}$  für jede Windrichtung  $\leq 20$  cm sein.

In den Lee-Lagen ist die Sollhöhe der HWS-Anlage gleich dem Bemessungswasserstand zuzüglich eines Mindestfreibords.

## 3. Maßgebende Wasserstände

### 3.1 Hoch- und Niedrigwasser

Zeile	Lastfall	Außenwasserstand	Innenwasserstand
1	Hochwasser	BW <sup>1)</sup>	Allgemein GOK
2	Sunk 1: Normaltide	NN - 1,70 m	NN + 1,00 m
3	Sunk 2: Extremes Niedrigwasser	NN - 3,70 m	NN ± 0,00 m
4	Sunk 3: Ablaufendes Hochwasser	s. Abs. 3.2 bzw. 3.3	s. Abs. 3.2 bzw. 3.3

Tabelle 1: Maßgebende Wasserstände

<sup>1)</sup> Für Bauwerke mit einer langen Lebensdauer wird empfohlen, eine Ausbaureserve mit einzurechnen

- BW: siehe Anlage 1: Bemessungswasserstände (BW) im Hamburger Hafen, gültig ab 1990
- Die Innenwasserstände sind Mindestwerte, die einen ausreichenden Grundwasserabfluss voraussetzen. Sie sind insbesondere bei dichtenden Weichschichten im Rahmen von geotechnischen Gutachten zu überprüfen. Dabei sollten vorrangig Pegelmessungen zu Grunde gelegt werden.
- In allen Sunk- Lastfällen ist der Innenwasserstand mindestens 1,0 m über der Oberkante der Weichschicht anzusetzen.
- Bei Anordnung von Drainagen darf der Innenwasserstand in der bei der Drainagebemessung nachgewiesenen Höhe, jedoch nicht tiefer als NN +\*) 2,00 m, angesetzt werden. Im öffentlichen Hochwasserschutz werden Drainagen grundsätzlich nicht angesetzt.
- Es ist zu prüfen, ob höhere Außenwasserstände insbesondere bei Wänden in Böschungen zu statisch ungünstigeren Bemessungswerten führen.

### 3.2 Ablaufendes Hochwasser - Lastfall Sunk 3 mit beschränkter Versickerung

Die Ansatzwerte des Abschnittes 3.2 gelten für:

- HWS-Wandbereiche, in denen die Wellenüberschlagsrate  $q_T \leq 0,5 \text{ l/(s}\cdot\text{m)}$  beträgt

#### 3.2.1 Freie Fußumströmung ( $x \geq 1,50 \text{ m}$ )

Die Wasserstände der Tabelle 2 gelten für

- Wände in durchlässigen Böden
- Wände, die oberhalb dichtender Schichten enden.

Der Abstand  $x$  zwischen Wandfuß und Oberkante der dichtenden Schicht muss im Mittel mindestens 1,50 m betragen. Bei gestaffeltem Wandfuß ist ein Abflussquerschnitt von mindestens 1,5 m<sup>2</sup>/m Wand einzuhalten.

Zeile	Lastfall	Außenwasserstand	Innenwasserstand
1	Sunk 3 a	NN + 1,50 m	NN + 4,50 m <sup>1)</sup>
2	Sunk 3 b	NN - 1,00 m	NN + 3,00 m <sup>1)</sup>

Tabelle 2: Lastfall Sunk 3 mit freier Fußumströmung und beschränkter Versickerung

<sup>1)</sup> Für Bauwerke mit einer langen Lebensdauer wird empfohlen, eine Ausbaureserve mit einzurechnen

- Innenwasserstand nicht höher als GOK

### 3.2.2 Behinderte Fußumströmung ( $x < 1,50$ m )

Zeile	Lastfall	Außenwasserstand	Innenwasserstand
1	Sunk 3 a	NN + 1,50 m	NN + 4,50 m <sup>1)</sup>
2	Sunk 3 b	NN - 1,00 m	allg. 2,00 m unter GOK max. NN + 4,00 m <sup>1)</sup>

Tabelle 3: Lastfall Sunk 3 mit behinderter Fußumströmung und beschränkter Versickerung

<sup>1)</sup> Für Bauwerke mit einer langen Lebensdauer wird empfohlen, eine Ausbaureserve mit einzurechnen

- Innenwasserstand nicht höher als GOK

### 3.3 Ablaufendes Hochwasser -

#### Lastfall Sunk 3 mit ungehinderter Versickerung

Die Ansatzwerte des Abschnittes 3.3 gelten für:

- Überflutete Uferbauwerke

#### 3.3.1 Freie Fußumströmung ( $x \geq 1,50$ m )

Die Wasserstände der Tabelle 4 gelten für

- Wände in durchlässigen Böden
- Wände, die oberhalb dichtender Schichten enden.

Der Abstand  $x$  zwischen Wandfuß und Oberkante der dichtenden Schicht muss im Mittel mindestens 1,50 m betragen. Bei gestaffeltem Wandfuß ist ein Abflussquerschnitt von mindestens 1,5 m<sup>2</sup>/m Wand einzuhalten.

Zeile	Lastfall	Außenwasserstände	Innenwasserstände
1	Sunk 3 a	NN + 2,50 m	NN + 5,50 m <sup>1)</sup>
2	Sunk 3 b	NN - 1,00 m	NN + 4,00 m <sup>1)</sup>

Tabelle 4: Lastfall Sunk 3 mit freier Fußumströmung und ungehinderter Versickerung

<sup>1)</sup> Für Bauwerke mit einer langen Lebensdauer wird empfohlen, eine Ausbaureserve mit einzurechnen

- Innenwasserstand nicht höher als GOK

#### 3.3.2 Behinderte Fußumströmung ( $x < 1,50$ m )

Zeile	Lastfall	Außenwasserstände	Innenwasserstände
1	Sunk 3 a	NN + 2,50 m	NN + 5,50 m <sup>1)</sup>
2	Sunk 3 b	NN - 1,00 m	allg. 1,00 m unter GOK max. NN + 5,00 m <sup>1)</sup>

Tabelle 5: Lastfall Sunk 3 mit behinderter Fußumströmung und ungehinderter Versickerung

<sup>1)</sup> Für Bauwerke mit einer langen Lebensdauer wird empfohlen, eine Ausbaureserve mit einzurechnen

- Innenwasserstand nicht höher als GOK



## 4. Wasserüberdruck und Raumgewichtsänderungen

Die Form der Wasserüberdruckflächen und die anzusetzenden Wichteänderungen sind in den hydraulischen Falldefinitionen der Anlage 3 angegeben. Der Abbau des Wasserüberdruckes wird durch die Änderung der Wichte mit der

Vergrößerung:  $\Delta\gamma'_a$  auf der Aktivseite (Erddruckseite)

und mit der Verringerung:  $\Delta\gamma'_p$  auf der Passivseite (Erdwiderstandsseite)

mit dem Näherungsansatz nach BENT HANSEN berücksichtigt, vergl. dazu EAU 2004 (E 114).

Im homogenen Boden ist die Wichteänderung im gesamten Gleitkörper anzusetzen.

Bei mehr als einer dichtenden Schicht bzw. bei unterschiedlichen Schichtdicken auf der aktiven und passiven Seite ist die Wirkung der einzelnen Schichten gemäß EAU 2004 (E 114 u. E 165) zu überlagern.

## 5. Wellendruck

Die Wellendruckbelastung ist für 2 Wellentypen zu ermitteln:

- stehende Welle bzw. bereits gebrochene Welle
- ggf. Sturzbrecher

Sofern keine genauere Ermittlung der Wellendruckbelastung geführt wird, sind folgende Ersatzlasten anzusetzen:

### 5.1 Stehende bzw. gebrochene Welle

**Lee-Lagen:** Halber Tabellenwert der Wellenlast Zeile 1, Tabelle 6

**Luv-Lagen:**

Zeile	Wellenhöhe an der Wand max $H_{ds}$ [m]	Wellenersatzlast [KN/m]	Angriffshöhe unter AW [m]
1	$\leq 0,40$	15,0	0,50
2	$0,40 < H_{ds} \leq 0,60$	25,0	0,50
3	$0,60 < H_{ds} \leq 0,80$	35,0	0,50
4	$H_{ds} > 0,80$	50,0	0,50

**Tabelle 6: Wellenersatzlast für stehende bzw. bereits gebrochene Welle**

### 5.2 Sturzbrecher

Zeile	Wellenhöhe an der Wand max. $H_{ds}$ [m]	Wellenersatzlast [KN/m]	Angriffshöhe unter AW [m]
1	$\leq 0,40$	$30,0 \cdot \varphi$	0,50
2	$0,40 < H_{ds} \leq 0,60$	$50,0 \cdot \varphi$	0,50
3	$0,60 < H_{ds} \leq 0,80$	$70,0 \cdot \varphi$	0,50
4	$H_{ds} > 0,80$	$100,0 \cdot \varphi$	0,50

**Tabelle 7: Wellenersatzlast für Sturzbrecher**

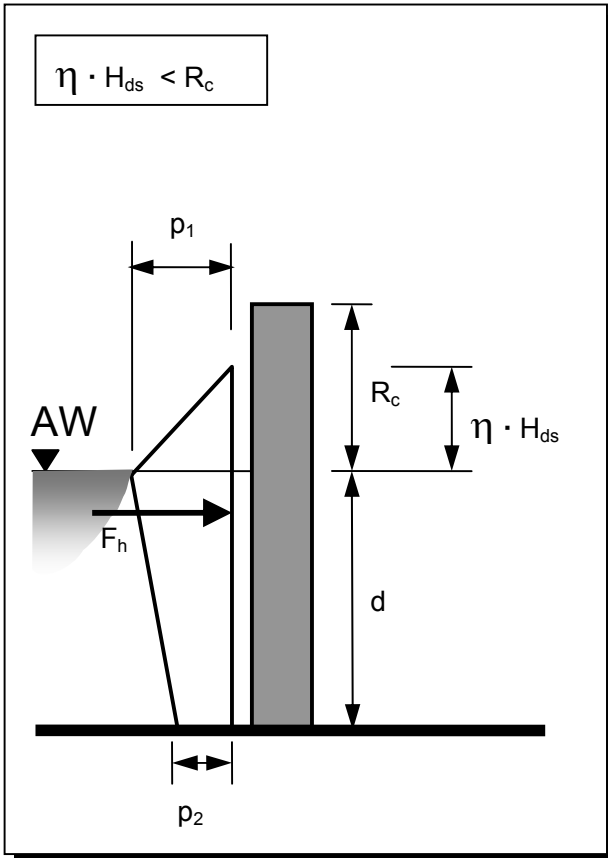
**Stoßfaktor  $\varphi$  für Sturzbrecherlasten:**

- Wände mit nachgiebiger Stützung im Erdkörperbereich (z.B. frei auskragende Wände bzw. tiefer als 1,50 m unter GOK abgestützte Wände):
  - $\varphi = 1,2$  für alle Nachweise oberhalb 1,50 m unter GOK
  - $\varphi = 0,8$  für alle Nachweise tiefer als 1,50 m unter GOK
- Wände mit starrer Stützung (z.B. Betonwände auf Kaianlagen bzw. höher als 1,50 m unter GOK abgestützte Wände):
  - $\varphi = 1,4$  für alle Nachweise oberhalb 1,50 m unter GOK
  - $\varphi = 1,0$  für alle Nachweise tiefer als 1,50 m unter GOK

**5.3 Belastung von Teilflächen**

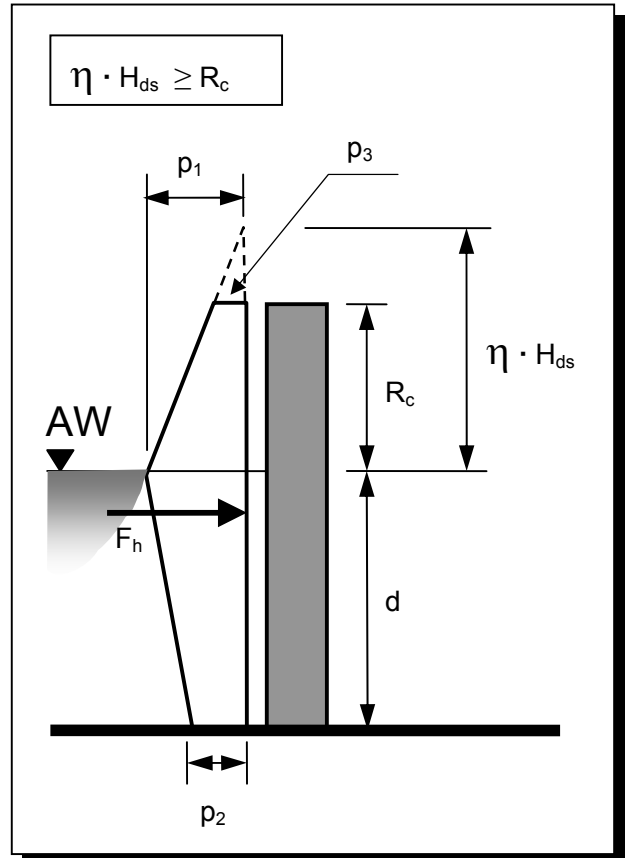
Zur Ermittlung des Wellendruckes auf Teilflächen nach Abb.1 werden nachfolgend Formeln zur Ermittlung der Wellendruckordinaten  $p_1, p_2, p_3$  angegeben:

(a) ohne Wellenüberlauf



$$p_1 = \frac{F_h}{\frac{1 + \chi_1}{2} d + \frac{\eta}{2} H_{ds}}$$

(b) mit Wellenüberlauf



$$p_1 = \frac{F_h}{\frac{1 + \chi_1}{2} d + \frac{1 + \chi_2}{2} R_c}$$

Abb. 1: Allgemeiner Druckansatz für Wellenbelastung senkrechter Wände

Die Druckfigur vor der HWS- Wand ist zur Ermittlung der Wellendruckordinaten auf eine wirksame Tiefe bis max.  $d = 6,00$  m zu begrenzen.

$p_1$ : maximale Druckordinate in Höhe Außenwasserstand in KN/m<sup>2</sup>  
 $p_2$ : maximale Druckordinate in der Wassertiefe  $d$  in KN/m<sup>2</sup>  $p_2 = \chi_1 \cdot p_1$   
 $p_3$ : maximale Druckordinate in Wandoberkante in KN/m<sup>2</sup>  $p_3 = \chi_2 \cdot p_1$

$F_h$  Wellenersatzlast gemäß Tabelle 6 bzw. 7 (mit  $\varphi = 1,40$ ) in KN/m  
 $R_c$ : Freibordhöhe

Die Parameter  $\chi_1$ ,  $\chi_2$  und  $\eta$  sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Zeile		Sturzbrecher	Stehende bzw. bereits gebrochene Welle
1	Druckparameter $\chi_1$	0,3	0,7
2	Druckparameter $\chi_2$	$1 - R_c / (\eta \cdot H_{ds})$	$1 - R_c / (\eta \cdot H_{ds})$
3	Wasserspiegelparameter $\eta$	0,8	0,9

Tab. 8: Parameter zur Beschreibung der Druckverteilungsfigur

## 6. Berechnungsansätze bei wellenbeeinflussenden Maßnahmen

Durch wellenbeeinflussende und belastungsmindernde Maßnahmen ändern sich der Wellendruck bzw. die Wellenüberlauftrate wie folgt:

### 6.1 Unterwasserschwelle

Unterwasserschwelle sind geschüttete, geschichtete, durchlässige oder auch undurchlässige segmentierte Konstruktionen.

#### Bemessung HWS-Anlage:

Die Wellenüberlauftrate infolge der reduzierten Wellenhöhe hinter der Schwelle wird für lange Wellen ( $T_p > 4,1$  s) um 40 % abgemindert. Bei kurzen Wellen ( $T_p \leq 2,5$  s) tritt keine Reduktion auf. Zwischenwerte können linear interpoliert werden.

Lediglich die Belastung aus Sturzbrechern reduziert sich um 10 %.

#### Bemessung Unterwasserschwelle:

Die Bemessung der Unterwasserschwelle erfolgt konstruktiv; die erforderlichen Abmessungen sind in Anlage 4 dargestellt.

### 6.2 Überlaufabweiser

Der Überlaufabweiser ist ein 40 cm hohes und im 45° Winkel geneigtes Stahlblech an der HWS-Wandoberkante. Hinsichtlich Anwendungsbereich sowie Auswirkung auf Wellenüberlauftrate und Belastung wird auf Anlage 5 verwiesen.

## **7. Eisdruck, Zug durch Schutenthaler, Pollerzug, Treibgutstoß**

### **7.1 Eisdruck**

Der Eisdruck (Lastfall 3) ist statisch in ungünstigster Höhe zwischen NN - 2,00 m und NN + 5,00 m mit einer Liniensatzlast von 30 kN/m anzusetzen.

### **7.2 Zug durch Schutenthaler**

$F = 100 \text{ kN}$  (Lastfall 1)

### **7.3 Pollerzug**

Pollerzug ist anzusetzen, wenn entsprechende Einrichtungen vorgesehen sind.

Die Größe des anzusetzenden Pollerzuges kann nach EAU 2004, Tab. E 12-1, erfolgen (Lastfall 2).

### **7.4 Treibgutstoß**

Als Ersatzlast für anprallendes Treibgut sind anzusetzen (Luvseiten):

30 KN	auf Spundwände; die Lastverteilungsbreite ist ohne Nachweis mit 3 m anzusetzen
30 KN	auf Spundwände mit Betonaufsatz; die Lastverteilung ist gemäß DIN 1045-1 bzw. Heft 525 (DAfStb.) anzusetzen
100 KN	auf Betonwände; die Lastverteilung ist gemäß DIN 1045-1 bzw. Heft 525 (DAfStb.) anzusetzen

Bei entsprechenden Nachweisen kann eine günstigere Lastverteilung angesetzt werden. Die Lastangriffsfläche ist jeweils mit 0,5 m x 0,5 m mit Schwerlinie in Höhe AW anzunehmen. Ein Stoßbeiwert ist nicht gesondert zu berücksichtigen. Im Bereich von Lee-Lagen ist Treibgutstoß nicht anzusetzen.

## **8. Verkehrslasten**

Die Verkehrsbelastung der landseitigen Flächen ist je nach Nutzung festzulegen, jedoch nicht kleiner als 10 KN/m<sup>2</sup>. Je nach Randbedingungen ist ggf. eine Ersatzlast aus landseitigem Fahrzeuganprall zu berücksichtigen.

## **9. HWS - Tore**

Für HWS-Tore sind - ergänzend zu den Abschnitten 5, 7 und 8 - die folgenden Berechnungsansätze zu Grunde zu legen:

- Als Stoßfaktor bei Sturzbrecherlasten ist  $\varphi = 1,4$  für Tore und Anschläge anzusetzen.
- Für den statischen Nachweis des Tores und der seitlichen Pfeiler ist als Treibgutstoß eine Ersatzlast von 30 kN auf einer Fläche von 0,5 m x 0,5 m an ungünstigster Stelle wirkend anzusetzen.
- Für den Nachweis des Drepfels sind im Durchfahrtsbereich Radlasten aus Verkehr zu berücksichtigen.
- Bei großen Torbreiten sollte eine genauere Ermittlung der Wellendruckbelastung erfolgen.

## 10. Lastfälle und Sicherheiten

### 10.1 Hochwasserlastfälle:

Zeile	Wände auf der LUV- Seite	Wände auf der LEE- Seite	Lastfall gem. EAU
1	AW + halber Wellendruck gemäß Tab. 6, Zeile 1	AW + halber Wellendruck gemäß Tab. 6, Zeile 1	2
2	AW + Wellendruck (stehende bzw. gebrochene Welle)	./.	3
3	AW + Wellendruck (stehende bzw. gebrochene Welle) + Treibgutstoß	./.	Extremfall
4	AW + Wellendruck (Sturzbrecher)	./.	Extremfall

Tabelle 9: Hochwasserlastfälle

### 10.2 Niedrigwasserlastfälle

Zeile	HWS- Wände und Uferbauwerke auf der LUV- und LEE- Seite	Lastfall gemäß EAU
1	Sunk 1: Normaltide	1
2	Sunk 2: Extremes Niedrigwasser	3
3	Sunk 3: Ablaufendes Hochwasser	3

Tabelle 10: Niedrigwasserlastfälle

## 11. Hydraulische Nachweise

### 11.1 Hydraulischer Grundbruch

Nachweise sind gemäß EAU 2004 (E115) zu führen. Die Angaben des Baugrund- und Gründungsgutachtens sind zu berücksichtigen. Im Allgemeinen ist bei Einhaltung des in E 165, Kap. 4.9.4, geforderten Sickerweges eine ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch eingehalten. Die EAU 2004 bezieht sich hierbei auf die Situation bei Hochwasser. Ergänzend ist der Sickerweg auch in den Sunk-Lastfällen nachzuweisen.

### 11.2 Sicherheit gegen Aufbruch und Auftrieb

Maßgebend ist DIN 1054.

### 11.3 Erosionssicherheit

Maßgebend sind EAU 2004 (E116) und (E165). Der Ansatz einer dichtenden Schicht gemäß EAU 2004 (E165), Punkt 4.9.4 ist nur möglich, wenn anhand von geeigneten Untergrundaufschlüssen (siehe Baugrund und -Gründungsgutachten) der erforderliche Nachweis einer durchgehend dichtenden Schicht von mindestens 0,5 m Stärke erbracht wird.

Sickerwege dürfen nicht angerechnet werden, wenn Hohlräume entstehen können.

Ansonsten ist der horizontale Sickerweg mit höchstens 50 % seiner Länge zu berücksichtigen.

## 12. Standsicherheitsnachweise

Zum Nachweis der Standsicherheit eines Baukörpers (HWS- Wand) gehört auch der Nachweis von Bauwerken, die zur Stützung benötigt werden. Die Anlagen 6 und 7 sind zu beachten.

In Hinblick auf einzuschränkende Wandverformungen werden für die Sicherheitsnachweise zwei Fälle unterschieden:

Fall 1 - Bemessung mit den Teilsicherheitsbeiwerten gem. DIN 1054:2005-01:

anzuwenden für Hochwasserschutzanlagen, bei denen die Wandverformung aus Gründen der Gebrauchstauglichkeit, z.B. durch Nachbarschaft zu Bebauungen - zu begrenzen ist

Fall 2 - Bemessung mit reduzierten Teilsicherheitsbeiwerten gem. EAU 2004:

anzuwenden für Hochwasserschutzanlagen, bei denen keine Einschränkung der Wandverformung erforderlich ist

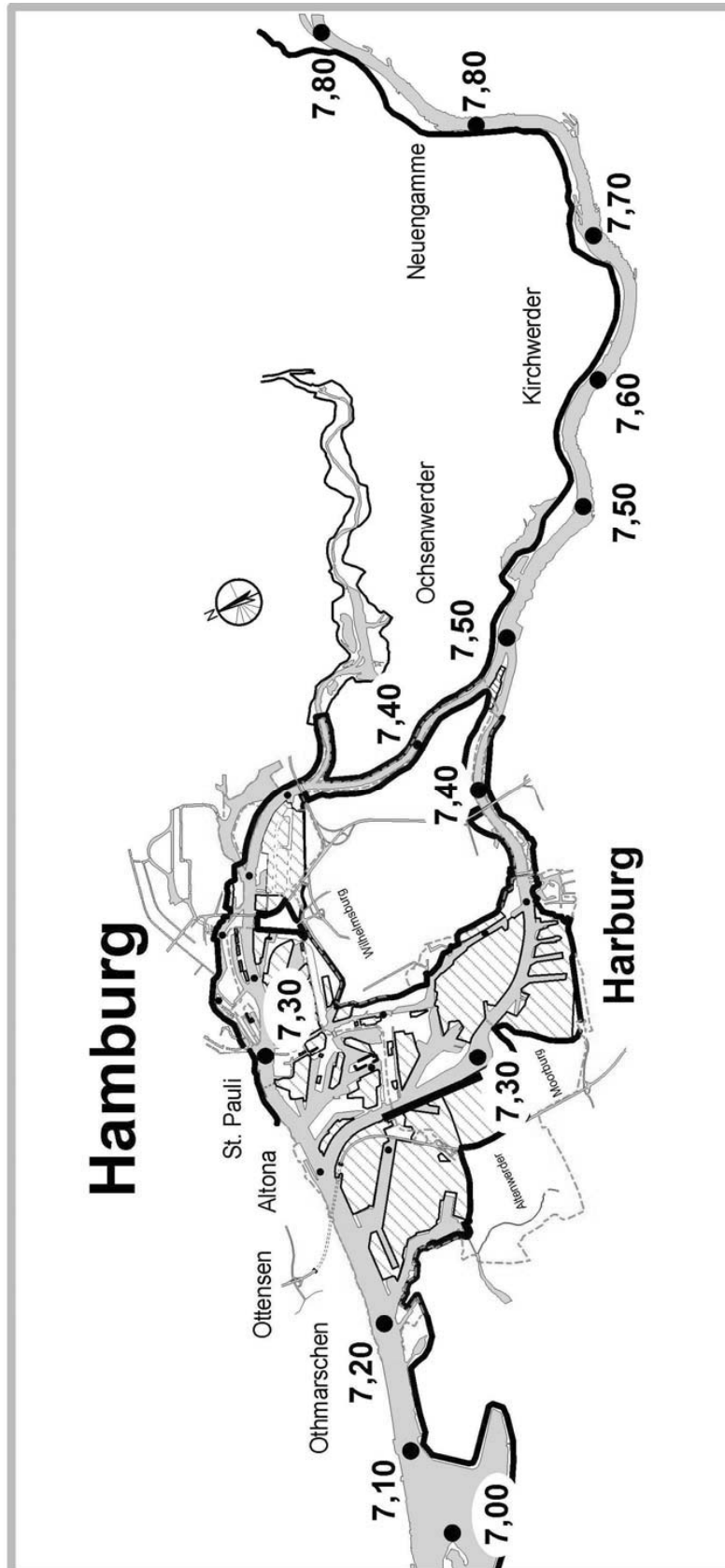
## 13. Schrifttum

- Kortenhaus, A. (2000): Modellversuche und Datenanalysen für die Hochwasserschutzwände des privaten Hochwasserschutzes im Hamburger Hafen. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Teilbericht Nr.1
- Kortenhaus, A.; Petersen T.: (2000): Brechverhalten winderzeugter Wellen für die Hochwasserschutzwände des privaten Hochwasserschutzes im Hamburger Hafen. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Teilbericht Nr.2
- Kortenhaus, A.; Otto, C.: (2000): Überarbeitung des Bemessungskonzeptes nach LWI-Bericht 799 für die Hochwasserschutzwände des privaten Hochwasserschutzes im Hamburger Hafen. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Teilbericht Nr.3
- Kortenhaus, A.; Haupt, R.: (2002): Überarbeitung des Bemessungskonzeptes für die Hochwasserschutzwände des privaten Hochwasserschutzes im Hamburger Hafen. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Teilbericht Nr.4
- Kortenhaus, A.; Heering, C.; Haupt, R.: (2000): Unterwasserschwellen für die Hochwasserschutzwände des privaten Hochwasserschutzes im Hamburger Hafen. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Teilbericht Nr.5

- Kortenhaus, A.; Haupt, R.: (2000): Einfluss von Vorlanderrhöhungen auf die Hochwasserschutzwände des privaten Hochwasserschutzes im Hamburger Hafen. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Teilbericht Nr.6
- Kortenhaus, A.; Haupt, R.: (2002): Einfluss von Warftenlösungen auf den Wellenaufbau und –auslauf bei Poldern des privaten Hochwasserschutzes im Hamburger Hafen. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Teilbericht Nr.7
- Oumeraci, H.; Kortenhaus, A.; Haupt, R.: (2004): Überarbeitung des Bemessungskonzeptes für die Hochwasserschutzwände des privaten Hochwasserschutzes im Hamburger Hafen. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, Abschlussbericht, Bericht Nr. 860
- Ingenieurbüro Grassl GmbH (1996): Privater Hochwasserschutz, Berechnung von Hochwasserschutzwänden in exponierter Lage unter dynamischer Wellendruckschlagbelastung
- IGB Ingenieurgesellschaft mbH: (1996): Aufstellung maßgebender Binnenwasserstände für die zukünftige Bemessung von HWS Bauwerken, Privater Hochwasserschutz Phase 2, Untersuchungen der instationären Strömung im 2-D Modell
- EAU (2004): Empfehlungen des Arbeitsausschusses Uferbefestigungen Häfen und Wasserstraßen
- Richtlinie für die Sollhöhenberechnung und –bestimmung im öffentlichen Hochwasserschutz (1995); FHH Baubehörde Amt für Wasserwirtschaft, Wirtschaftsbehörde Amt Strom- und Hafenbau

### Anlage 1a

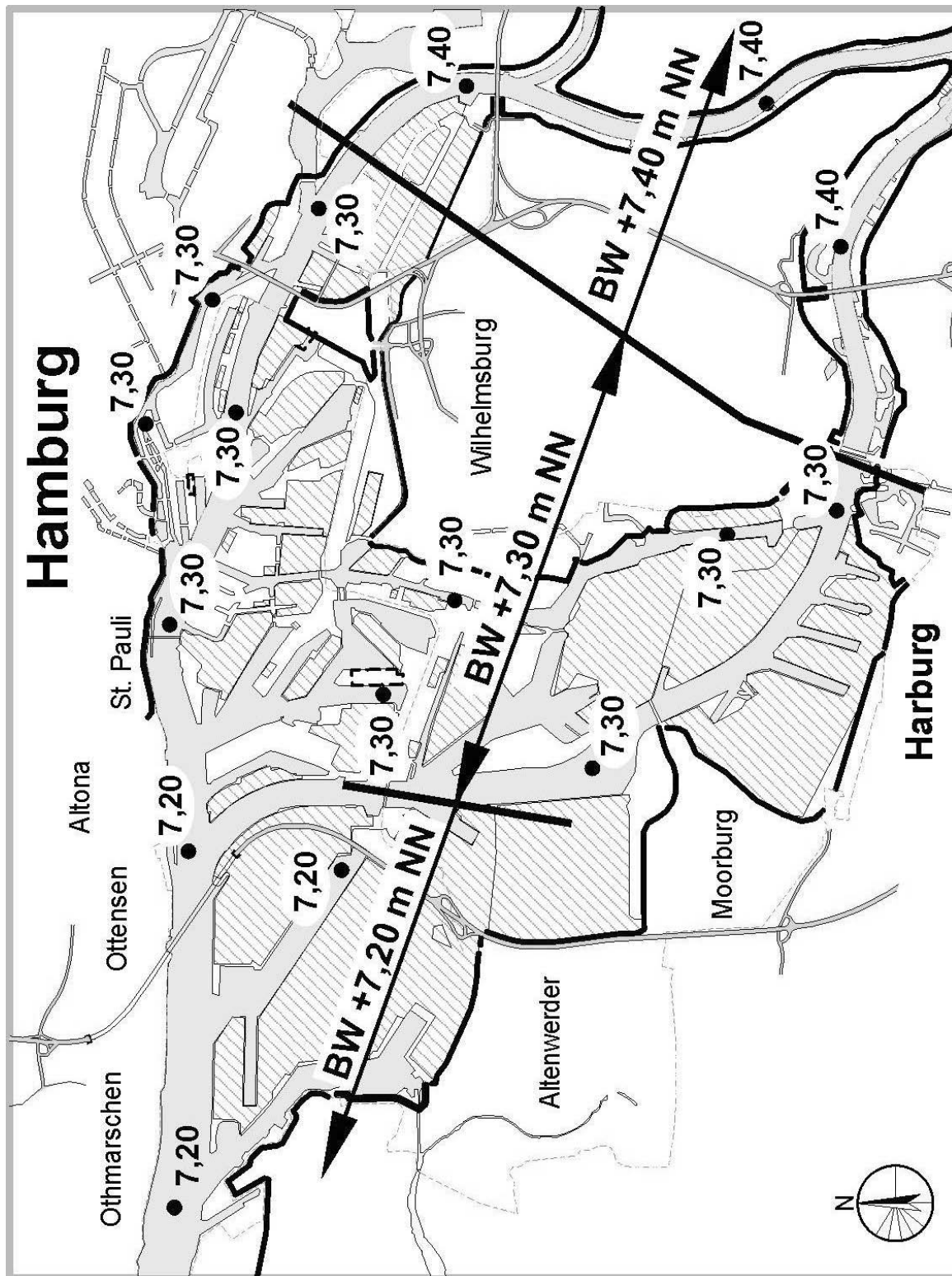
#### Bemessungswasserstände im Hamburger Elbbereich (Gesamtbereich)





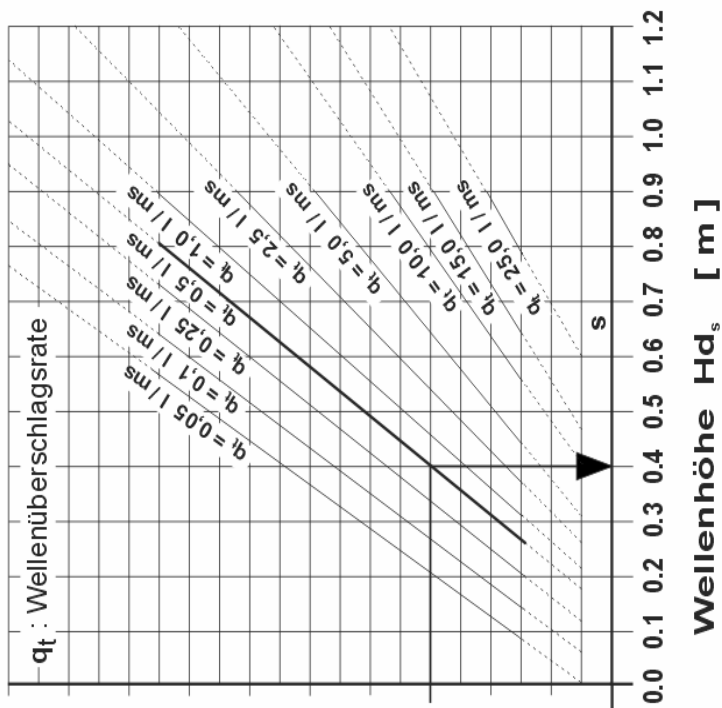
# Anlage 1b

Bemessungswasserstände im Hamburger Elbbereich  
(Zentrales Hafengebiet)



## Anlage 2

### Nomogramm zur Bestimmung des Wellenüberschlags an HWS - Wänden



Nomogramm zur Bestimmung der Freibordhöhe  $R_c$  [m] oder der Wellenüberschlagsrate  $q_t$  [l / ms] in Abhängigkeit von der Wellenhöhe  $Hd_s$  [m] und dem Wellenangriffswinkel  $\alpha$ .

$q_t$  = örtliche Wellenüberschlagsrate im Mittel über drei Stunden

**Beispiel: vorgeg.:  $Hd_s = 0,4$  m;  $\alpha = 5^\circ$  ;  $q_t = 0,5$  l/ms** → ergibt auf der linken Seite eine Freibordhöhe  $R_c = 0,75$  m

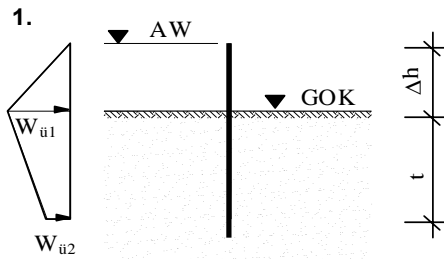
**Beispiel: vorgeg.:  $Hd_s = 0,4$  m;  $\alpha = 5^\circ$  ;  $R_c = 0,75$  m** → ergibt auf der rechten Seite eine Wellenüberschlagsrate  $q_t = 0,5$  l/ms



### Anlage 3a

#### Prinzipdarstellungen der Wasserüberdruckflächen und Raumgewichtsänderungen

##### 1. Hochwasser - Lastfälle

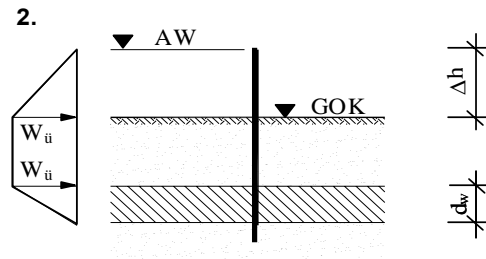


$$W_{\ddot{u}1} = \Delta h \cdot \gamma_w$$

$$W_{\ddot{u}2} = 0,3 \cdot \Delta h \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_a = + \frac{0,35 \cdot \Delta h}{t} \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_p = - \frac{0,35 \cdot \Delta h}{t} \cdot \gamma_w$$

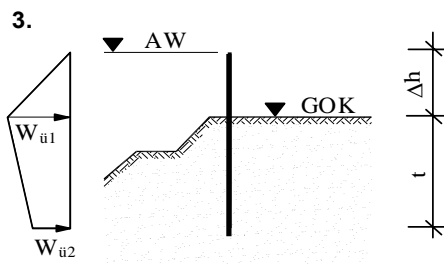


$$W_{\ddot{u}} = \Delta h \cdot \gamma_w$$

Wichteänderung in der dichtenden

$$\Delta\gamma'_a = + \frac{0,5 \cdot \Delta h}{d_w} \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_p = - \frac{0,5 \cdot \Delta h}{d_w} \cdot \gamma_w$$

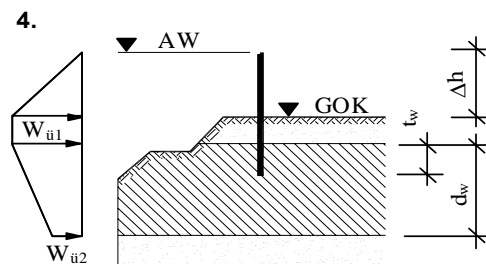


$$W_{\ddot{u}1} = \Delta h \cdot \gamma_w$$

$$W_{\ddot{u}2} = 0,6 \cdot \Delta h \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_a = + \frac{0,2 \cdot \Delta h}{t} \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_p = - \frac{0,5 \cdot \Delta h}{t} \cdot \gamma_w$$



$$W_{\ddot{u}1} = \Delta h \cdot \gamma_w$$

$$W_{\ddot{u}2} = 0,6 \cdot \Delta h \cdot \gamma_w$$

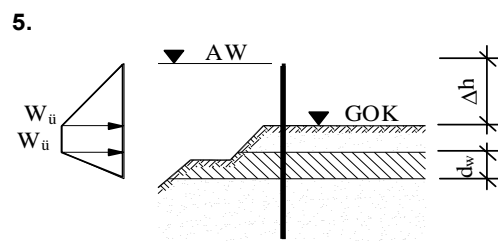
Wichteänderung in der dichtenden Schicht:

$$\Delta\gamma'_a = + \frac{0,2 \cdot \Delta h}{t_w} \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_p = - \frac{0,5 \cdot \Delta h}{t_w} \cdot \gamma_w$$

gilt für  $t_w < 0,5 d_w$  ;

für  $t_w > 0,5 d_w$  sind Wasserüberdruck und Wichteänderung zwischen den Werten der Bilder 4. und 5. linear zu interpolieren.



$$W_{\ddot{u}} = \Delta h \cdot \gamma_w$$

Wichteänderung in der dichtenden Schicht:

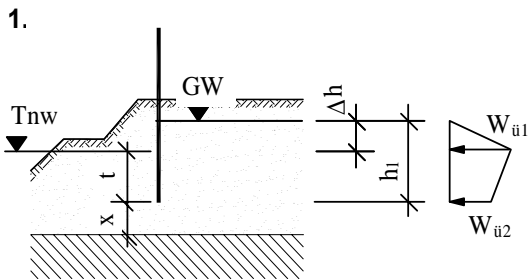
$$\Delta\gamma'_a = 0$$

$$\Delta\gamma'_p = - \frac{0,8 \cdot \Delta h}{d_w} \cdot \gamma_w$$

# Anlage 3b

## 2. Niedrigwasser - Lastfälle

Der Wasserüberdruck ist bis UK Füllbohle anzusetzen; bei Geländebruchnachweisen bis zum Gleitkreis.



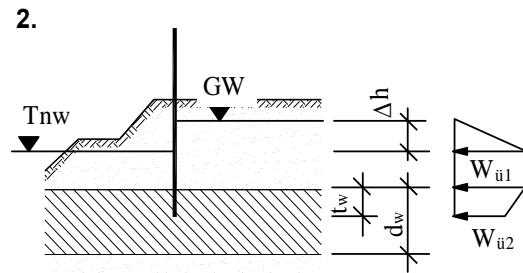
$$W_{ü1} = \Delta h \cdot \gamma_w$$

$$W_{ü2} = 0,6 \cdot \Delta h \cdot \gamma_w$$

Wichteänderung in der Sandschicht:

$$\Delta\gamma'_a = + \frac{0,7 \cdot \Delta h}{h_1 + \sqrt{h_1 \cdot t}} \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_p = - \frac{0,7 \cdot \Delta h}{t + \sqrt{h_1 \cdot t}} \cdot \gamma_w$$



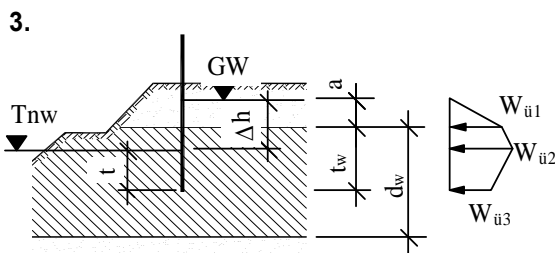
$$W_{ü1} = \Delta h \cdot \gamma_w$$

$$W_{ü2} = 0,6 \cdot \Delta h \cdot \gamma_w$$

Wichteänderung in der dichtenden Schicht:

$$\Delta\gamma'_a = + \frac{0,35 \cdot \Delta h}{t_w} \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_p = - \frac{0,35 \cdot \Delta h}{t_w} \cdot \gamma_w$$



$$W_{ü1} = a \cdot \gamma_w$$

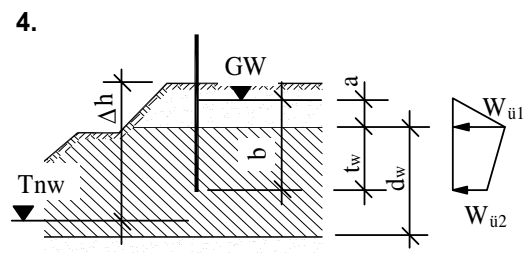
$$W_{ü2} = \left(0,6 + 0,4 \frac{t}{t_w}\right) \cdot \Delta h \cdot \gamma_w$$

$$W_{ü3} = 0,6 \cdot \Delta h \cdot \gamma_w$$

Wichteänderung in der dichtenden Schicht:

$$\Delta\gamma'_a = + \frac{0,7 \cdot \Delta h}{t_w + \sqrt{t_w \cdot t}} \cdot \gamma_w$$

$$\Delta\gamma'_p = - \frac{0,7 \cdot \Delta h}{t + \sqrt{t_w \cdot t}} \cdot \gamma_w$$



$$W_{ü1} = a \cdot \gamma_w$$

$$W_{ü2} = b \cdot \gamma_w - (\Delta h - \Delta h_2) \cdot \frac{t_w}{d_w} \cdot \gamma_w$$

$\Delta h_2 = 1,00 \text{ m}$  unter Kaimauer  
bzw.  $\Delta h_2 = 1,50 \text{ m}$  in Böschungen

Wichteänderung in der dichtenden Schicht:

$$\Delta\gamma'_a = + \frac{\Delta h - \Delta h_2}{d_w} \cdot \gamma_w$$

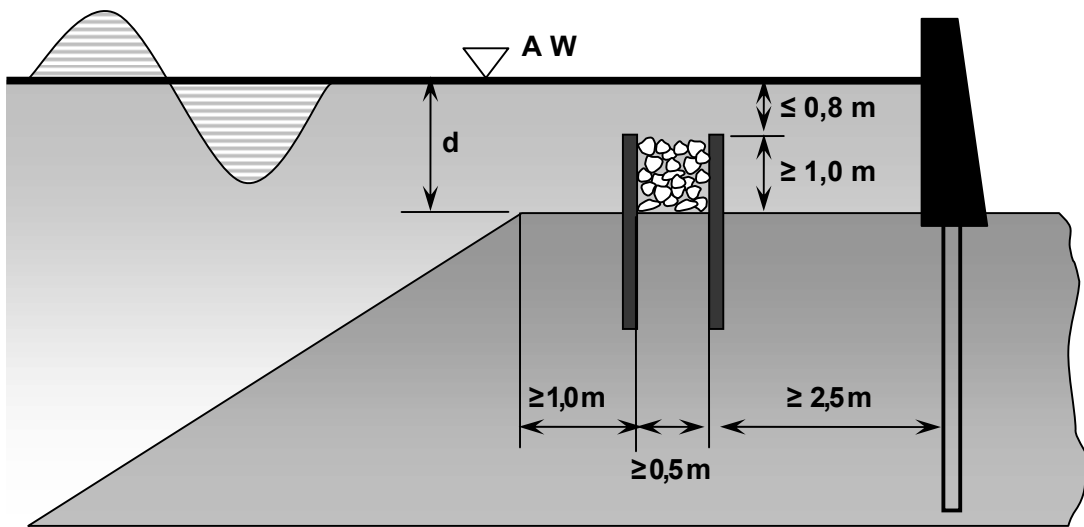
$$\Delta\gamma'_p = 0$$



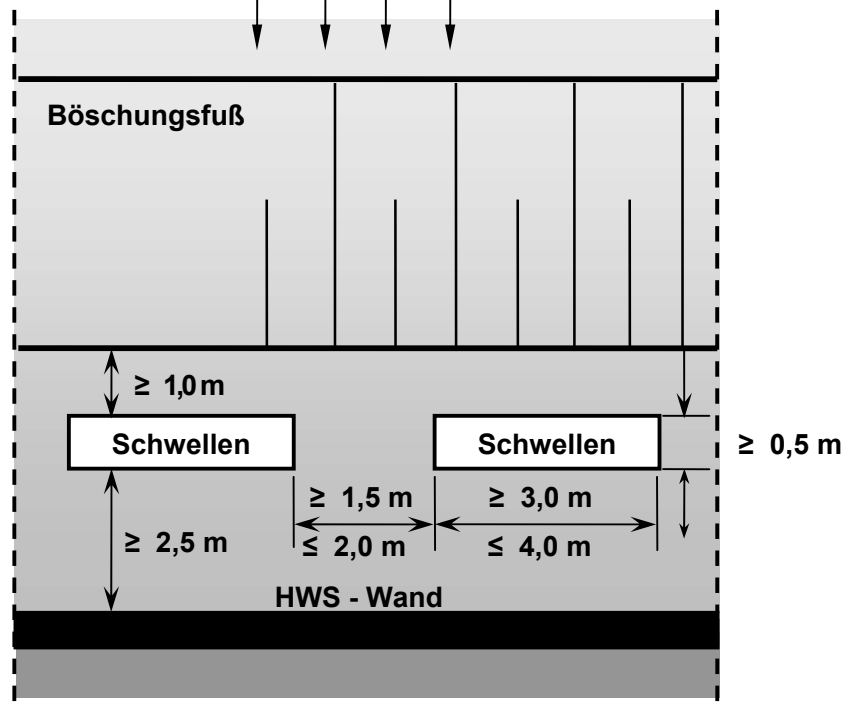
# Anlage 4

## Unterwasserschwelle

Wellenanlafrichtung



Wellenanlafrichtung

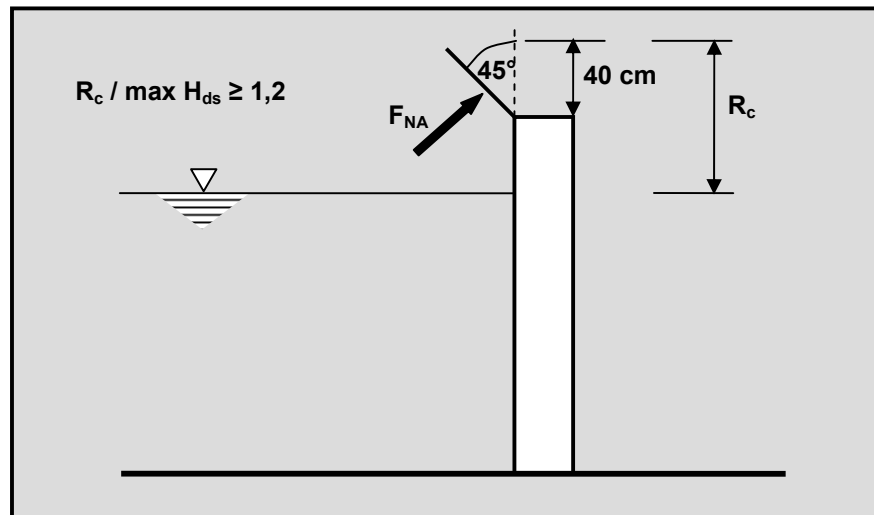


Die Durchlässigkeit der Konstruktion ist über den lichten Abstand der Schwellen zur jeweiligen Schwellenlänge definiert (im dargestellten Beispiel: Durchlässigkeit =  $1,50 / 3,00 = 50\%$ ). Es ist eine Durchlässigkeit von 50% einzuhalten.

## Anlage 5

### Überlaufabweiser

Definitionsskizze:



#### Ausführung

Der Wellenabweiser ist ein 40 cm hohes und im  $45^\circ$  Winkel geneigtes Stahlblech an der HWS-Wandoberkante. Hierdurch wird der Freibord  $R_C$  um dieses Maß erhöht. Die Art der Verbindung (Schweißnaht etc.) sowie die Wahl des Materials sind den erforderliche Randbedingungen anzupassen.

#### Anwendungsbereich

Abweiser (nach Definitionsskizze) zur Reduzierung des Wellenüberlaufs können bei relativen Freibordhöhen von  $R_C / \max H_{ds} \geq 1,2$  verwendet werden.

#### Einfluss auf Wellenüberlauf

Durch Einsatz des Wellenabweisers bei relativen Freiborden von  $R_C / \max H_{ds} \geq 1,2$  beträgt die Überlauftrate  $q_T$  (im Mittel über 3 h) unabhängig vom Wellenangriffswinkel  $\leq 0,5$  l/(m·s)

#### Einfluss auf Belastung

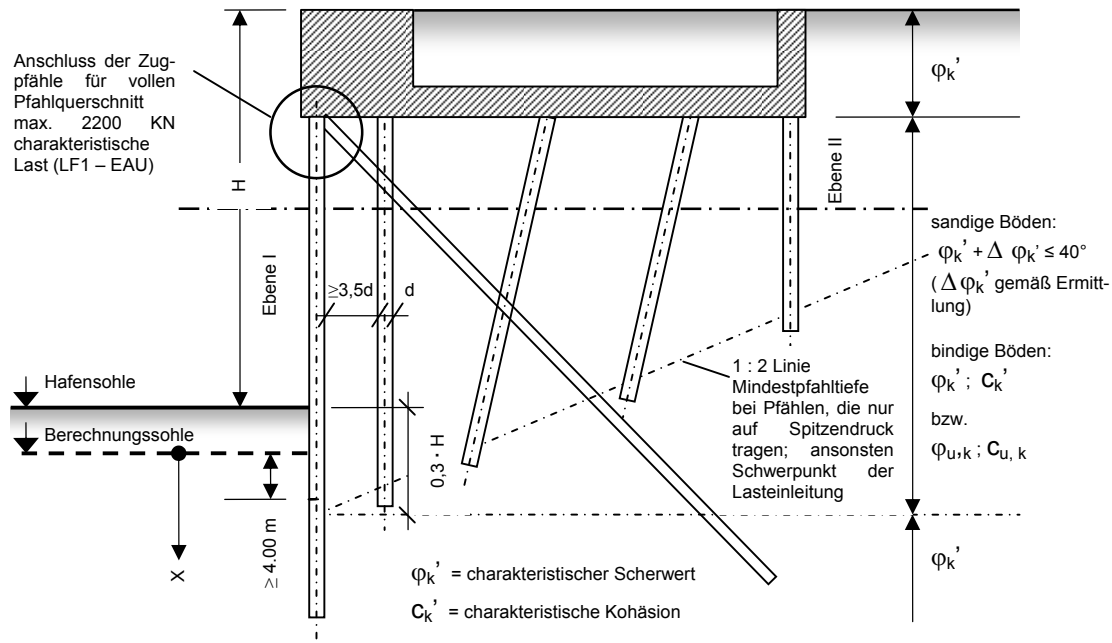
Abweiser führen aufgrund des vergrößerten Freibordes  $R_C$  zu geringeren Überlauftraten. Die Wellendruckbelastung der Wand gemäß Kap. 5 bleibt unverändert.

Bei Abweisern (nach Definitionsskizze) und relativen Freiborden  $R_C / H_{ds} \geq 1,2$  kann für die Belastung  $F_{NA}$  unabhängig vom Wellenangriffswinkel pauschal 15 KN/m angesetzt werden. Die Horizontalkomponente von  $F_{NA}$  ist im Wellendruck gemäß Kap. 5 enthalten.

## Anlage 6

### Empfohlene Werte für die Spundwandberechnung

#### a. für den aktiven Erddruck



Rammtiefe, auch von Füllbohlen, mindestens 4,0 m unter Berechnungssohle;

Rammtiefenzuschlag gem. EAU, E 56, jedoch

bei Volleinspannung: mindestens 0,50 m;

bei Teileinspannung: Mindestwert entsprechend dem Einspannungsgrad reduzieren;

Mindesteinbindetiefe bei Teileinspannung  $T = T_{\text{Frei}} + (T_{\text{Voll}} - T_{\text{Frei}}) \cdot 0,50$

mit

$T_{\text{Frei}}$  = Einbindetiefe bei freier Auflagerung ab Berechnungssohle

$T_{\text{Voll}}$  = Einbindetiefe bei Volleinspannung ab Berechnungssohle

Wandreibungswinkel:  $\delta_{a,k} \leq + 2/3 \phi_k'$

$\delta_{p,k} \geq - 2/3 \phi_k'$ , jedoch nur bis  $\phi_k' = 35^\circ$

$- 1/3 \phi_k' \leq \delta_{c,k} \leq + 1/3 \phi_k'$

Ermittlung von  $\Delta \phi_k'$ :  $\Delta \phi_k' = \frac{400 \cdot a}{H \cdot L}$

mit  $a = \sum_{n=1}^n A / \text{Block}$  mit  $A_{1,2,\dots,n}$  = Querschnittsfläche der Pfähle

H = Geländesprung von OK Kaimauer bis zur Hafensohle

L = Blocklänge

Anmerkung:

Die Verbesserung der Bodenkennwerte für die Bemessung der Spundwand und der Verankerung dürfen nur für die Berechnungsebene I angesetzt werden.

#### b. für den passiven Erddruck

Ansatz gemäß EAU, E 215, Lastbild nach Bild 215-1, nicht Bild 215-2

sandige Böden:  $\phi_k' \leq 35^\circ$  für  $x \leq 3,0 \text{ m}$

$\phi_k'$  für  $x > 3,0 \text{ m}$

bindige Böden:  $\phi_k', c_k', c_{u,k}$

gilt nur für bindige Böden mit mind. steifer Konsistenz; breiige und weiche Böden

werden nicht angesetzt ( $\phi_k' = c_k' = 0$ )

#### c. für die Standsicherheit

Für den Nachweis der Geländebruchsicherheit und der tiefen Gleitfuge gelten die charakteristischen Werte der Böden  $\phi_k'$  und  $c_k'$ . Wird die Wand in Ebene I zur Berücksichtigung der Vernadelung des Bodenkörpers mit Pfählen mit dem Bodenverbesserungswert  $\Delta \phi_k'$  dimensioniert ist der Ankerkraftanteil aus Erddruck um 15% zu erhöhen.



# Anlage 7

## Lasteinfluss aus Ebene II auf Ebene I (Prinzipdarstellung)

