

## Unterlage 05.02 - Windstau- und Wellenauflaufberechnung

### Unterlage 05.02.01 – Erläuterungsbericht zur Festlegung des Freibordes auf Grundlage der Berechnungen zum Windstau und Wellenauflauf

#### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Veranlassung .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeine Angaben zum Vorhaben .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Meteorologische Daten.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Voruntersuchungen des Bayerischen Landesamts für Umwelt .....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Berechnungen zum Windstau und Wellenauflauf .....</b>	<b>7</b>
5.1	Grundlagen .....	7
5.2	Bemessungspunkte .....	7
5.3	Wind- und Wellenkennwerte.....	9
5.4	Berechnung und Ergebnisse .....	13
<b>6</b>	<b>Empfehlungen .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Quellenverzeichnis .....</b>	<b>18</b>

#### Anhangverzeichnis

Anhang A	Freibordbemessung für eine Einstauhöhe von 3,75 m
Anhang B	Freibordbemessung für eine Einstauhöhe von 4,75 m

## 1 Veranlassung

Im Zuge der Verbesserung des Hochwasserschutzes an der Donau ist zur Minderung künftiger Hochwasserereignisse die Errichtung der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife geplant.

Um Aussagen über den erforderlichen Freibord an den Polderdeichen und Verkehrsanlagen treffen zu können, ist die Bestimmung der Wellenauflauf- und Windstauhöhe erforderlich. Die meteorologischen Grundlagendaten für die Bemessung des Freibords stehen in einem Windgutachten [1] zur Verfügung.

## 2 Allgemeine Angaben zum Vorhaben

Die geplante Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife befindet sich in einer ehemaligen Donauschleife, die im Zuge der Errichtung der Staustufe Straubing von der Bundeswasserstraße Donau abgeschnitten wurde. Durch den in Fließrichtung linken Stauhaltungsdamm der Staustufe wurde die ehemalige Schleife vom Abflussgeschehen der Donau entkoppelt.

In unmittelbarer Nähe befinden sich südlich der geplanten Hochwasserrückhaltung die Staustufe Straubing, östlich die Ortslagen Sossau und Unterzeitldorn und nördlich die Ortslagen Pittrich und Kößnach. Auf der östlichen Seite verläuft das Fließgewässer Kößnach, die etwa 1 km stromab der Staustufe in die Donau mündet.

Begrenzt vom ehemaligen rechten Deich der Donauschleife und dem linken Stauhaltungsdamm befindet sich der Polder Öberau mit den Ortslagen Breitenfeld und Öberau.

Im Bereich der ehemaligen Donauschleife befindet sich ein Naturschutzgebiet sowie ein FFH- und SPA-Gebiet. Die Flächen befinden sich vollständig in öffentlicher Hand. Das Gebiet ist infolge des Baus der Staustufe Straubing im Jahr 1991 mit Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen überplant.

Das alte Flussbett wurde künstlich durch einen Trenndamm mit einer Höhe von 318,50 m NN in einen oberen und einen unteren Altwasserbereich aufgeteilt, deren Wasserstände unabhängig voneinander nach ökologischen Gesichtspunkten geregelt werden.

Die Wiesenflächen der alten Donauvorländer sind verpachtet und werden nach ökologischen Gesichtspunkten bewirtschaftet (keine Düngung, festgelegte Mahdzeitpunkte).

Die unmittelbare Umgebung der geplanten Hochwasserrückhaltung ist zum großen Teil mit lockeren Baumbestand bewachsen. Die vorhandenen Bäume bzw. Baumgruppen haben aufgrund der großen Entfernungen zu einander nur geringen Einfluss auf die Windgeschwindigkeiten.



**Abbildung 1: Übersichtskarte**

Kurzbeschreibung:

Flutungsbereiche: Öberauer Schleife, Polder Sossau West,  
 Polder Öberau (außer Ortslagen Öberau und Breitenfeld)

Stauziel: 320,20 m ü. NN

Geflutete Fläche: rd. 490 ha

Aktivierbarer Rückhalteraum:	Öberauer Schleife:	rd. 9,75 Mio. m <sup>3</sup>
	Polder Öberau:	rd. 1,25 Mio. m <sup>3</sup>
	<u>Polder Sossau West:</u>	<u>rd. 2,85 Mio. m<sup>3</sup></u>
	Gesamtvolumen	rd. 13,85 Mio. m <sup>3</sup>

Die maximale Länge der geplanten Hochwasserrückhaltung beträgt ca. 6,3 km (Altverlauf der Donau). Die mittlere Breite zwischen den ehemaligen links- und rechtsseitigen Donaudeichen kann mit ca. 500 m abgeschätzt werden.

Die Geländeneigung im Bereich der ehemaligen Donauschleife ist im Allgemeinen sehr gering. Die Geländehöhen liegen bei ca. 316,5 bis 318,5 m NN. Wobei die Geländehöhe der Hochwasserrückhaltung im Mittel bei ca. 317,5 m NN anzunehmen ist. Geringere Höhen finden sich fast ausschließlich in der unteren Oberauer Schleife, hier fallen die Geländehöhen bis auf 316,5 m NN.

Die Hochwasserrückhaltung soll ab einem ca. 30-jährlichen Hochwasser eingesetzt werden, also im langjährigen bzw. statistischen Mittel etwa alle 30 Jahre.

### 3 Meteorologische Daten

Gemäß den Anforderungen nach DVWK-Merkblatt 246 [3] sind die Windgeschwindigkeiten  $w_{10}$  in einer Höhe von 10 m über der Wasseroberfläche maßgeblich. Diese wurden dem vorliegenden meteorologischen Gutachten des Deutschen Wetterdienstes [1] entnommen.

Aufgrund der Nähe zum Standort der geplanten Hochwasserrückhaltung wurde die Wetterstation Straubing (ca. 9 km südlich der geplanten Rückhaltung) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) gewählt. Für diese Station liegt im Zeitraum von Januar 1980 bis Dezember 2009 vor. Diese Zeitspanne deckt einen Zeitraum von 30 Jahren ab und entspricht damit den Anforderungen an die Datenverfügbarkeit von mindestens 15 Jahren. Die Winddaten wurden auf einem Niveau von 10 m über der Erdoberfläche gemessen (DWD-Standard –  $w_{10}$ ).

Am häufigsten weht der Wind in Straubing aus W (Sektor „270 Grad“) und WSW (Sektor „240 Grad“). Am seltensten treten Winde aus N und NNO auf, was unter anderem auf die Abschirmung durch den Bayerischen Wald zurückzuführen ist.

Die Windrichtung ist die Richtung aus welcher der Wind bläst.

Die Messdaten der Wetterstation Straubing wurden mit dem WAsP-Verfahren und dem Wieringa-Verfahren auf den Standort der geplanten Hochwasserrückhaltung übertragen. Die Winddaten zum Bemessungswind wurden für einen von Wasser umgebenen Zielpunkt in 10 m Höhe über der Wasserfläche berechnet. Die Rauheitskorrektur zwischen Land- und Wasserflächen wurde berücksichtigt.

Die windrichtungsbezogenen Extremwinde und Überschreitungshäufigkeiten wurden dabei auf Basis von Daten aus sich überlappenden 90-Grad-Sektoren berechnet, wobei die angegebenen Windrichtungen jeweils die Sektormitte angeben.

Die richtungsunabhängigen Extremwerte (Spalte „0-360“) der Windgeschwindigkeit (Stundenmittel) über der Hochwasserrückhaltung betragen 16 bis 25 m/s für Wiederkehrzeiträume von 2 bis 50 Jahren, s. Tabelle 1.

**Tabelle 1: Extremwerte der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in m/s für Wiederkehrzeiträume von 2, 10, 25 und 50 Jahren für den Standort HWR Oberauer Schleife in 10 m über der Wasserfläche aus [1]**

Wiederkehrintervall	Sektormitte <sup>1)</sup> (Grad)												
	NNO	ONO	O	OSO	SSO	S	SSW	WSW	W	WNW	NNW	N	
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	0-360 <sup>2)</sup>
2	10	10	11	11	11	11	15	16	17	16	13	11	16
10	12	13	14	14	13	14	19	20	21	20	17	13	21
25	13	14	16	15	15	16	21	22	23	22	19	14	23
50	14	15	17	17	16	18	22	24	25	24	20	15	25

- 1) Die angegebenen Richtungen stellen jeweils die Sektormitte eines "übergreifenden 90-Grad-Sektors" dar.
- 2) Die Spalte "0-360" Grad enthält richtungsunabhängige Extremwerte bzw. Häufigkeitswerte des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit.

Die richtungsabhängigen Extremwinde für die gemäß DVWK-Merkblatt 246 [3] maßgebende Wiederkehrperiode von 25 Jahren erreichen am Standort der Hochwasserrückhaltung 13 bis 23 m/s. Die höchste Windgeschwindigkeit von 23 m/s wurde für den Richtungssektor „270 Grad“ (W) ermittelt. In den beiden angrenzenden Sektoren „240 Grad“ und „300 Grad“ (WSW und WNW) liegt die Windgeschwindigkeit mit 22 m/s nur knapp darunter. Die geringste richtungsabhängige Windgeschwindigkeit liegt bei 13 m/s und ist bei Anströmung aus dem Richtungssektor „30 Grad“ zu erwarten.

Für einen Wiederkehrzeitraum von 25 Jahren liegt der maximale richtungsabhängige Wert von 23 m/s im Bereich der in der Tabelle 1 des DVWK-Merkblattes 246 [3] für die Höhenklasse bis "400 m NN" angegebenen Windgeschwindigkeitsklasse für "normale" Lagen (21 bis 26 m/s).

## 4 Voruntersuchungen des Bayerischen Landesamts für Umwelt

Im Jahr 2013 wurde durch das Referat 62 des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) eine Untersuchung der Mindestfreibordhöhe [4] durchgeführt.

Der Freibordbemessung erfolgte nach dem DVWK-Merkblatt 246 [3] auf Basis des DWD-Windgutachtens [1]. Die Windeinwirkfläche wurde entsprechend der amtlichen ATKIS-Daten und Luftbilder sowie die Bauwerksdaten der Flutpolderdeiche nach dem Gewässeratlas Bayern zugrunde gelegt.

Die maßgebende Windeinwirklänge wurde auf Grundlage von ATKIS- und Luftbildinterpretationen mit 1.850 m ermittelt. Dies entspricht der weitgehend WNW-ausgerichteten und damit in Hauptwindrichtung exponierten Flucht über den nördlichen Arm der Oberauer Schleife mit einem Hauptangriffspunkt windinduzierter Wellen im Bereich unmittelbar nördlich des geplanten Ausleitungsbauwerkes zur Kößnach.

Bei der Freibordbemessung wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- mittlere Wassertiefe = 2,80 m
- wasserseitige Böschungsneigung = 1:2,2
- Böschungsrauheit = 0,8

Mit den o. g. Randbedingungen ergibt sich aus den Komponenten Windstau (0,07 m) und Wellenauflauf (1,07 m) ein Freibord von insgesamt 1,14 m (gewählt: 1,20 m).

Sensitivitätsanalysen ergaben, dass der Wellenauflauf am wirksamsten durch eine Abflachung der wasserseitigen Böschung und eine Reduzierung der Wassertiefe beeinflusst werden kann. Insbesondere die Abflachung der wasserseitigen Böschungen auf die normierte Böschungsneigung von 1:3 nach DIN 19712 [2] reduziert den Wellenauflauf rechnerisch auf 0,78 m. Darüber hinaus führt eine Begrenzung der Wassertiefe am Böschungsfuß zu einer weiteren Abnahme des Wellenauflaufes. Alle anderen Eingangswerte haben bei realitätsnahen Variationsbereichen keine diesen beiden Parametern vergleichbaren Auswirkungen auf die Wellenauflaufhöhe.

Bei einer Abflachung der wasserseitigen Böschungsneigung auf 1:3,0 wird ein Freibord von 1,00 m als ausreichend angesehen. Dies entspricht dem Mindestfreibord gemäß DIN 19712 [2] von 1,0 m.

**Das LfU wies daraufhin, dass die Böschungsneigung und Einstauhöhe mit Verweis auf die Auswirkungen auf die Freibordermittlung durch das WWA DEG überprüft und bestätigt werden müssen.**

## 5 Berechnungen zum Windstau und Wellenauflauf

### 5.1 Grundlagen

Der Windstau und Wellenauflauf wurde analog den Untersuchungen des LfU mit Hilfe des DVWK-Merkblattes 246 [3] ermittelt. Mit dem Windstau und Wellenauflauf soll sichergestellt werden, dass bei einer gefüllten Hochwasserrückhaltung und gleichzeitigem Wellenauflauf und Windstau kein Wasser über die Deiche strömt und auf der Luftseite herunterläuft.

Um auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen ein Überströmen der Polderdeiche zu vermeiden, sollte ein ausreichender Freibord vorhanden sein. Das erforderliche Gesamtfreibordmaß setzt sich dabei aus den folgenden Höhenanteilen zusammen:

- Wellenauflauf  $h_{au}$
- Windstau  $h_{wi}$
- ggf. Eisstau  $h_{Ei}$
- ggf. ein Sicherheitszuschlag  $h_{Si}$

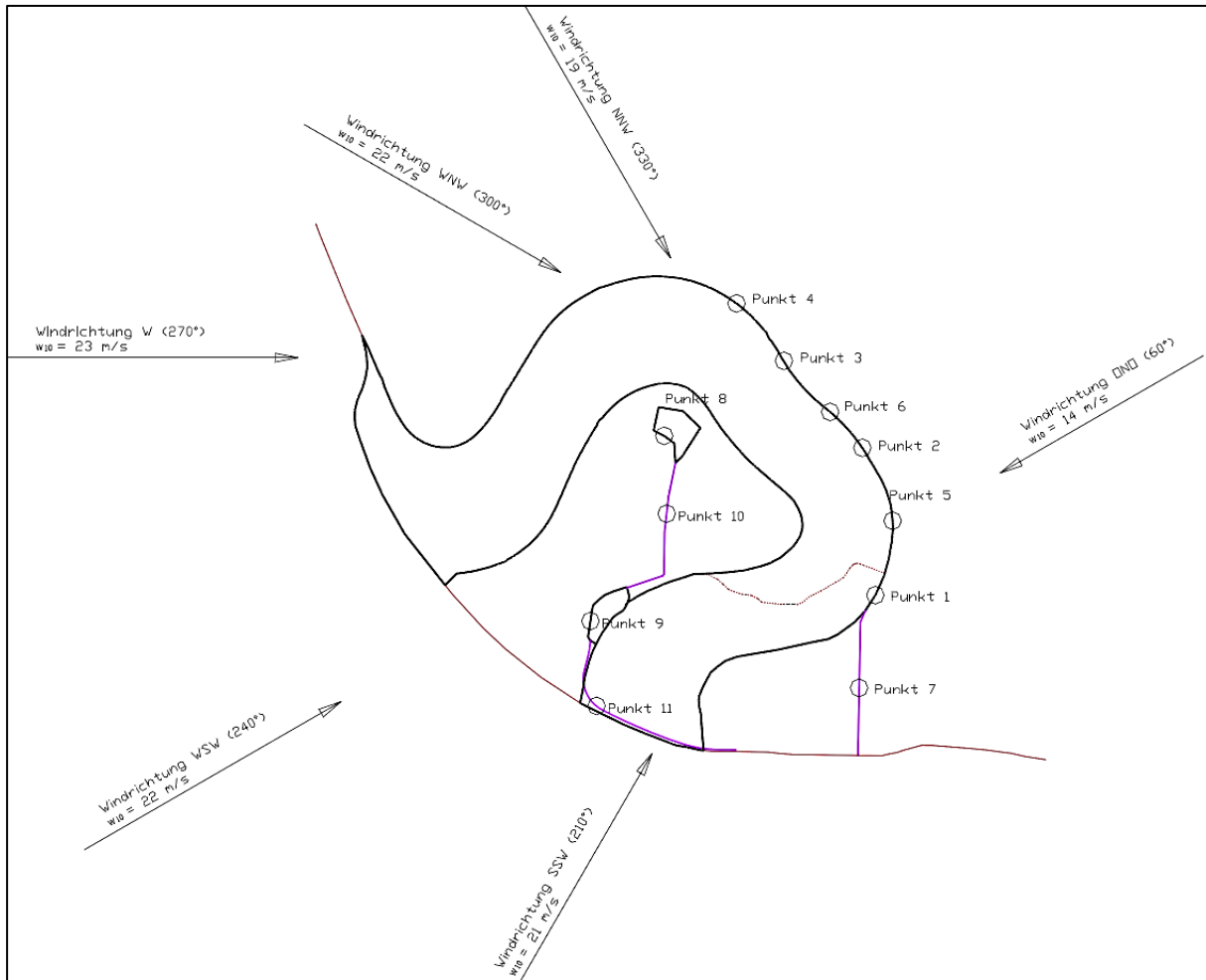
Aufgrund der zeitlich begrenzten Nutzung der Hochwasserrückhaltung ab einem HQ(30)-Ereignis der Donau und der Lage der Hochwasserrückhaltung im Nebenschluss wird angenommen, dass Eisstau nicht gleichzeitig mit den Ereignissen Windstau und Wellenauflauf eintritt. Das Stauziel in der geplanten Hochwasserrückhaltung wird nur ab einem HQ(30) der Donau erreicht und für wenige Tage erreicht. Es ist daher als sehr unwahrscheinlich anzunehmen, dass in diesem begrenzten Zeitraum zusätzlich zu Windstau und Wellenauflauf ein Eisstau zu erwarten ist.

Daher berechnet sich das erforderliche Freibordmaß wie folgt:  $f = h_{au} + h_{wi} + h_{Si}$

### 5.2 Bemessungspunkte

Für die Ermittlung des notwendigen Freibordmaßes wurden insgesamt 11 potentielle Punkte entlang der Polderdeiche, Ringdeiche und Verkehrsanlagen, welche die Hochwasserrückhaltung begrenzen, identifiziert. Die Bemessungspunkte wurden dabei an kritischen Stellen gewählt, an welchen hohe Windgeschwindigkeiten und hohe Windstreichlängen mit hohen Windausreifzeiten zu erwarten sind, s. Kapitel 5.3.

Die Höhen- und Längenangaben basieren auf dem digitalen Höhenmodell des Wasser- und Schiffsamtes Regensburg [5]. Die jeweiligen Positionen der untersuchten Bemessungspunkte sind in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 2: Darstellung der Bemessungspunkte**

In den Sektoren von „210 Grad bis 330 Grad“ (SSW bis NNW) mit den größten Windgeschwindigkeiten liegen auch die größten potentiellen Streichlängen.

Einzig bei Punkt 6 kann die potentielle Streichlänge nicht bis zum Bemessungspunkt angesetzt werden, da diese durch den ehemaligen rechten Donaudeich (Bereich „Hagen“), der nur abschnittsweise rückgebaut werden soll, unterbrochen wird. Der Punkt 6 ist damit nicht maßgebend und wird nicht weiter untersucht.

Bei Punkt 5 verläuft die maximale Streichlänge über den Trenndeich zwischen oberer und unterer Schleife. Der Trenndeich liegt jedoch beim Stauziel von 320,20 m NN etwa 1,70 bis 2,20 m unter der Wasseroberfläche. Auf der sicheren Seite liegend, wurde dennoch der Punkt 5 in die Untersuchungen zum Windstau und Wellenauflauf einbezogen.

Der Punkt 11 an der Gemeindeverbindungsstraße nach Oberau liegt nicht in Hauptwindrichtung SSW bis NNW, sondern in Windrichtung ONO. Dennoch soll exemplarisch für diesen Punkt ebenfalls der Windstau und Wellenauflauf ermittelt werden.

Von den 11 potentiellen Bemessungspunkten werden somit folgende 10 Punkte näher untersucht:



**Tabelle 2: Übersicht zu den Windgeschwindigkeiten an den Bemessungspunkten**

Bauwerke	Punkte	Windrichtungen	Windgeschwindigkeit $w_{10}$
Polderdeich (ehemaliger linker Donaudeich)	1, 2, 3, 4, 5 Punkt 6 entfällt	von 240° (WSW) bis 330° (NNW)	von 19 bis 23 m/s
Westtangente	7	270° (W)	23 m/s
Ringdeich Breitenfeld	8	210° (SSW)	21 m/s
Ringdeich Öberau	9	270° (W)	23 m/s
Wirtschaftsweg zwischen Öberau und Breitenfeld	10	240° (WSW)	22 m/s
Verbindungsstraße nach Öberau	11	60° (ONO)	14 m/s

### 5.3 Wind- und Wellenkennwerte

Die maßgebliche Windgeschwindigkeit wurde jeweils in Abhängigkeit des Windes bestimmt, dessen Windrichtung möglichst senkrecht von der Wasserseite her auf das Absperrbauwerk am jeweiligen Bemessungspunkt trifft. Die maßgebliche Windrichtung kommt für die 10 ausgewählten Bemessungspunkte aus unterschiedlichen Richtungen und ist folglich nicht an allen Bemessungspunkten identisch (s. Tabelle 1).

Die jeweiligen Stundenmittel dieser Windgeschwindigkeiten müssen bei Streichlängen unter 6 km unter Berücksichtigung der Ausreifzeit  $t_{wi}$  angepasst werden. Die Windstreichlängen wurden auf der Basis vorhandener Lagepläne ermittelt. Als maßgebliche Streichlänge wurde jene zugrunde gelegt, welche unmittelbar senkrecht d.h. im 90° Winkel zu dem Absperrbauwerk an den jeweiligen Bemessungspunkten wirkt.

Zur Anpassung wurden die in der Tabelle 2 des DVWK-Merkblatt 246 [3] aufgeführten Umrechnungsfaktoren für die Stundenmittel der maßgeblichen Windgeschwindigkeiten verwendet (s. Tabelle 3). Zwischenwerte wurden dabei linear interpoliert.

**Tabelle 3: Umrechnung des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit gemäß DVWK-M 246 [3]**

Streichlänge in m	Faktor für die Umrechnung des Stundenmittels für andere Ausreifzeiten
6000	1,00
2000	1,05
1000	1,10
500	1,20

Die zur weiteren Berechnung verwendeten Windgeschwindigkeiten  $w_{10}'$  ergeben sich zu:

$$w_{10}' = \text{Faktor} \cdot w_{10}$$

Die nach diesem Ansatz umgerechneten Windgeschwindigkeiten für die Hochwasserrückhaltung sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet.

**Tabelle 4: Umrechnung der Windgeschwindigkeiten unter Berücksichtigung der Ausreifzeit gemäß DVWK-M 246 [3]**

Bemes- sungs- punkt	Wind- richtung	Sektor (Grad)	Wind- geschwindigkeit $w_{10}$ in m/s	Streichlänge senkrecht zum Bemessungs- punkt in m	Faktor für die Umrechnung des Stundenmittels für andere Ausreifzeiten	angepasste Wind- geschwindigkeit $w_{10}'$ in m/s
1	NNW	330	19,0	2040	1,05	19,9
2	WNW	300	22,0	1760	1,05	23,2
3	W	270	23,0	1460	1,08	24,8
4	WSW	240	22,0	2270	1,05	23,0
5	WSW	240	22,0	2030	1,05	23,1
6	SSW	210	21,0	2090	1,05	22,0
7	W	270	23,0	880	1,12	25,9
8	SSW	210	21,0	1510	1,07	22,6
9	W	270	23,0	640	1,17	27,0
10	WSW	240	22,0	1230	1,09	23,9
11	ONO	60	14,0	1930	1,05	14,7

Anmerkung: Punkt 6 entfällt, s. Kapitel 5.2

Mit diesen Werten lassen sich nach den im DVWK-Merkblatt 246 [3] empfohlenen Methoden die folgenden Werte ermitteln:

- mittlere Wellenhöhe  $h_{we}$ ,
- mittlere Wellenperiode  $T_{we}$  und die
- mittlere Wellenlänge  $l_{we}$ .

Die mittlere Wellenhöhe wurde nach dem Krylow II – Verfahren ermittelt. Dieses Verfahren sieht eine Einteilung der Stauoberfläche in Spektralsektoren (ausgehend vom Bezugspunkt) vor.

Die zur Wellenbewegung beitragenden Energieanteile aus den einzelnen Sektoren werden mit Hilfe der Spektralfaktoren  $a_i$  gewichtet:

$$a_i = a_i^* - a_{i-1}^* \quad \text{mit} \quad a_i^* = \frac{\Theta_i}{180^\circ} - \frac{\sin(2 \cdot \Theta_i)}{2\pi}$$

$a_i$  Spektralfaktor

$\Theta_i$  Winkel zwischen der Achse des Absperrbauwerkes und der Sektorgrenze des Sektors i

Die mittlere partielle Wellenhöhe für die einzelnen Sektoren wurde nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\overline{h_{W_{ei}}} = \frac{w_{10}^2 \cdot 0,16}{g} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\left[ 1 + 0,006 \cdot \sqrt{S_i^*} \right]^2} \right) \cdot \tanh \left( 0,625 \cdot \frac{(d_i^*)^{0,8}}{1 - \frac{1}{\left[ 1 + 0,006 \cdot \sqrt{S_i^*} \right]^2}} \right)$$

$$\text{mit:} \quad d_i^* = \frac{g \cdot \overline{d}_i}{w_{10}^2} \quad \text{und} \quad S_i^* = \frac{g \cdot S_i}{w_{10}^2}$$

$\overline{d}_i$  mittlere Wassertiefe im Sektor i

$S_i$  Streichlänge im Sektor i

Die mittlere Wellenhöhe an dem jeweiligen Bezugspunkt unter Berücksichtigung aller partiellen Wellenhöhen ergibt sich zu:

$$h_{W_e} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( a_i \cdot \overline{h_{W_{ei}}}^2 \right)}$$

Bei der Ermittlung der Wellenaufhöhe eine bauwerksabhängige Überschreitungswahrscheinlichkeit für die Wellenhöhen zu berücksichtigen. Diese ist abhängig vom Hochwasserstauziel und wurde mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von  $x = 1 \%$  angesetzt.

Die Umrechnung der mittleren Wellenhöhen an den Bemessungspunkten auf die genannten Überschreitungswahrscheinlichkeiten erfolgte nach folgendem Ansatz:

$$h_{w_e, x\%} = \sqrt{-\frac{4}{\pi} \cdot \ln\left(\frac{x}{100}\right)} \cdot \overline{h_{w_e}} = K_{h_{w_e}} \cdot \overline{h_{w_e}}$$

x       Überschreitungswahrscheinlichkeit in %

$K_{h_{w_e}}$    von Überschreitungswahrscheinlichkeit abhängiger Faktor

Die mittlere Wellenperiode und mittlere Wellenlänge an den jeweiligen Bemessungspunkten errechnen sich wie folgt:

mittlere Wellenperiode: 
$$T_{w_e} = \frac{6,2 \cdot w_{10} \cdot \pi}{g} \cdot \left( \frac{g \cdot \overline{h_{w_e}}}{w_{10}^2} \right)^{0,625}$$

mittlere Wellenlänge: 
$$l_{w_e} = \frac{g \cdot \overline{T_{w_e}}^2}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{l_{w_e}} \right)$$

Der für das Freibordmaß notwendige Wellenauflauf  $h_{au}$  ist abhängig vom Charakter der bauwerksnahen Wellenbewegung. An Deichen mit Böschungen treten im Regelfall brandende Wellen auf. Die Auflauhöhe ergibt sich in diesem Falle zu:

$$h_{au} = k_D \cdot k_R \cdot k_x \cdot \sqrt{\overline{h_{w_e}} \cdot l_{w_e}} \cdot \tan \alpha$$

$k_D \cdot k_R$    Faktoren für die Durchlässigkeit und Rauheit einer Böschungsoberfläche

$k_x$        Koeffizient für den Auflauf brandender Wellen

$\alpha$        Böschungswinkel in °

Der Faktor  $k_D \cdot k_R$  bestimmt sich für Rasen und Sand nach Tabelle 5 und der Koeffizient  $k_x$  für Erddämme nach Tabelle 6 des DVWK-Merkblatt 246 [3].

Der zu erwartende Windstau kann aufgrund der vorliegenden Wassertiefen- und Streichlängenverhältnisse nicht durchgängig pauschal mit  $h_{wi} = 0,05$  m angesetzt werden.

Er wird daher bei zu erwartenden Windstau von  $> 0,05$  m durch Verwendung der empirischen Zuiderseeformel wie folgt bestimmt:

$$h_{wi} = \frac{w_{10}^2 \cdot S \cdot \cos \beta}{4861110 \cdot d_m}$$

- S        maximale Streichlänge in m  
 $\beta$        Winkel zwischen der Windrichtung und der angesetzten Streichlänge in °  
 $d_m$       mittlere Wassertiefe in m

Der als Sicherheitszuschlag  $h_{si}$  anrechenbare Restfreibord ergibt sich aus der Höhendifferenz zwischen der gewählten Bauwerksoberkante und dem höchsten Stauziel abzüglich der Summe aus Windstauhöhe und Wellenaufbauhöhe.

$$h_{si} = BOK - Z_S - h_{wi} - h_{au}$$

- BOK      Bauwerksoberkante                       $Z_S$       maßgebendes Stauziel

#### 5.4 Berechnung und Ergebnisse

Die Berechnung der notwendigen Freibordkomponenten Windstau und Wellenaufbau für die 10 ausgewählten Bemessungspunkte wurden jeweils für Extremereignisse mit statistischen Wiederholungszeitspannen von 25 Jahren durchgeführt (s. Tabelle 1 und Tabelle 4).

Zur Darstellung des Einflusses der Einstauhöhe und der Böschungsneigung wurden der Windstau und Wellenaufbau für die nachstehenden Variationen untersucht

Einstauhöhe Stauräume:

- 2,50 m    mittlere Einstauhöhe im Polder Sossau West vom Gelände mit ca. 317,70 m NN bis zum Stauziel von 320,20 m NN
- 2,70 m    mittlere Einstauhöhe im Polder Oberau vom Gelände mit ca. 317,50 m NN bis zum Stauziel von 320,20 m NN
- 3,75 m    mittlere Einstauhöhe in der Oberauer Schleife zwischen den Vorländern und den Wasserflächen von ca. 316,45 m NN und dem Stauziel von 320,20 m NN
- 4,75 m    maximale Einstauhöhe in der Oberauer Schleife zwischen den Wasserflächen von 315,45 m NN und dem Stauziel von 320,20 m NN

Böschungsneigung Polderdeiche:

- 1:1,6      (Grenzwert der verwendeten Gleichungen aus Kapitel 5.3)
- 1:2,0

- 1:2,2 (Bestand)  
1:2,5  
1:3,0 (Böschungsneigung nach DIN 19712 [2])

Für die Verkehrsanlagen und Neubaudeiche (Ringdeiche) werden hingegen nur Neigungen von 1:2,5 bis 1:3,5 untersucht.

Die ermittelten Windstreichlängen der Spektralsektoren aller Bemessungspunkte sowie die detaillierten Berechnungen sind in Anhang A und Anhang B zusammengestellt.

Der maßgebende Punkt an den Polderdeichen mit dem größten Wellenauflauf und Windstau ist der Punkt 4, der nicht den größten Bemessungswind, aber die größte Streichlänge aller untersuchten Punkte aufweist.

Die berechneten Freibordkomponenten für die Polder- und Ringdeiche sowie Verkehrsanlagen in Abhängigkeit der wasserseitigen Böschungsneigung und der Einstauhöhe zeigt die nachfolgende Tabelle.

**Tabelle 5: Freibordgrößen in Abhängigkeit der mittleren Einstauhöhe**

Lage	Neigung Böschung	Einstauhöhe in m	Freibord in m	Einstauhöhe in m	Freibord in m
<b>Polderdeiche</b>					
Punkt 4	1:1,6	3,75	1,85	4,75	2,00
	1:2,0	3,75	1,50	4,75	1,60
	1:2,2	3,75	1,40	4,75	1,45
	1:2,5	3,75	1,25	4,75	1,30
	1:3,0	3,75	1,05	4,75	1,10
<b>Westtangente</b>					
Punkt 7	1:2,5	2,50	1,00	-	-
	1:3,0	2,50	0,85	-	-
	1:3,5	2,50	0,75	-	-
<b>Ringdeich Öberau</b>					
Punkt 8	1:2,5	2,70	1,05	-	-
	1:3,0	2,70	0,90	-	-
<b>Ringdeich Breitenfeld</b>					
Punkt 9	1:2,5	2,70	1,00	-	-
	1:3,0	2,70	0,85	-	-

Lage	Neigung Böschung	Einstauhöhe in m	Freibord in m	Einstauhöhe in m	Freibord in m
Wirtschaftsweg zwischen Oberau und Breitenfeld					
Punkt 10	1:2,5	2,70	1,05	-	-
	1:3,0	2,70	0,90	-	-
Verbindungsstraße nach Oberau					
Punkt 11	1:2,5	3,75	0,85	4,75	0,90
	1:3,0	3,75	0,75	4,75	0,75

Der gewählte Sicherheitszuschlag  $h_{si}$  wurde, wie in Kapitel 5.3 beschrieben ermittelt.

## 6 Empfehlungen

Wie die Berechnungen in Kapitel 5.4 aufzeigen hat die Einstauhöhe weniger Einfluss auf die Freibordkomponenten als die Neigung der wasserseitigen Böschung.

Zur Festlegung des Freibords wird empfohlen die mittlere Einstauhöhe von 3,75 m in der Oberauer Schleife zu verwenden, da die mittlere Wassertiefe nicht nur durch die Wasserstände in den Wasserflächen sondern auch die Höhenlage der Vorländer in der Hochwasserrückhaltung beeinflusst wird.

Da an den Polderdeichen die Neigung der wasserseitigen Böschung mehrheitlich durch den Deichaufbau und weniger durch den Freibord bestimmt wird, können mit den Ergebnissen in Tabelle 5 nur Aussagen zum Einfluss der wasserseitigen Böschungsneigung auf die Höhe der Deichkrone getroffen werden.

Bei Beibehaltung der Bestandneigung der wasserseitigen Deichböschung von 1:2,2 ist ein Freibord von 1,40 m erforderlich. Wird die wasserseitige Böschungsneigung auf 1:2,5 oder 1:3,0 abgeflacht ist ein Freibord von 1,25 m oder 1,05 m notwendig. Der Mindestfreibord von 1,0 m ist somit nicht ausreichend.

Da zur Minimierung der Eingriffe in den Naturhaushalt und der Flächeninanspruchnahme ein Erhalt der wasserseitigen Bestandsböschungen von 1:2,2 oder nur eine geringe Abflachung von 1:2,5 möglich ist, sind an den Polderdeichen Freibordmaße von 1,25 ... 1,40 m zu berücksichtigen.

An der Westtangente ist eine Anhebung der Straße geplant, so dass keine Bestandsneigungen berücksichtigt werden müssen. Hier genügt bei einer Böschungsneigung von 1:2,5 der Mindestfreibord von 1,0 m, da durch den ehemaligen linken Donaudeich, der die untere Oberauer Schleife vom Polder Sossau West trennt, die max. Streichlängen kleiner 1.000 m betragen.

Aus Gründen der Anlagensicherheit (Überlastfall) wird an der Westtangente ein geringerer Freibord als an den Polder- und Ringdeichen favorisiert. Statt des Mindestfreibords soll der Freibord an der Westtangente daher 0,85 m betragen. Dies erfordert jedoch die Gestaltung der Straßenböschungen mit einer Neigung von 1:3,0.

An den Ringdeichen ist bei einer Böschungsneigung von 1:2,5 der Mindestfreibord von 1,0 m nur in Öberau ausreichend. Der Ringdeich in Breitenfeld benötigt hingegen einen Freibord von 1,05 m. Um beide Deiche mit einheitlicher Höhe herzustellen, wird für beide Ringdeiche empfohlen, den Freibord von 1,05 m anzusetzen.

Der anzuhebende Wirtschaftsweg zwischen den Ringdeichen in Öberau und Breitenfeld erfordert bei einer Böschungsneigung von 1:2,5 ebenfalls einen Freibord von 1,05 m.

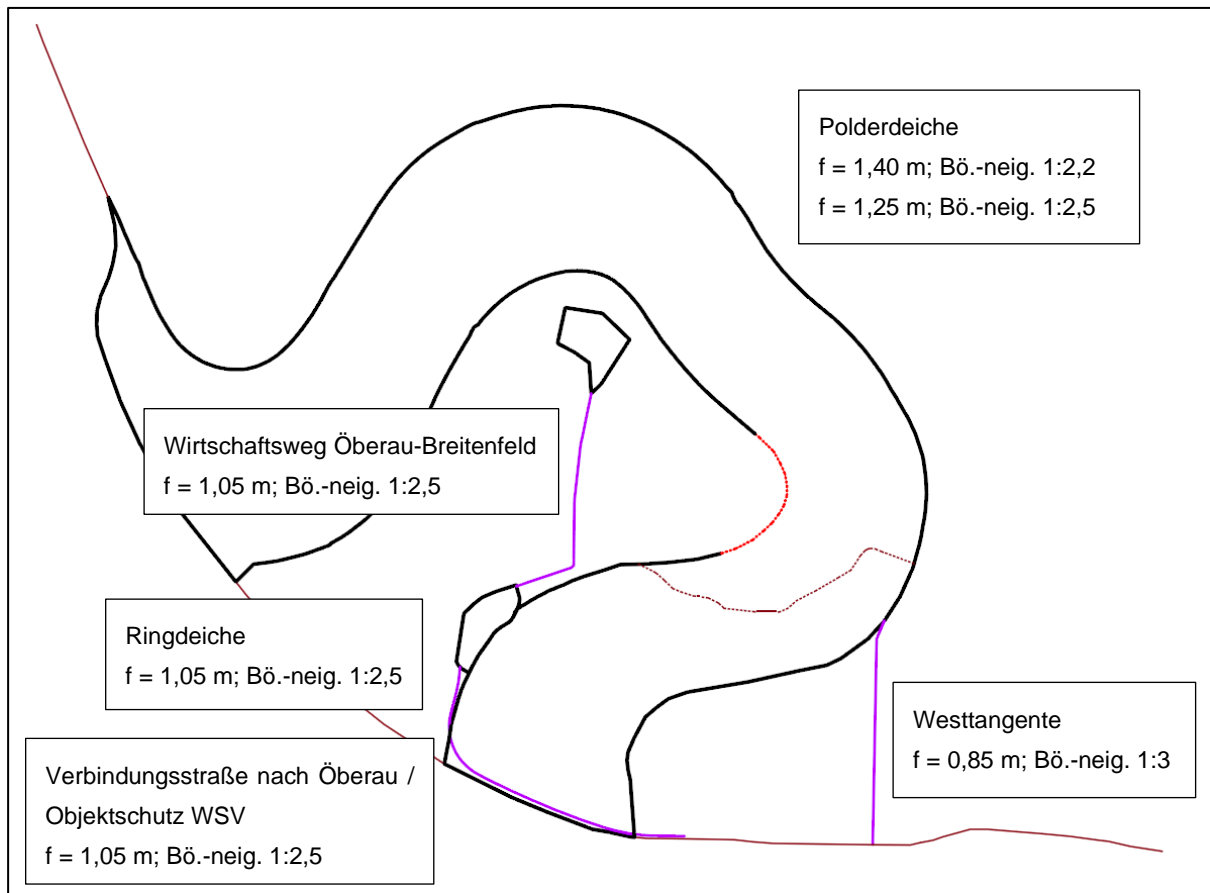
Die Gemeindeverbindungsstraße nach Öberau liegt nicht in Hauptwindrichtung. Daher liegen hier die ermittelten Freibordgrößen niedriger als der Mindestfreibord von 1,0 m. Bei einer Böschungsneigung des Straßendamms von 1:2,5 wäre ein Freibord von 0,85 m ausreichend.

Damit liegt die Straße auf gleicher Höhe wie die Westtangente. Da die Westtangente jedoch im Überlastfall als Entlastung dient, sollten alle weiteren Anlagen höher liegen oder einen größeren Freibord als die Westtangente besitzen. Um die Erreichbarkeit der Ortslagen Öberau und Breitenfeld auch im Überlastfall sicherzustellen, wird daher auch für die Gemeindeverbindungsstraße nach Öberau ein Freibord von 1,05 m empfohlen.

Gleiches gilt für den Objektschutz am Außenbezirk Straubing des WSA Regensburg.

Mit Festlegung eines einheitlichen Freibordes für die Ringdeiche, den Wirtschaftsweg zwischen den Ringdeichen, der Verbindungsstraße nach Öberau und den Objektschutz am Außenbezirk Straubing erfolgt im Überlastfall zunächst eine Entlastung über die Westtangente in Richtung Unterwasser und nicht in Richtung der Ortslagen im Polder Öberau.





**Abbildung 3: Darstellung der empfohlenen Freibordgrößen und Böschungsneigungen**

## 7 Quellenverzeichnis

- [1] Amtliches Gutachten, Expertise zum Bemessungswind über der Stauanlage, Deutscher Wetterdienst, November 2010
- [2] DIN 19712 Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Normausschuss Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [3] DVWK 246 (1997) Freibordbemessung an Stauanlagen, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK)
- [4] Stellungnahme Flutpolder Oberauer Schleife, Ermittlung der Mindestfreibordhöhen, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 62 - Wasserbautechnik, Januar 2013
- [5] Digitales Höhenmodell, Wasser- und Schifffahrtsamt Regensburg, 1997