

Umbau der Talsperre Wendebach

Anhang 6: Freibordbemessung



Ingenieurgesellschaft
Heidt & Peters mbH

Sprengerstraße 38 c
29223 Celle
Fon (0 51 41) 93 88-0
Fax (0 51 41) 93 88-88
Info@heidt-peters.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Einleitung	4
2 Bemessung	4
2.1 Berechnung des Wellenaufbaus h_{Au}	4
2.2 Berechnung des Windstaus h_{Wi}	11
2.3 Wahl des Freibords	11
3 Zusammenfassung	12
4 Quellenverzeichnis	13

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Berechnung der Böschungsrauheit [DVWK,1997]	5
Tabelle 2-2: Überschreitungswahrscheinlichkeit $x(\%)$ des Wellenauflauf in Abhängigkeit vom Typ des Absperrbauwerks und die zugehörigen Koeffizienten k_x für den Auflauf brandender Wellen nach BATTJES (1974) [DVWK, 1997]	5
Tabelle 2-3: Bemessungswindgeschwindigkeit w_{10} [DVWK,1997]	7
Tabelle 2-4: Umrechnung des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit [DVWK,1997]	7
Tabelle 2-5: Berechnung der mittleren partiellen Wellenhöhen hWe,i für die verschiedenen Sektoren	9
Tabelle 2-6: Berechnung der Spektralfaktoren a_i und der partiellen Wellenhöhen hWe , sowie der mittlere Wellenperiode TWe und mittlere Wellenlänge IWe	10

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Streichlängen bei Hochwasserstauziel (BHQ ₂) 173,00 mNHN, Grundlage DGM5-Höhen	6
---	---

1 Einleitung

Die Bemessung des Freibords für den Umbau der Talsperre Wendebach erfolgt gemäß DIN 19700, Teil 11 in Verbindung mit DvWK 1997.

Maßgeblich ist der Hochwasserbemessungsfall 2 (BHQ₂), da aus diesem ein höherer Bemessungswasserstand als bei BHQ₁ resultiert (Anhang 1 - Hydraulische Modellversuche).

Das Hochwasserstauziel im Hochwasserbemessungsfall 2 ist auf 173,00 mNHN festgelegt. Der Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit erfolgt in Anhang 1 (Hydraulische Modellversuche) mit geschlossenen Betriebsauslässen. Gemäß Modellversuch kann das BHQ₂ mit einem Wasserstand von

$$172,92 \text{ mNHN} < 173,00 \text{ mNHN}$$

abgeführt werden.

Unter Berücksichtigung der Betriebsauslässe kann das BHQ₂ mit einem Wasserstand von von 172,75 mNHN abgeführt werden (Anhang 4 – Hydrologie).

Die Bemessung erfolgt auf das festgesetzte Hochwasserstauziel im Hochwasserbemessungsfall 2 von 173,00 mNHN.

2 Bemessung

Der Freibord setzt sich gemäß DIN 19700 zusammen aus dem Wellenauflauf h_{Au} , dem Windstau h_{Wi} und einem Sicherheitszuschlag h_{Si} .

$$f = h_{Au} + h_{Wi} + h_{Si} (+h_{Ei}) \quad \text{Gl. 2-1}$$

Ein optionaler Eisstau h_{Ei} wird vorliegend nicht berücksichtigt, da bei der geplanten Konstruktion der Hochwasserentlastung mit freiem Überfall der Ansatz einer Versetzung mit Eis nicht geboten ist. Im Regelfall schließen sich Wellenauflauf und Windstau einerseits und Eisstau andererseits aus.

2.1 Berechnung des Wellenauflaufs h_{Au}

Der zu berechnende Wellenauflauf richtet sich nach der Form des Absperrbauwerks. Bei einem Absperrdamm treten in der Regel brandende Wellen auf, so dass der Wellenauflauf stark von der Böschungsneigung des Dammes und somit von der Energiedissipation in der Brandungszone abhängig ist. Der Wellenauflauf h_{Au} kann laut dem DVWK Merkblatt 246 [DvWK, 1997] mit ausreichender Genauigkeit nach HUNT berechnet werden zu:

$$h_{Au, x\%} = k_D \cdot k_R \cdot k_x \cdot \sqrt{\overline{h_{We}} \cdot \overline{l_{We}}} \cdot \tan \alpha$$

Gl. 2-2

mit

 $k_D \cdot k_R$ = Böschungsrauheit siehe Tab. 2-1 k_x = Koeffizient nach BATTJES [1974] $\overline{h_{We}}$ = mittlere Wellenhöhe [m] α = Böschungsneigung Damm [°] $\overline{l_{We}}$ = mittlere Wellenlänge [m] $\overline{T_{We}}$ = mittlere Wellenperiode [s]

Die Beschaffenheit der Böschungsoberfläche hinsichtlich der Böschungsrauheit k_R und Durchlässigkeit k_D wird mit den Faktoren nach Tabelle 2-1 berücksichtigt.

Tabelle 2-1: Berechnung der Böschungsrauheit [DVWK,1997]

Böschungsoberfläche	$k_D \cdot k_R$
glatte Bauweisen (Betonplatten mit vergossenen Fugen, Asphaltbeton)	1,0
Betonplatten mit offenen Fugen	0,95
Pflaster mit vergossenen Fugen	0,90 – 0,95
Pflaster mit offenen Fugen	0,80 – 0,90
Rasen, Sand	0,75 – 0,85
Kies	0,70 – 0,78
Schüttungen aus rundlichem Gesteinsmaterial, Asphalttrauhbauweise	0,60 – 0,65
Bruchsteinschüttungen	0,55 – 0,65

Für den Absperrdamm des Wendebaches wurde zur Berechnung des Wellenaufbaus eine Böschungsrauheit von

$$k_D \cdot k_R = 0,8 \text{ (Rasen)}$$

angesetzt.

Die Überschreitungswahrscheinlichkeit des Wellenaufbaus wird in Abhängigkeit des Bauwerkstyps mit dem Koeffizienten k_x nach BATTJES berücksichtigt, siehe Tabelle 2-2. Für Erddämme ergibt sich eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1 % und somit ein zugehöriger Koeffizient von $k_x = 2,4$.

Tabelle 2-2: Überschreitungswahrscheinlichkeit $x(\%)$ des Wellenaufbaus in Abhängigkeit vom Typ des Absperrbauwerks und die zugehörigen Koeffizienten k_x für den Aufbruch brandender Wellen nach BATTJES (1974) [DVWK, 1997]

Bauwerkstyp	x (%)	k_x
Staumauern, Wehre	5	entfällt
Steinschüttdämme mit erosionsbeständiger Krone und Luftseite	2	2,2
Erddämme	1	2,4

Die Böschungsneigung des Dammes von 1:3,5 (s. Teil II, Kap. 2.1) entspricht einem Winkel α von 15,9°.

Die zur Berechnung des Wellenauflauf h_{Au} benötigten Wellenkennwerte $\overline{h_{We}}$, $\overline{I_{We}}$ und $\overline{T_{We}}$ werden mit Hilfe der Bemessungswindgeschwindigkeit w_{10} und der Streichlänge S ermittelt.

Ermittlung der Streichlängen S

Zur Ermittlung der Streichlängen S wird die Stauoberfläche bezüglich der Windwirkung an einem Untersuchungspunkt P nach der Spektralmethode in mehrere Sektoren eingeteilt. Der zur Wellenbewegung beitragende Energieanteil aus den einzelnen Sektoren wird mit Hilfe der Spektralfaktoren a_i gewichtet. Für einen Bemessungshochwasserstand von 173,00 mNHN ergeben sich für das Staubecken des Wendebaches die in Abbildung 2-1 dargestellten Sektoren und die Streichlängen gemäß Tabelle 2-5. Die angegebenen Winkel der Sektoren Θ ergeben sich aus dem Winkel zwischen der Achse des Absperrbauwerkes und den jeweiligen Sektorgrenzen.

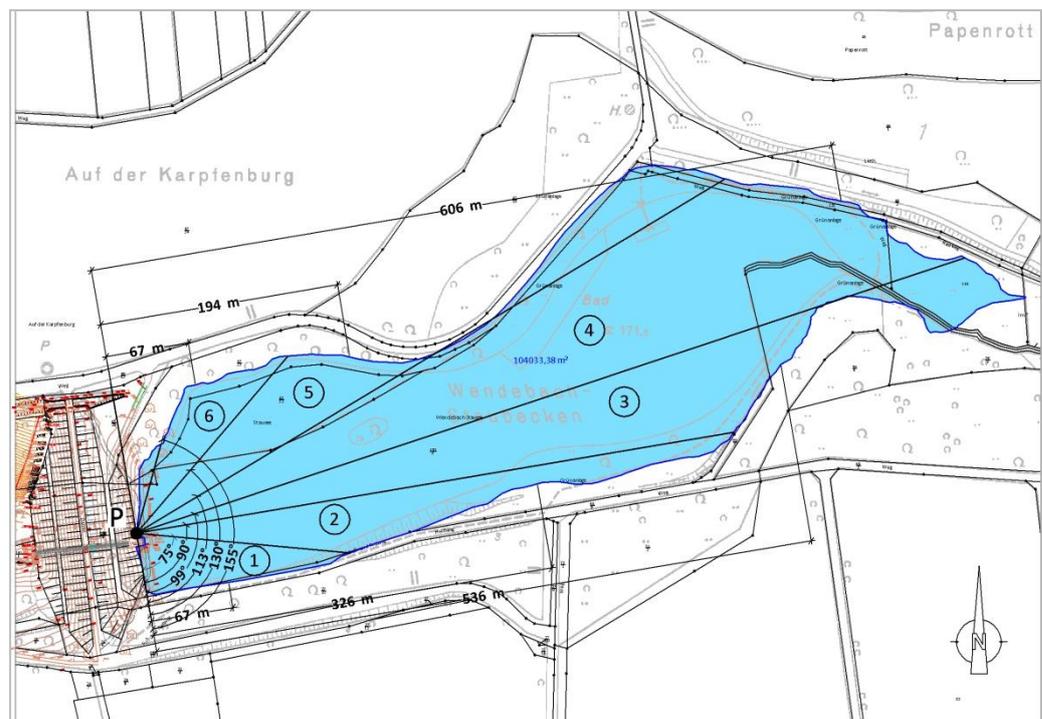


Abbildung 2-1: Streichlängen bei Hochwasserstauziel (BHQ₂) 173,00 mNHN, Grundlage DGM5-Höhen

Ermittlung der Bemessungswindgeschwindigkeit w_{10}

Zur Ermittlung der Windwellenwirkung ist die Bemessungswindgeschwindigkeit w_{10} erforderlich. Für das Absperrbauwerk am Wendebach sind bezüglich der Windgeschwindigkeiten keine Angaben vorhanden. Laut dem DVWK Merkblatt 246 [DVWK, 1997] kann für diesen Fall das Stundenmittel der Windgeschwindigkeiten $w_{10,60\text{min}}$ [m/s] nach Tabelle 2-3 angenommen werden.

Tabelle 2-3: Bemessungswindgeschwindigkeit w_{10} [DVWK,1997]

Höhe [mNN]	Stundenmittel der Windgeschwindigkeit w_{10} [m/s] über einer Wasserfläche, Wiederholungszeitspanne ≥ 25 a					
	windgeschützt		normale Lage		windexponiert	
	von	bis	von	bis	von	bis
200	14	20	20	25	25	28
400	16	21	21	26	26	30
600	18	22	22	28	28	31
800	20	24	24	29	29	34

In Bezug auf die vorherrschenden Westwinde liegt der Abschlussdamm in windgeschützter Lage am westlichen Rand des Staubeckens. Die größten Streichlängen über die freie Wasserfläche ergeben sich vorliegend bei östlichen Winden (s. Abb. 2.1).

Aufgrund der Höhenlage des Bauwerks (rd. 200 mNN bzw. mNHN) und unter der Ansatz einer zur Windrichtung normale Lage des Bauwerks wird für die Freibordberechnung eine Bemessungsgeschwindigkeit von $w_{10,60\text{min}} = 20$ [m/s] angesetzt.

Die Ausreifzeit ist mit $t_{Wi} = 10 \cdot S$ [min] abhängig von der jeweiligen Streichlänge S [km]. Für Seen mit Streichlängen unter 6 km kann das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit w_{10} auf Mittelwerte kürzerer Ausreifzeit mit dem Faktor aus Tabelle 2-4 umgerechnet werden.

Tabelle 2-4: Umrechnung des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit [DVWK,1997]

Streichlänge [km] S	Ausreifzeit [min] t_{Wi}	Faktor für die Umrechnung des Stundenmittels für andere Ausreifzeiten
6	60	1,0
2	20	1,05
1	10	1,1
0,5	5	1,2

Für eine mittlere Streichlänge von 0,5 km ergibt sich eine maßgebende Ausreifzeit von 5 min und somit eine Windgeschwindigkeit von $w_{10,5\text{min}} = 24$ m/s.

Bestimmung der Wellenkennwerte $\overline{h_{We}}$, $\overline{I_{We}}$ und $\overline{T_{We}}$

Zunächst wird die mittlere partielle Wellenhöhe $\overline{h_{We,i}}$ nach Gleichung 2-3 für jeden Sektor i berechnet. Anschließend wird diese mit Hilfe des Spektralfaktors a_i gewichtet und nach Gleichung 2-4 die mittlere Wellenhöhe $\overline{h_{We}}$ bestimmt.

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

mit

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

Gl. 2-3

$$\overline{h_{We}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i \cdot \overline{h_{We,i}}^2)}$$

Gl. 2-4

Die Auswertung der Gleichung 2-3 ist für verschiedene Windgeschwindigkeiten in Wertetabellen in den Anlagen des DVWK Merkblattes 246 [DVWK, 1997] zusammengestellt. Die Werte für die Windgeschwindigkeit $w_{10} = 20$ m/s sind in der dortigen Anlage 3 dargestellt und werden von dort übernommen.

Die mittlere Wassertiefe d_i ergibt sich aus der Differenz des Hochwasserstauziels von 173,00 mNHN zur Lage der Beckensohle, die nach HEIDT & PETERS (2006) im Mittel auf 169,25 mNHN liegt.

$$d_i = 173,00 - 169,25 = 3,75 \text{ m}$$

Die aus der Anlage 3 DVWK, 1997 übernommenen Wellenhöhen wurden für die vorliegenden Streichlängen linear interpoliert und durch Umrechnung dieser Werte auf $w_{10} = 24$ m/s mit dem Faktor $24/20 = 1,2$ erhöht. Die sich daraus für die einzelnen Streichlängen S_i der jeweiligen Sektoren ergebenden mittleren partiellen Wellenhöhen $\overline{h_{We,i}}$ sind in Tabelle 2-5 zusammengefasst.

Tabelle 2-5: Berechnung der mittleren partiellen Wellenhöhen $\overline{h_{we,i}}$ für die verschiedenen Sektoren

Sektor	Streichlänge	mittlere Wassertiefe	mittl. partielle Wellenhöhe	
	S_i [m]		d_i [m]	$h_{we,i}$ [m]
1	67	3,75	0,097	0,116
2	326	3,75	0,215	0,258
3	536	3,75	0,267	0,321
4	606	3,75	0,281	0,337
5	194	3,75	0,168	0,201
6	67	3,75	0,097	0,116

Die Spektralfaktoren a_i zur Wichtung der zur Wellenbewegung beitragenden Energieanteile der einzelnen Sektoren lassen sich nach Gleichung 2-5 bestimmen.

$$a_i^* = \frac{\Theta_i}{180^\circ} - \frac{\sin(2 \cdot \Theta_i)}{2 \cdot \pi}$$

Gl. 2-5

Die sich laut Gleichung 2-5 für verschiedenen Winkel der Sektoren Θ_i ergebenden Spektralfaktoren a_i sind ebenfalls in Wertetabellen in der Anlage 2 des DVWK Merkblattes [DVWK, 1997] zusammengestellt. Die sich für die Sektoren des Staubeckens Wendebach ergebenden Spektralfaktoren sowie die mit Hilfe der Gleichung 2-4 berechnete mittlere Wellenhöhe $\overline{h_{we}}$ sind in Tabelle 2-6 zusammengefasst.

Die zur Berechnung des Wellenaufbaus erforderliche mittlere Wellenperiode $\overline{T_{we}}$ und mittlere Wellenlänge $\overline{l_{we}}$ können mit Hilfe der Gleichung 2-6 und 2-7 bestimmt werden. Die Ergebnisse sind ebenfalls in Tabelle 2-6 dargestellt.

$$\overline{l_{we}} \approx \frac{g \cdot \overline{T_{we}}^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{\overline{l_{we}}}\right)$$

Gl. 2-6

$$\overline{T_{we}} = \frac{6,2 \cdot w_{10} \cdot \pi}{g} \cdot \left[\frac{g \cdot \overline{h_{we}}}{w_{10}^2}\right]^{0,625}$$

Gl. 2-7

Tabelle 2-6: Berechnung der Spektralfaktoren a_i und der partiellen Wellenhöhen $\overline{h_{we,i}}$, sowie der mittlere Wellenperiode $\overline{T_{we}}$ und mittlere Wellenlänge $\overline{I_{we}}$

Sektor	Winkel	Spektralfaktoren $a_i^* [-]$	Spektralfaktoren $a_i [-]$	d = 3,75 m	
				$h_{we,i} * 1,2 [m]$	$a_i * (h_{we,i} * 1,2)^2 [m^2]$
	0	0			
1			0,1955	0,116	0,0026
	75	0,3371			
2			0,1629	0,258	0,0108
	90	0,5000			
3			0,0991	0,321	0,0102
	99	0,5991			
4			0,1427	0,337	0,0162
	113	0,7418			
5			0,2799	0,201	0,0113
	130	0,8790			
6			0,1040	0,116	0,0014
	155	0,9830			
				Summe [m ²]	0,0525
				$\overline{h_{we}} [m]$	0,225
				$\overline{T_{we}} [s]$	1,471
				$\overline{I_{we}} [m]$	3,378

Unter Verwendung der Gleichung 2-2 ergibt sich der Wellenauflauf damit zu

$$h_{Au} = 0,8 * 2,4 * (0,225 * 3,378)^{0,5} * \tan 15,9 = 0,48 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{h_{Au} = 0,48 \text{ m}}}$$

2.2 Berechnung des Windstaus h_{Wi}

Der Anteil der Windstauhöhe h_{Wi} des Freibords kann gemäß DVWK Merkblatt [DVWK, 1997] mit Hilfe der empirischen Zuiderseeformel berechnet werden.

$$h_{Wi} = \frac{w_{10}^2 \cdot S \cdot \cos \beta}{4861110 \cdot \bar{d}} \quad \text{Gl. 2-8}$$

mit

\bar{d} = mittlere Wassertiefe [m]

w_{10} = Windgeschwindigkeit 10 m über Wasseroberfläche [m/s]

S = Streichlänge des Windes über Stauoberfläche, Windwirklänge [m]

β = Winkel der maßgebenden Windrichtung und der angesetzten Streichlänge [°]

Für die Talsperre Wendebach gelten folgende Ansätze:

- maximale Streichlänge S : 606 m
- Winkel Windrichtung zur Streichlänge β : 0°
- mittlere Wassertiefe \bar{d} : 3,75 m
- Windgeschwindigkeit für maßgebende Ausreifzeit $w_{10,5\text{min}}$ [m/s]: 24 m/s

Hieraus ergibt sich unter Verwendung der Gleichung 2-8 die Windstauhöhe zu

$$h_{Wi} = (24^2 \cdot 606 \cdot \cos 0) / (4861110 \cdot 3,75) = 0,019 \text{ m}$$

$$\underline{\underline{h_{Wi} = 0,02 \text{ m}}}$$

2.3 Wahl des Freibords

Zusätzlich zum Wellenauflauf und zum Windstau wird vorliegend ein Sicherheitszuschlag berücksichtigt.

Als Sicherheitszuschlag wird

$$\underline{\underline{\text{gewählt: } h_{Sj} = 0,50 \text{ m}}}$$

Der Freibord ergibt sich damit zu

$$f = 0,48 + 0,02 + 0,50$$

$$\underline{\underline{f = 1,00 \text{ m}}}$$

Die Kronenhöhe ergibt sich damit zu 173,00 mNHN + 1,0 m = 174,00 mNHN.

Aufgrund der überwiegenden Kubatur des Absperrbauwerkes erfolgt die Bemessung des Freibords einschließlich der Festlegung des Sicherheitszuschlages auf der sicheren Seite liegend (Einzelfallbetrachtung) unter Berücksichtigung der Dammböschung.

3 Zusammenfassung

Für den Umbau der Talsperre Wendebach wird vorliegend auf Grundlage der DIN19700 in Verbindung mit dem DVWK Merkblatt 246 der Freibord berechnet, der sich aus Wellenauflauf, Windstau und einem Sicherheitszuschlag zusammensetzt.

Der Freibord wird ermittelt zu $f=1,00$ m.

verfasst:

Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters mbH

Celle, 5. Juni 2012



Dipl.-Ing. (FH) Frank Gries

4 Quellenverzeichnis

DIN19700 – Deutsches Institut für Normung e.V. (2004): Stauanlagen, Teil 11: Talsperren. 60 S., Berlin.

DVWK – Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (1997): Freibordbemessung an Stauanlagen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft **246**. 21 S.; Bonn.

HEIDT & PETERS- Ingenieurgesellschaft Heidt & Peters mbH. (2006): Sanierung des HRB Wendebach, Ermittlung von Sedimentmengen. Untersuchung im Auftrag des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz; 6 S. + Anlagen [unveröffentlicht]