

Sanierung Kanalanlagen Uppenbornwerke

Anlage 03.02.02.01

Freibordbemessung gemäß DVWK Merkblatt M246 / 1997



Vorhabensträger: Stadtwerke München GmbH
 Emmy-Noether-Straße 2
 80287 München

Entwurfsverfasser: PG-SKUP Bau + Plan / Arnold Consult
 c/o Bau + Plan Ingenieurgesellschaft mbH
 Dorfstraße 39
 81247 München



Fassung Nr. 1 20.09.2024

Projektleitung:	Hans J. Hanke	Tel.: 089 – 818 962 16
Projektleitung stv.:	Markus Hofbauer	Tel.: 089 – 4132705 23
Projektbearbeitung:	Anna Hausner	Tel.: 089 – 818 962 21

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Allgemeines 4
1.1	Lage des Untersuchungsraumes 4
1.2	Grundlagen 5
1.3	Maßgebende Normen 5
1.4	DVWK Merkblatt 246/1997 – Freibordbemessung an Stauanlagen 5
1.5	Berechnungsprogramm 7
1.6	Eingangsgrößen 7
1.6.1	Festlegung der Bemessungswindgeschwindigkeit w_{10} 7
1.6.2	Geometrische Werte der Sektoren 8
1.6.3	Wassertiefe am Damm, mittlere Wassertiefe der Sektoren 9
1.7	Ermittlung der mittleren Wellenhöhe h_{WE} , der mittleren Wellenlänge l_{WE} und der mittleren Wellenperiode T_{WE} 9
1.8	Ermittlung des maßgebenden Wellenaufbaus $h_{Au,x\%}$ 10
1.9	Windstau h_{wi} 10
1.10	Sicherheitszuschläge h_{si} 11
1.11	Freibordbemessung 11
2	Freibordbemessung für die einzelnen Anlagenbereiche 12
2.1	Stauhaltungsdämme Alter Werkkanal 12
2.1.1	Berechnungsgrundlagen 12
2.1.2	Freibordbemessung 14
2.1.3	Ergebnisbeurteilung 15
2.2	Stauhaltungsdämme MIK Haltung 5b 16
2.2.1	Berechnungsgrundlagen 16
2.2.2	Freibordbemessung 18
2.2.3	Ergebnisbeurteilung 19
2.3	Stauhaltungsdämme Moosburger Speichersee 20
2.3.1	Berechnungsgrundlagen 20
2.3.2	Freibordbemessung 25
2.3.3	Ergebnisbeurteilung 26
2.4	Stauhaltungsdämme Haltung 6 27
2.4.1	Stauhaltungsdämme Haltung 6 Abschnitt 1 WKW UP1 bis Beginn Echinger Speichersee 28
2.4.2	Stauhaltungsdämme Haltung 6 Abschnitt 2 Echinger Speichersee 31
2.4.3	Stauhaltungsdämme Haltung 6 Abschnitt 3 Ende Echinger Speichersee bis WKW UP2 35
2.5	Begleitdämme Zulauf Aubach 38
2.5.1	Berechnungsgrundlagen 38
2.5.2	Freibordbemessung 40
2.5.3	Ergebnisbeurteilung 40
3	Nomenklatur 41

4	Verwendete Normen, Regelwerke	42
5	Grundlagen	42
	Abbildungsverzeichnis	42
	Tabellenverzeichnis	43

1 Allgemeines

Die Stadtwerke München GmbH (SWM) betreiben die Wasserkraftanlage Uppenbornwerk 1 (WKW UP1) und Uppenbornwerk 2 (WKW UP2) am Mittlere-Isar-Kanal (MIK) zwischen Moosburg an der Isar und Landshut. Bestandteil dieser Anlage ist u.a. der Alte Werkkanal (AWK), der Mittlere-Isar-Kanal Haltung 5b (MIK H5b), der Moosburger Speichersee und der Mittlere-Isar-Kanal Haltung 6 (MIK H6) mit Echinger Speichersee. Für die Dämme in diesen Bereichen wird der Freibord rechnerisch nachgewiesen und abschnittsweise ein neues Freibord beantragt.

1.1 Lage des Untersuchungsraumes

Abbildung 1 zeigt die Lage des Untersuchungsabschnitts für den Bereich Uppenbornwerk 1.



Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets (Quelle: BayernAtlas)

Abbildung 2 zeigt die Lage des Untersuchungsabschnitts für den Bereich Uppenbornwerk 2.



Abbildung 2: Lage des Untersuchungsgebiets (Quelle: BayernAtlas)

1.2 Grundlagen

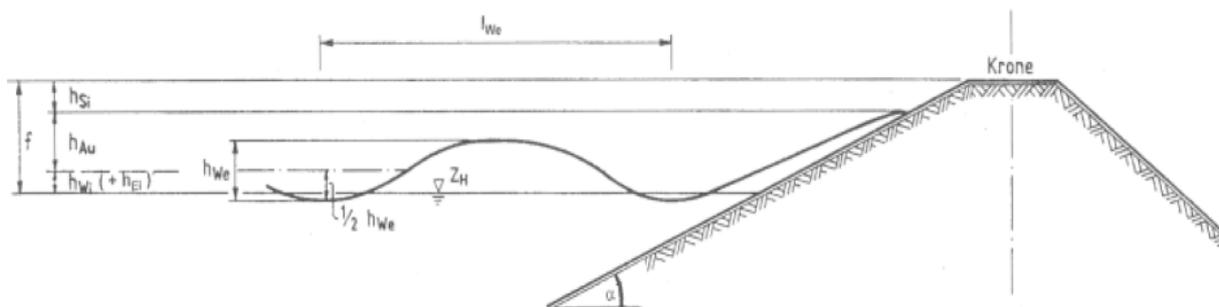
Als Grundlagen für die Bemessung wurden die Bestandspläne (Q1) der Kanalanlagen sowie die aktuellen Vermessungen der Dammanlagen (Q2) und neu berechnete Betriebswasserspiegellagen in der Haltung 6 herangezogen.

1.3 Maßgebende Normen

Als maßgebende Normen wurden die DIN 19700-10:2004-07, DIN 19700-11:2004-07 und DIN 19700-13:2019-06 herangezogen.

1.4 DVWK Merkblatt 246/1997 – Freibordbemessung an Stauanlagen

Für die Freibordbemessung ist aktuell das DVWK Merkblatt 246/1997 gültig. Dieses Merkblatt ist grundsätzlich für Stauanlagen konzipiert.



f	Freibord	h _{si}	Sicherheitszuschlag
h _{we}	Wellenhöhe	l _{we}	Wellenlänge
h _{Au}	Wellenaufwurf	Z _H	höchstes Stauziel
h _{wi}	Windstau	α	Böschungswinkel
h _{Ei}	Eisstau		

Abbildung 3: Abbildung zur Zusammensetzung des Freibords aus DVWK M246 / 1997 (Q1)

In der DIN 19700-13:2019-06 wird im Bemessungshochwasserzufluss BHQ_1 der Nachweis nach DVWK M 246 bzw. ein Mindestfreibord von 1,0 m bei Staustufen der Klasse I und 50 cm bei Staustufen der Klasse II und III nach lateraler Klassifizierung empfohlen. Wird aufgrund der Nachweisführung nach DVWK M 246 ein Freibord gewählt, der die Empfehlung unterschreitet, ist dies zu begründen.

Im vorliegenden Bericht wird der Freibord gemäß DVWK Merkblatt 246 berechnet.

Da der MIK hochwasserfrei ist, ist für den Bemessungsfall der maximale Betriebswasserspiegel anzusetzen.

Windstau und Wellenauflauf

Windstau und Wellenauflauf können nach DVWK-Merkblatt M 246 bestimmt werden (Nr.4.4.e DIN 19700-11 ist dabei zu beachten). Die Bemessungswindgeschwindigkeit zur Ermittlung des Freibords f wird mit einer jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit von $T = 25$ a entsprechend DVWK-Merkblatt M 246 bestimmt.

Eisstau

Unter Eisstau wird nach DVWK M 246 eine Anhebung des Wasserspiegels im Staubecken infolge einer Versetzung bzw. Teilversetzung der Hochwasserentlastungsanlage und/oder des Fließquerschnittes durch Eis verstanden.

Im Allgemeinen schließen sich Wellenauflauf und Windstau einerseits und Eisstau andererseits aus. In der Regel ist der alternativ zu betrachtende Zuschlag in Folge von Wellenauflauf und Windstau maßgebend.

Schwall-Sunk-Berechnung

Über die Turbinensteuerung oder die Verschlussorgane am WKW UP1 und UP2 können Schwall- bzw. Sunkwellen ausgelöst werden, die sich in die Kanalanlagen fortsetzen.

Maßgeblich für die Freibordbetrachtung ist die maximale Höhe des Stauschwalls h_{SuS} , der sich bei maximalem Stauziel und maximaler Durchflussreduktion einstellt.

Am Uppenbornwerk 1 gilt:

Da das Stauziel am Isarwehr und am Uppenbornwerk 1 identisch ist (412,43 m ü.NHN), bedeutet dieser Betriebszustand, dass bei Stauziel maximal die vom Oberlieger ankommende Wassermenge verarbeitet wird – und ggf. durch gleichzeitigen abrupten Ausfall der Turbinen und der Leerschüsse – aufgehalten werden muss.

$$\text{Aus } c = \sqrt{\frac{gA_0}{b_{WSP}}} \sqrt{1 + \frac{3}{2} \frac{h_{SuS} b_{WSP}}{A_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{h_{SuS} b_{WSP}}{A_0} \right)^2}$$

und $c_{abs} = v_0 - c$

folgt die Höhe des Stauschwalls iterativ. Bei dem vorliegenden Trapezprofil im MIK mit einer Sohlbreite von 19 m, einer Böschungsneigung von $m = 1:1,5$ und einer Fließtiefe von 8,47 m

(Sohlhöhe: 403,96 m ü.NHN) resultiert für die abrupte Durchflussänderung ($T = 0$ s) von 130 m³/s auf 0 m³/s ein Stauschwall direkt am Kraftwerk von 0,38 m.

Aus 2D-Simulationen und Messdaten ist bekannt, dass die Höhe der Schwallwelle am Auslaufbauwerk des Moosburger Speichersees aufgrund der Lauflänge im MIK nur etwa 71% des Schwalls am Kraftwerk beträgt (Q3). Die Schwallwelle am Absperrbauwerk 5b beträgt aufgrund von Entlastungen in den Moosburger Speichersee, den MIK und den AWK nur etwa 56% des Schwalls am Kraftwerk (Q3).

Tabelle 1: Peaks der Schwallwelle

Uppenbornkraftwerk 1	Auslaufbauwerk	Absperrbauwerk 5b
38 cm	27 cm	21 cm

Am Uppenbornwerk 2 gilt:

$$\text{Aus } c = \sqrt{\frac{gA_0}{b_{WSP}}} \sqrt{1 + \frac{3}{2} \frac{h_{SuS} b_{WSP}}{A_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{h_{SuS} b_{WSP}}{A_0} \right)^2}$$

$$\text{und } c_{abs} = v_0 - c$$

folgt die Höhe des Stauschwalls iterativ. Bei dem vorliegenden Trapezprofil im MIK mit einer Sohlbreite von 12 m, einer Böschungsneigung von $m = 1:1,5$ und einer Fließtiefe von 8,95 m (Sohlhöhe: 392,46 m ü.NHN) resultiert für die abrupte Durchflussänderung ($T = 0$ s) von 200 m³/s auf 0 m³/s ein Stauschwall direkt am Kraftwerk von 0,69 m. In Richtung Oberwasser wird die Schwallwelle mit Erreichen der Aufweitung in den Echinger Speichersee stark abgeschwächt.

Für beide Kraftwerke gilt, dass die Entlastung der Schwallhöhe über die redundant abgesicherten neuen Antriebe der Leerschüsse und das schnelle Öffnen der Leerschüsse eine getrennte Betrachtung für den Fall „Wellenaufbau und Windstau“ und „max. Schwallwelle durch Ausfall eines Kraftwerks“ rechtfertigt und die Lastfälle nicht superponiert werden.

1.5 Berechnungsprogramm

Neben Berechnungen mit Tabellenkalkulation (MS Excel, 2013) wurde auch das Programm „Freibord – Hydraulik für Stauanlagen, Reinhard Pohl, Version 1.3.0 – (10/2008)“ eingesetzt.

1.6 Eingangsgrößen

1.6.1 Festlegung der Bemessungswindgeschwindigkeit w_{10}

Die Bemessungswindgeschwindigkeit w_{10} ist die in einer Höhe von 10 Metern über der Wasseroberfläche auf den Stauhaltungsdamm gerichtete Windgeschwindigkeit.

Ohne Vorliegen eines meteorologischen Gutachtens kann die Bemessungswindgeschwindigkeit gemäß DVWK Merkblatt 246, Tabelle 1 ermittelt werden, siehe Tabelle 2:

Tabelle 2: Bemessungswindgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Anlagenlage

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

Mit einer Höhenlage des max. Betriebswasserspiegels von 412,43 m ü.NHN am WKW UP1 und 401,406 m ü.NHN am WKW UP2 und einer normalen Lage hinsichtlich der Windexposition kann für die Berechnung eine gemäß Tabelle 2 interpolierte Windgeschwindigkeit von 23 m/s zugrunde gelegt werden. Die Ausreifzeit für den Seegang ist abhängig von der Streichlänge (die vom Wind überstrichene Wasserfläche). Für Seen oder Gewässer mit Streichlängen kleiner 6 km gelten kürzere Ausreifzeiten. Hier ist für die Bemessung das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Streichlänge auf Mittelwerte kürzerer Ausreifzeit mit den Faktoren der folgenden Tabelle 3 umzurechnen.

Tabelle 3: Werte für die Umrechnung des Stundenmittels in Abhängigkeit der Streichlänge

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

Die vom Betrachtungspunkt abhängigen, maßgebenden Windgeschwindigkeiten sind den Ausdrucken in Anlage 03.02.02.02 zu entnehmen.

1.6.2 Geometrische Werte der Sektoren

Die Freibordbemessung ist an den kritischen Stellen zu führen. Da die Windrichtung für einen w_{10} -Fall richtungsungebunden ist, sind die geometrisch ungünstigen Stellen in Zusammenhang von Streichlänge und Wasserfläche zu untersuchen.

Die untersuchten Punkte sowie die Geometrie der einzelnen Sektoren für die Berechnung des Wellenaufbaus sind in den Ausdrucken zur Berechnung dargestellt, siehe Anlage 03.02.02.02.

Weiter sind die Sektoren, die zugehörige Streichlänge des Winds S_i und die Sektorenwinkel zur Ermittlung der Spektralfaktoren a_i (Gewichtung der einzelnen Energieanteile für die Wellenbewegung) in der Tabelle angegeben.

1.6.3 Wassertiefe am Damm, mittlere Wassertiefe der Sektoren

Die Wassertiefe ermittelt sich aus dem max. Wasserspiegel und der mittleren Gewässersohle.

1.7 Ermittlung der mittleren Wellenhöhe h_{WE} , der mittleren Wellenlänge l_{WE} und der mittleren Wellenperiode T_{WE}

Gemäß DVWK M 246 ergeben sich mit den Formeln

$$\boxed{a_i^* = \frac{\Theta_i}{180^\circ} - \frac{\sin(2 \cdot \Theta_i)}{2 \cdot \pi}} \quad \text{und} \quad \boxed{a_i = a_i^* - a_{i-1}^*} \quad (\Theta_i = \text{Winkel zw. Staudamm u. Sektorengrenze})$$

$$\boxed{\overline{h_{WE,i}} = \frac{w_{10}^2 \cdot 0,16}{g} \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{[1 + 0,006 \cdot \sqrt{S_i^*}]^2} \right\}} \quad (4)$$

$$\cdot \tanh \left\{ 0,625 \cdot \frac{(d_i^*)^{0,8}}{1 - \frac{1}{[1 + 0,006 \cdot \sqrt{S_i^*}]^2}} \right\} \quad \text{und} \quad \boxed{d_i^* = \frac{g \cdot \bar{d}_i}{w_{10}^2} \quad \text{und} \quad S_i^* = \frac{g \cdot S_i}{w_{10}^2}} \quad (4a)$$

die mittleren partiellen Wellenhöhen $h_{WE,i}$.

Mit den Formeln

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

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

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

werden die gesuchten Werte für die maßgebenden Punkte berechnet. Die Werte sind der Anlage 03.02.02.02 je Berechnung zu entnehmen.

1.8 Ermittlung des maßgebenden Wellenaufbaus $h_{Au,x\%}$

Der maßgebende Wellenaufbau $h_{Au,x\%}$ berechnet sich mit

$$h_{Au,x\%} = k_D \cdot K_R \cdot k_x \cdot \sqrt{h_{We} \cdot I_{We}} \cdot \tan \alpha$$

Unter Berücksichtigung

- der Überschreitungswahrscheinlichkeit mit $k_x = 2,4$ und $x = 1\%$ für Erddämme (DVWK M 246, Tab. 6),
- der Böschungsrauhheit und Durchlässigkeit mit $k_D \times K_R$ in Abhängigkeit der Böschungsoberfläche,
- $\tan \alpha$ (für $m = 1,5$ bis 2 im Bereich der wasserseitigen Böschung, siehe Querprofile)

ergibt sich die Wellenaufbauhöhe mit 1%iger Überschreitungswahrscheinlichkeit $h_{Au,1\%}$.

Tabelle 4: Beiwert für die Rauheit und Durchlässigkeit der Böschungsoberfläche

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, Asphalttraubauweise	0,60-0,65
Bruchsteinschüttungen	0,55-0,65

Die Berechnung der beiden Betrachtungspunkte erfolgte mit dem Programm „Freibord“. Dieses Programm berechnet den Wellenaufbau und Windstau gemäß DVWK M 246 mit obenstehenden Formeln. Diese Berechnung berücksichtigt eine normale Windrichtung auf die Böschungslinie und daraus resultierenden Wellenaufbau (Sektoren-Nulllinie und Uferlinie fallen dabei zusammen).

1.9 Windstau h_{wi}

Unter Einhaltung der geometrischen Randbedingungen aus Tabelle 7 des Kap. 4.2.6 des DVWK Merkblatt 246 kann für den Windstau ein pauschaler Betrag von 5 cm angesetzt werden. Wenn der Untersuchungsbereich diese Voraussetzung nicht erfüllt, wird die folgende angegebene empirische Zuiderzeeformel verwendet.

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

1.10 Sicherheitszuschläge h_{Si}

Im DVWK Merkblatt 246 sind zum Sicherheitszuschlag h_{Si} , der eine Sicherheit über die bereits berücksichtigte Überschreitungswahrscheinlichkeit hinaus darstellt, keine genauen anzuwendenden Werte bzw. Vorschriften enthalten. Der Sicherheitszuschlag ist individuell zu wählen und soll quantifizierbare Unwägbarkeiten abdecken. Auf der sicheren Seite wird der Sicherheitszuschlag durch einen Betrag ergänzt, um die Summanden der Freibordbemessung zu einem glatten Betrag aufzurunden.

$$h_{Si} = h_{\text{Betrag Aufrunden}}$$

1.11 Freibordbemessung

Das Freibord berechnet sich aus den Summanden Wellenauflauf $h_{Au,x1\%}$, Windstau h_{Wi} und Sicherheitszuschlag h_{Si} .

$$f_{\text{erf}} = h_{Au,1\%} + h_{Wi} + h_{Si}$$

Außerdem erfolgt die Prüfung, ob die Höhe der maximalen Schwallwelle mit dem Freibord abgedeckt ist:

$$f_{\text{erf}} > h_{SuS}$$

2 Freibordbemessung für die einzelnen Anlagenbereiche

2.1 Stauhaltungsdämme Alter Werkkanal

Der Alte Werkkanal ist ein Triebwasserkanal mit durch Schützen geregelter Wasserführung. Bei einem anlaufenden Hochwasser werden die Schützen geschlossen. Damit kann ein natürlicher Hochwasserabfluss im Alten Werkkanal generell ausgeschlossen werden.

Der Alte Werkkanal und der MIK ist ein künstlich beaufschlagtes, ständig fließendes Gewässer, innerhalb dessen Kanalstrecke sich keine mächtige Eisschicht bilden kann. Ein Eisstau ist auch wegen des vorgeschalteten Einlaufbauwerks Alter Werkkanal, dessen Schützen vom Triebwasser immer unterströmt werden, nicht zu erwarten und ist somit nicht maßgebend. Es wird der Freibord für den Wellenauflauf und Windstau berechnet.

2.1.1 Berechnungsgrundlagen

Die Freibordbemessung erfolgte für den Bereich, in dem sich der Kanal im Teileinschnitt bzw. in Dammlage befindet (max. Wasserspiegel im Kanal liegt höher als das Hinterland), siehe Abbildung 4.



Abbildung 4: Übersichtslageplan Alter Werkkanal

Das maximale Stauziel im Alten Werkkanal liegt bei 412,43 m ü.NHN.

Die aktuelle Höhe der Dammkronenschulter im Dammbereich liegt zwischen ca. 413,00 und 413,30 m ü.NHN.

Die Kanalsole fällt im Bereich der Dammanlagen von ca. 407,76 m ü.NHN auf ca. 407,5 m ü.NHN. Für die Berechnung wurde eine mittlere Wassertiefe von 4,9 m angesetzt.

Die Hauptachse des Alten Werkkanals verläuft von Südwest Richtung Nordost. Die maximale Streichlänge des Windes beträgt ca. 2 km in Achse zwischen Einlaufbauwerk Alter Werkkanal und Stichkanal. Der Kanal liegt in einer normalen Lage hinsichtlich der Windexposition.

Der Freibord wurde für die beiden maßgebenden Punkte an den Dammanlagen berechnet, siehe Abbildung 5.

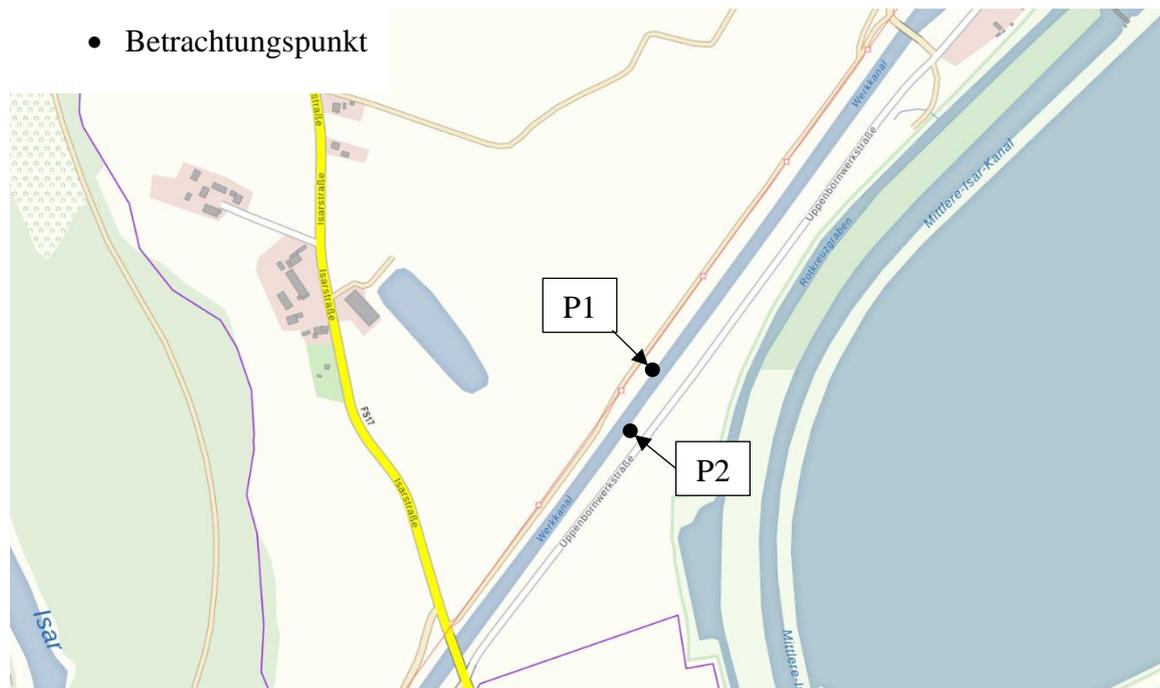


Abbildung 5: Lageplan der Betrachtungspunkte am Alten Werkkanal

Die Böschungsrauheit K_r [-] wurde am Kanal im Böschungsbereich mit Erddamm auf 0,9 gesetzt. Der Böschungsbereich berücksichtigt als Mischfaktor aus 0,8 für Rasen und 1,0 für Böschungsbetonplatten die Kanalböschung mit Böschungsbetonplatten und dann folgenden Rasen.

Folgende Eingangsdaten wurden für die Berechnung gewählt:

Tabelle 5: Eingangswerte Alter Werkkanal - Dammlagen

		P1 und P2
mittleres Stundenmittel der Windgeschwindigkeit	w_{10}	23 m/s
Böschungsrauheit	$K_D \cdot K_r$	0,9
Böschungsneigung	1 : m	1 : 1,5
Bauwerkstyp		Erdstaudamm ohne besondere Befestigung

Folgende Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Sektoreneinteilung für die Wellenaufbauhöhe mit Windstau für den Punkt 2:

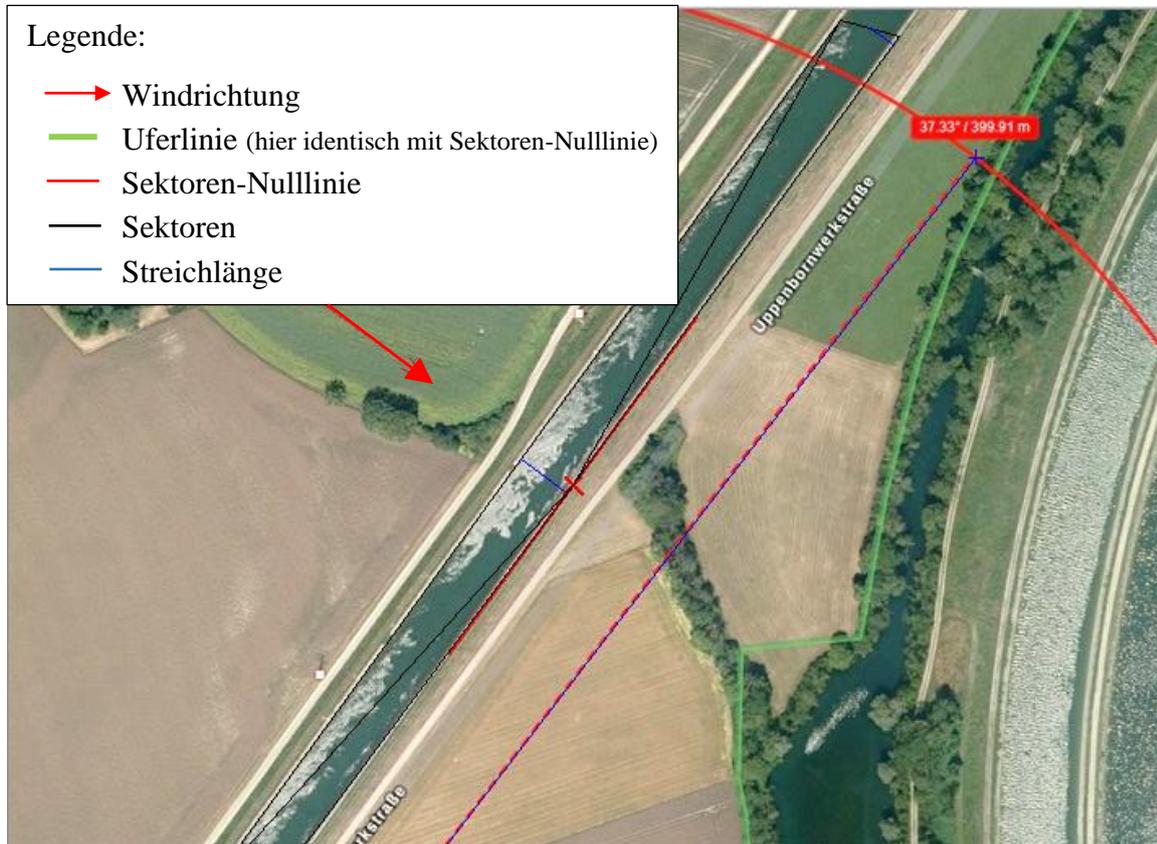


Abbildung 6: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 2

2.1.2 Freibordbemessung

Der erforderliche Freibord für die Dammanlagen am Alten Werkkanal ergibt sich mit den oben ermittelten Summanden wie folgt:

$$f_{\text{erf}} = h_{\text{Au},1\%} + h_{\text{Wi}} + h_{\text{Si}}$$

Zusammenfassend wurden folgende Werte berechnet und mit den vorhandenen Freibordmaßen verglichen, siehe Tabelle 6. Die Berechnungen zu den maßgebenden Punkten sind der Anlage 03.02.02.02 zu entnehmen.

Tabelle 6: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhen am Alten Werkkanal

Maßgebende Betrachtungspunkte			P1	P2
Wellenaufbau	$h_{\text{Au},1\%}$	[m]	0,46	0,50
Windstau	h_{Wi}	[m]	0,05	0,05
Betrag Aufrunden	$h_{\text{Betrag Aufrunden}}$	[m]	0,29	0,25
Freibord SOLL nach DVWK	f	[m]	0,80	0,80
Freibord IST	f_{ist}	[m]	0,80	0,80
Höhe Dammschulter	h_{GOK}	[m ü. NHN]	413,23	413,23

2.1.3 Ergebnisbeurteilung

Auf der sicheren Seite liegend wird ein einheitlicher Freibord f von 80 cm im Dammbereich des Alten Werkkanals festgelegt. Als Begründung für die Unterschreitung des in der DIN 19700-13:2019-06 empfohlenen Mindestfreibords von 1,0 m wird angeführt, dass es sich um einen künstlich beschickten Kanal ohne Hochwassereinleitung handelt.

Es ist außerdem anzumerken, dass am Isarwehr Moosburg und am Wasserkraftwerk Uppenbornwerk 1 das identische Stauziel von 412,43 m ü.NHN vorgeschrieben ist. Zur Aufrechterhaltung eines hydraulischen Gradienten wird daher in der Praxis der Alte Werkkanal unterhalb des Wasserspiegelniveaus von 412,43 m ü.NHN betrieben. Der sich durch die Freibordbemessung ergebende Wert für die Dammoberkante liegt damit auf der sicheren Seite.

Weiter befindet sich ein Überlauf auf Höhe des maximalen Betriebswasserspiegels von 412,43 m ü.NHN am Stichkanalaquädukt, das direkt an den Alten Werkkanal anschließt. Somit kann der max. Betriebswasserspiegel nicht wesentlich überschritten werden.

Die Berechnung aus Wellenauflauf und Windstau inklusive eines Sicherheitszuschlags in Höhe von 25 cm zeigt, dass ein Freibord von 80 cm für die Dammkronen dem Stand der Technik entspricht. Die Höhe der max. Schwallwelle von 21 cm wird mit dem festgelegten Freibord abgedeckt.

Das LRA Freising hat mit Bescheid vom 17.06.2020 für den Dammbereich AWK-km 1+200 bis 2+060 auf Grundlage der Bemessung des erforderlichen Freibords nach DVWK M 246 den Freibord von 80 cm (Dammkronenhöhe 413,23 m ü.NHN) genehmigt. Mit der obigen Freibordbemessung nach DVWK 246 wird ebenfalls ein Freibord von 80 cm für den verbleibenden Bereich in Dammlage (Abschnitt AWK-km 0+890 bis 1+200) festgelegt.

2.2 Stauhaltungsdämme MIK Haltung 5b

Die Kanalanlage Mittlere-Isar-Kanal Haltung 5b wird künstlich beschickt. Bei einer Einleitung der Sempftflut erfolgt gemäß Betriebsvorschrift der Abschlag des Abflusses im Kanal am Auslassbauwerk 5a, das der Haltung 5b vorgeschaltet ist. Ein Hochwasserabfluss in der Haltung 5b ist somit nicht gegeben.

Der MIK H5b ist ein künstlich beaufschlagtes, ständig fließendes Gewässer, innerhalb dessen Kanalstrecke sich keine mächtige Eisschicht bilden kann. Ein Eisstau ist auch wegen des vorgeschalteten Absperrbauwerks 5b, dessen Schütze vom Triebwasser immer unterströmt werden, nicht zu erwarten und ist somit nicht maßgebend.

2.2.1 Berechnungsgrundlagen

Die Freibordbemessung erfolgte für die gesamte Haltung 5b. Der Bereich, in dem sich der Kanal in Dammlage befindet (max. Wasserspiegel im Kanal liegt höher als das Hinterland) ist gesondert gekennzeichnet, siehe Abbildung 7.

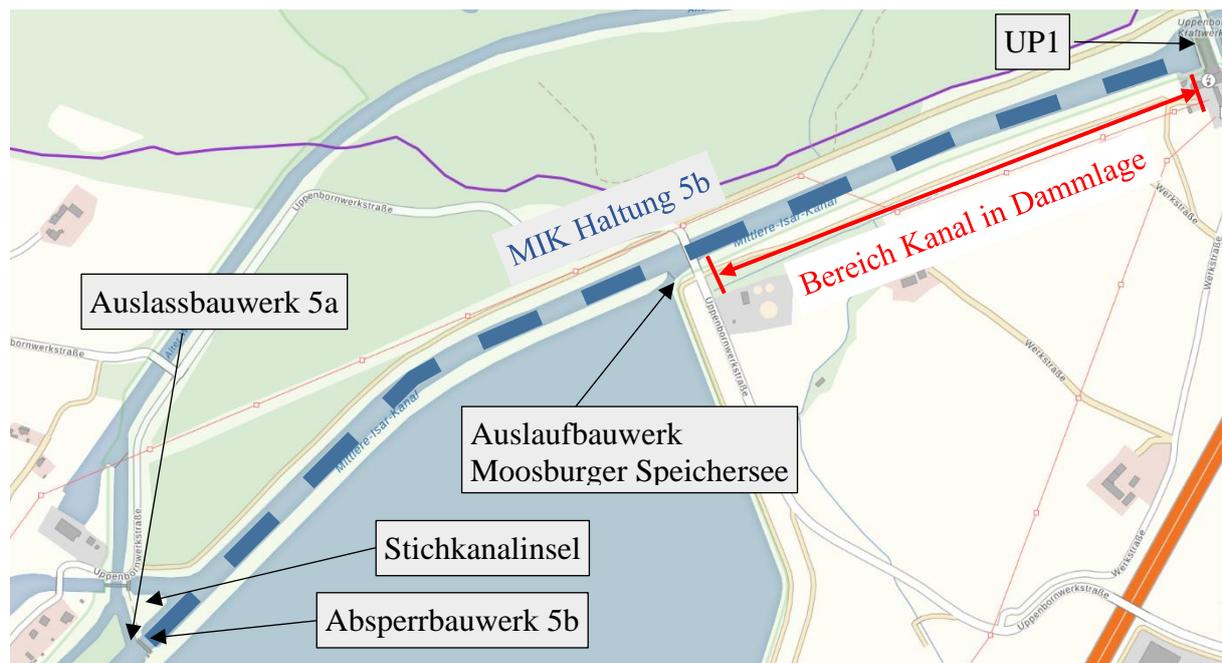


Abbildung 7: Übersichtslageplan MIK H5b

Das maximale Stauziel im Mittlere-Isar-Kanal Haltung 5b liegt bei 412,43 m ü.NHN.

Die Höhe der Dammkronenschulter liegt zwischen ca. 413,62 und 414,05 m ü.NHN.

Die Kanalsole fällt von ca. 404,16 beim Absperrbauwerk 5b auf ca. 403,96 m ü.NHN am Uppenbornkraftwerk 1.

Für die Berechnung wurde eine mittlere Wassertiefe von 8,4 m angesetzt.

Die Hauptachse der H5b verläuft von Südwest Richtung Nordost. Die maximale Streichlänge des Windes beträgt ca. 1,2 km in Achse bis zum Uppenbornwerk 1. Der Kanal liegt in einer normalen Lage hinsichtlich der Windexposition.

Der Freibord wurde für verschiedene, maßgebende Punkte berechnet, siehe Abbildung 8.

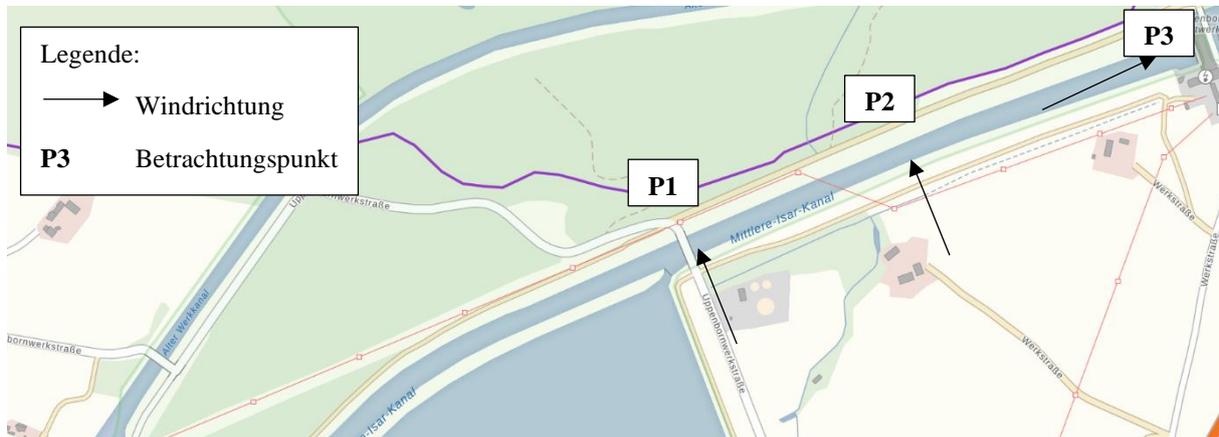


Abbildung 8: Übersicht Berechnungspunkte

Die Böschungsrauheit K_r [-] wurde am Kanal im Böschungsbereich mit Erddamm auf 0,9 gesetzt. Der Böschungsbereich berücksichtigt als Mischfaktor aus 0,8 für Rasen und 1,0 für Böschungsbetonplatten die Kanalböschung mit Böschungsbetonplatten und dann folgenden Rasen.

Folgende Eingangsdaten wurden für die Berechnung gewählt:

Tabelle 7: Eingangswerte MIK H5b

	P1 bis P3
mittleres Stundenmittel der Windgeschwindigkeit	23 m/s
Böschungsrauheit	0,9
Böschungsneigung	1 : 1,5
Bauwerkstyp	Erdstaudamm ohne besondere Befestigung
Bauart des Kronenelements	Damm ohne Wellenumlenker

Folgende Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Sektoreneinteilung für die Wellenaufhöhe mit Windstau für den Punkt 2:

2.2.3 Ergebnisbeurteilung

Auf der sicheren Seite liegend wird ein einheitlicher Freibord f von 1,0 m im Bereich der Stauhaltungsdämme in Haltung 5b festgelegt. Dieser entspricht auch dem empfohlenen Mindestfreibord nach DIN 19700-13:2019-06 für Stauhaltungsanlagen der Klasse I gemäß lateraler Klassifizierung.

Es ist außerdem anzumerken, dass am Isarwehr Moosburg und an der Wasserkraftanlage Uppenborn 1 das identische Stauziel von 412,43 m ü.NHN vorgeschrieben ist. Zur Aufrechterhaltung eines hydraulischen Gradienten wird daher in der Praxis der Mittlere-Isar-Kanal unterhalb des Wasserspiegelniveaus von 412,43 m ü.NHN betrieben. Der sich durch die Freibordbemessung ergebende Wert für die Dammoberkante liegt damit auf der sicheren Seite.

Die Berechnung aus Wellenauflauf und Windstau inklusive eines Sicherheitszuschlags in Höhe von 46 cm (Aufrunden für Freibordempfehlung nach DIN 19700-13:2016-06; technisch nicht erforderlich) zeigt, dass ein Freibord von 1,0 m für die Dammkronen dem Stand der Technik entspricht. Die Höhe der max. Schwallwelle von 38 cm wird mit dem festgelegten Freibord abgedeckt.

2.3 Stauhaltungsdämme Moosburger Speichersee

Die Kanalanlage Mittlere-Isar-Kanal Haltung 5 wird künstlich beschickt. Bei einer Einleitung der Sempflut erfolgt gemäß Betriebsvorschrift der Abschlag des Abflusses im Kanal am Auslassbauwerk 5a. Eine Hochwassereinleitung in den Moosburger Speichersee ist somit nicht gegeben.

Der Moosburger Speichersee wird aktuell ständig durchflossen. Aufgrund der geringen mittleren Fließgeschwindigkeit ist jedoch in extremen Wintern mit Eisbildung auf dem See zu rechnen. Einer Behinderung des Fließquerschnitts, die eine Anhebung des Wasserspiegels über den maximalen Betriebswasserspiegel verursacht, steht entgegen, dass sich der Abfluss am Einlaufbauwerk Moosburger Speichersee zwischen MIK und Speichersee frei aufteilt und der Kanal auf die ankommende Wassermenge dimensioniert ist. Der Abfluss kann sich bei einer Behinderung des Abflusses am Auslaufbauwerk Moosburger Speichersee über den Kanal ausgleichen. Es wird kein Differenzwasserspiegel zwischen Kanal und Speichersee gefahren.

Aufgrund der freien Abflussaufteilung zwischen Kanal und Speichersee ist für die Freibordbemessung der Eisstau nicht maßgebend.

2.3.1 Berechnungsgrundlagen

Der Speichersee wird von einem Mitteldamm, der Speichersee und Mittlere-Isar-Kanal trennt, sowie von einem Außendamm begrenzt, siehe Abbildung 10.



Abbildung 10: Lage des Untersuchungsgebiets (Quelle: BayernAtlas)

Das maximale Stauziel im Moosburger Speichersee liegt bei 412,43 m ü.NHN.

Die aktuellen Dammkronen liegen auf einer Höhe von ca. 413,99 bis 414,41 m ü.NHN.

Die Sohle fällt laut Ausführungsplanung von ca. 409,46 m ü.NHN beim Einlaufbauwerk Moosburger Speichersee in Fließrichtung auf ca. 407,46 m ü.NHN (aus Befliegungsdaten von 2014 bestätigt) am Auslaufbauwerk Moosburger Speichersee.

Die Hauptachse des Sees verläuft von Südwest Richtung Nordost. Die maximale Streichlänge des Windes beträgt ca. 2 km in Achse zwischen Einlaufbauwerk Moosburger Speichersee und Auslaufbauwerk Moosburger Speichersee, siehe Abbildung 11. Der See liegt in einer normalen Lage hinsichtlich der Windexposition.

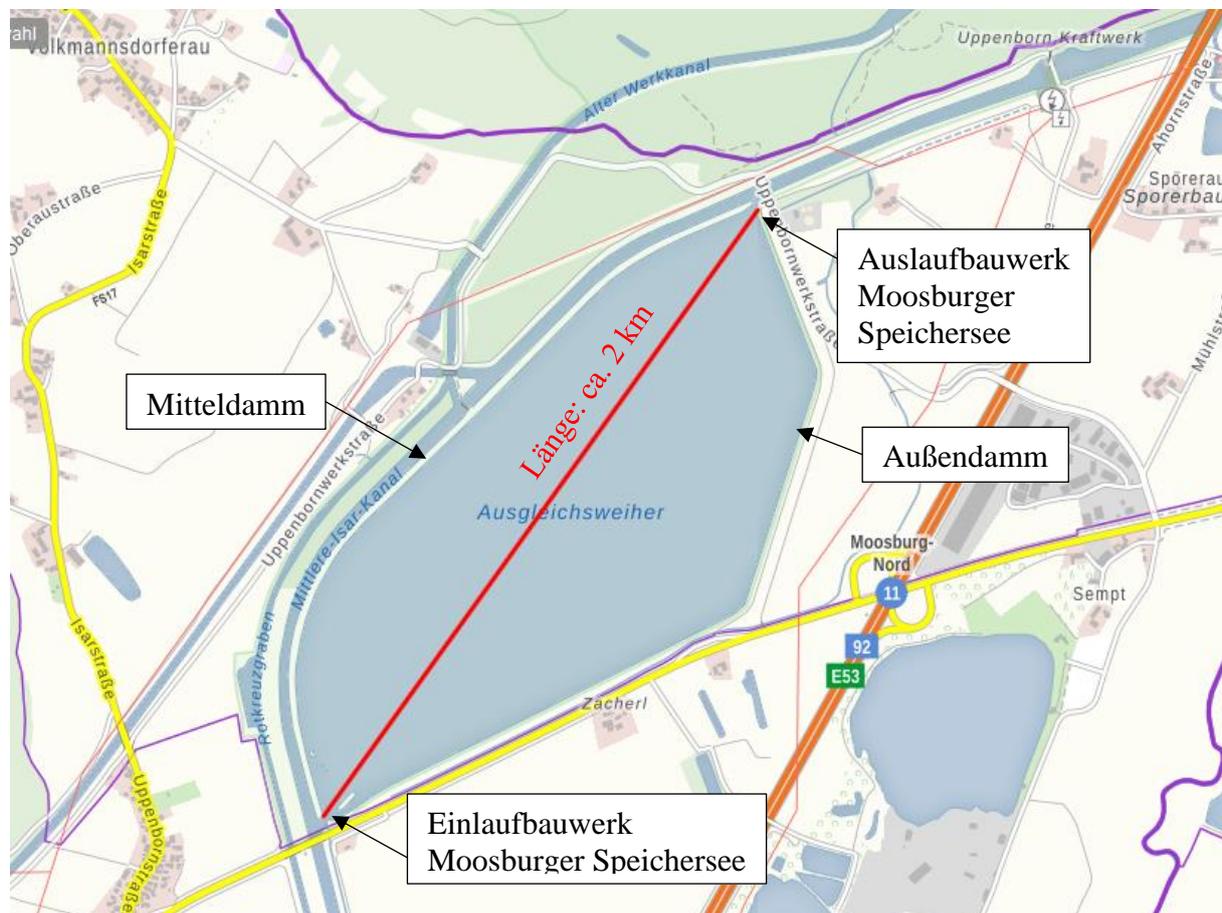
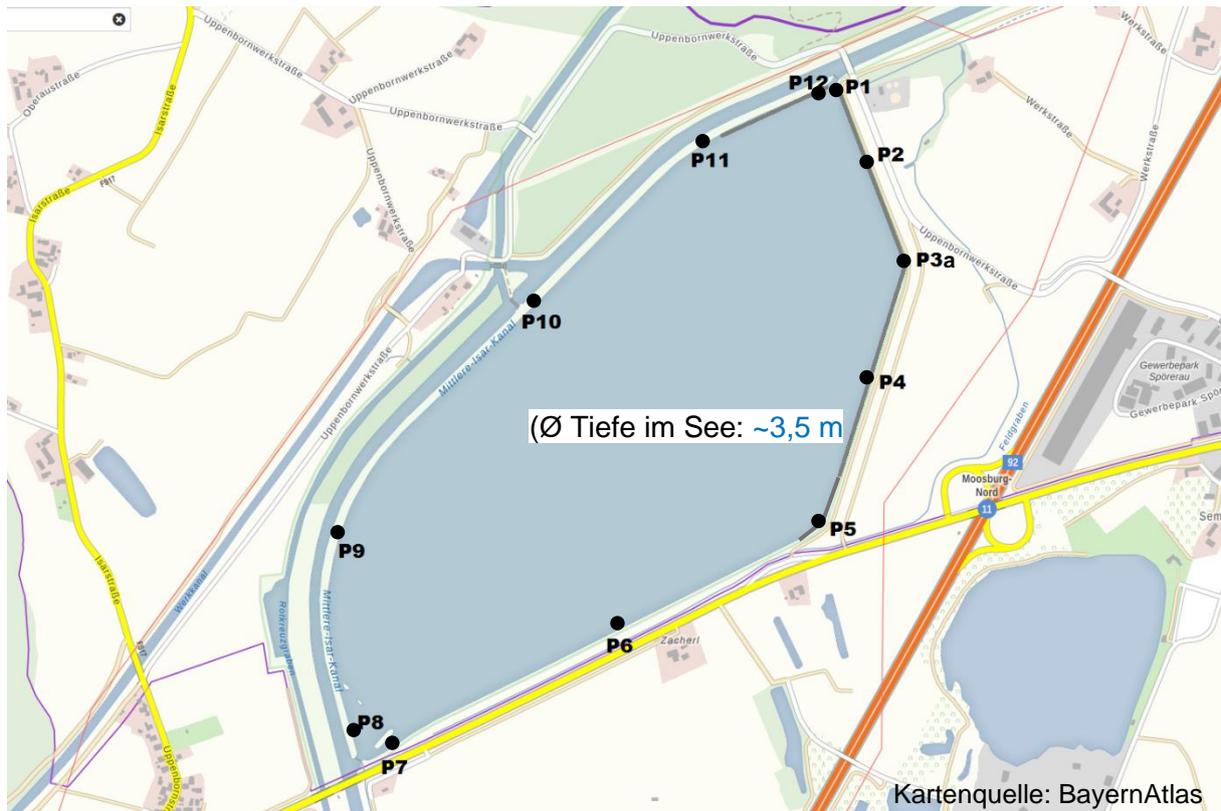


Abbildung 11: Moosburger Speichersee

Die Wassertiefe bei max. WSP = 412,43 m ü.NHN variiert am Damm entlang des Seeufers, siehe Abbildung 12.

Es wird eine mittlere Wassertiefe des Stausees von $d_i = 3,5 \text{ m}$ für alle Sektoren angesetzt.

Da der Speichersee eine unregelmäßige Form aufweist, wurde der Freibord für verschiedene Punkte entlang des Mitteldamms und des Außendamms berechnet, siehe Abbildung 12.



Legende:

- Aufsatzmauer 40 cm
- P4** Betrachtungspunkt

Abbildung 12: Übersichtsplan mit Lage der Betrachtungspunkte und den zugehörigen Seetiefen

Für die Berechnung wurden für jeden Punkt eine normale Windrichtung und eine schräge Windrichtung mit maximaler Streichlänge gewählt. Daraus kann für jeden Punkt der maßgebende Wellenauflauf mit Windstau berechnet werden.

Sanierung Kanalanlagen Uppenbornwerke
 Anlage 03.02.02.01 – Bericht zur Freibordbemessung

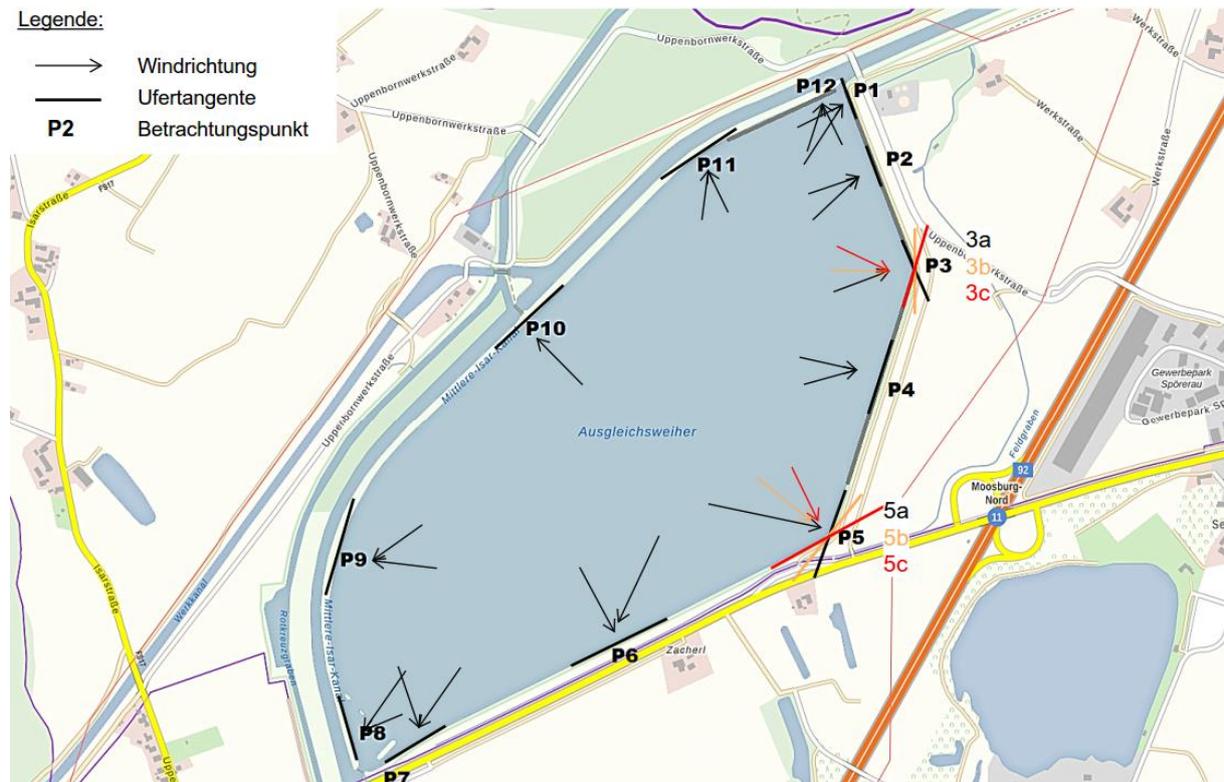


Abbildung 13: Eingangsparameter Windrichtung und Ufertangente

Am Außendamm befindet sich von D-km 1+200 bis 2+400 und am Mitteldamm von MIK K-km 0+600 bis 0+930 eine Aufsatzmauer mit einer Höhe von 40 cm, siehe Abbildung 14. Sie wurde in der Berechnung berücksichtigt.



Abbildung 14: Aufsatzmauer an der Dammkrone

Die Böschungsrauheit K_r [-] wurde an der Böschung mit Erddamm auf 0,9 gesetzt. Die Böschungsrauheit berücksichtigt als Mischfaktor aus 0,8 für Rasen und 1,0 für Böschungsbetonplatten die Dammböschung mit Böschungsbetonplatten und dann folgenden Bewuchs. Im Bereich der Aufsatzmauer wurde die Böschungsrauheit von 1,0 für Böschungsbetonplatten ange-
 setzt. Folgende Eingangsdaten wurden für die Berechnung gewählt:

Tabelle 9: Eingangswerte Moosburger Speichersee

	P1 bis P5 und P12	P6 bis P11
mittleres Stundenmittel der Windgeschwindigkeit	23 m/s	
Böschungsrauheit	1	0,9
Böschungsneigung	1 : 1,5	
Bauwerkstyp	Erdstaudamm ohne besondere Befestigung	
Bauart des Kronenelements	Staudamm mit senkrechter Ufermauer	Damm ohne Wellenumlenker
Höhe des Kronenelements	0,4	-

Folgende Abbildung 15 zeigt beispielhaft die Sektoreneinteilung für die Wellenaufbauhöhe mit Windstau für den Punkt 5b:

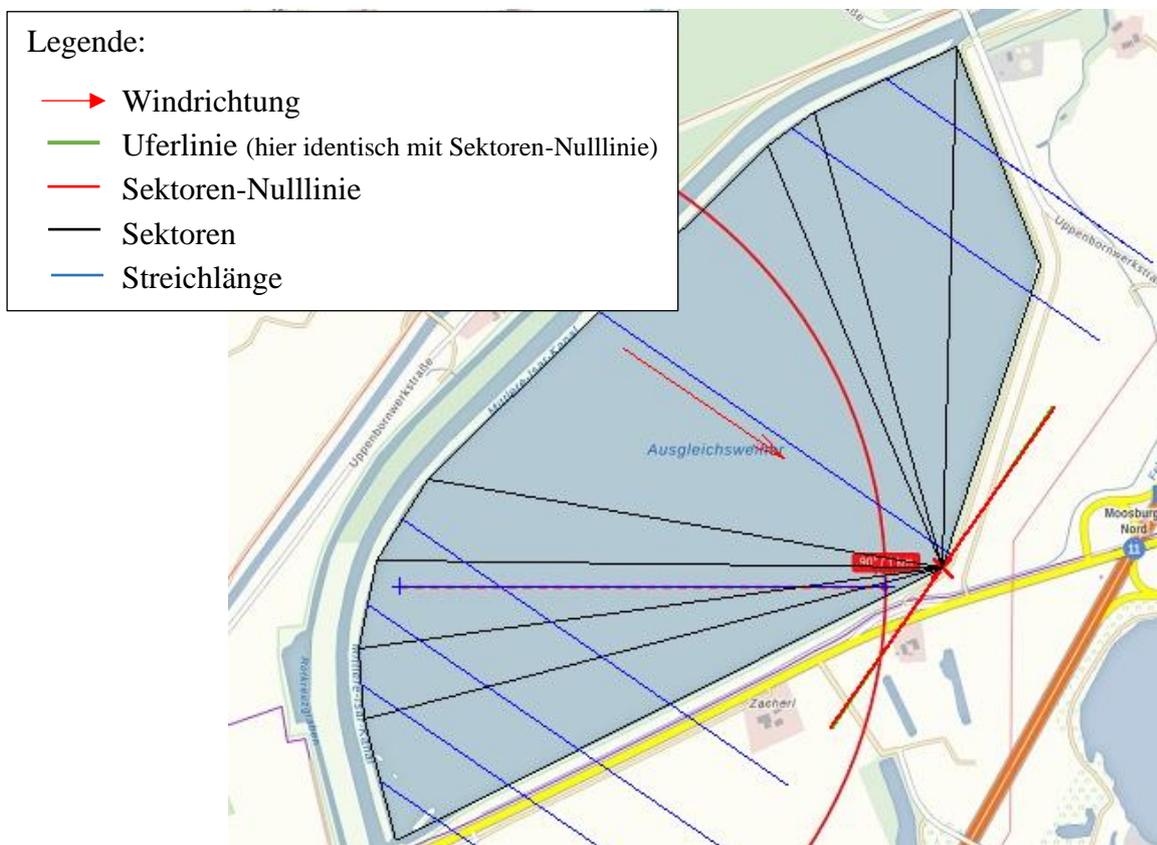


Abbildung 15: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 5b

2.3.2 Freibordbemessung

Der Freibord für den Moosburger Speichersee ergibt sich mit den oben ermittelten Summanden wie folgt:

$$f_{\text{erf}} = h_{\text{Au},1\%} + h_{\text{Wi}} + h_{\text{Si}}$$

Zusammenfassend wurden folgende maßgebende Werte für das Freibord entlang der Dämme am Moosburger Speichersee berechnet und mit den vorhandenen Freibordmaßen verglichen.

Tabelle 10: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe am Moosburger Speichersee

Betrachtungspunkt	Freibord Wellenauflauf + Wind	Freibord IST wasserseitig	Δh erf. Freibord
	[m]	[m]	[m]
P3a	2,39	1,69	0,70
P6	2,27	1,80	0,47
P10	2,26	1,61	0,65

Der höchste Freibord ergibt sich am Moosburger Speichersee am Punkt 3a. Dieser Punkt ist somit maßgebend für die Freibordhöhe am Moosburger Speichersee. Das Freibordmaß setzt sich folgendermaßen zusammen, siehe auch Anlage 03.02.02.02.

Tabelle 11: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhen bei Dammkörper mit Aufsatzmauer $h = 40$ cm

Maßgebende Betrachtungspunkte			P3a
Wellenauflauf	$h_{\text{Au},1\%}$	[m]	2,33
Windstau	h_{Wi}	[m]	0,06
Betrag Aufrunden	$h_{\text{Betrag Aufrunden}}$	[m]	0,01
Freibord SOLL nach DVWK	f	[m]	2,40
Freibord IST	f_{ist}	[m]	1,71
Δh zum erf. Freibord	Δf	[m]	0,69
Höhe Dammschulter	h_{GOK}	[m ü. NHN]	414,14

2.3.3 Ergebnisbeurteilung

Die Berechnung zeigt, dass für die Anlagensicherheit ein rechnerischer Freibord von 2,4 m in Erdbauweise erforderlich ist. Im Bestand ergibt sich damit ein Freiborddefizit von bis zu 70 cm. Eine Dammerhöhung von 70 cm würde umfassende Eingriffe in die Dammgeometrie und somit in die schützenswerten Dammaußenflächen verursachen. Derzeit stellen betrieblichen Maßnahmen durch die Betriebsvorschrift sicher, dass bei Sturmwarnung der Wasserspiegel im Speichersee auf 411,70 m ü.NHN abgesenkt wird. Da der Speichersee künstlich beschickt wird und das Stauziel am Uppenbornwerk 1 jederzeit abgesenkt werden kann, kann die Kompensation des Freiborddefizits durch die betrieblichen Maßnahmen ausgeglichen werden, zusätzlich reduziert sich der Wellenauflauf durch die reduzierte Fließtiefe. Entlang des Außendamms von AD-km 0+000 bis 1+350 wird ein Freibord von 1,80 m und von AD-km 1+350 bis 2+435 ein Freibord von $f = 2,0$ m ohne Eingriff in die landseitigen Dammböschungen hergestellt. In Kombination mit der betrieblichen Maßnahme wird so ein Freibord von 2,53 m sichergestellt.

Am Mitteldamm ist aufgrund der bestehenden schmalen Dammkronenbreite unter Einhaltung der Befahrbarkeit mit $b = 3,0$ m nur eine Dammerhöhung auf ein Freibord von 1,5 m zum Moosburger Speichersee möglich. Da die an den Mitteldamm angrenzenden Wasserflächen im Kanal und Speichersee im Betrieb kein Potentialgefälle aufweisen, wird das Schadenspotential als begrenzt eingeschätzt und von den Empfehlungen der Normen abgewichen. Durch die betriebliche Maßnahme ist ein Freibord von 2,23 m sichergestellt.

2.4 Stauhaltungsdämme Haltung 6

Die Kanalanlage Mittlere-Isar-Kanal Haltung 6 wird maßgebend künstlich beschickt. Die natürlichen Zuflüsse Große Sempt, Kleine Sempt, Aubach und Gleißenbach können Hochwasser führen.

- Große Sempt: $Q_{\max} = 8 \text{ m}^3/\text{s}$ (Auswertung Messdaten von 2012 bis 2021)
- Kleine Sempt: $HQ_{100} = 25 \text{ m}^3/\text{s}$ (Daten von WWA Landshut)
- Aubach: Beschickung über drei PE-Rohre, Ausleitung aus Kleine Sempt
→ kein Hochwasserzufluss
- Gleißenbach: $HQ_{100} = 21 \text{ m}^3/\text{s}$ (Daten von WWA Landshut)

Der max. Abfluss dieser Zuflüsse wird durch die Betriebsvorschrift hinsichtlich Durchfluss und Stauhöhe in der Haltung 6 kompensiert. Ein Überschreiten des max. Stauziels in der H6 ist somit nicht gegeben.

Der Echinger Speichersee wird ständig durchflossen. Aufgrund der geringen mittleren Fließgeschwindigkeit ist jedoch mit Eisbildung am Ufer des Sees zu rechnen. Die Tiefwasserrinne im Echinger Speichersee wurde u.a. für die Gewährleistung eines geschlossenen Wasserwegs bei Eisgang angelegt. Eine Verklauung des gesamten Fließquerschnitts, die eine Anhebung des Wasserspiegels über den maximalen Betriebswasserspiegel verursacht, ist somit nicht gegeben und daher ist für die Freibordbemessung der Eisstau nicht maßgebend.

Das maximale Stauziel bei WKW UP2 liegt bei 401,406 m ü.NHN. Bei maximalem Durchfluss von 200 m³/s ergibt sich eine Wasserspiegeldifferenz im Längsschnitt gemäß 2D-Hydraulikberechnung von 22 cm. An den Betrachtungspunkten wurde der jeweils maximale Wasserspiegel angesetzt.

Die Höhe der Dammkronenschulter liegt in Dammlage gemäß Bescheid auf 402,96 m ü.NHN. Dieser Wert wird an einigen Stellen unterschritten.

2.4.1 Stauhaltungsdämme Haltung 6 Abschnitt 1 WKW UP1 bis Beginn Echinger Speichersee

2.4.1.1 Berechnungsgrundlagen

Der MIK H6 teilt sich in verschiedene Abschnitte hinsichtlich der Lage des Kanals im Bezug zum Hinterland auf. Für die Freibordbemessung wurden die Bereiche gemäß folgender Legende eingeteilt. Der Bereich, in dem sich der Kanal in Dammlage befindet (max. Wasserspiegel im Kanal liegt höher als das Hinterland) ist gesondert gekennzeichnet, siehe folgende Abbildung 16. Für diese Bereiche wurde der maßgebende Betrachtungspunkt gewählt und der Freibord berechnet.

Legende

K-km 3+500 Stationierung Kanal MIK H6

4+050R Untersuchungspunkt Freibordbemessung

 Hochufer / Kanal im Einschnitt → keine Freibordbemessung

 Höhe Deichkrone durch Isarhochwasser bestimmt, keine Freibordbemessung bei Deich > 403,5 m ü.NHN

 Freibord am Stauhaltungsdamm Kanal

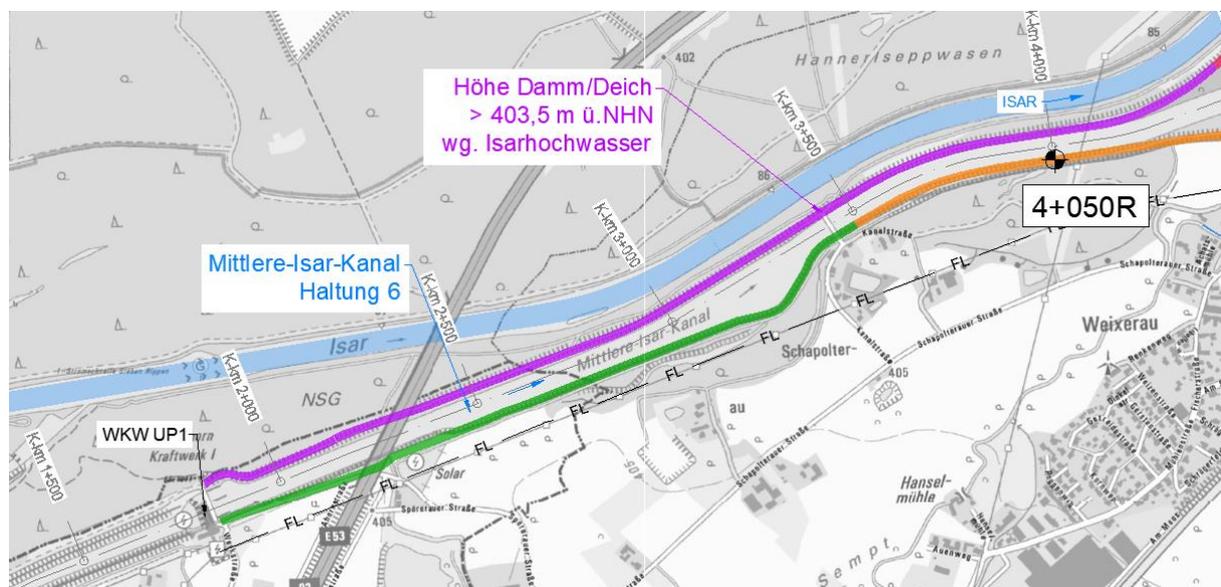


Abbildung 16: Lageplan in Abschnitt 1 des Untersuchungsgebiets

Der maximale Betriebswasserspiegel liegt im Betrachtungspunkt bei 401,56 m ü.NHN.

Die Dammkronenschulter liegt in diesem Abschnitt gemäß Vermessung zwischen 402,78 und 403,21 m ü.NHN.

Die Kanalsohle fällt im Abschnitt 1 von ca. 395,36 beim WKW UP1 auf ca. 395,09 m ü.NHN zu Beginn des Echinger Speichersees (ohne Berücksichtigung von Anlandungen). Für die Berechnung wurde eine mittlere Wassertiefe von 6,45 m angesetzt.

Die Hauptachse des Abschnitts 1 verläuft von Südwest Richtung Nordost. Die maximale Streichlänge des Windes beträgt ca. 75 m in Achse über die Wasseroberfläche. Der Kanal liegt in einer normalen Lage hinsichtlich der Windexposition.

Die Böschungsrauheit K_r [-] wurde am Kanal im Anlaufbereich der Welle mit Erddamm auf 0,9 gesetzt. Der Böschungsbereich berücksichtigt als Mischfaktor aus 0,8 für Rasen und 1,0 für Böschungsbetonplatten die Kanalböschung mit Böschungsbetonplatten und dann folgenden Rasen.

Folgende Eingangsdaten wurden für die Berechnung gewählt:

Tabelle 12: Eingangswerte MIK H6 Abschnitt 1

	4+050R
mittleres Stundenmittel der Windgeschwindigkeit	23 m/s
Böschungsrauheit	0,9
Böschungsneigung	1 : 1,5
Bauwerkstyp	Erdstaudamm ohne besondere Befestigung
Bauart des Kronenelements	Damm ohne Wellenumlenker

Folgende Abbildung 17 zeigt die Sektoreneinteilung für die Wellenaufbauhöhe mit Windstau für den Punkt 4+050R:

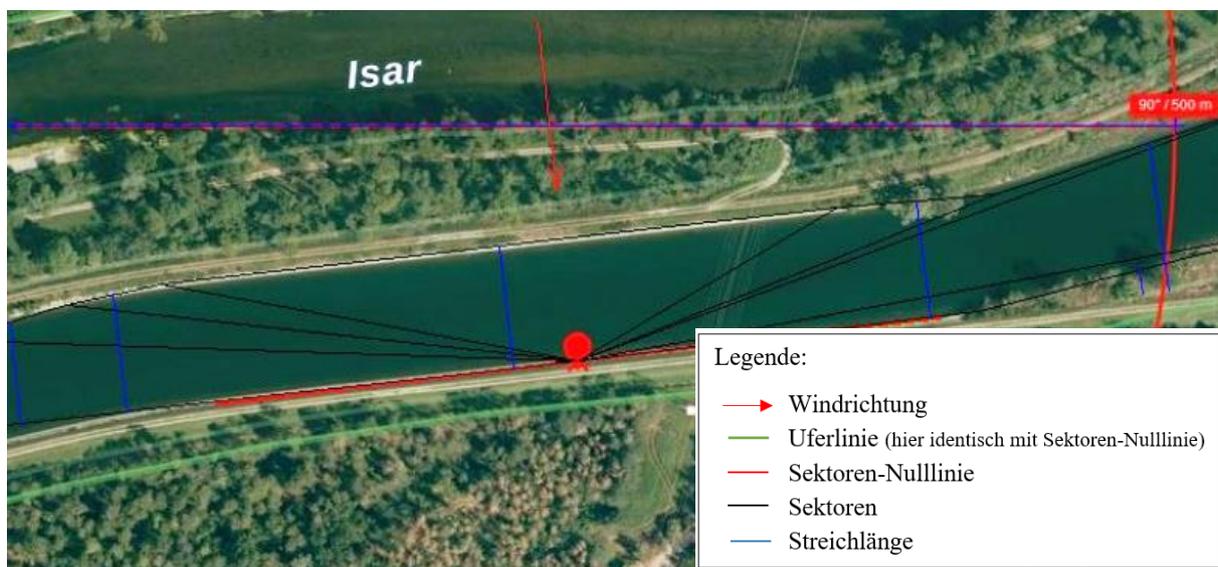


Abbildung 17: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 4+050R

2.4.1.2 Freibordbemessung

Der Freibord für den Stauhaltungsdamm MIK H6 im Abschnitt 1 ergibt sich mit den oben ermittelten Summanden wie folgt:

$$f_{\text{erf}} = h_{\text{Au},1\%} + h_{\text{Wi}} + h_{\text{Si}}$$

Zusammenfassend wurde folgender Wert berechnet und mit dem vorhandenen Freibordmaß verglichen, siehe Tabelle 13. Die Berechnungen zum maßgebenden Punkt sind der Anlage 03.02.02.02 zu entnehmen.

Tabelle 13: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe im Abschnitt 1

Maßgebender Betrachtungspunkt			4+050R
Wellenauflauf	$h_{\text{Au},1\%}$	[m]	0,65
Windstau	h_{Wi}	[m]	0,05
Betrag Aufrunden	$h_{\text{Betrag Aufrunden}}$	[m]	0,30
Freibord SOLL nach DVWK	f	[m]	1,00
Freibord IST	f_{ist}	[m]	1,45
Δh zum erf. Freibord	Δf	[m]	-0,45
Höhe Dammschulter	h_{GOK}	[m ü. NHN]	402,95

2.4.1.3 Ergebnisbeurteilung

Auf der sicheren Seite liegend wird ein einheitlicher Freibord f von 1,0 m im Bereich der Stauhaltungsdämme an der Haltung 6 im Abschnitt 1 festgelegt. Dieser entspricht auch dem empfohlenen Mindestfreibord nach DIN 19700-13:2019-06 für Stauhaltungsanlagen der Klasse I gemäß lateraler Klassifizierung.

Die Berechnung aus Wellenauflauf und Windstau inklusive eines Sicherheitszuschlags in Höhe von 30 cm (Aufrunden für Mindestfreibord nach DIN 19700-13:2016-06; technisch nicht erforderlich) zeigt, dass ein Freibord von 1,0 m für die Dammkronen dem Stand der Technik entspricht.

2.4.2 Stauhaltungsdämme Haltung 6 Abschnitt 2 Echinger Speichersee

2.4.2.1 Berechnungsgrundlagen

Der MIK H6 teilt sich in verschiedene Abschnitte hinsichtlich der Lage des Kanals im Bezug zum Hinterland auf. Für die Freibordbemessung am Speichersee wurden die Bereiche gemäß folgender Legende eingeteilt. Der Bereich, in dem sich der Speichersee in Dammlage befindet (max. Wasserspiegel im Speichersee liegt höher als das Hinterland) ist gesondert gekennzeichnet, siehe folgende Abbildung 18. Für diese Bereiche wurden die maßgebenden Betrachtungspunkte gewählt und der Freibord berechnet. Zwar gehört der Abschnitt ab K-km 6+850 noch zum Speichersee, in der Freibordbetrachtung ergeben sich für diesen Dammabschnitt links aufgrund des Windschattens, der kleinen Wasserfläche und der Linkskurve eine Zuordnung zum Abschnitt Kanal/Abschnitt 3.

Legende	
K-km 3+500	Stationierung Kanal MIK H6
5+150R	Untersuchungspunkt Freibordbemessung
	Hochufer / Kanal im Einschnitt → keine Freibordbemessung
	Freibord am Stauhaltungsdamm <u>Kanal</u>
	Freibord am Stauhaltungsdamm <u>Speichersee</u>

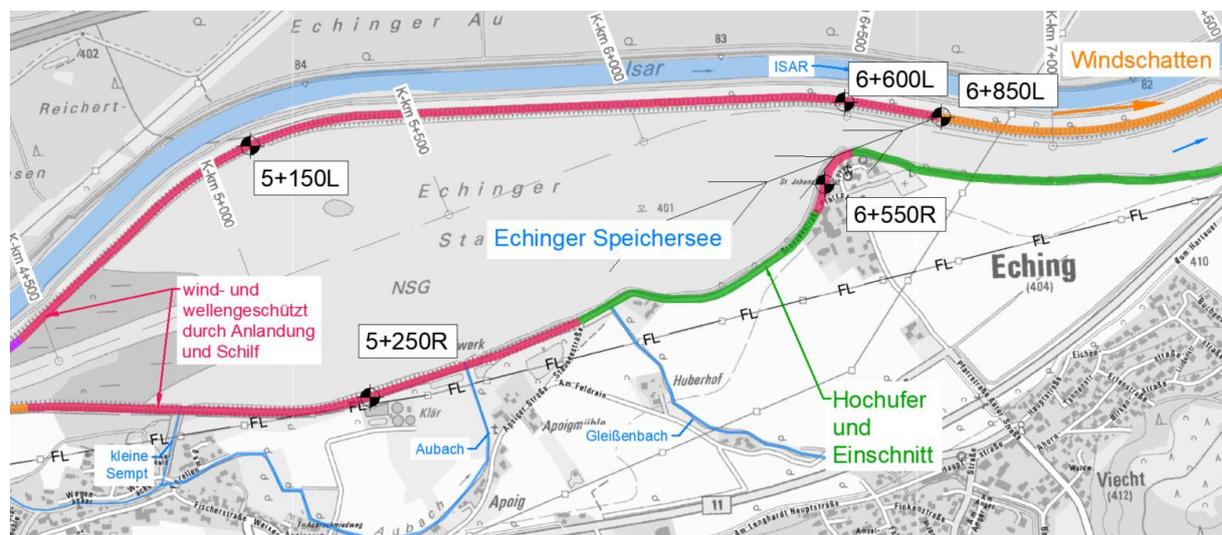


Abbildung 18: Lageplan in Abschnitt 2 des Untersuchungsgebiets

Der maximale Betriebswasserspiegel liegt im Speichersee bei 401,55 m ü.NHN.

Die Dammkronenschulter liegt in diesem Abschnitt gemäß Vermessung rechts zwischen 402,75 und 403,34 m ü.NHN und links zwischen 402,67 und 403,25 m ü.NHN.

Die Kanalsole im Echinger Speichersee in Abschnitt 2 wurde als Tiefwasserrinne ausgebildet. Die Tiefwasserrinne verläuft entlang der Kanalachse und ist 35 m breit und ca. 4,5 m tiefer als die Speicherseesohle. Die Kanalsole bzw. die Sohle der Tiefwasserrinne fällt im Abschnitt 2 von ca. 395,08 am Beginn des Echinger Speichersees auf ca. 394,85 m ü.NHN am Ende des Echinger Speichersees (ohne Berücksichtigung von Anlandungen). Für die Sektoren, die entlang der Tiefwasserrinne verlaufen wurde eine Wassertiefe von 6,7 m angesetzt. Bei max. Stauziel ist der ganze Speichersee mit Wasser bedeckt. Für die Freibordbestimmung wurde die mittlere Wassertiefe seitlich der Tiefwasserrinne auf der sicheren Seite mit 2,3 m angesetzt. Die Hauptachse des Abschnitts 2 verläuft von West Richtung Ost. Die maximale Streichlänge des Windes für den Echinger Hang beträgt ca. 1,6 km in Achse über die Wasseroberfläche. Für den Punkt 6+600L ergibt sich mit 2,2 km die größte Streichlänge, wobei der Wind und der Wellenlauf schräg auf das Ufer treffen. Der Punkt 6+850 wird berechnet, um das für den Freibord maßgebende Ende des Abschnitts 2 festzustellen. Der Echinger Speichersee liegt in einer normalen Lage hinsichtlich der Windexposition.

Die Böschungsrauheit K_r [-] wurde folgend angesetzt:

- Punkt 5+150L – Kiesvorschüttung:
Böschungsrauheit von 0,74 für Kies und Neigung von 1:1,75
- Punkt 6+600L und 6+850L– Böschungsbetonplatten und dann folgender Rasen:
0,9. Der Böschungsbereich berücksichtigt als Mischfaktor aus 0,8 für Rasen und 1,0 für Böschungsbetonplatten die Kanalböschung mit. Die Neigung beträgt 1:1,5
- Punkt 5+400R – Kiesvorschüttung:
Böschungsrauheit von 0,74 für Kies und Neigung von 1:2
- Punkt 6+550R – Kiesvorschüttung:
Böschungsrauheit von 0,74 für Kies und Neigung von 1:2

Folgende Eingangsdaten wurden für die Berechnung gewählt:

Tabelle 14: Eingangswerte MIK H6 Abschnitt 2 Echinger Speichersee

	5+150L	6+600L 6+850L	5+250R	6+550R
mittleres Stundenmittel der Windgeschwindigkeit	23 m/s			
Böschungsrauheit	0,74	0,9	0,74	0,74
Böschungsneigung	1 : 1,75	1 : 1,5	1:75	1:2
Bauwerkstyp	Erdstaudamm ohne besondere Befestigung			
Bauart des Kronenelements	Damm ohne Wellenumlenker			

Folgende Abbildung 19 zeigt beispielhaft die Sektoreneinteilung für die Wellenaufbauhöhe mit Windstau für den Punkt 5+150L:

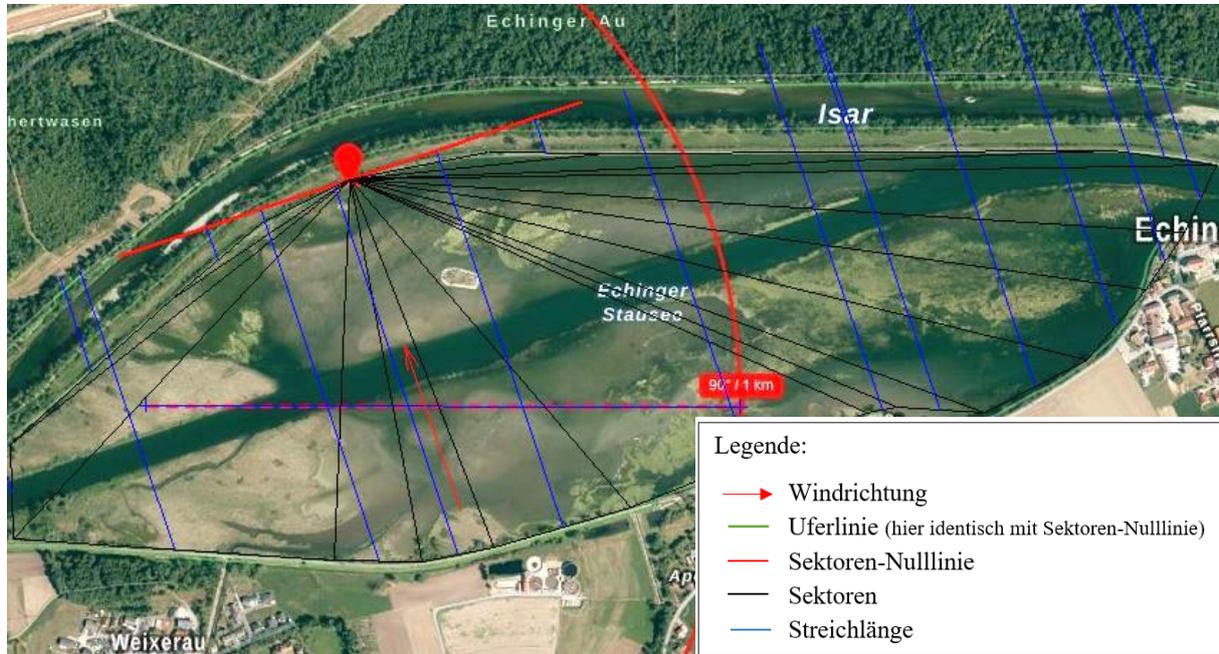


Abbildung 19: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 5+150L

2.4.2.2 Freibordbemessung

Der Freibord für den Stauhaltungsdamm MIK H6 im Abschnitt 2 ergibt sich mit den oben ermittelten Summanden wie folgt:

$$f_{\text{erf}} = h_{\text{Au},1\%} + h_{\text{Wi}} + h_{\text{Si}}$$

Zusammenfassend wurde folgende Werte berechnet und mit dem vorhandenen Freibordmaß verglichen, siehe Tabelle 15. Die Berechnungen zum maßgebenden Punkt sind der Anlage 03.02.02.02 zu entnehmen.

Tabelle 15: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe im Abschnitt 2

Maßgebender Betrachtungspunkt			5+150L	6+600L	6+850L*	5+250R	6+550R
Wellenaufbau	$h_{\text{Au},1\%}$	[m]	1,31	1,06**	0,81	1,31	1,17
Windstau	h_{Wi}	[m]	0,05	0,10	0,05	0,05	0,08
Betrag Aufrunden	$h_{\text{Betrag Aufrunden}}$	[m]	0,04	0,34	0,14	0,04	0,16
Freibord SOLL nach DVWK	f	[m]	1,40	1,40	1,0	1,40	1,40
Freibord IST	f_{ist}	[m]	1,40	1,16	1,17	1,44	0,35
Δh zum erf. Freibord	Δf	[m]	0	0,34	-0,17	-0,04	1,05
Höhe Dammschulter	h_{GOK}	[m ü. NHN]	402,95	402,71	402,72	402,94	401,90

* Dieser Punkt wurde für das Bestimmen des Endes Abs. 2 links nachgewiesen

** unter Berücksichtigung des schrägen Wellenaufbaus

2.4.2.3 Ergebnisbeurteilung

Für den Abschnitt 2 Echinger Speichersee wird ein einheitlicher Freibord von 1,40 m festgelegt. Die Berechnung aus Wellenauflauf und Windstau inklusive eines Sicherheitszuschlags in Höhe von 4 cm zeigt, dass ein Freibord von 1,40 m für die Dammkronen dem Stand der Technik entspricht.

Da bei 6+850L mit schräger Windrichtung über den Speichersee und bei normaler Windrichtung auf die Böschung ein Freibord von $f = 1,0$ m technisch ausreichend ist, wird hier der Übergang des Freibords von Abschnitt 2 mit $f = 1,4$ m zu Abschnitt 3 auf $f = 1,0$ m festgelegt, siehe folgendes Kapitel.

2.4.3 Stauhaltungsdämme Haltung 6 Abschnitt 3 Ende Echinger Speichersee bis WKW UP2

2.4.3.1 Berechnungsgrundlagen

Der MIK H6 teilt sich in verschiedene Abschnitte hinsichtlich der Lage des Kanals im Bezug zum Hinterland auf. Für die Freibordbemessung wurden die Bereiche gemäß folgender Legende eingeteilt. Der Bereich, in dem sich der Kanal in Dammlage befindet (max. Wasserspiegel im Kanal liegt höher als das Hinterland) ist gesondert gekennzeichnet, siehe folgende Abbildung 20. Für diese Bereiche wurde der maßgebende Betrachtungspunkt gewählt und der Freibord berechnet.

Legende	
K-km 3+500	Stationierung Kanal MIK H6
8+050R	Untersuchungspunkt Freibordbemessung
	Hochufer / Kanal im Einschnitt → keine Freibordbemessung
	Freibord am Stauhaltungsdamm <u>Kanal</u>

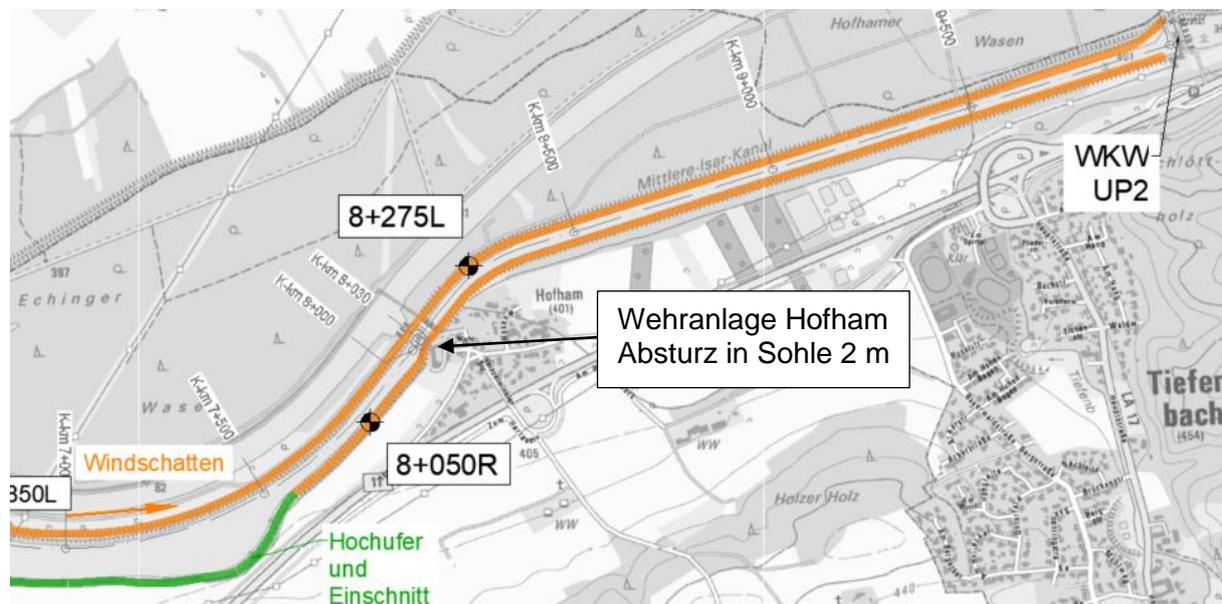


Abbildung 20: Lageplan in Abschnitt 3 des Untersuchungsgebiets

Die Kanalsohle fällt im Abschnitt 3 von ca. 394,85 m ü.NHN am Ende des Echinger Speichersee auf ca. 394,68 m ü.NHN vor dem Absturz an der Wehranlage Hofham. Für die Berechnung wurde eine mittlere Wassertiefe von 6,7 m angesetzt. Nach dem Absturz an der Wehranlage Hofham fällt die Sohle von ca. 392,68 auf ca. 392,64 m ü.NHN am Kraftwerkseinlauf WKW UP2 (ohne Berücksichtigung von Anlandungen). Für die Berechnung wurde eine mittlere Wassertiefe von 8,5 m angesetzt. Die Hauptachse des Abschnitts 3 verläuft von Südwest Richtung

Nordost. Die maximale Streichlänge des Windes beträgt ca. 65 m über die Wasseroberfläche. Der Kanal liegt in einer normalen Lage hinsichtlich der Windexposition.

Die Böschungsrauheit K_r [-] wurde am Kanal im Anlaufbereich der Welle mit Erddamm auf 0,9 gesetzt. Der Böschungsbereich berücksichtigt als Mischfaktor aus 0,8 für Rasen und 1,0 für Böschungsbetonplatten die Kanalböschung mit Böschungsbetonplatten und dann folgenden Rasen.

Folgende Eingangsdaten wurden für die Berechnung gewählt:

Tabelle 16: Eingangswerte MIK H6 Abschnitt 3

	8+050R und 8+275L
mittleres Stundenmittel der Windgeschwindigkeit	23 m/s
Böschungsrauheit	0,9
Böschungsneigung	1 : 1,5
Bauwerkstyp	Erdstaudamm ohne besondere Befestigung
Bauart des Kronenelements	Damm ohne Wellenumlenker

Folgende Abbildung 21 zeigt die Sektoreneinteilung für die Wellenaufbauhöhe mit Windstau für den Punkt 8+050R:



Abbildung 21: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 8+050R

2.4.3.2 Freibordbemessung

Der Freibord für den Stauhaltungsdamm MIK H6 im Abschnitt 1 ergibt sich mit den oben ermittelten Summanden wie folgt:

$$f_{\text{erf}} = h_{\text{Au},1\%} + h_{\text{Wi}} + h_{\text{Si}}$$

Zusammenfassend wurden folgende Wert berechnet und mit dem vorhandenen Freibordmaß verglichen, siehe Tabelle 17. Die Berechnungen zum maßgebenden Punkt sind der Anlage 03.02.02.02 zu entnehmen.

Tabelle 17: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe im Abschnitt 3

Maßgebender Betrachtungspunkt			8+050R	8+275L
	Wellenauflauf	$h_{\text{Au},1\%}$	[m]	0,73
Windstau	h_{Wi}	[m]	0,05	0,05
Betrag Aufrunden	$h_{\text{Betrag Aufrunden}}$	[m]	0,22	0,37
Freibord SOLL nach DVWK	f	[m]	1,00	1,00
Freibord IST	f_{ist}	[m]	1,45	1,33
Δh zum erf. Freibord	Δf	[m]	-0,45	-0,33
Höhe Dammschulter	h_{GOK}	[m ü. NHN]	402,96	402,79

2.4.3.3 Ergebnisbeurteilung

Auf der sicheren Seite liegend wird ein einheitlicher Freibord f von 1,0 m im Bereich der Stauhaltungsdämme an der Haltung 6 im Abschnitt 3 festgelegt. Dieser entspricht auch dem empfohlenen Mindestfreibord nach DIN 19700-13:2019-06 für Stauhaltungsanlagen der Klasse I gemäß lateraler Klassifizierung.

Die Berechnung aus Wellenauflauf und Windstau inklusive eines Sicherheitszuschlags in Höhe von 22 cm (Aufrunden für Mindestfreibord nach DIN 19700-13:2016-06; technisch nicht erforderlich) zeigt, dass ein Freibord von 1,0 m für die Dammkronen dem Stand der Technik entspricht. Die Höhe der max. Schwallwelle mit 69 cm ist mit dem festgesetzten Freibord abgedeckt.

2.5 Begleitdämme Zulauf Aubach

Die Beschickung des Aubachs erfolgt über 3 Rohre mit ca. DN100. Das Wasser stammt aus der Ableitung einer Fischzucht. Es besteht also eine überwiegend künstliche Beschickung des Gewässerabschnitts. Der Aubach hat kein nennenswertes eigenes Einzugsgebiet, sondern wird bei Hochwasser von Ausuferungen des Erlbachs gefüllt. Der Wasserspiegel im Betongerinne spiegelt also den Stauwasserspiegel im Echinger Speichersee wider. Ein Überschreiten des max. Betriebswasserspiegels im Gerinne ist somit nicht gegeben.

Aufgrund des Rückstaus und der geringen mittleren Fließgeschwindigkeit ist Eisbildung im Gerinne möglich. Eine Verkläusung des gesamten Fließquerschnitts, die eine Anhebung des Wasserspiegels über den maximalen Betriebswasserspiegel verursacht, ist durch den im Verhältnis zum Fließquerschnitt sehr geringen Durchfluss nicht gegeben und daher ist für die Freibordbemessung der Eisstau nicht maßgebend.

2.5.1 Berechnungsgrundlagen

Die Berechnung des Freibords erfolgte für den befestigten Gerinnebereich des Aubachs in Dammlage, siehe Abbildung 7.

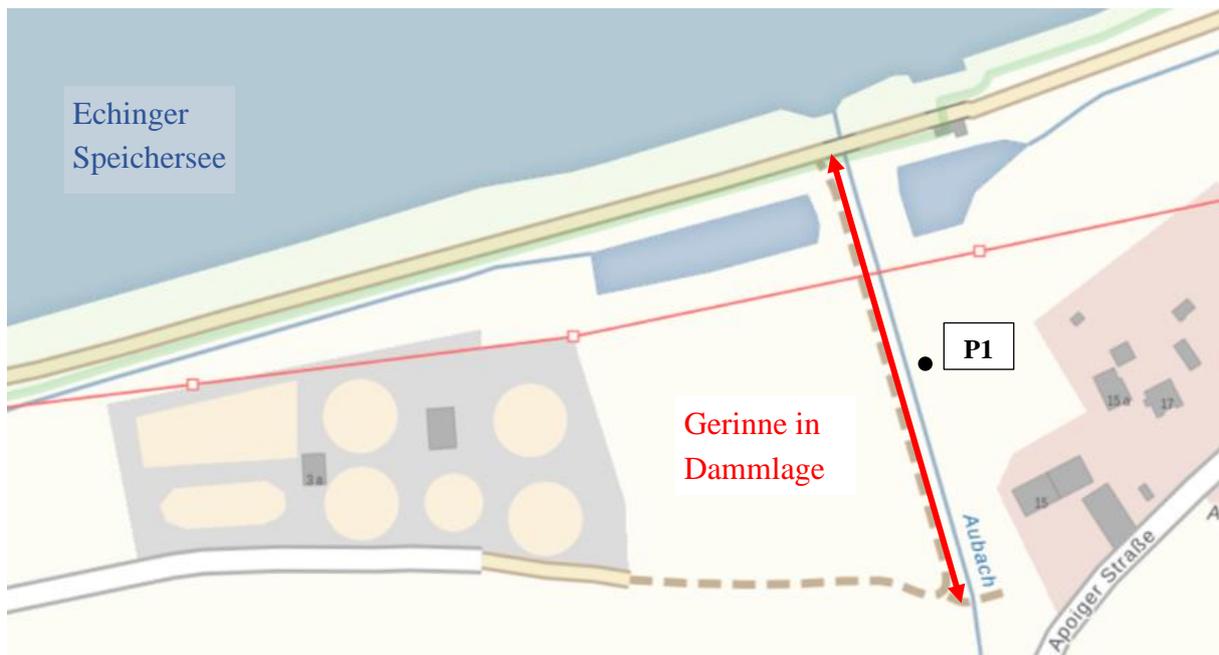


Abbildung 22: Übersichtslageplan Aubach

Der maximale Betriebswasserspiegel der H6 liegt auf Höhe der Mündung des Aubachs bei 401,55 m ü.NHN.

Die Höhe der Dammkronenschulter liegt in Dammlage gemäß Bescheidplänen auf 402,46 m ü.NHN. Dieser Wert wird im befestigten Gerinnebereich durchwegs um ca. 50 cm unterschritten.

Die Gerinnesohle fällt laut Vermessung von ca. 399,90 auf ca. 399,37 m ü.NHN. Für die Berechnung wurde eine mittlere Wassertiefe von 1,9 m angesetzt.

Die Hauptachse des Aubachs verläuft von Süden Richtung Norden. Die maximale Streichlänge des Windes beträgt senkrecht zur Böschung ca. 8 m in Achse über die Wasseroberfläche. Der Kanal liegt in einer normalen Lage hinsichtlich der Windexposition.

Die Böschungsrauheit K_f [-] wurde am Gerinne im Anlaufbereich der Welle mit Betonauskleidung bis OK Damm auf 1,0 gesetzt.

Folgende Eingangsdaten wurden für die Berechnung gewählt:

Tabelle 18: Eingangswerte MIK H6 Abschnitt 1

	P1
mittleres Stundenmittel der Windgeschwindigkeit	23 m/s
Böschungsrauheit	1,0
Böschungsneigung	1 : 1,5
Bauwerkstyp	Erdstaudamm ohne besondere Befestigung
Bauart des Kronenelements	Damm ohne Wellenumlenker

Folgende Abbildung 23 zeigt die Sektoreneinteilung für die Wellenaufbauhöhe mit Windstau für den Punkt P1:

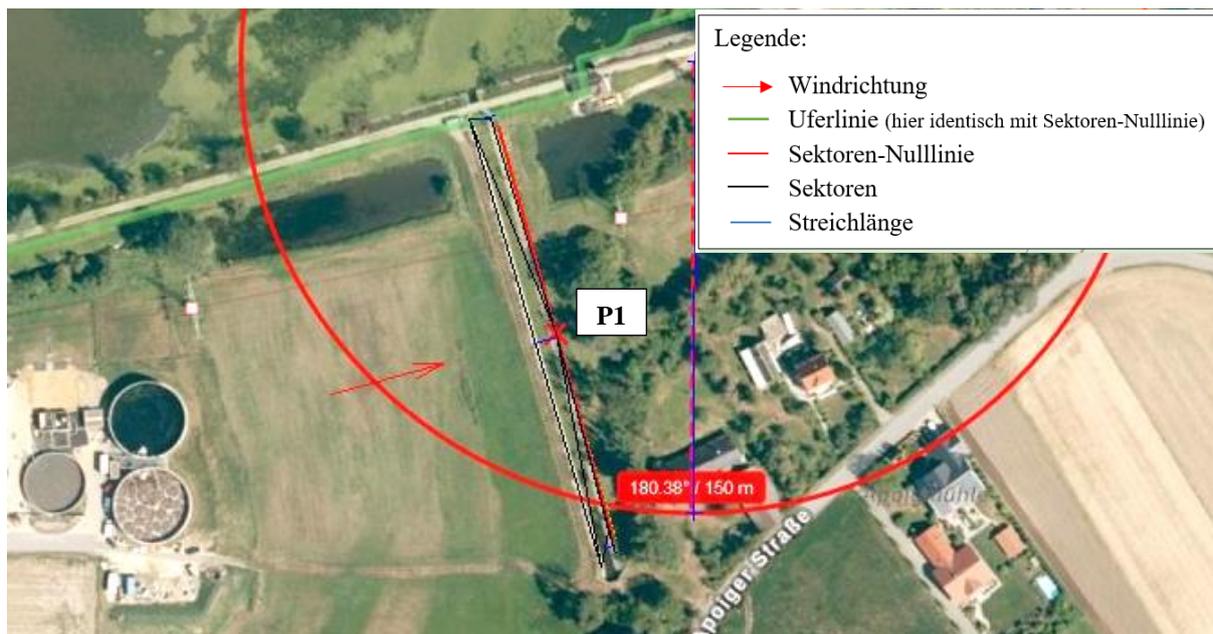


Abbildung 23: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt P1 am Aubach

2.5.2 Freibordbemessung

Der Freibord für den Stauhaltungsdamm Aubach ergibt sich mit den oben ermittelten Summanden wie folgt:

$$f_{\text{erf}} = h_{\text{Au},1\%} + h_{\text{Wi}} + h_{\text{Si}}$$

Zusammenfassend wurde folgender Wert berechnet und mit dem vorhandenen Freibordmaß verglichen, siehe Tabelle 19. Die Berechnungen zum maßgebenden Punkt sind der Anlage 03.02.02.02 zu entnehmen.

Tabelle 19: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe im P1 am Aubach

Maßgebender Betrachtungspunkt			P1
Wellenauflauf	$h_{\text{Au},1\%}$	[m]	0,24
Windstau	h_{Wi}	[m]	0,05
Betrag Aufrunden	$h_{\text{Betrag Aufrunden}}$	[m]	0,11
Freibord SOLL nach DVWK	f	[m]	0,40
Freibord IST	f_{ist}	[m]	0,42
Δh zum erf. Freibord	Δf	[m]	-0,02
Höhe Dammschulter	h_{GOK}	[m ü. NHN]	401,97

2.5.3 Ergebnisbeurteilung

Auf der sicheren Seite liegend wird ein einheitlicher Freibord $f = 40$ cm im befestigten Gerinnebereich des Aubachs festgelegt. Als Begründung für die Unterschreitung des in der DIN 19700-13:2019-06 empfohlenen Mindestfreibords von 0,5 m entsprechend lateraler Klassifizierung der Klasse II wird angeführt, dass es sich um einen künstlich beschicktes Gerinne ohne nennenswerte Hochwassereinleitung handelt.

Die Stauhaltungsdammhöhe beträgt zum landseitigen Dammfuß weniger als 3 m und die angrenzenden Flächen werden ausschließlich landwirtschaftlich genutzt, das Hinterland mit Bebauung rechts liegt erhöht.

3 Nomenklatur

Zusammenfassung nach DVWK M 246 (Q1)

Symbol	Einheit	Erläuterung
α	[°], [rad]	Böschungswinkel
a_i	[-]	Spektralfaktor
A_0	[m ²]	ursprünglicher Fließquerschnitt
b_{WSP}	[m]	Breite Wasserspiegel
c	[m/s]	Ausbreitungsgeschwindigkeit
d	[m]	Wassertiefe am Ort P
\bar{d}	[m]	mittlere Wassertiefe
\bar{d}_i	[m]	mittlere Wassertiefe im Sektor i
f	[m]	Freibordhöhe
g	[m/s ²]	Fallbeschleunigung
h_{Au}	[m]	Wellenaufauhöhe
$h_{Au,x\%}$	[m]	Wellenaufauhöhe mit x% Überschreitungswahrscheinlichkeit
h_{Ei}	[m]	Höhe aus Eisstau
h_{Si}	[m]	Höhe für Sicherheitszuschlag
h_{SuS}	[m]	Höhe Stauschwall
h_{We}	[m]	Wellenhöhe, vertikaler Abstand zwischen Wellenberg und Wellental
$\overline{h_{We}}$	[m]	mittlere Wellenhöhe
$\overline{h_{We,i}}$	[m]	mittlere partielle Wellenhöhe
$\overline{h_{We,x\%}}$	[m]	Wellenhöhe mit x% Überschreitungswahrscheinlichkeit
h_{Wi}	[m]	Höhe aus Windstau
I_{We}	[m]	Wellenlänge
$\overline{I_{We}}$	[m]	mittlere Wellenlänge
i	[-]	Index, Nummerierung von Elementen
$k_D \times k_R$	[-]	Beiwert für die Rauheit und Durchlässigkeit der Böschungsoberfläche
k_x	[-]	Überschreitungswahrscheinlichkeit
m	[-]	Böschungsneigung $m = \cot \alpha$
S	[km]	Streichlänge des Windes über die Stauoberfläche, Windwirklänge
Θ_i	[°]	Winkel zw. Staudamm u. Sektorengrenze
T_n	[a]	Wiederholungszeitspanne
T_{We}	[s]	Wellenperiode, zeitlicher Abstand des Durchganges von zwei aufeinanderfolgenden Wellenbergen am gleichen Ort
$\overline{T_{We}}$	[s]	mittlere Wellenperiode
t_{Wi}	[s], [min]	Ausreifzeit des Seegangs
w_{10}	[m/s]	Bemessungswindgeschwindigkeit 10 m über Wasseroberfläche
X	[-]	Maß für die Überschreitungswahrscheinlichkeit
Z_H	[m ü.NHN]	höchstes Stauziel

4 Verwendete Normen, Regelwerke

- DVWM Merkblatt 246/1997: Freibordbemessung an Stauanlagen
 DIN 19700-10:2004-07: Stauanlagen Teil 10 - Gemeinsame Festlegungen
 DIN 19700-11:2004-07: Stauanlagen Teil 11 – Talsperren, Kap. 4.4 Bemessung von Stauräumen und Stauzielfestlegungen
 DIN 19700-13:2019-06: Stauanlagen Teil 13 – Staustufen; Kap. 6 Stauhaltungs-dämme

5 Grundlagen

- (Q1) Bestandspläne aus dem Archiv der SWM München
 (Q2) terrestrische Vermessung der Dammkronen, GeoPlus 2023, SWM 2015 bis 2020 und Befliegung der Gerinne- und Speicherseesohle 2014
 (Q3) Zweidimensionale hydraulische Simulation instationärer Abflussszenarien in einem Kanal mit Speicherbecken, F. Wemhoff, 2013

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Lage des Untersuchungsgebiets (Quelle: BayernAtlas).....	4
Abbildung 2: Lage des Untersuchungsgebiets (Quelle: BayernAtlas).....	5
Abbildung 3: Abbildung zur Zusammensetzung des Freibords aus DVWK M246 / 1997 (Q1)5	5
Abbildung 4: Übersichtslageplan Alter Werkkanal	12
Abbildung 5: Lageplan der Betrachtungspunkte am Alten Werkkanal	13
Abbildung 6: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 2.....	14
Abbildung 7: Übersichtslageplan MIK H5b	16
Abbildung 8: Übersicht Berechnungspunkte	17
Abbildung 9: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 2.....	18
Abbildung 10: Lage des Untersuchungsgebiets (Quelle: BayernAtlas).....	20
Abbildung 11: Moosburger Speichersee	21
Abbildung 12: Übersichtsplan mit Lage der Betrachtungspunkte und den zugehörigen Seetiefen	22
Abbildung 13: Eingangparameter Windrichtung und Ufertangente.....	23
Abbildung 14: Aufsatzmauer an der Dammkrone	23
Abbildung 15: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 5b.....	24
Abbildung 16: Lageplan in Abschnitt 1 des Untersuchungsgebiets	28
Abbildung 17: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 4+050R.....	29
Abbildung 18: Lageplan in Abschnitt 2 des Untersuchungsgebiets	31
Abbildung 19: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 5+150L.....	33
Abbildung 20: Lageplan in Abschnitt 3 des Untersuchungsgebiets	35
Abbildung 21: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt 8+050R.....	36
Abbildung 22: Übersichtslageplan Aubach.....	38
Abbildung 23: Sektoreneinteilung für die Berechnung für Punkt P1 am Aubach	39

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Peaks der Schwallwelle	7
Tabelle 2: Bemessungswindgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Anlagenlage	8
Tabelle 3: Werte für die Umrechnung des Stundenmittels in Abhängigkeit der Streichlänge ..	8
Tabelle 4: Beiwert für die Rauheit und Durchlässigkeit der Böschungsoberfläche	10
Tabelle 5: Eingangswerte Alter Werkkanal - Dammlagen	13
Tabelle 6: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhen am Alten Werkkanal	14
Tabelle 7: Eingangswerte MIK H5b	17
Tabelle 8: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhen am MIK H5b	18
Tabelle 9: Eingangswerte Moosburger Speichersee	24
Tabelle 10: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe am Moosburger Speichersee	25
Tabelle 11: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhen bei Dammkörper mit Aufsatzmauer $h = 40$ cm	25
Tabelle 12: Eingangswerte MIK H6 Abschnitt 1	29
Tabelle 13: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe im Abschnitt 1	30
Tabelle 14: Eingangswerte MIK H6 Abschnitt 2 Echinger Speichersee	32
Tabelle 15: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe im Abschnitt 2	33
Tabelle 16: Eingangswerte MIK H6 Abschnitt 3	36
Tabelle 17: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe im Abschnitt 3	37
Tabelle 18: Eingangswerte MIK H6 Abschnitt 1	39
Tabelle 19: Zusammenfassung der erforderlichen Freibordhöhe im P1 am Aubach	40