

Adressat

**Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt
Westmecklenburg Abteilung Naturschutz
Wasser und Boden**



Dokumententyp
Design Basis

Hamburg,
20. Oktober 2021

Revision
0

HOCHWASSERSCHUTZ BOIZENBURG – SUDE SPERRWERK – STAHLWASSERBAU DESIGN BASIS



Hochwasserschutz Boizenburg – Sude Sperrwerk - Stahlwasserbau

Design basis

REVISIONS-STATUS

Revision	Datum	Ersteller	Prüfer	Genehmigt von	Beschreibung
0	20.10.2021	KNSZ	BR	GZI	Berichtslegung

Projekt-Nr. **301000506**

Kontakt **Karen Schuetz**
Tel. **040 32818-112**
E-Mail **Karen.Schuetz@ramboll.com**

Kontakt **Georg Zinßer**
Tel. **040 32818-182**
E-Mail **Georg.Zinsser@ramboll.com**

INHALT

Tabellen	II
Abbildungen	II
Anlagen	III
Projektunterlagen und Literatur	III
1. Veranlassung	1
2. Berechnungsgrundlagen	2
2.1 Geometrische Randbedingungen	2
2.1.1 Betriebsebene	2
2.1.2 Sperrwerk	2
2.1.3 Tore	3
2.2 Erforderliche Nachweise der Torstahlkonstruktion	3
2.2.1 Einwirkungskombinationen	3
2.3 Kombinations- und Teilsicherheitsbeiwerte	3
2.4 Nutzungsdauer	5
2.5 Materialwahl	5
2.5.1 Stahl	5
3. Wasserstände	6
3.1 Wasserstände in Sude	6
3.2 Bemessungswasserstände der Tore	6
4. Einwirkungen im Endzustand	7
4.1 Eigengewicht	7
4.2 Wasserlasten	7
4.3 Verkehrslasten	7
4.4 Eislasten	7
4.5 Treibgutstoß	8
4.6 Windlasten	8
4.7 Außergewöhnliche Einwirkungen	8
4.8 Nicht zu berücksichtigende Einwirkungen	8
4.9 Reibung	8
4.10 Temperatur	9
4.11 Übersicht der Lastfälle	10
4.12 Übersicht der Lastfallkombinationen	11

TABELLEN

Tabelle 3-1: Wasserstände – Sude gem. [1]	6
Tabelle 3-2: Bemessungswasserstände – Sperrwerk - Flussrichtung	6
Tabelle 4-1: Temperaturlastfälle	9
Tabelle 4-2: Lastfallübersicht auf Hochwasserschutzto	11
Tabelle 4-3: Übersicht Lastfälle Rahmentragwerk	11
Tabelle 4-4: Übersicht der Lastkombinationen zum Nachweis der Tragfähigkeit	12
Tabelle 4-5: Übersicht der Lastkombinationen zum Nachweis der Lagesicherheit	12
Tabelle 4-6: Lastkombination zur Ermittlung des Schließdrucks	12
Tabelle 4-7: Übersicht Lastkombinationen Rahmen	12

ABBILDUNGEN

Abbildung 1-1: Ansicht auf das Sperrwerk	1
Abbildung 2-1: Betriebsebenen	2
Abbildung 2-2: Torabmessungen	3
Abbildung 2-3: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Stahlkonstruktionen im GZ DIN 19704 [24]	4
Abbildung 2-4: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Stahlkonstruktionen im GZT DIN 19704 [24]	4
Abbildung 2-5: Teilsicherheitsbeiwerte für Querschnitte, Bauteile und Anschlüsse, Tabelle 6 DIN 19704 [24]	5
Abbildung 4-1: Eisdruckansatz bei vertikaler Stauwand gem. DIN 19704-1 [24]	8
Abbildung 4-2: Reibungszahlen für Stahlkonstruktionen gem. DIN 19704-1 Tabelle 3 [24]	9
Abbildung 4-3: Reibungszahlen für Stahlkonstruktionen gem. DIN 19704-1 Tabelle 4[24]	9

ANLAGEN

PROJEKTUNTERLAGEN UND LITERATUR

Projektunterlagen

- [1] StALU, Hydrologische Auswertung der Sudewasserstände zwischen 2001 und 2019

Normen / Richtlinien / Fachliteratur

- [2] EAU 2020, 12. Auflage, Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, Ernst & Sohn
- [3] TR HWS-Bau, Technische Rahmenbedingungen – Für die Planung und Bauausführung zum Förderprogramm „Privater HWS“ für Bau- und Anpassungsmaßnahmen des privaten Hochwasserschutzes im hamburgischen Tidegebiet, Stand: 31.07.2008, HPA
- [4] BHFU, Berechnungsgrundsätze für Hochwasserschutzwände, Flutschutzanlagen und Uferbauwerke im Bereich der Tideelbe der Freien und Hansestadt Hamburg, Stand: April 2013, HPA/LSBG
- [5] EAB, 6. Auflage, Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Ernst & Sohn
- [6] DIN EN 1990, 12.2010, Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung;
- [7] DIN EN 1990/NA, 12.2010, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [8] DIN EN 1991-1-7, 12.2010, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen
- [9] DIN EN 1991-1-7/NA, 09.2019, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen – Außergewöhnliche Einwirkungen
- [10] DIN EN 1991-1-1, 12.2010, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- [11] DIN EN 1991-1-1/NA, 12.2010, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
- [12] DIN EN 1991-2, 12.2010, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken
- [13] DIN EN 1991-2/NA, 12.2010, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken
- [14] DIN EN 1992-1-1, 01.2011, Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau

- [15] DIN EN 1992-1-1/NA, 04.2013, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- [16] DIN 19702, 02.2013, Massivbauwerke im Wasserbau – Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit
- [17] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Wasserbauwerke aus Beton und Stahlbetonbau (Leistungsbereich 215) - Ausgabe 2012
- [18] DIN EN 1997-1, 03.2014, Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
- [19] DIN EN 1997-1/NA, 12.2010, Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
- [20] DIN 4085, 08.2017, Baugrund – Berechnung des Erddrucks
- [21] RE-ING, Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten, Bundesanstalt für Straßenwesen, Stand: 12.2019
- [22] ZTV-ING, Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Bundesanstalt für Straßenwesen, Stand: 04.2019
- [23] RIZ-ING, Richtzeichnungen für Ingenieurbauten, Bundesanstalt für Straßenwesen, Stand: 12.2020
- [24] DIN 19704-1, 11.2014, Stahlwasserbauten – Teil 1: Berechnungsgrundlagen
- [25] DIN 19704-2, 11.2014, Stahlwasserbauten – Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung
- [26] Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien), 8. Überarbeitete Auflage, DWA Deutscher Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Stand: 07.2012
- [27] BAW-Empfehlung: Spundwanddickenmessungen in Häfen und an Wasserstraßen: Grundlagen, Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation (ESM), Ausgabe: 2017, Bundesanstalt für Wasserbau
- [28] 5 DIN 19704 als fachspezifische Norm zu DIN EN 1993, Kapitel 5 Stahlwasserbau – neue Entwicklungen, in: Stahlbau Kalender 2015: Eurocode 3 – Grundnorm, Leichtbau, Wiley-VCH Verlag GmbH, 2015

1. Veranlassung

Die Länder Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen und Schleswig-Holstein haben sich im Jahr 2012 zusammen mit der BfG für die Aufstellung einer gemeinsamen Kooperationsvereinbarung zur Verbesserung des Hochwasserabflusses in der unteren Mittelelbe verabredet. Aufgrund der Ergebnisse erteilte das Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt MV dem Staatlichen Amt für Landwirtschaft und Umwelt WM den Auftrag, eine Konzeption zur Verbesserung des Hochwasserschutzes mit weiteren baulichen Maßnahmen, wie z. B. Deichrückverlegungen, Anlage von Flutpoldern oder Erhöhung bestehender Anlagen zu erarbeiten.

Die Planung zur Behebung des Defizits der Hochwasserschutzlinie wurde in zwei Teilprojekte aufgeteilt. Teilprojekt 1 „Rückdeichung Hafendeich“ beinhaltet die Planung der Hochwasserschutzlinie zwischen Hafenmauer Boizenburg bis zum Anschluss an den rechten Sudedeich nördlich der Ortschaft Gothmann.

Teilprojekt 2 „Sude Hochwassersperrwerk“ beinhaltet die Planung eines neuen Hochwassersperrwerks sowie die Erhöhung der Elbedeiche Boizenburg und Mahnkenwerder bis zu Landesgrenze. Das Bauwerk wird ohne Wehrfunktion geplant. Das Sudeabschlussbauwerk übernimmt weiterhin die Funktion des Wehres.

Die Abbildung 1-1 stellt die Ansicht auf das Sude Hochwassersperrwerk von Osten dar. Das Bauwerk setzt sich aus den folgenden Hauptteilen zusammen.

- Sperrwerk – Massivbau
- Stahlbetonbrücke – Massivbau
- Technikgebäude – Massivbau/Mauerwerk
- Spundwandbauwerke/Flügelwände – Stahlwasserbau/Spezialtiefbau
- Hochwasserschutzstore – Stahlwasserbau
- (Spundwandkasten/Baugrube – Spezialtiefbau)

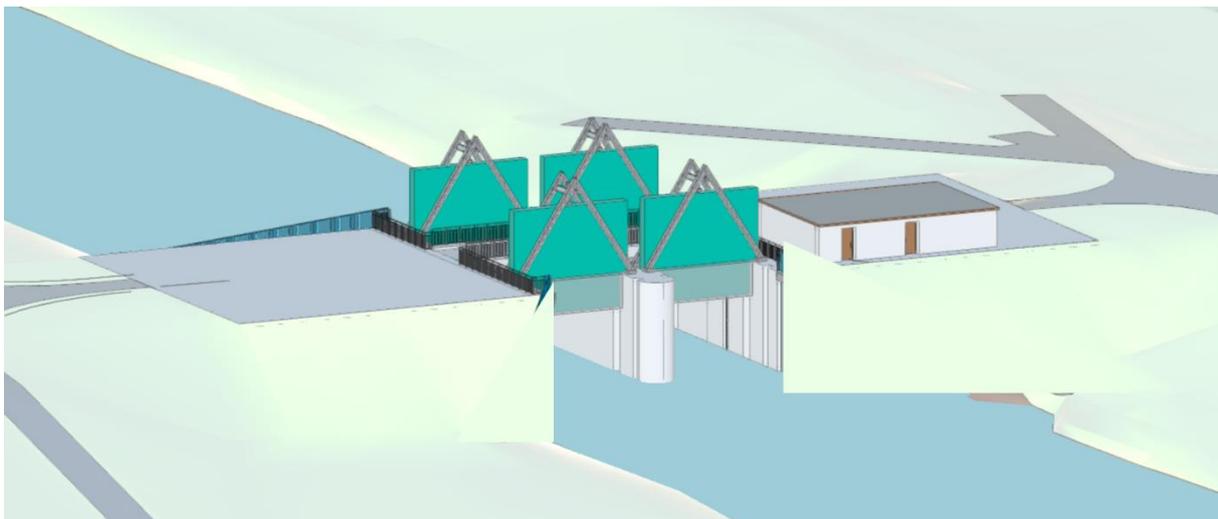


Abbildung 1-1: Ansicht auf das Sperrwerk

Die vorliegende Design Basis befasst sich ausschließlich mit den Berechnungsgrundlagen **der Hochwasserschutzstore, sowie deren Rahmentragwerk** (Stahlwasserbau).

2. Berechnungsgrundlagen

2.1 Geometrische Randbedingungen

2.1.1 Betriebsebene

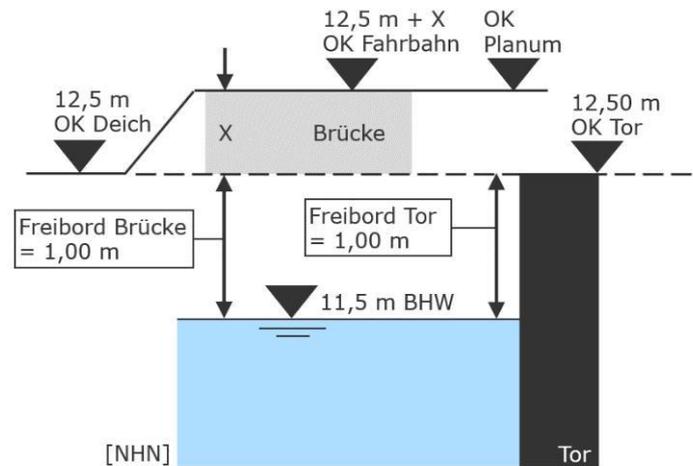


Abbildung 2-1: Betriebsebenen

- OK umliegendes Gelände +7,00 m NHN
- Freibord Tor/Brücke 1,00 m (über BHW)
- OK Deichkrone +12,50 m NHN
- OK HWS-Tor +12,50 m NHN
- UK Brücke +12,50 m NHN
- OK Planum +13,00 m NHN
- Gewässersohle +3,50 m NHN

2.1.2 Sperrwerk

- OK Planum/Brücke +13,00 m NHN
- OK Sperrwerk +12,50 m NHN
- OK Sohle-Sperrwerk +3,50 m NHN
- UK Sohle-Sperrwerk +2,00 m NHN
- Breite Sperrwerk 19,50 m
- Breite Mittelpfeiler 2,50 m
- Breite Außenwand 1,50 m
- lichte Kammerbreite 7,00 m
- Anzahl Kammer 2

- Länge-Sperrwerk 24,20 m
- Achsabstand Tore 15,0 m

2.1.3 Tore

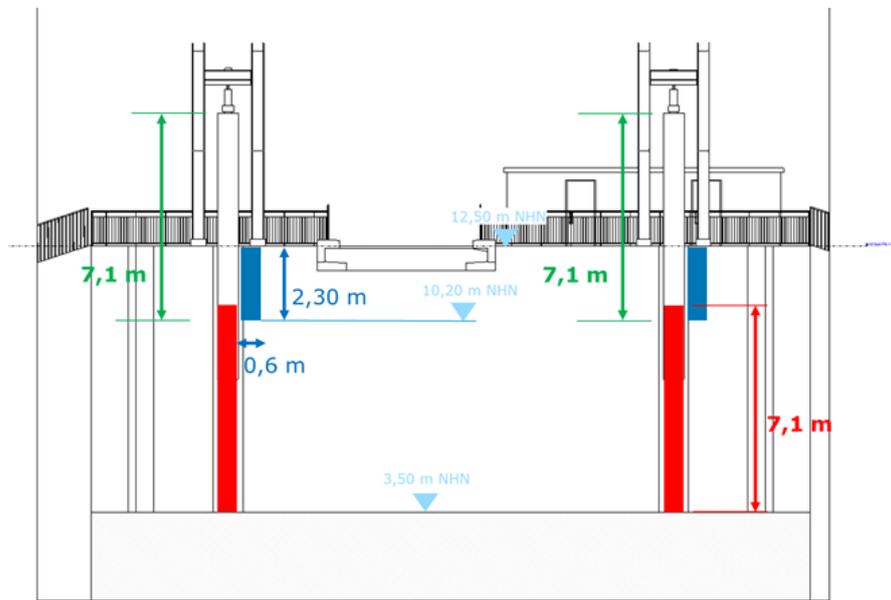


Abbildung 2-2: Torabmessungen

- OK Tor +10,6 m NHN
- UK Tor +3,50 m NHN
- Torbreite 7,00 m
- Torhöhe 7,10 m

2.2 Erforderliche Nachweise der Torstahlkonstruktion

Zugehörig zum Nachweis der Tragsicherheit ist die Lagesicherheit hinsichtlich Auftriebssicherheit und Schwimmstabilität. Der Stabilitätsnachweis ist nach DIN EN 1993-1-7 zu führen. (Druck- und Biegung)

Die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit setzen die Verformungen mit einer Sicherstellung der Beweglichkeit der Tore, sowie deren Dichtwirkung in Zusammenhang. Bei Aufsetzdichtungen muss der Schließdruck mindestens 5 kN/m betragen.

2.2.1 Einwirkungskombinationen

Sind hydrostatische und hydrodynamische Einwirkungen als selten vorkommend einzustufen, können diese auf Vorgabe des Auftraggebers in die Vorübergehende Bemessungssituation eingestuft werden.

2.3 Kombinations- und Teilsicherheitsbeiwerte

Für die Berechnung und Bemessung der Stahlwasserbauten im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) – Versagen des Tragwerks (STR) und dem Nachweis der Lagesicherheit des Tragwerks (EQU) sind die folgenden Kombinations- und

Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 19704 [24], wie in Abbildung 2-3, anzusetzen.

Die Kombinationsbeiwerte dürfen in allen Bemessungssituationen zu 1,0 gesetzt werden.

Nr.	Einwirkungen	Lasten	Siehe Abschnitt	Bemessungssituation				
				Ständig ^a		Vorübergehend ^a		Außergewöhnlich ^{a b c}
				/F _{sup}	/F _{inf}	/F _{sup}	/F _{inf}	/F _A
1	ständig	Eigenlasten	5.1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
2	veränderlich	Hydrostatische Einwirkungen	5.2.1	1,35	1,35	1,25	1,25	1,10
3		Hydrodynamische Einwirkungen	5.2.2					
4		Wasserlast	5.2.3					
5		Änderungen der Stützbedingungen	5.2.8					
6		Eisauflast	5.2.4	1,50	1,50			
7		Verkehrslast	5.2.6					
8		Massenkraft	5.2.7					
9		Eisdruck, Eisstoß	5.2.5			1,35	1,35	
10		Temperatureinflüsse	5.2.9					
11		Schiffsreibung	5.2.10					
12		außergewöhnlich	Einwirkungen bei Transport-, Montage- und Instandhaltungszuständen	5.2.14				
13	Verlust des Auftriebes infolge Leckage der Luftkammer		5.3.1					
14	Einwirkungen von Erdbebenkräften		5.3.3					
15		Einwirkungen des Antriebs im Störfall	5.3.2					/F _A siehe Tabelle 7

^a Veränderliche Einwirkungen sind als gleichzeitig auftretend nach Vorgabe des Auftraggebers nur zu berücksichtigen, wenn ihr Zusammentreffen möglich ist.
^b Von den außergewöhnlichen Einwirkungen Nr. 13 bis Nr. 15 braucht immer nur eine berücksichtigt zu werden.
^c Gegebenenfalls vom Auftraggeber vorzugebende weitere Einwirkungen siehe 5.4.

Abbildung 2-3: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Stahlkonstruktionen im GZ DIN 19704 [24]

Einwirkungen der Antriebe werden mit Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 7 in DIN EN 19704-1 berücksichtigt und sind in Abbildung 2-4 zusammengefasst. Günstige, ständig wirkende Einwirkungen dürfen mit $\gamma_F=1,0$ angesetzt werden.

Nr.	Einwirkung	γ_F
1	Antriebsmomente bei mechanischen Antrieben, durch Zusatzeinrichtungen begrenzt ^a	1,35
2	Bremsmoment im Betrieb	1,35
3	Rechnerischer Betriebsdruck im Hydrauliksystem im Betriebsfall, bezogen auf die Einstellwerte der Druckbegrenzungsventile DV1 und DV2	1,35
4	Antriebsmomente bei Not- und Handantrieben	1,35
5	Motorkippmoment	1,10
6	Bremsmoment beim Nothalt oder im Störfall, z. B. beim Spannungsausfall	1,10
7	Maximaler Betriebsdruck im Hydrozylinder oder Hydromotor im Störfall, bezogen auf den Einstellwert des Druckbegrenzungsventils DV3	1,10

^a Siehe 8.2 und DIN 19704-3.

Abbildung 2-4: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen auf Stahlkonstruktionen im GZT DIN 19704 [24]

Auf der Widerstandseite sind die folgenden Teilsicherheitsbeiwerte anzusetzen:

a) Beanspruchbarkeit von Querschnitten und Bauteilen		
bei Zug- oder Druckbeanspruchung, falls lokales oder globales Stabilitätsversagen ausgeschlossen werden kann	γ_{M0}	1,10
bei lokalem oder globalem Stabilitätsversagen	γ_{M1}	1,10
bei Zugbeanspruchung gegenüber Bruchversagen	γ_{M2}	1,25
b) Beanspruchbarkeit von Anschlüssen		
Bruch von Schrauben, Nieten, Bolzen und Schweißnähten Lochleibung von Blechen	γ_{M2}	1,25
Bruch geschweißter Hohlprofilfachwerkknoten	γ_{M5}	1,10
Bolzen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	$\gamma_{M6,ser}$	1,00
Vorspannung hochfester Schrauben	γ_{M7}	1,10

Abbildung 2-5: Teilsicherheitsbeiwerte für Querschnitte, Bauteile und Anschlüsse, Tabelle 6 DIN 19704 [24]

Für den Nachweis der Lagesicherheit sind gilt:

$$E_{d,stab} \leq R_{d,stab}$$

Dabei sind alle stabilisierenden Einwirkungen mit $\gamma_M = 1,10$ zu multiplizieren, für destabilisierende Einwirkungen ist $\gamma_F = 1,35$ anzusetzen. Der Kombinationsbeiwert ist weiterhin 1,0.

2.4 Nutzungsdauer

Nach DIN 19704-2 [25] Abschnitt 3.1 ist für Stahlkonstruktionen eine Nutzungsdauer von 70 Jahren vorzusehen. Für Maschinenteile beträgt die vorzusehende Nutzungsdauer 35 Jahre. Verschleißteile haben dies nicht zu erfüllen

- Stahlkonstruktionen 70 Jahre
- Maschinenteile 35 Jahre

2.5 Materialwahl

2.5.1 Stahl

Für die Sperrwerk Tore wird eine Mindestdicke von 12 mm vorgegeben. Bei der Stahlwahl ist wo immer möglich auf die Verwendung nichtrostender Stähle zu verzichten. Die Stähle sind mit einer Korrosionsbeschichtung zu versehen. Im Allgemeine ist von einer Stahlgüte S 355 auszugehen.

3. Wasserstände

3.1 Wasserstände in Sude

Die Wasserstände in Sude wurden von dem Auftraggeber für zwei Pegel in der Nähe des Bauorts vorgegeben (vgl.[1]). Die Tabelle 3-1 umfasst die auftretenden Wasserstände in Sude. Für die Berechnungen wird jeweils der ungünstige Wasserstand von beiden Pegeln angesetzt.

Das Sperrwerk im Endzustand ist mit dem Bemessungshochwasserstand für die Elbdeiche nachzuweisen.

Tabelle 3-1: Wasserstände – Sude gem. [1]

Pegel	Wasserstand	
	BP Sudeabschlusswehr	AP SW Gothmann
	m NHN	m NHN
Niedrigwasser (NW) (Datum)	+4,75 (2011)	+5,12 (2010)
Mittleres Niedrigwasser (MNW)	+5,02	+5,26
Mittlerer Wasserstand (MW)	+6,01	+6,11
Mittleres Hochwasser (MHW)	+8,25	+8,27
Hochwasser (HW) (Datum)	+9,81 (2003)	+9,80 (2003)
Bemessungshochwasserstand für Sudedeiche (BHW-BZ) - Bauzu- stand	+10,60	
Bemessungswasserstand für Elb- deiche (BHW-EZ) - Endzustand	+11,50	

3.2 Bemessungswasserstände der Tore

In der folgenden Tabelle sind die zu betrachtenden Wasserstände, zugeordnet zu den jeweiligen Bemessungssituationen aufgeführt.

Tabelle 3-2: Bemessungswasserstände – Sperrwerk - Flussrichtung

Bemessungssituation	Elbewasserstand		Sudewasserstand
	[m NHN]		[m NHN]
BS-P	BHW-EZ	+11,50	+8,50
BS-T	BHW-EZ + Eislast	+11,50	+8,50
	Sude HW - $\Delta h=2m$	+7,81	+9,81
BS-A	bordvoll + Eis	+12,50	+8,50
	BHW-EZ + außergewöhnliche Last	+11,50	+8,50

4. Einwirkungen im Endzustand

4.1 Eigengewicht

Das Materialgewicht ist nach DIN EN 19704-1 [24] anzusetzen.

- $\gamma_{\text{Wasser},k}$ 10 kN/m³
- $\gamma_{\text{Stahl},k}$ 78,5 kN/m³
- $\gamma_{\text{Kunststoffe},k}$ 14,5 kN/m³
- $\gamma_{\text{Eis},k}$ 7,0 kN/m³

Beschichtungen bis 500 μm dürfen durch einen Zuschlag von 10 % der Eigenlast des Verschlusskörpers angesetzt werden. Durch diesen Zuschlag ist auch das zusätzliche Gewicht durch Verschmutzung und Eisauflast abgedeckt. [24]

Das Eigengewicht des Zugzylinders wird zunächst zu 2000 kg angenommen.

Da die Beschleunigung des Torkörpers unter $0,5 \text{ m/s}^2$ liegt, müssen Massenkraften nach [24] nicht berücksichtigt werden

4.2 Wasserlasten

Hydrostatische und hydrodynamische Einwirkungen, die gleichzeitig belastend und entlastend wirken, gelten als eine Einwirkung werden stets mit gleichen Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert.

Die anzusetzenden Wasserstände sind Kapitel 3 Wasserstände zu entnehmen.

4.3 Verkehrslasten

Der Zugang zu den Hubtoren erfolgt über Bedienungsstege die an die vorgelagerten Betonborde angebracht werden. Ein Ansatz auf die Hubtore selbst ist daher nicht notwendig.

4.4 Eislasten

Die Eislasten werden nach DIN 19704-1 (Abs. 5.2.5) [24] ermittelt.

- h_E 0,30 m (Eisdicke)
- p_E 150 kN/m² (Eisdruck)
- P_E 45 kN/m (Eisdruck – Linienlast)
- Linienlast in Höhe des Wasserspiegels anzusetzen

Laut DIN 19702 (Abs. 5.2) [16] ist der Eisdruck in der Bemessungssituation BS-P nachzuweisen.

Die Eislast ist an den Hubtoren hinsichtlich der Stahlwasserbauteile anzusetzen.

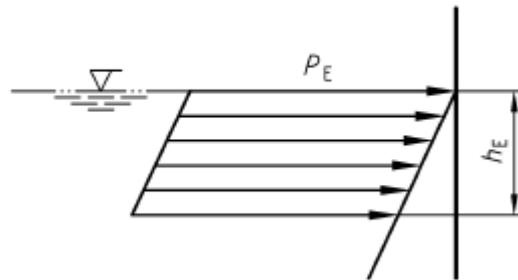


Abbildung 4-1: Eisdruckansatz bei vertikaler Stauwand gem. DIN 19704-1 [24]

Nicht eingetauchte Teile eines Eiskörpers auf oder innerhalb des Verschlusskörpers treten nicht auf. Andernfalls wären diese als vertikale Einwirkung zu berücksichtigen [24].

4.5 Treibgutstoß

Durch die Berücksichtigung des Eisdrucks werden Lasten aus Geschwemmsel und Treibgut als abgegolten angesehen [28].

4.6 Windlasten

Bei der Bemessung der Verschlusskörper ist keine Windlast anzusetzen. Dies gilt nicht für die Berechnung der Antriebskräfte. [24]

4.7 Außergewöhnliche Einwirkungen

- Einwirkungen des Antriebs im Störfall

Bei der außergewöhnlichen Einwirkung des Antriebs im Störfall wird von einem verkanteten Tor ausgegangen auf das die gesamte Zugkraft des Hubzylinders wirkt.

4.8 Nicht zu berücksichtigende Einwirkungen

Die folgenden Einwirkungen werden bei der Tragwerksplanung nicht berücksichtigt, da diese nicht relevant sind.

- Schneelasten
- Brandeinwirkungen
- Erdbebeneinwirkungen
- andere außergewöhnliche Einwirkungen als zuvor angeführt
- Flächenausstattung
- Trossenzug / Anlegedruck
- Wellenlasten (nach DIN 19702 Kap. 4.2.7 [16])
- Änderung der Stützbedingungen

4.9 Reibung

Das Hubtor ist in der Schließbewegung ohne mechanische Antriebskraft zu bewegen. Für den Nachweis des sicheren Ablaufs der Abwärtsbewegung sind die Reibungskräfte um 25 % zu erhöhen. Die allgemein anzusetzenden Reibungs-

kräfte sind in den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 4-2: Reibungszahlen für Stahlkonstruktionen gem. DIN 19704-1 Tabelle 3 [24], Abbildung 4-3) dargestellt. [24] Bei der Berechnung der notwendigen Hubkraft müssen die Reibkräfte nicht erhöht werden.

Werkstoffpaarung	Gleitreibungszahl μ		Verhältnis Haftreibungszahl zu Gleitreibungszahl μ_0/μ
	wasserbenetzt		
	Mindestwert	Höchstwert	
Stahl/Stahl	0,20	0,35	1,1
Stahl/Kupferlegierung	0,18	0,30	1,1
Nichtrostender Stahl/Polyamid (PA6G+PE)	0,15	0,25	1,2
Nichtrostender Stahl/Polyethylen (PE-UHMW)	0,10	0,20	1,2
Stahl/Elastomer (Härte etwa 50 bis 70 Shore A)	0,80	1,00	1,0
Stahl/Elastomer mit PTFE-Auflage	0,10	0,10	1,0
Haftreibungszahl Stahl/Beton $\mu_0 = 0,4$			

Abbildung 4-2: Reibungszahlen für Stahlkonstruktionen gem. DIN 19704-1 Tabelle 3 [24]

Werkstoffpaarung	Gleitreibungszahl μ						Verhältnis Haftreibungszahl zu Gleitreibungszahl μ_0/μ
	trocken		wasserbenetzt		geschmiert		
	Mindestwert	Höchstwert	Mindestwert	Höchstwert	Mindestwert	Höchstwert	
Stahl/Stahl	0,10	0,15	0,10	0,15	0,02	0,05	1,1
Stahl/Kupferlegierung	0,10	0,15	0,10	0,15	0,02	0,05	1,1
Nichtrostender Stahl/ selbstschmierende Kupferlegierung	0,12	0,15	0,08	0,10	—		1,0

Abbildung 4-3: Reibungszahlen für Stahlkonstruktionen gem. DIN 19704-1 Tabelle 4[24]

4.10 Temperatur

Da die Tore vollständig aus dem Wasser genommen werden können, ist eine Temperaturdifferenz von ± 35 K gegenüber einer Aufstelltemperatur von 10° C anzusetzen. Weiterhin ist über den Querschnitt des Verschlusskörpers eine ungleichmäßige Temperaturverteilung von 30 K zu betrachten. [24]

Tabelle 4-1: Temperaturlastfälle

Lastfall	Lastursprung	Lastbeschreibung	Teilsicherheitsbeiwert	Lastansatz
LF 20	Temperatur	Gleichmäßig	1,35/1,10	+/- 35K
LF 21	Temperatur	Ungleichmäßig	1,35/1,10	30K
LK 1	Temperatur	Kombiniert	1,35/1,10	+/- 35K und 30K

Abgesehen von lokalen Spannungsspitzen ist der Temperaturlastfall der über den Querschnitt ungleichmäßigen Temperaturverteilung maßgebend. Er wird deswegen in den folgenden Lastfallkombinationen in Lastfall 6 angesetzt.

4.11 Übersicht der Lastfälle

Aus den oben beschriebenen anzusetzenden Lasten ergeben sich die nachfolgend übersichtlich dargestellten Lastfälle. Entstehender Auftrieb wird innerhalb der Lastfälle der jeweiligen Wasserstände erfasst.

Da beim Störfall Antrieb eine Verkantung des Tores bei voller wirkender Hubkraft anzusetzen ist, und die Verkantung nicht den eigentlichen Lagerungsbedingungen entspricht, wird dieser Lastfall in einem gesonderten Modell (M2) behandelt. Die Modelle unterscheiden sich lediglich in der Lagerdefinition.

Tabelle 4-2: Lastfallübersicht auf Hochwasserschutzstore

Lastfall	Lastursprung	Lastbeschreibung	Teilsicherheitsbeiwert	Lastansatz
LF 1	Eigenlasten	Eigengewicht + Korrosionsschutz + Verschmutzung	1,35	G+ 10%
LF 2	Hydrostatische Einwirkungen	BHW	1,35/1,25/1,10	$\Delta h = 3\text{m},$ +11,50 m Inkl. Wasserlast
LF 3		Bordvoll	1,25/1,10	$\Delta h = 4\text{m},$ +12,50 Inkl. Wasserlast
LF 4		Eis	Eisauflast	1,5/1,35/1,10
LF 5	Eis	Eisdruck	1,35/1,10	150 kN/m ²
LF 6	Temperatur	Ungleichmäßige Temperaturänderung	1,35/1,10	30 K
M 2 – LF 8	Störfall	Einwirkung Antrieb	1,35	390 kN
LF 13	Hydrostatische Einwirkung	Ungünstigster Wasserstand Tor ziehen	1,0	$\Delta h = -2\text{m},$ Sude Wasserstand +7,81 m

Tabelle 4-3: Übersicht Lastfälle Rahmentragwerk

Lastfall	Lastursprung	Lastbeschreibung	Teilsicherheitsbeiwert	Lastansatz
LF 1	Eigenlasten	Eigengewicht des Rahmentragwerk	1,35	Querarretierung ~10 kN
LF 2	Wind	Wind senkrecht zum Tor	1,5	
LF 3	Eigengewicht Tor	Eg an Hubzylinder	1,35	~167 kN
LF 4		Eg an Querarretierung	1,35	~167 kN
LF 5		Eg an Querarretierung asym.	1,35	~167 kN

4.12 Übersicht der Lastfallkombinationen

Bei bordvollem Einstau und BHW liegen die Wasserstände höher als die Sperrwerk Tore. Da die Lasten aus Eisdruck in Höhe des Wasserspiegels bis 30 cm darunter angesetzt werden, ist ein weiterer Wasserstand bis zur Oberkante des

Tores anzusetzen, sodass der Eisdruck tatsächlich auf dem Tor angesetzt werden kann.

Tabelle 4-4: Übersicht der Lastkombinationen zum Nachweis der Tragfähigkeit

Lastkombination	Kombinierte Lastfälle	Bemessungssituation	Beschreibung
LK 1	$1,35 \cdot LF1 + 1,35 \cdot LF2 + 1,5 \cdot LF4$	BS-P	BHW
LK 2	$1,35 \cdot LF1 + 1,25 \cdot LF3 + 1,35 \cdot (LF4 + LF5 + LF6)$	BS-T	Eisdruck, Bordvoll
M2 - LK 4	$1,35 \cdot LF1 + 1,1 \cdot (LF2 + LF4 + LF5 + LF6) + 1,35 \cdot LF7$	BS-A	BHW, Störfall

Tabelle 4-5: Übersicht der Lastkombinationen zum Nachweis der Lagesicherheit

Lastkombination	Kombinierte Lastfälle	Bemessungssituation	Beschreibung
LK 6	$1,1 \cdot LF1 + 1,35 \cdot LF2$	BS-P	BHW dstb

Tabelle 4-6: Lastkombination zur Ermittlung des Schließdrucks

Lastkombination	Kombinierte Lastfälle	Bemessungssituation	Beschreibung
LK 9	$LF1 + LF2 + LF5 + LF6$	BS-P	BHW

Tabelle 4-7: Übersicht Lastkombinationen Rahmen

Lastkombination	Kombinierte Lastfälle	Bemessungssituation	Beschreibung
LK 2	$1,35 \cdot LF1 + 1,5 \cdot LF2 + 1,35 \cdot LF3$	BS-P	Last Tor am vert. Hubzylinder
LK 3	$1,35 \cdot LF1 + 1,5 \cdot LF2 + 1,35 \cdot LF4$	BS-P	Last Tor an Querarretierung
LK 4	$1,35 \cdot LF1 + 1,5 \cdot LF2 + 1,35 \cdot LF5$	BS-P	Last Tor an Querarretierung (asym)

Hamburg, 20. Oktober 2021

Ingenieurgesellschaft Ramboll iKD

