

TRAGWERKSPLANUNG

Baumaßnahme: Maßnahmen zur Verbesserung der Wasserverteilung am Staugürtel VI

Objektteil: Wehr 43

Planungsphase: Entwurfs- und Genehmigungsplanung

Gewerke: Stahlwasserbau
Maschinenbau
Korrosionsschutz

Auftraggeber: Ingenieurbüro IPP HYDRO CONSULT
GmbH & Co. KG
Gerhart –Hauptmann – Straße 15 Süd 9
03044 Cottbus

Auftragnehmer: Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG
Rudower Straße 53
17235 Neustrelitz

Neustrelitz, 20.04.2021



.....
Dipl.-Ing. E. Kieckbusch

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 2
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Inhaltsverzeichnis

1.	Grundlagen	4
1.1.	Allgemeine Objektangaben	4
1.2.	Verwendete Rechenprogramme.....	4
1.3.	Verwendete Normen und sonstige Vorgaben	4
1.4.	Normvorgaben	5
1.5.	Nachweis der Tragsicherheit.....	5
1.6.	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	6
1.7.	Nachweis der Ermüdung.....	6
1.8.	Baustoffe.....	7
2.	Berechnungsvorgaben	7
2.1.	Ständige Einwirkungen	7
2.2.	Veränderliche Einwirkungen.....	8
2.2.1.	Hydrostatische Einwirkungen	8
2.2.2.	Hydrodynamische Einwirkungen	8
2.2.3.	Hydrodynamische Einwirkungen bei Bewegung des Verschlusskörpers	8
2.2.4.	Eisauflast	8
2.2.5.	Eisdruck	8
2.2.6.	Verkehrslast	8
2.2.7.	Massenkräfte	8
2.2.8.	Änderung der Stützbedingungen.....	9
2.2.9.	Temperatureinflüsse	9
2.2.10.	Schiffsreibung	9
2.2.11.	Schiffsstoß	9
2.2.12.	Windlast	9
2.2.13.	Trossenzugkräfte auf Poller	9
2.2.14.	Transport-, Montage und Instandhaltungszustände.....	9
2.3.	Außergewöhnliche Einwirkung	9
2.3.1.	Leckwerden Luftkammer	9
2.3.2.	Lastweiterleitung von Stoßschutzeinrichtungen und Reparaturzustände.....	9
2.4.	Weitere vorzugebende Einwirkungen	9
2.4.1.	Zweiseitig angetriebene Verschlusskörper	9
2.4.2.	Bewegungsbehinderung	10
2.5.	Außergewöhnliche Einwirkung des Antriebes im Störfall.....	10
2.6.	Reibung	10
2.6.1.	Allgemein	10
2.6.2.	Haft-/Gleitreibung.....	10
2.7.	Angaben zur Ermittlung der Lastspielzahl	11
2.7.1.	Verschlusskörper	11
2.7.2.	Antrieb	11
2.8.	Angaben zur Bestimmung Ausführungsklasse	12
2.8.1.	Vorgaben zur Bestimmung der Ausführungsklasse	12
2.8.2.	Vorauswahl der Ausführungsklasse	13
3.	Nachweis Hubtor.....	14
3.1.	Systemangaben	14
3.2.	Beanspruchungen.....	16
3.2.1.	Lastfälle – Lastfallkombinationen	16
3.3.	Ergebnisse.....	21
3.3.1.	Lagerkräfte.....	21
3.3.2.	Tragsicherheit	21
3.3.3.	Nachweis Gebrauchstauglichkeit	23
3.3.4.	Ermüdungsnachweis.....	24

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 3
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

4.	Hubtorantrieb	26
4.1.	Bemessungs- und Dimensionierungsvorgaben	26
4.2.	Antriebskonfiguration	27
4.2.1.	Antriebsbemessung Betriebsstau (+51,10 mNHN)	27
4.2.2.	Antriebsbemessung max. Belastung (Nassabnahme)	29
4.2.3.	Antriebskonfiguration Betriebsstau (+51,10 m NHN)	30
4.2.4.	Antriebskonfiguration max. Antriebsbelastung (Nassabnahme)	32
4.3.	Nachweise Übertragungsbauteile.....	34
4.3.1.	Passfederverbindung Ritzel	34
4.3.2.	Triebstockbolzen.....	36
4.3.3.	Knicksicherheit Triebstock.....	38

Anlagen:

Anlage 1: FEM –Modell Hubtor

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 4
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

1. Grundlagen

1.1. Allgemeine Objektangaben

Die örtlichen Bedingungen der Schleuse sind im Baugewerk beschrieben.

Die Anlage besteht aus einer Schleuse und einem Fischpass.

Als Verschlussorgane für die Schleuse werden handbetätigte Hubtore eingesetzt



Ausschnitt Lageplan

1.2. Verwendete Rechenprogramme

RFEM 5.01 / 4.01 der Fa. Dlubal GmbH mit diversen Zusatzmodulen

Excel 2007 Fa. Microsoft

1.3. Verwendete Normen und sonstige Vorgaben

Als Vorgabe sind die a.g.R.d.T. anzuwenden.

Die hauptsächlich verwendeten Normen und sonstige Vorgaben sind in nachfolgender Tabelle aufgeführt (Liste nicht vollständig). Sie werden jeweils in der derzeit gültigen Fassung berücksichtigt bzw. angewendet.

Norm	Inhalt
DIN 19704	Stahlwasserbau
DIN EN ISO 1090	Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken
DIN EN ISO 1993	
DIN EN 10204	Metallische Erzeugnisse, Arten von Prüfbescheinigungen
DIN EN ISO 12944	Korrosionsschutz von Stahlbauten
ZTV-W	Zusätzliche Vertragsbedingungen Wasserbau

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 5
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

MNIS 2012

Merkblatt Einsatz von nichtrostendem Stahl im Stahlwasserbau

1.4. Normvorgaben

Die Nachweisführung erfolgt auf der Grundlage der DIN 19704-1 mit:

- Teilsicherheitsbeiwert der Beanspruchung $\gamma_F = 1,35$
- Kombinationsbeiwert der Beanspruchungen $\psi = 1,0 / 0,9$
- Teilsicherheitsbeiwert der Beanspruchbarkeit Stahlkonstruktion $\gamma_M = 1,1$
- Teilsicherheitsbeiwert der Beanspruchbarkeit Maschinenbau $\gamma_M = 1,5$

und DIN EN 1090 mit:

Tabelle 6 — Teilsicherheitsbeiwerte für Querschnitte, Bauteile und Anschlüsse

a) Beanspruchbarkeit von Querschnitten und Bauteilen		
bei Zug- oder Druckbeanspruchung, falls lokales oder globales Stabilitätsversagen ausgeschlossen werden kann	γ_{M0}	1,10

Entsprechend der Normvorgaben sind Untersuchungen zum Nachweis und Einhaltung der Grenzzustände für

- Tragsicherheit
- Gebrauchstauglichkeit
- Ermüdung

zu führen.

1.5. Nachweis der Tragsicherheit

Zum Nachweis der Grenzzustände der Tragfähigkeit werden Spannungsnachweise mit FEM - Modell mit Nachweis der Vergleichsspannungen erbracht.

Es gilt:

Nachweis nach der Elastizitätstheorie DIN 19704-1 Pkt. 7.3

DIN 18800 → DIN EN 1993

Interaktionsnachweis DIN 1993

$$\left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) * \left(\frac{\sigma_{z, Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1,0$$

ist identisch mit folgendem Nachweis:

$$\sigma_{v, Ed} = \sqrt{\sigma_{x, Ed}^2 + \sigma_{z, Ed}^2 - \sigma_{x, Ed} * \sigma_{z, Ed} + 3\tau_{Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

>

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 6
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Die Vergleichsspannung – von Mises mit RFEM wird wie folgt ermittelt:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3\tau^2}$$

Der Nachweis nach DIN EN 1993 ist somit erbracht, wenn

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x * \sigma_y + 3\tau^2} \rightarrow \sigma_{v, Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

wobei für f_y die Vorgaben DIN EN 1993-1-1 Tabelle 3.1 gelten:

Auszug:

Tabelle 3.1 — Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für warmgewalzten Baustahl

Werkstoffnorm und Stahlsorte	Erzeugnisdicke t mm			
	$t \leq 40$ mm		40 mm $< t \leq 80$ mm	
	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²	f_y N/mm ²	f_u N/mm ²
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	\boxed{AC} 490 \boxed{AC}	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540

1.6. Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit ist durch konstruktive Gestaltung der Dichtungsträger zu sichern, dass auch bei den im elastischen Bereich liegenden Verformungen die Dichtwirkung gesichert ist. Die Dichtwirkung zum Sohlträger ist nachzuweisen.

1.7. Nachweis der Ermüdung

Ein Ermüdungsnachweis kann nach DIN 19704-1 9.5.3.3 entfallen bei:

$$\Delta\sigma < 26 / \gamma_{Mf} \text{ N/mm}^2 \quad \text{und} \quad \Delta\tau < 36 / \gamma_{Mf} \text{ N/mm}^2$$

oder

$$N \leq 5 * 10^6 [117 / (\gamma_{Mf} * \Delta\sigma)]^3 \quad \text{bzw.} \quad N \leq 10^8 [36 / (\gamma_{Mf} * \Delta\tau)]^5$$

bei

$$\gamma_{Mf} = 1,35 \quad (\text{Stauwandbleche } \gamma_{Mf} = 1,15)$$

Ein Lastspiel ist durch die Position von Ausgangslage bis in Ausgangslage definiert. Das bedeutet ein Schleusenlastspiel ist eine Berg- und eine Talschleusung.

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 7
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Die Spannungsdifferenz ergibt sich aus den unterschiedlichen Beanspruchungen bei ausgespiegelten Verhältnisse und unter Staueinwirkung.

1.8. Baustoffe

Benennung	Beschreibung
Stahlbauteile, Ausrüstungsteile, Maschinenbauteile	S 235 JR+N (1.0038) S 355 JR+N (1.0045) S 355 J2+N (1.0577) E 355 1.0580 Sonderwerkstoffe (Lagerwerkstoffe)

Stahlerzeugnisse für statisch relevante Bauteile des Stahlwasser- und Maschinenbaus -
Abnahme - Prüfzeugnis 3.2 DIN 10204
Übrige Stahlerzeugnisse Abnahmezeugnis 3.1 DIN 10204
Schmierstoffe nicht wassergefährdend

2. Berechnungsvorgaben

2.1. Ständige Einwirkungen

- Eigenlasten entsprechend konstruktiver Ausbildung mit Zuschlägen entsprechend DIN 19704-1; Pkt. 5.1 10 % Aufschlag
- Zusätzliche 20 % für Beschichtung > 500 µm und Kompensation Eisauflast (DIN 19704-1; Pkt 5.2.4)

Bauwerksangaben:

Objekt:	Wehr 43
Bauart:	-Hubtorschleuse -Verriegelung der Tore für Berg- und Talschleusung -Selbstbedienung
Lichte Weite Kammer:	2500 mm
Nutzbare Kammerlänge	10,50 m
Antrieb:	Handkurbel über Kettentrieb und Triebstock und Gewichtsausgleich
OK Schleusenammer:	51,80 m ü NHN
OK Drempel:	50,10 m ü NHN
OK BW:	51,80 m ü NHN
OK Sohle	49,90 m ü NHN

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 8
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

2.2. Veränderliche Einwirkungen

2.2.1. Hydrostatische Einwirkungen

Bemessungswasserstände:

	OW	UW
MW: Betriebsstau (90%)	51,10 mü NHN	50,74 mü NHN ^{*)}
BHW: Bemessungsstau (10%)	51,30 mü NHN	50,74 mü NHN ^{*)}
HHW:	51,70 mü NHN	51,70 mü NHN

^{*)} Für die Nachweisführung wird UW = 0 angesetzt.

2.2.2. Hydrodynamische Einwirkungen

Ohne gesonderte Nachweisführung

2.2.3. Hydrodynamische Einwirkungen bei Bewegung des Verschlusskörpers

ohne Bedeutung, da die Schleusentore ausschließlich mit Handkraft betätigt werden

2.2.4. Eisauflast

Ist mit 30 % Aufschlag auf Eigenlast abgegolten

2.2.5. Eisdruck

Eis OH

$p_E = 150 \text{ kN/m}^2$ mit $h_E = 0,3 \text{ m}$ bei OW = 51,30 mü NHN und UW = ohne

Eis UH:

$p_E = 150 \text{ kN/m}^2$ mit $h_E = 0,3 \text{ m}$ bei OW = 51,10 mü NHN und UW = ohne

$p_E = 150 \text{ kN/m}^2$ mit $h_E = 0,3 \text{ m}$ bei OW = 50,74 mü NHN und UW = ohne

Unterströmung: ja/nein Wert: $p_E = 30 \text{ kN/m}$

2.2.6. Verkehrslast

Bediensteg

Geländerholm: 0,5 kN/m

Stegbeanspruchung: 2,5 kN/m²

2.2.7. Massenkräfte

Ja/nein vernachlässigbar bei Beschleunigungen $< 0,5 \text{ m/s}^2$

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 9
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

2.2.8. Änderung der Stützbedingungen

Ja/nein Der Einbau erfolgt am bestehenden Bauwerk

2.2.9. Temperatureinflüsse

b) ± 20 K ohne gesonderte Nachweisführung

2.2.10. Schiffsreibung

Ja/nein

2.2.11. Schiffsstoß

Ja/nein

2.2.12. Windlast

Ja/nein ohne gesonderte Nachweisführung

2.2.13. Trossenzugkräfte auf Poller

Ja/nein

2.2.14. Transport-, Montage und Instandhaltungszustände

Trocken- und Naßprobe bei aktuell vorhandenem Wasserstand.

2.3. **Außergewöhnliche Einwirkung**

2.3.1. Leckwerden Luftkammer

Eventuell vorhandene Hohlräume sind auf Dichtheit zu prüfen.

Leckwerden von Luftkammern ist zu berücksichtigen. Die Auswirkungen auf den Antrieb sind in Abhängigkeit von der Größe und der Anzahl der Luftkammern darzustellen.

Ein Weiterbetrieb ist zu sichern:

Ja/nein

2.3.2. Lastweiterleitung von Stoßschutzeinrichtungen und Reparaturzustände

Ja/nein

2.4. **Weitere vorzugebende Einwirkungen**

2.4.1. Zweiseitig angetriebene Verschlusskörper

Bei zweiseitig angetriebenen Verschlusskörpern ist einseitiges Halten bei Stau zu sichern.

Für den Antrieb ist eine Antriebsverteilung von 60:40 des Verlaufmomentes zu berücksichtigen.

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 10
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

2.4.2. Bewegungsbehinderung

Nachweis der Knicksicherheit der Übertragungselemente

$$\gamma_F = 1,1; \gamma_M = 1,1$$

2.5. **Außergewöhnliche Einwirkung des Antriebes im Störfall**

Nachweisführung für:

eingestelltes Drehmoment = Verlaufsmoment + 25% (DIN 19704)

Einstellmoment ist durch Plombierung zu sichern.

Einzelfallprüfung: eingestelltes Drehmoment > Antriebsmoment maximale Überleitung

mit $\gamma_F = 1,35$ bei Antriebsverteilung 60:40

mit $\gamma_F = 1,0$ bei Antriebsverteilung 100% (einseitiges Blockieren)

2.6. **Reibung**

2.6.1. Allgemein

25% Erhöhung *ja* / nein

2.6.2. Haft-/Gleitreibung

Tabelle 3 — Reibungszahlen für Stahlkonstruktionen

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

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 11
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Tabelle 4 — Reibungszahlen für Maschinenkonstruktionen

Werkstoff- paarung	Gleitreibungszahl μ						Verhältnis Haftreibungs- zahl zu Gleitrei- bungszahl μ_0 / μ
	trocken		wasserbenetzt		geschmiert		
	Mindest- wert	Höchst- wert	Mindest- wert	Höchst- wert	Mindest- wert	Höchst- wert	
Stahl/Stahl	0,10	0,15	0,10	0,15	0,02	0,05	1,1
Stahl/Kupfer- legierung	0,10	0,15	0,10	0,15	0,02	0,05	1,1
Nichtrostender Stahl/ selbst- schmierende Kupferlegierung	0,12	0,15	0,08	0,10	—		1,0

2.7. Angaben zur Ermittlung der Lastspielzahl

2.7.1. Verschlusskörper

	Nutzungsdauer [Jahre]	Betriebstage /Jahr	Lastspiele am Tag
Verschlusskörper	70	365	40

2.7.2. Antrieb

	Nutzungsdauer [Jahre]	Betriebstage /Jahr	Lastspiele am Tag
Antrieb	35	300	40

Statische Einzelnachweise für Einwirkungen bei Bewegungsbehinderung durch Fremdkörper und Antriebsversagen sind zu führen.

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 12
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

2.8. Angaben zur Bestimmung Ausführungsklasse

2.8.1. Vorgaben zur Bestimmung der Ausführungsklasse

Schadens- folgeklassen	Merkmale	Beispiele im Hochbau oder bei sonstigen Ingenieurbauwerken
CC 3 hohe	Hohe Folgen für Menschenleben <u>oder</u> sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Tribünen, öffentliche Gebäude mit hohen Versagensfolgen (z. B. eine Konzerthalle)
CC 2 mittlere	Mittlere Folgen für Menschenleben, beinträchtigte wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Wohn- und Bürogebäude, öffentliche Gebäude mit mittleren Versagensfolgen (z. B. ein Bürogebäude)
CC 1 niedrige	Niedrige Folgen für Menschenleben <u>und</u> kleine oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Landwirtschaftliche Gebäude ohne regelmäßigen Personenverkehr (z. B. Scheunen, Gewächshäuser)

Einordnung in Schadensfolgeklasse 2

Kategorien	Merkmale
SC1	<ul style="list-style-type: none"> — Tragwerke und Bauteile, bemessen nur für vorwiegend ruhende Belastungen (Beispiel: Gebäude) — Tragwerke und Bauteile mit deren Verbindungen, bemessen für Erdbebeneinwirkungen in Regionen mit geringer Seismizität und in DCL* — Tragwerke und Bauteile, bemessen für Ermüdungseinwirkungen von Kranen (Klasse S₀)**
SC2	<ul style="list-style-type: none"> — Tragwerke und Bauteile, bemessen für Ermüdungsbelastungen nach EN 1993. (Beispiele: Straßen- und Eisenbahnbrücken, Krane (Klasse S₁ bis S₉)**, Schwingungsempfindliche Tragwerke bei Einwirkung von Wind, Fußgängern oder rotierenden Maschinen) — Tragwerke und Bauteile mit deren Verbindungen, bemessen für Erdbebeneinwirkungen in Regionen mit mittlerer oder starker Seismizität und in DCM* und DCH*

* DCL, DCM, DCH: Duktilitätsklassen nach EN 1998-1
** Zur Klassifizierung von Ermüdungseinwirkungen von Kranen siehe EN 1991-3 und EN 13001-1

Einordnung in Kategorie 2

Kategorien	Merkmale
PC1	<ul style="list-style-type: none"> — Nicht geschweißte Bauteile, hergestellt aus Stahlprodukten aller Stahlsorten — Geschweißte Bauteile, hergestellt aus Stahlprodukten der Stahlsorten unter S355
PC2	<ul style="list-style-type: none"> — Geschweißte Bauteile, hergestellt aus Stahlprodukten der Stahlsorten S355 und darüber — Für die Standsicherheit wesentliche Bauteile, die auf der Baustelle miteinander verschweißt werden — Bauteile, die durch Warmumformen gefertigt oder im Verlauf der Herstellung einer Wärmebehandlung unterzogen werden — Bauteile aus Kreishohlprofil-Fachwerkträgern, die besonders geschnittene Endquerschnitte erfordern

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 13
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Einordnung in Kategorie 2

Schadensfolgeklassen		CC1		CC2		CC3	
Beanspruchungskategorien		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Herstellungskategorien	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC3 ^a
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 ^a	EXC4

^a EXC4 sollte bei außergewöhnlichen Tragwerken oder bei Tragwerken mit hohen Versagensfolgen angewendet werden, entsprechend der nationalen Vorschriften

2.8.2. Vorauswahl der Ausführungsklasse

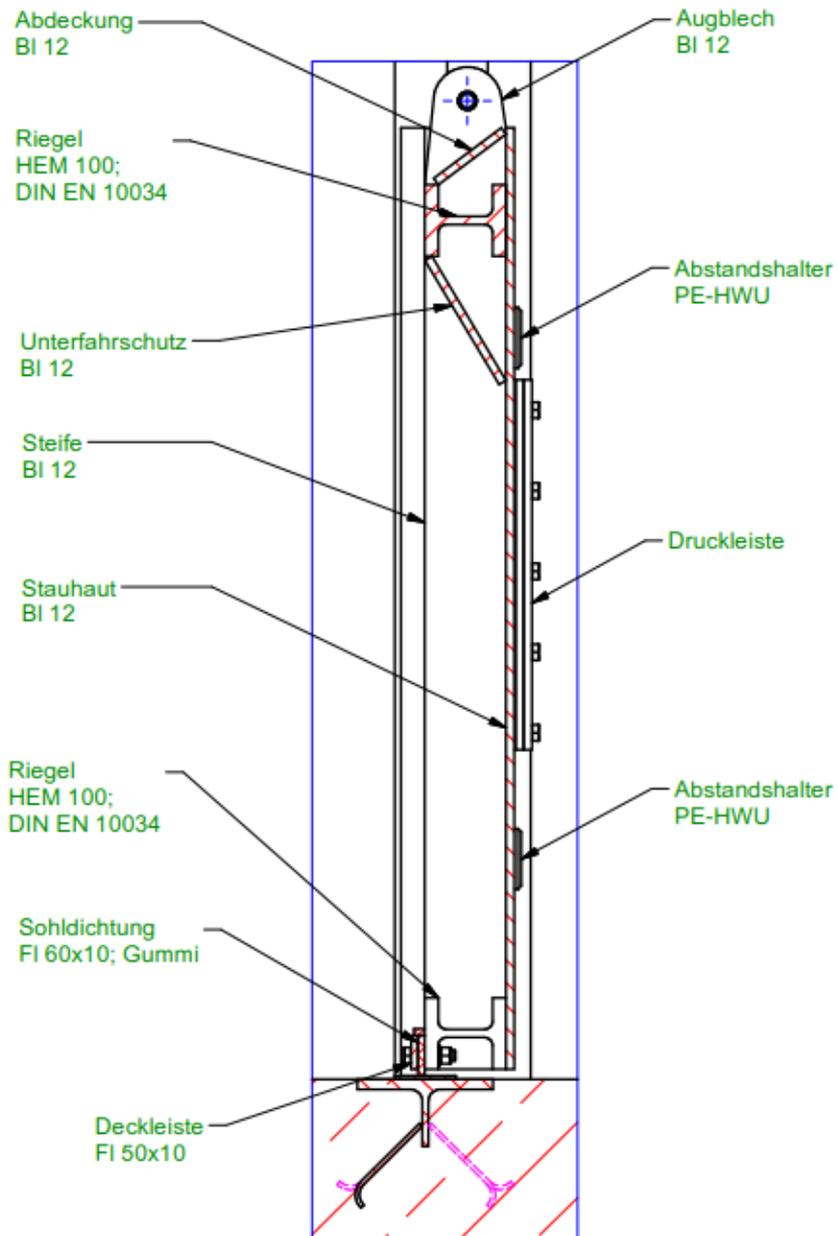
Endgültig werden die Ausführungsklassen wird mit der Tragwerksplanung entschieden.

Tragwerksteil	Ausführungs- klasse EXC 2	Ausführungs- klasse EXC 3	Ausführungs- klasse EXC 4
Rahmen (Schweißbaugruppe)		X	
Verschlüsse (Schweißbaugruppe)		X	
Triebstöcke		X	
Bauteile der Antriebstechnik	X		

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 14
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

3. Nachweis Hubtor

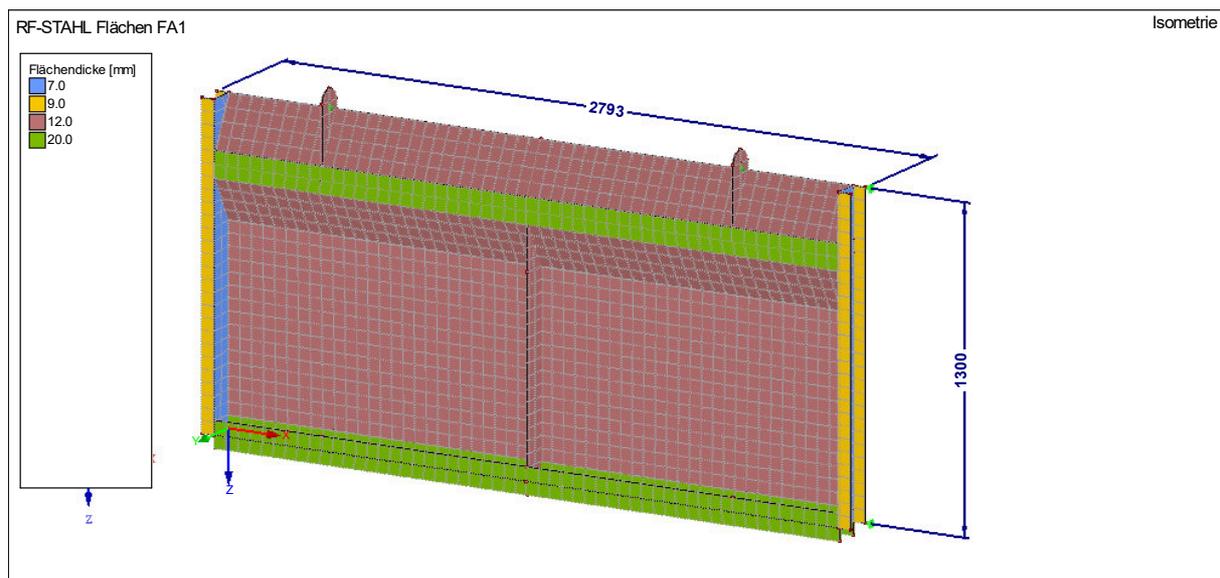
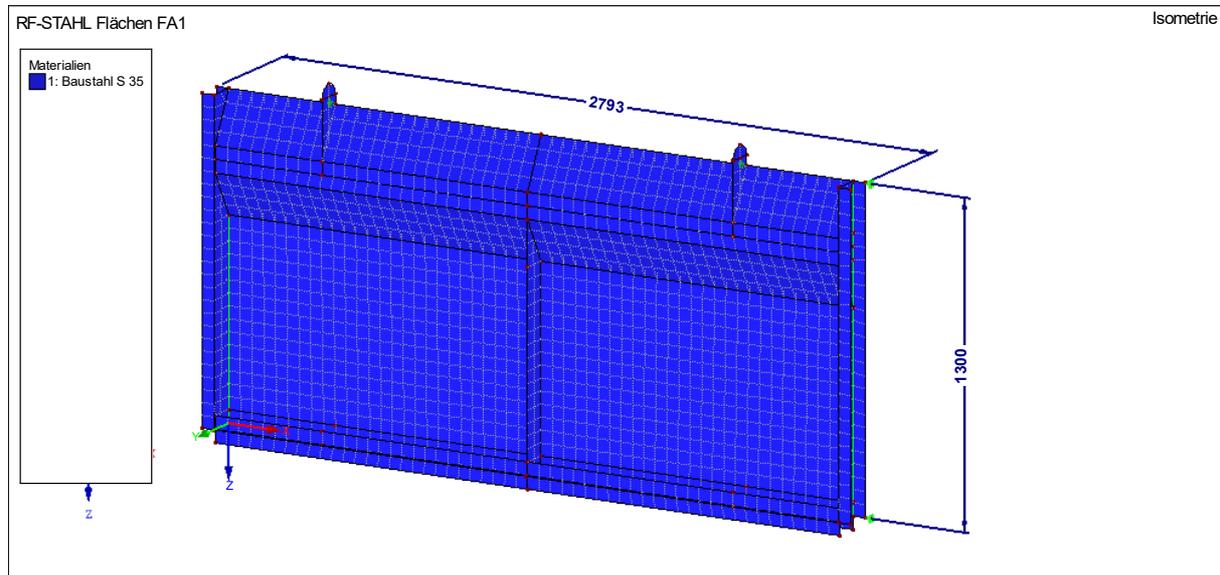
3.1. Systemangaben



Hubtor konstruktiver Aufbau

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 15
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

FEM - Berechnungsmodell:



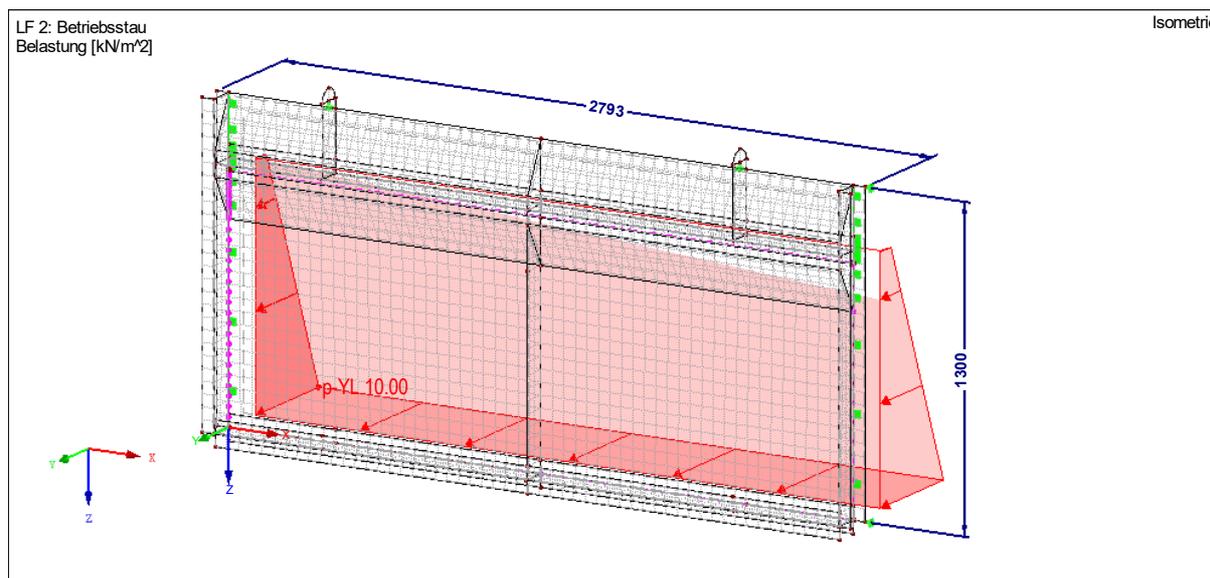
Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG		Seite: 16
Objekt:	Wehr 43 – Hubtorschleuse	Datum: 20.04.2021
Teilobjekt:	Stahlwasser-/Maschinenbau	
Einzelteil:	Entwurfsbemessung	

3.2. Beanspruchungen

3.2.1. Lastfälle – Lastfallkombinationen

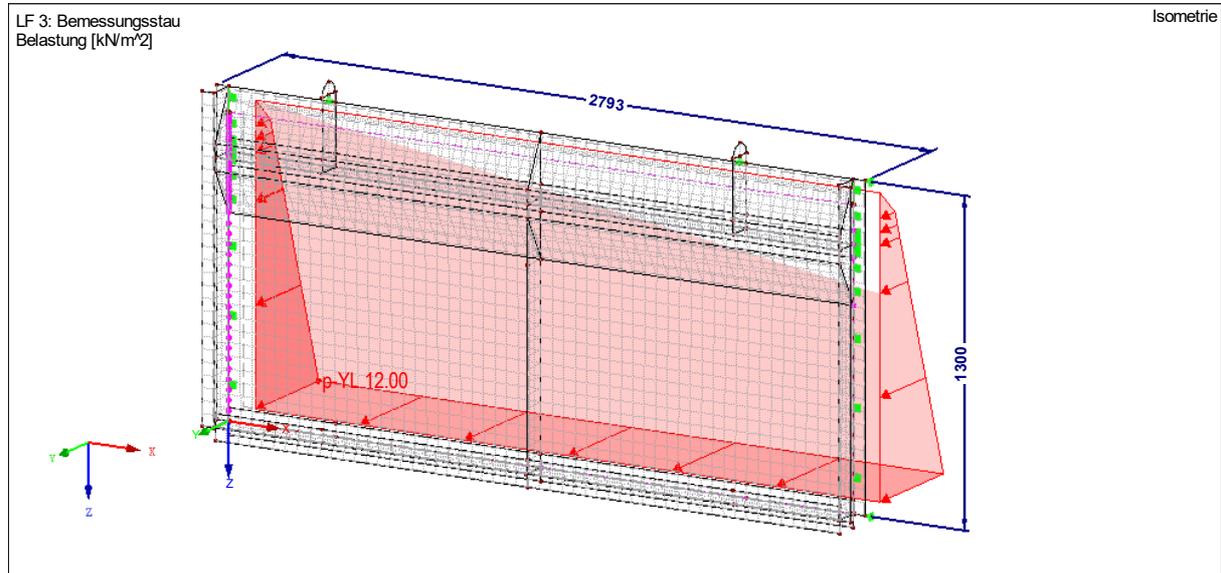
Lastfall	Einwirkung	Torposition
LF1 = Eigengewicht	ständig	
LF 2 = Betriebsstau 51,10	Stauwirkung – 1,0 m	gesetzt auf Sohle
LF 3 = Bemessungsstau 51,30	Stauwirkung – 1,2 m	gesetzt auf Sohle
LF 4 = Eis OW	von 0,6 m bis 1,2 m	gesetzt auf Sohle
LF 5 = Eis UW1	von 0,4 m bis 1,0 m	gesetzt auf Sohle
LF 6 = Eis UW2	von 0,04 m bis 0,64 m	gesetzt auf Sohle
LF 7 = Unterströmung	30 kN /m	gezogen für Pegelausgleich

LF 2:

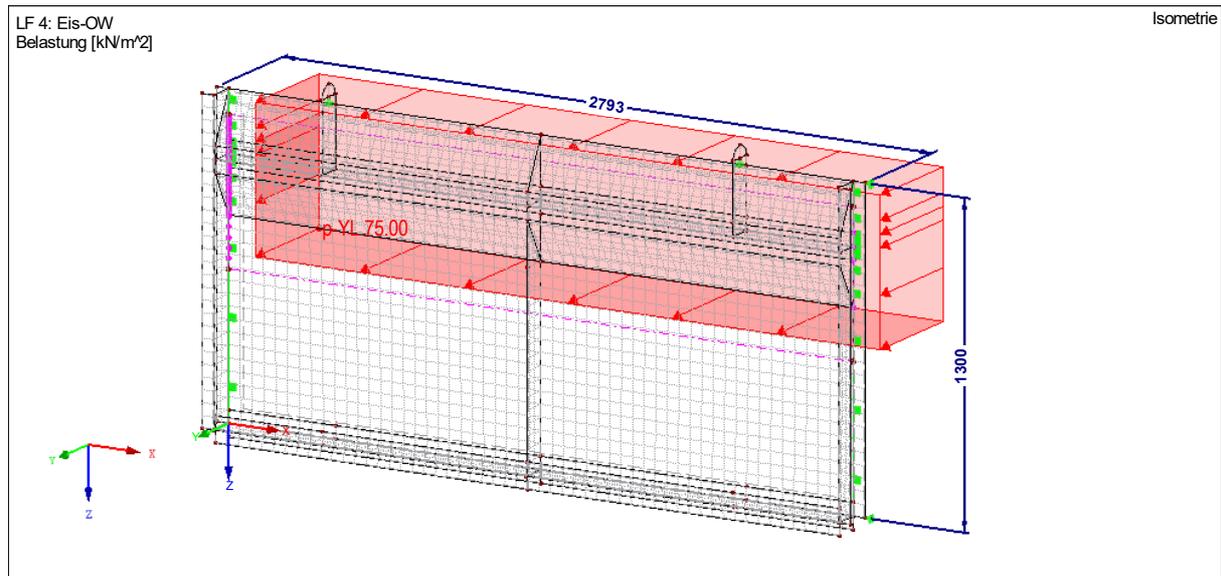


Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 17
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

LF 3:

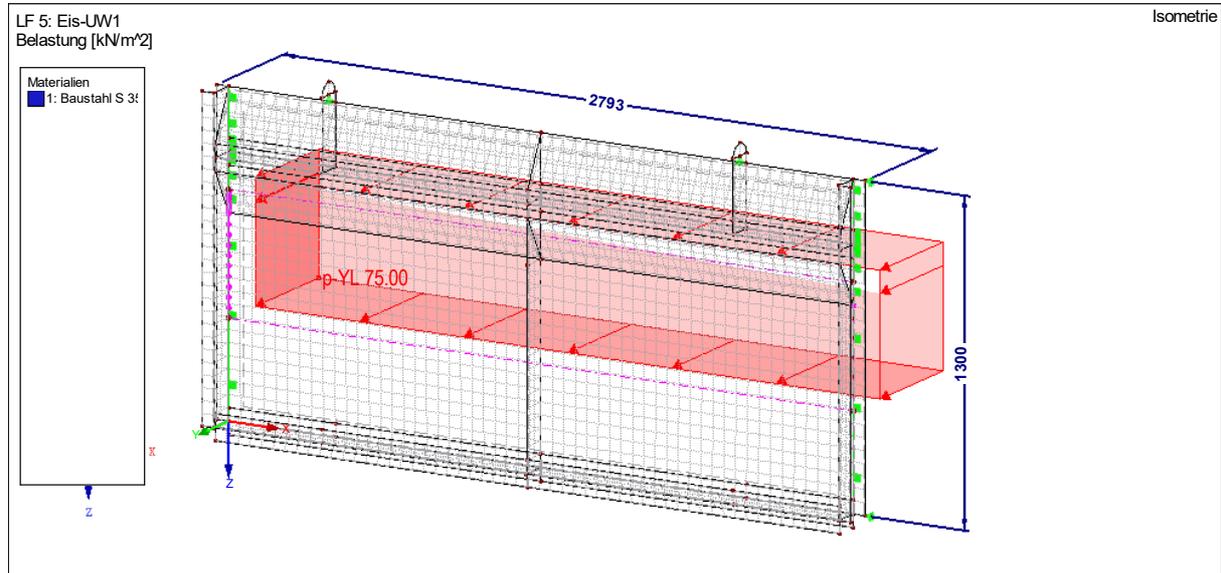


LF 4:

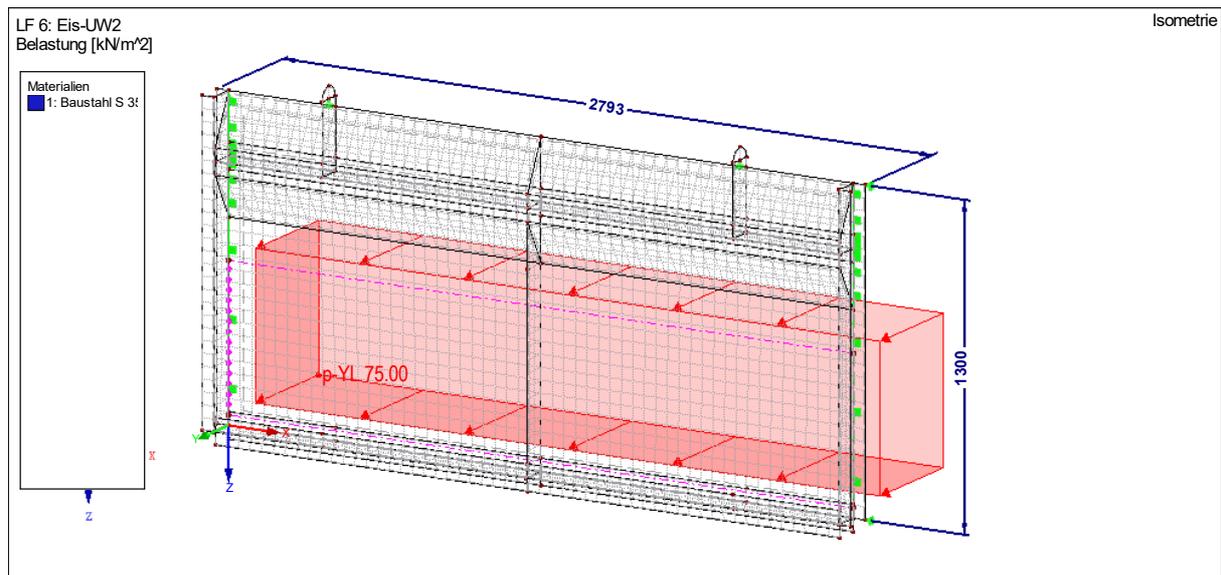


Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 18
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

LF 5:

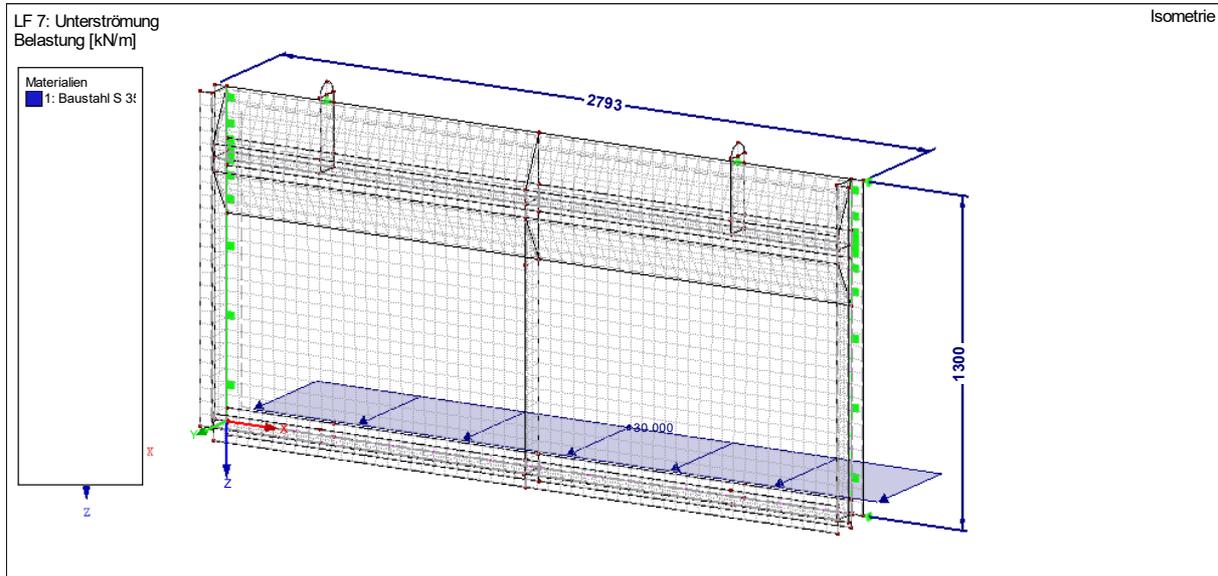


LF 6:



Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG		Seite: 19
Objekt:	Wehr 43 – Hubtorschleuse	Datum: 20.04.2021
Teilobjekt:	Stahlwasser-/Maschinenbau	
Einzelteil:	Entwurfsbemessung	

LF 7:

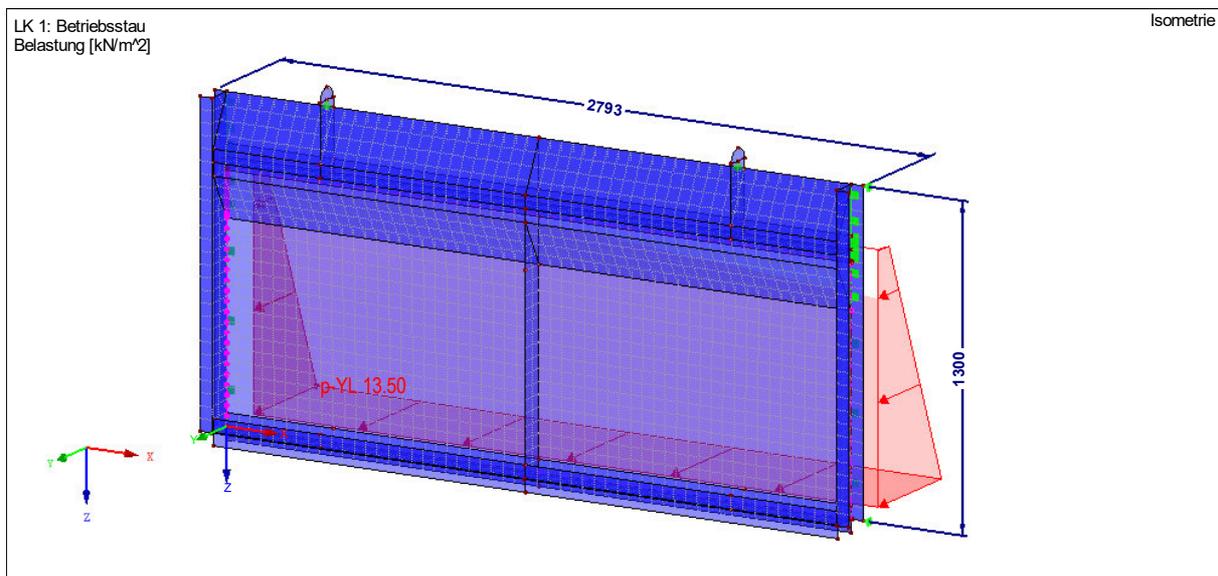


Kombinationen:

Kombination	LF 1	LF 2	LF 3	LF 4
LK 1 BETRIEBSSTAU	x 1,35	x 1,35		
LK 2 BEMESSUNGSSTAU	x 1,35		x 1,35	
LK 3 Eis	x 1,35		x 1,25	x 1,35

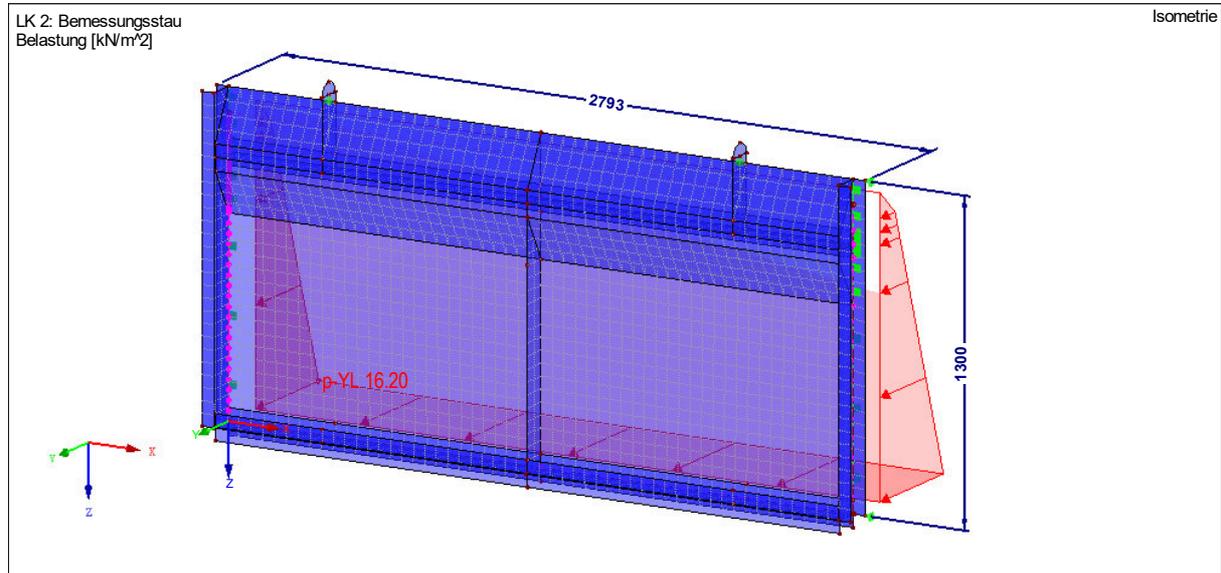
Anmerkung: LF 5, LF 6 und LF 7 sind Einzelnachweise

LK 1:

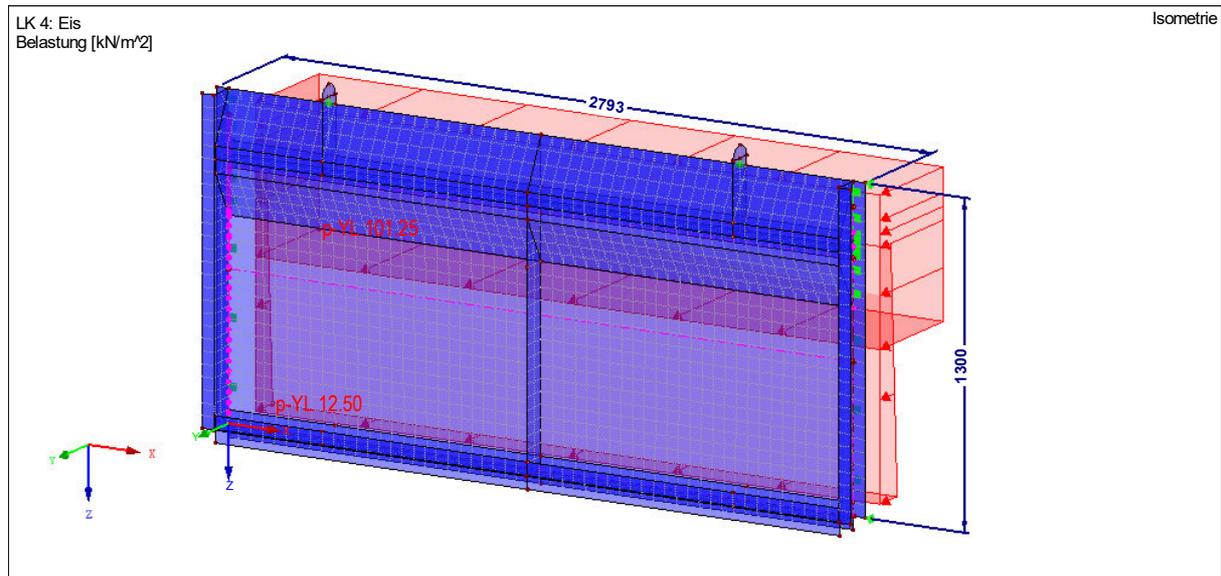


Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 20
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

LK 2:



LK 3:



Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 21
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

3.3. **Ergebnisse**

3.3.1. Lagerkräfte

	Summe Lagerkräfte in Richtung X	Summe Lagerkräfte in Richtung Y	Summe Lagerkräfte in Richtung Z
	kN	kN	kN
LF1 = Eigengewicht	0,00	0,00	8,983
LF 2 = Betriebsstau	0,00	-13,45	0,00
LF 3 = Bemessungsstau	0,00	-19,368	0,00
LF 4 = Eis OW	0,00	-121,05	0,00
LF 5 = Eis UW1	0,00	-121,05	0,00
LF 6 = Eis UW2	0,00	-121,05	0,00
LF 7 = Unterströmung	0,00	-80,70	0,00
LK 1 BETRIEBSSTAU	0,00	-18,157	12,126
LK 2 BEMESSUNGSSTAU	0,00	-26,147	12,126
LK 3 EIS	0,00	-180,230	12,126

3.3.2. Tragsicherheit

Hubtor Flächenspannungen

Lastfallweise:

Belastung	Fläche Nr.	FE-Netzpunkt Nr.	Punktkoordinaten [mm]			Spannung [kN/cm ²]			Ausnutzung [-]
			X	Y	Z	Symbol	Vorh.	Grenze	
LF1	Eigenlast								
	1	77	2230,0	0,0	-1300,0	τ_{\max}	0,09	18,90	0,00
	32	81	2230,0	50,0	-1340,0	$\sigma_{v,\max}$	1,02	32,73	0,03
LF2	Betriebsstau								
	19	71	2690,0	111,0	0,0	τ_{\max}	0,83	18,90	0,04
	7	67	0,0	0,0	-809,0	$\sigma_{v,\max}$	2,45	32,73	0,07

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG						Seite: 22			
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse						Datum: 20.04.2021			
Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau									
Einzelteil: Entwurfsbemessung									

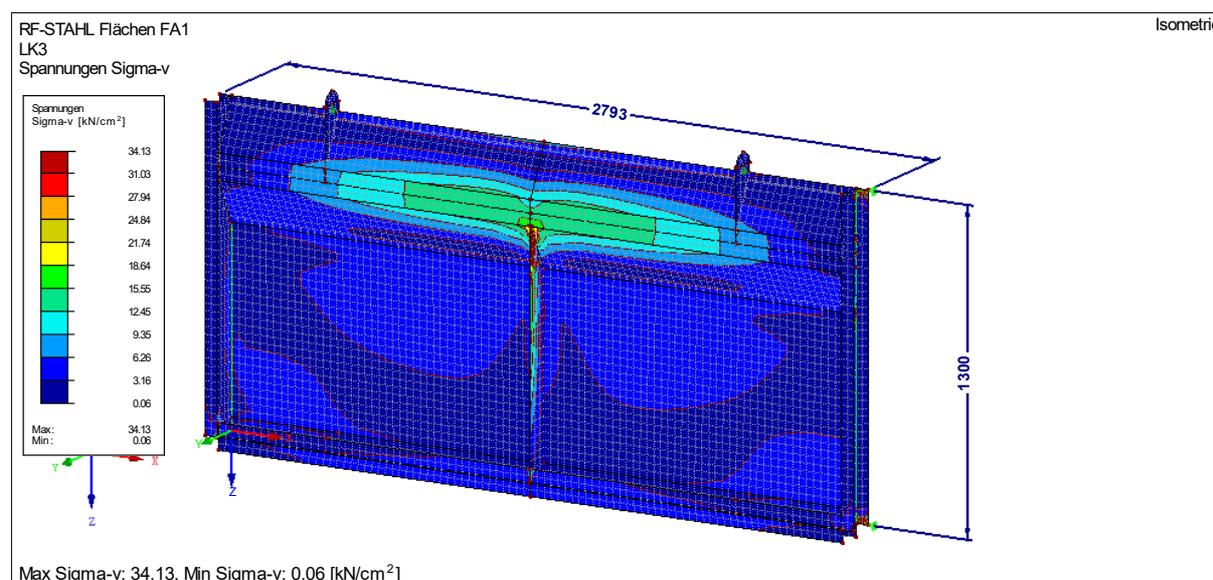
LF3 Bemessungsstau									
19	71	2690,0	111,0	0,0	τ_{\max}	1,20	18,90	0,06	
7	67	0,0	0,0	-809,0	$\sigma_{v,\max}$	3,47	32,73	0,11	
LF4 Eis-OW									
7	47	0,0	111,0	0,0	τ_{\max}	6,32	18,90	0,33	
27	6102	1345,0	100,0	-932,3	$\sigma_{v,\max}$	25,97	32,73	0,79	
LF5 Eis-UW1									
7	47	0,0	111,0	0,0	τ_{\max}	8,85	18,90	0,47	
19	61	2690,0	0,0	-809,0	$\sigma_{v,\max}$	25,31	32,73	0,77	
LF6 Eis-UW2									
19	71	2690,0	111,0	0,0	τ_{\max}	9,74	18,90	0,52	
19	99	2690,0	100,0	0,0	$\sigma_{v,\max}$	23,85	32,73	0,73	
LF7 Unterströmung									
7	47	0,0	111,0	0,0	τ_{\max}	5,05	18,90	0,27	
19	3	2690,0	0,0	0,0	$\sigma_{v,\max}$	27,34	32,73	0,84	
LK1 Betriebsstau									
19	71	2690,0	111,0	0,0	τ_{\max}	1,21	18,90	0,06	
7	67	0,0	0,0	-809,0	$\sigma_{v,\max}$	3,62	32,73	0,11	
LK2 Bemessungsstau									
19	71	2690,0	111,0	0,0	τ_{\max}	1,72	18,90	0,09	
7	67	0,0	0,0	-809,0	$\sigma_{v,\max}$	4,99	32,73	0,15	
LK3 Eis									
7	47	0,0	111,0	0,0	τ_{\max}	9,75	18,90	0,52	
27	6102	1345,0	100,0	-932,3	$\sigma_{v,\max}$	34,13	32,73	1,04	
-	Maximale Spannungen								

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG		Seite: 23
Objekt:	Wehr 43 – Hubtorschleuse	Datum: 20.04.2021
Teilobjekt:	Stahlwasser-/Maschinenbau	
Einzelteil:	Entwurfsbemessung	

	7	47	0,0	111,0	0,0	τ_{\max}	9,75	18,90	0,52
	27	6102	1345,0	100,0	-932,3	$\sigma_{v,\max}$	34,13	32,73	1,04

Anmerkung: Die geringfügige Überschreitung im Kombinationsfall kann akzeptiert werden, da die begünstigenden Einwirkungen durch einen Unterwasserstau nicht im Lastansatz wirken.

Maximalspannung bei LK 3:



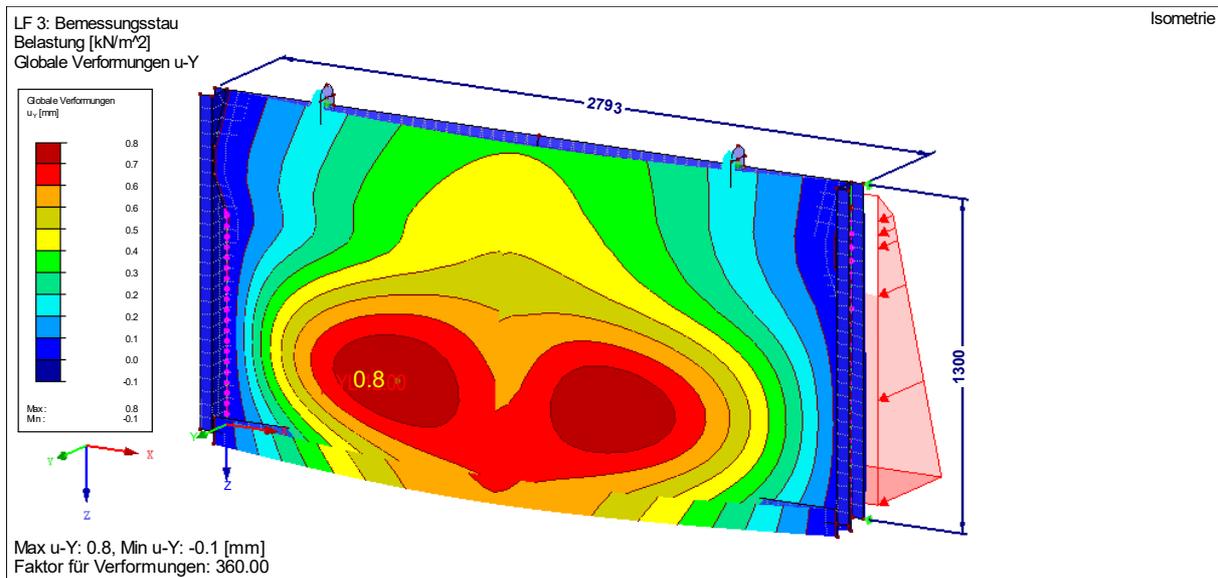
Hubtor Flächenspannungen

Flächenweise siehe Anlage 1

3.3.3. Nachweis Gebrauchstauglichkeit

Als Nachweiskriterium ist der Dichtungsanschluss des Tores zum Sohlträger bestimmend. Die Überprüfungen erfolgen für die Beanspruchung mit Bemessungsstau (LF 3). Die Nachweisführung erfolgt auf der Grundlage der Auswertung von Verformungswerten.

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 24
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021



Dichtungsanschluss Tor Sohlträger:

Generell wird die Breite der Sohlschiene entsprechend DIN 19704 – 2 (Pkt 6.3) so bemessen, dass ein beidseitiger Überstand von mindestens 25 mm gesichert ist.

Auswertung: Die Verformung beträgt 0,8 mm. Der Dichtungsschluss zum Sohlträger ist gesichert.

3.3.4. Ermüdungsnachweis

Ein Ermüdungsnachweis kann nach DIN 19704-1 9.5.3.3 entfallen bei:

$$\Delta\sigma < 26 / \gamma_{Mf} \text{ N/mm}^2 \quad \text{und} \quad \Delta\tau < 36 / \gamma_{Mf} \text{ N/mm}^2$$

oder

$$N \leq 5 \cdot 10^6 [117 / (\gamma_{Mf} \cdot \Delta\sigma)]^3 \quad \text{bzw.} \quad N \leq 10^8 [36 / (\gamma_{Mf} \cdot \Delta\tau)]^5$$

bei

$$\gamma_{Mf} = 1,35 \quad (\text{Stauwandbleche } \gamma_{Mf} = 1,15)$$

Vorgabe Lastwechsel:

	Nutzungsdauer [Jahre]	Betriebstage /Jahr	Lastspiele am Tag
Verschlusskörper	70	365	40

$$N = 1,022 \cdot 10^6 \rightarrow N_{\text{Stauhaut}} = 2,044 \cdot 10^6$$

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 25
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Verteilung Lastwechsel:

MW: Betriebsstau (90%)
BHW: Bemessungsstau (10%)

Ergebnisse Spannungen:

LF1	Eigenlast								
	1	77	2230,0	0,0	-1300,0	τ_{\max}	0,09	18,90	0,00
	32	81	2230,0	50,0	-1340,0	$\sigma_{v,\max}$	1,02	32,73	0,03
LF2	Betriebsstau								
	19	71	2690,0	111,0	0,0	τ_{\max}	0,83	18,90	0,04
	7	67	0,0	0,0	-809,0	$\sigma_{v,\max}$	2,45	32,73	0,07
LF3	Bemessungsstau								
	19	71	2690,0	111,0	0,0	τ_{\max}	1,20	18,90	0,06
	7	67	0,0	0,0	-809,0	$\sigma_{v,\max}$	3,47	32,73	0,11

$$\Delta\sigma_{90\%} = 24,5 - 10,2 = 14,3 \text{ N/mm}^2$$

$$\Delta\sigma_{10\%} = 34,7 - 10,2 = 24,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\rightarrow \Delta\sigma = 15,32 \text{ N/mm}^2 < \Delta\sigma = 19,26 \text{ N/mm}^2 \text{ Ausfallkriterium erfüllt}$$

Ermüdungsnachweis muss nicht erbracht werden

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 26
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

4. Hubtorantrieb

4.1. Bemessungs- und Dimensionierungsvorgaben

Generell sind Eigenmasse mit 10 % Zulage und 10% Reserve bei den Beanspruchungen zu berücksichtigen.

Die Einwirkungen aus Auftrieb (wirken begünstigend) bleiben unberücksichtigt.

LH-Vorgaben:

OK Sohle:	49,90	müNHN	OK Sohle
B =	2500,00	mm	Lichte Weite
H =	1400,00	mm	Höhe Verschluss

Wasserstände:

OW	UW		
51,100	50,740	müNHN	WS 1 - Betriebsstau
51,300	50,740	müNHN	WS 2 - Max. Stauziel
51,100	49,900	müNHN	WS 3 - Revision
51,000	51,000	müNHN	WS 4 - HHW

Vorgaben DIN 19704

μ =	0,20		Gleitreibungszahl nach DIN 19704 Tab. 3
μ =	0,90		Gleitreibungszahl nach DIN 19704 Tab. 3
μ_0/μ =	1,20		Verhältnis Haft- zu Gleitreibungszahl
c_m =	1,20		Zuschlag nach DIN 19704-5.1
η =	0,80		Wirkungsgrad Übertragungsbaugruppen
c_1 =	1,25		Zuschlag eingestelltes Drehmoment nach DIN 19704-8.4
c_2 =	1,00		Zuschlag Frequenzumrichter nach DIN 19704-8.3
c_3 =	1,00		sonstiger Zuschlag (Ablagerungen im OW)
$\gamma_{\text{Süß}}$	10,00	kN/m ³	Wichte Süßwasser
γ_{Salz}	10,40	kN/m ³	Wichte Salzwasser
γ_{Eis}	7,00	kN/m ³	Wichte Eis
γ_{Stahl}	78,50	kN/m ³	Wichte Stahl
g	9,81	m/s ²	Erdbeschleunigung

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 27
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

4.2. Antriebskonfiguration

4.2.1. Antriebsbemessung Betriebsstau (+51,10 mNHN)

Formelblock Antriebsbemessung:

Wasserdruck, horizontal	$F_h = F_{h_{OW}} - F_{h_{UW}}$ mit $F_{h_{OW}} = \frac{1}{2} * \gamma_{Süß} * l_{VS} * (h_{m_{OW}}^2 - h_{UE}^2)$ $F_{h_{UW}} = \frac{1}{2} * \gamma_{Süß} * l_{VS} * h_{m_{UW}}^2$
Wasserdruck, vertikal	$F_V = \gamma_{Süß} * l_{VS} * b_{VS} * h_{UE}$
Reibkraft, Gleitschiene	$F_R = F_h * \mu_1 * \frac{\mu_0}{\mu}$
Dichtungsreibung	$F_D = D * l_D * \mu_2$ (Hier nicht angewendet, da Dichtung über Gleitschiene)
Gewichtskraft	$F_G = \Sigma m * g * c_m$
Auftrieb (wird hier nicht berücksichtigt)	$F_A = F_{A_S} + F_{A_H}$ mit F_{A_S} (Auftrieb durch Stoffverdrängung) F_{A_H} (Auftrieb durch Hohlraum)
Nennzugkraft	$F_{N_{Zug}} = F_V + F_R + F_D + F_G + \dots - F_A$
Erforderlicher Schließdruck	$F_{SD} = l_{VS} * 5kN/m$

Als Gewichtskraft werden 1,0 kN eingesetzt, da die Gewichtskräfte von Einfachschütz und der Triebstöcke durch Gegengewichte ausgeglichen werden.

Geometriedaten Verschluss

	Einfachschütz		
b =	132,00	mm	Breite Verschluss
l =	2562,00	mm	Länge Verschluss
h =	1400,00	mm	Höhe Verschluss
bWD =	2512,00	mm	Wirkbreite Wasserdruck
m =	710,00	kg	Masse
ID =	2820,00	mm	Länge Dichtung
mT =	0,00	kg	getauchte Masse
VH =	0,00	m ³	Volumen Hohlkörper

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 28
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Belastungsangaben:

$H_{m_VS} =$	51,300	müNHN	Verschlusshöhe momentan
$H_{OW} =$	51,100	müNHN	OW-Stauhöhe gesamt
$h_{m_OW} =$	1,200	m	OW-Stauhöhe momentan
$h_{UE} =$	0,000	m	Überfall Verschluss
$H_{UW} =$	50,740	müNHN	UW-Stauhöhe
$h_{m_UW} =$	0,840	m	UW-Stauhöhe momentan

Ergebnisse

$F_{h_OW} =$	18,09	kN	OW-Wasserdruck, horiz.
$F_{h_UW} =$	8,86	kN	UW-Wasserdruck, horiz.
$F_h =$	9,22	kN	Σ - Wasserdruck, hor.
$F_V =$	0,00	kN	Wasserdruck, vertikal
$F_R =$	2,21	kN	Reibkraft Gleitschiene
$F_D =$	0,00	kN	Dichtungsreibung
$F_G =$	1,00	kN	Gewichtskraft
$F_{A_S} =$		kN	Auftrieb durch Stoffverdrängung
$F_{A_H} =$		kN	Auftrieb durch Hohlraum
$F_A =$		kN	Σ - Auftrieb
$F_{SD} =$	12,81	kN	erforderlicher Schließdruck

Zieldaten:

$F_{N_Zug} =$	3,21	kN	erforderliche Gesamtzugkraft
----------------	------	----	------------------------------

Belastungsangaben:

$H_{m_VS} =$	51,300	müNHN	Verschlusshöhe momentan
$H_{OW} =$	51,100	müNHN	OW-Stauhöhe gesamt
$h_{m_OW} =$	1,200	m	OW-Stauhöhe momentan
$h_{UE} =$	0,000	m	Überfall Verschluss
$H_{UW} =$	50,740	müNHN	UW-Stauhöhe
$h_{m_UW} =$	0,840	m	UW-Stauhöhe momentan

Ergebnisse

$F_{h_OW} =$	18,09	kN	OW-Wasserdruck, horiz.
$F_{h_UW} =$	8,86	kN	UW-Wasserdruck, horiz.
$F_h =$	9,22	kN	Σ - Wasserdruck, hor.
$F_V =$	0,00	kN	Wasserdruck, vertikal
$F_R =$	2,21	kN	Reibkraft Gleitschiene

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 29
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

F_D	=	0,00	kN	Dichtungsreibung
F_G	=	1,00	kN	Gewichtskraft
F_{A_S}	=		kN	Auftrieb durch Stoffverdrängung
F_{A_H}	=		kN	Auftrieb durch Hohlraum
F_A	=		kN	Σ - Auftrieb
F_{SD}	=	12,81	kN	erforderlicher Schließdruck

Zieldaten:

$F_{N_{Zug}}$	=	3,21	kN	erforderliche Gesamtzugkraft
$F_{N_{Druck}}$	=	14,02	kN	erforderliche Gesamtdruckkraft

4.2.2. Antriebsbemessung max. Belastung (Nassabnahme)

Belastungsangaben:

$H_{m_{VS}}$	=	51,300	müNHN	Verschlusshöhe momentan
H_{OW}	=	51,100	müNHN	OW-Stauhöhe gesamt
$h_{m_{OW}}$	=	1,200	m	OW-Stauhöhe momentan
h_{UE}	=	0,000	m	Überfall Verschluss
H_{UW}	=	49,900	müNHN	UW-Stauhöhe
$h_{m_{UW}}$	=	0,000	m	UW-Stauhöhe momentan

Ergebnisse

$F_{h_{OW}}$	=	18,09	kN	OW-Wasserdruck, horiz.
$F_{h_{UW}}$	=	0,00	kN	UW-Wasserdruck, horiz.
F_h	=	18,09	kN	Σ - Wasserdruck, hor.
F_V	=	0,00	kN	Wasserdruck, vertikal
F_R	=	4,34	kN	Reibkraft Gleitschiene
F_D	=	0,00	kN	Dichtungsreibung
F_G	=	1,00	kN	Gewichtskraft
F_{A_S}	=		kN	Auftrieb durch Stoffverdrängung
F_{A_H}	=		kN	Auftrieb durch Hohlraum
F_A	=		kN	Σ - Auftrieb
F_{SD}	=	12,81	kN	erforderlicher Schließdruck

Zieldaten:

$F_{N_{Zug}}$	=	5,34	kN	erforderliche Gesamtzugkraft
$F_{N_{Druck}}$	=	16,15	kN	erforderliche Gesamtdruckkraft

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 30
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

4.2.3. Antriebskonfiguration Betriebsstau (+51,10 m NHN)

Formelblock zur Getriebebemessung:

Getriebemoment Zug (gesamt)	$M_{GZ_ges} = F_{N_Zug} * \frac{d_0}{2} * \frac{1}{\eta}$
Getriebemoment Druck (gesamt)	$M_{GD_ges} = F_{N_Druck} * \frac{d_0}{2} * \frac{1}{\eta}$

Formelblock Antriebskonfiguration:

Erforderliches Nennmoment Zug	$M_{N_Zug} = F_{N_Zug} * \frac{d_0}{2} * \frac{1}{\eta} * \frac{1}{i_1 * i_2}$
Erforderliches Einstellmoment Zug	$M_{E_Zug} = M_{N_Zug} * c_1 * c_2$
Erforderliches Nennmoment Druck	$M_{N_Druck} = F_{N_Druck} * \frac{d_0}{2} * \frac{1}{\eta} * \frac{1}{i_1 * i_2}$
Erforderliches Einstellmoment Druck	$M_{E_Druck} = M_{N_Druck} * c_1 * c_2$

Geometriewerte und Vorgabekontanten siehe Pkt. 4.2.1

Belastungsangaben:

$F_{N_Zug} =$	3,214	kN	erforderliche Gesamtzugkraft
$F_{N_Druck} =$	14,024	kN	erforderliche Gesamtdruckkraft
$n_{Hand} =$	40	U/min	Handantriebsdrehzahl
$r_{Hand} =$	400	mm	Radius Handrad/-kurbel
$h_{Hub} =$	3200	mm	Hubweg für Freiziehen

Ergebnisse Getriebemomente Zug

$M_{G_ges} =$	220,939	Nm	Getriebeennmoment gesamt
$k =$	1,000		Anzahl Getriebe
$M_{G_Einz} =$	220,939	Nm	Getriebeennmoment für Einzelgetriebe

Getriebewahl Getriebe 1

Typ: Kettenrad
10/23

$i_1 =$	2,30	Übersetzungsverhältnis
---------	------	------------------------

Getriebewahl Getriebe 2

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 31
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Typ: Kettenrad
10/23

i2 =	2,30		Übersetzungsverhältnis
------	------	--	------------------------

Ergebnisse Antriebsmomente:

MN _{Zug} =	69,41	Nm	erforderl. Nennmoment Zug
ME _{Zug} =	86,76	Nm	erforderl. Einstellmoment Zug
MN _{Druck} =	209,90	Nm	erforderl. Nennmoment Druck
ME _{Druck} =	262,38	Nm	erforderl. Einstellmoment Druck

Wahl Antrieb:

Typ: Handrad Dm = 800 mm

n =	40,0	U/min	Drehzahl
ME-Zug =	55,0	Nm	eingestelltes Drehmoment Zug
ME-Druck =	55,0	Nm	eingestellt. Drehmoment Druck

Wahl Antrieb:

Typ: Handrad Dm = 800 mm

n =	40,0	U/min	Drehzahl
ME-Zug =	55,0	Nm	eingestelltes Drehmoment Zug
ME-Druck =	55,0	Nm	eingestellt. Drehmoment Druck

Ergebnisse Antriebswahl:

FE _{Zug} =	4,232	kN	Zugkraft bei eingestelltem Moment
FEW _{Zug} =	5,713	kN	Zugkraft nach Tabelle 7 DIN 19704-1
FVert _{Zug} =	2,539	kN	Zugkraft bei einer Verteilung 60:40
FE _{Druck} =	4,232	kN	Druckkraft bei eingestelltem Moment
FH _{Zug} =	116,015	N	erforderl. Handkraft Zug bei MNenn
FH _{Druck} =	506,271	N	erforderl. Handkraft Druck bei MNenn
vH =	2613,045	mm/min	Stellgeschwindigkeit bei Handantrieb
tH =	1,225	min	Hubzeit bei Handantrieb (Freiziehen)

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 32
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

nRitzel =	9,260	Anzahl der Ritzelumdrehungen für Freiziehen
nMotor =	48,985	Anzahl der Handradumdrehungen für Freiziehen

Die erforderliche Handkraft Druck resultiert aus der Vorgabe nach DIN 19704 für den Schließdruck der Sohdichtung. Diese Handkraft übersteigt die maximale Vorgabehandkraft von max. 200 N wesentlich. Mit dem vorhandenen Antriebsaufbau kann die Schließdruckvorgabe der DIN nicht erreicht werden.

Die erforderliche Handkraft reduziert sich nach Stauspiegelausgleich auf 36 N.

4.2.4. Antriebskonfiguration max. Antriebsbelastung (Nassabnahme)

Geometriewerte und Vorgabekonstanten siehe Pkt. 4.2.1, Formelblock siehe Pkt. 4.2.3.

Belastungsangaben:

F_{N_Zug} =	5,341	kN	erforderliche Gesamtzugkraft
F_{N_Druck} =	16,151	kN	erforderliche Gesamtdruckkraft
n_{Hand} =	40	U/min	Handantriebsdrehzahl
r_{Hand} =	400	mm	Radius Handrad/-kurbel
h_{Hub} =	3200	mm	Hubweg für Freiziehen

Ergebnisse Getriebemomente Zug

M_{G_ges} =	367,167	Nm	Getriebenenmoment gesamt
k =	1,000		Anzahl Getriebe
M_{G_Einz} =	367,167	Nm	Getriebenenmoment für Einzelgetriebe

Getriebewahl Getriebe 1

Typ: Kettenrad 10/23

i1 =	2,30	Übersetzungsverhältnis
------	------	------------------------

Getriebewahl Getriebe 2

Typ: Kettenrad 10/23

i2 =	2,30	Übersetzungsverhältnis
------	------	------------------------

Ergebnisse Antriebsmomente:

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 33
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

MN _{Zug} =	69,41	Nm	erforderl. Nennmoment Zug
ME _{Zug} =	86,76	Nm	erforderl. Einstellmoment Zug
MN _{Druck} =	209,90	Nm	erforderl. Nennmoment Druck
ME _{Druck} =	262,38	Nm	erforderl. Einstellmoment Druck

Wahl Antrieb:

Typ: Handrad Dm = 800 mm

n =	40,0	U/min	Drehzahl
ME-Zug =	55,0	Nm	eingestelltes Drehmoment Zug
ME-Druck =	55,0	Nm	eingestellt. Drehmoment Druck

Ergebnisse Antriebswahl

FE _{Zug} =	4,232	kN	Zugkraft bei eingestelltem Moment
FE _{Druck} =	4,232	kN	Druckkraft bei eingestelltem Moment
FH _{Zug} =	192,799	N	erforderl. Handkraft Zug bei MNenn
FH _{Druck} =	583,056	N	erforderl. Handkraft Druck bei MNenn
vH =	2613,045	mm/min	Stellgeschwindigkeit bei Handantrieb
tH =	1,225	min	Hubzeit bei Handantrieb (Freiziehen)
nRitzel =	9,260		Anzahl der Ritzelumdrehungen für Freiziehen
nMotor =	48,985		Anzahl der Handradumdrehungen für Freiziehen

Mit dem am Handrad mit Überlastsicherung eingestelltem Wert 55 Nm (für Betriebsstau) wird die erforderliche Zugkraft von 5,241 kN nicht erreicht. Für diesen Sonderfall ist das Handrad gegen ein Handrad ohne Überlastsicherung auszutauschen.

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 34
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

4.3. Nachweise Übertragungsbauteile

4.3.1. Passfederverbindung Ritzel

Formelblock Passfederverbindung:

Umfangskraft	$F_U = \frac{F_{TS} * d_0}{d_{wR}}$
Flächenpressung Welle	$p_W = \frac{F_U}{t_1 * l_{tr}}$ mit $l_{tr} = l - b$
Flächenpressung Nabe	$p_N = \frac{F_U}{(h - t_1) * l_{tr}}$
Zul. Flächenpressung stat.	$p_{Rd_stat} = R_e / \gamma_{M_stat}$
Zul. Flächenpressung dyn.	$p_{Rd_dyn} = R_e / \gamma_{M_dyn}$

Geometriewerte:

b =	14	mm	Breite Passfeder
h =	9	mm	Höhe Passfeder
t1 =	5,50	mm	Tiefe Welle
t2 =	3,80	mm	Tiefe Nabe
l =	60,00	mm	Länge Passfeder
d0 =	110,00	mm	Teilkreisdurchmesser Ritzel
dwR =	50,00	mm	Durchmesser Ritzelwelle
Anzahl =	2		Anzahl Passfedern

Materialwerte:

Material	42CrMo4+QT		Material Welle
Re =	550,00	N/mm ²	Streckgrenze
Material	42CrMo4+QT		Material Ritzel
Re =	500,00	N/mm ²	Streckgrenze
Material	42CrMo4+QT		Material Passfeder
Re =	550,00	N/mm ²	Streckgrenze

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 35
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 36
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

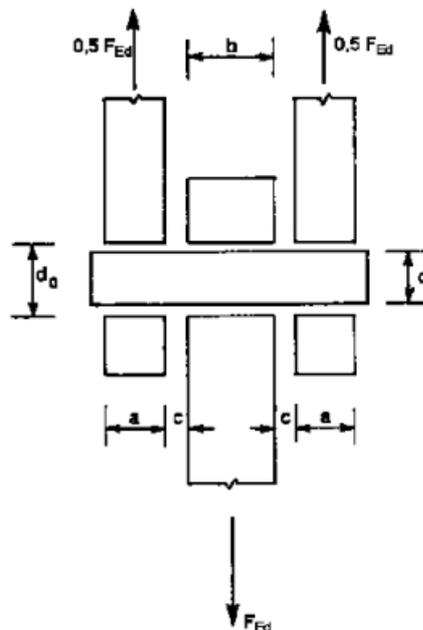
4.3.2. Triebstockbolzen

Bemessung nach DIN EN 1993-1-8:2010-12 (Seite 41)

Tabelle 3.10 — Bemessungsregeln für Bolzenverbindungen

Versagenskriterium	Bemessungsregeln
Abscheren des Bolzens	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{M2} \geq F_{v,Ed}$
Lochleibung von Augenblech und Bolzen	$F_{b,Rd} = 1,5 t d f_y / \gamma_{M0} \geq F_{b,Ed}$
Bei austauschbaren Bolzen zusätzlich	$F_{b,Rd,ser} = 0,6 t d f_y / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
Biegung des Bolzens	$M_{Rd} = 1,5 W_{et} f_{yp} / \gamma_{M0} \geq M_{Ed}$
Bei austauschbaren Bolzen zusätzlich	$M_{Rd,ser} = 0,8 W_{et} f_{yp} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
Kombination von Abscheren und Biegung des Bolzens	$\left[\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$

d Bolzendurchmesser;
f_y kleinerer Wert der Streckgrenze *f_{yb}* des Bolzenwerkstoffs und des Werkstoffs des Augenstabs;
f_{up} Bruchfestigkeit des Bolzens;
f_{yp} Streckgrenze des Bolzens;
t Dicke des Augenstablechs;
A Querschnittsfläche des Bolzens.



Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 37
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

Geometriewerte:

dB	=	16,00	mm	Bolzendurchmesser
a	=	12,00	mm	Wangendicke Triebstock
b	=	60,00	mm	Dicke Anschluss
c	=	2,00	mm	Abstand Wange - Anschluss

Materialwerte:

		16MnCr5 (norm.)		Material Bolzen
fyp	=	550,00	N/mm ²	Streckgrenze Bolzen
fup	=	780,00	N/mm ²	Bruchfestigkeit Bolzen
		S355		Material Augstab
fyp	=	335,00	N/mm ²	Streckgrenze Augstab
fy	=	335,00	N/mm ²	kleinerer Wert Streckgrenze

Belastungen:

F _{TS}	=	5,71	kN	Triebstockzugkraft 100%
-----------------	---	------	----	-------------------------

Sicherheitsbeiwerte (DIN 19704-1):

γ _{m0}	=	1,10		Sicherheitsbeiwert
γ _{m2}	=	1,25		Sicherheitsbeiwert
γ _{m6,ser}	=	1,00		Sicherheitsbeiwert

Ergebnisse:

W _{el}	=	402,12	mm ³	Widerstandsmoment Bolzen
F _{v,Ed}	=	2.856,60	N	Abscheren Bolzen
F _{v,Rd}	=	75.277,59	N	Beanspruchbarkeit Abscheren
F _{b,Ed}	=	2.856,60	N	Lochleibung Bolzen Augenblech
F _{b,Rd}	=	77.184,00	N	Beanspruchbarkeit Lochleibung
F _{b,Rd,ser}	=	38.592,00	N	Beanspruchbarkeit
M _{Ed}	=	65.701,80	Nmm	Biegemoment im Bolzen
M _{Rd}	=	301.592,89	Nmm	Grenzbiegemoment
M _{Rd,ser}	=	176.934,50	Nmm	Grenzbiegemoment

Nachweise erbracht für:

Wehr43-TP-2021-04-21.docx

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 38
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

$$\underline{\underline{F_{V,ED}/F_{v,Rd} = 0,04 < 1,0 \quad \text{Abscheren Bolzen}}}$$

$$\underline{\underline{F_{b,ED}/F_{b,Rd} = 0,04 < 1,0 \quad \text{Lochleibung Augblech und Bolzen}}}$$

$$\underline{\underline{M_{Ed}/M_{Rd} = 0,22 < 1,0 \quad \text{Biegung Bolzen}}}$$

$$\underline{\underline{0,05 < 1,0 \quad \text{Kombination Abscheren Biegung}}}$$

4.3.3. Knicksicherheit Triebstock

Formelblock Knicksicherheit (EULER Lastfall 2)

Schlankheitsgrad	$\lambda = \frac{L_K}{i}$
Flächenträgheitsradius	$i = \sqrt{I/A}$
Grenzschlankheitsgrad	$\lambda_0 = \sqrt{\pi^2 * E/R_e}$

Geometriewerte:

b =	60,00	mm	Breite Triebstockwange
h =	12,00	mm	Höhe Triebstockwange
LK =	3.200,00	mm	Knicklänge

Materialwerte:

S355			Material Triebstockwange
Re =	335,00	N/mm ²	Streckgrenze
E =	210.000,00	N/mm ²	Elastizitätsmodul

Belastungen:

FTS _{stat} =	5,71	kN	Triebstockdruckkraft 100%
-----------------------	------	----	---------------------------

Zielgrößen (nach EULER Lastfall 2 elastisch $\lambda \geq \lambda_0$):

A =	1.440,00	mm ²	Fläche beider Wangen
I _{vorh} =	432.000,00	mm ⁴	Fl.-trägheitsmom. beider Wangen
i =	17,32		Flächenträgheitsradius
λ =	184,75		Schlankheitsgrad
λ_0 =	78,66		Grenzschlankheitsgrad

Ingenieurbüro Döhler GmbH & Co. KG	Seite: 39
Objekt: Wehr 43 – Hubtorschleuse Teilobjekt: Stahlwasser-/Maschinenbau Einzelteil: Entwurfsbemessung	Datum: 20.04.2021

$I_{erf} =$	28.226,72	N/mm ²	erforderl. Fl.-Trägheitsmoment
$\lambda \geq \lambda_0$	Ja		Berechnung nach EULER
$I_{vorh}/I_{erf} =$	15,30		SKE (Sicherheitsfaktor)

Ende der Nachweisführung