

Statische Berechnung

Holz- und Fabrikenhafen (Süd)

HWS-Wand Station 8,06 – 125,00



Auftraggeber:

Wirtschaftsförderung Bremen

Stand:

4. Februar 2020

Statische Berechnung

Holz- und Fabrikenhafen (Süd)

HWS-Wand Station 8,06 – 125,00

Auftragnehmer:

Bremenports GmbH & Co. KG
Am Strom 2
27568 Bremen

Auftraggeber:

Wirtschaftsförderung Bremen
Langenstraße 2-4
28195 Bremen

Bearbeitung:

Bastian Borchers

Version: 01

Stand: 4. Februar 2020

Projektnummer / Dok-ID:

Revisionsseite

Revision	Datum	Von Seite	Bis Seite	Index	Bearbeiter	Grund
00	05.12.2019	1	71		Borchers	Ersterstellung
01	04.02.2020	I	V	a	Borchers	Austauschseite
		19	19	a		Austauschseite
		23	23	a		Austauschseite
		25	28	a		Austauschseite
		32	34	a		Austauschseite
		42	42	a		Austauschseite
		44	47	a		Austauschseite
		56	58	a		Austauschseite
		58-1	58-1			Ergänzungsseite
		64	71	a		Austauschseite

Aufgestellt, Bremerhaven, 04.02.2020

.....
Bastian Borchers (SC 111-11)

E-Mail: bastian.borchers@bremenports.de

Telefon: 0471 / 30901 - 229

Geprüft, Bremerhaven, 04.02.2020

.....
Christian Pabst (SC 11)

E-Mail: christian.pabst@bremenports.de

Telefon: 0471 / 30901 - 215

Inhaltsverzeichnis

Revisionsseite	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	6
Unterlagenverzeichnis	7
1 Vorbemerkungen	9
1.1 Allgemeines.....	9
1.2 Übersicht	10
1.3 Peilungen.....	13
2 Belastung	15
2.1 Wasserstände.....	15
2.2 Wellendruck nach BHFU 2013.....	16
2.3 Treibgutstoß.....	18
3 Lastfallkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerte	19
4 HWS-Wand mit Vorland.....	20
4.1 Station 125,0 - 102,8 - Larssen 31	20
4.1.1 Lage und Kajenquerschnitte	20
4.1.2 Profile	22
4.1.3 Spundwandberechnung	23
4.1.4 Gurtung, Anker und Ankeranschluss.....	25
4.1.4.1 Gurtung	26
4.1.4.2 Rundstahlanker	28
4.1.4.3 Ankeranschluss Ankertafel	28
4.1.4.4 Ankeranschluss Gurt	29
4.1.5 Schweißanschluss Wandaufstockung	31
4.1.5.1 Statisches System	31
4.1.5.2 Einwirkungen.....	32
4.1.5.3 Kopfplatte	33
4.1.5.4 Z-Güte	34
4.1.5.5 Schweißnaht	34
4.1.6 Querwand bei Station 103,35.....	35
5 Station 102,8 - 8,06 - HWS-Wand ohne Vorland.....	37
5.1 Station 102,8 - 92,3 - Hoesch IV.....	37
5.1.1 Lage und Kajenquerschnitte	37
5.1.2 Profile	39

5.1.3	Spundwandberechnung	41
5.1.4	Schweißanschluss Wandaufstockung	43
5.1.4.1	Statisches System	43
5.1.4.2	Einwirkungen	44
5.1.4.3	Nachweis der Lasteinleitung	44
5.1.4.4	Kopfplatte	47
5.1.4.5	Z-Güte	47
5.1.4.6	Schweißnaht	47
5.2	Station 92,30 - 15,78 - Larssen 24 / Larssen 25.....	48
5.2.1	Lage und Kajequerschnitte	48
5.2.1.1	Zusammenfassung	48
5.2.1.2	Station 92,30 - 89,91 - Larssen 24.....	49
5.2.1.3	Station 89,91 - 70,86 - Larssen 24.....	50
5.2.1.4	Station 70,86 - 28,42 - Larssen 24.....	51
5.2.1.5	Station 28,42 - 15,78 - Larssen 25.....	52
5.2.2	Profile	53
5.2.3	Spundwandberechnung	55
5.2.4	Schweißanschluss Wandaufstockung	57
5.2.4.1	Statisches System	57
5.2.4.2	Einwirkungen	57
5.2.4.3	Nachweis der Lasteinleitung	58
5.2.4.4	Kopfplatte	59
5.2.4.5	Z-Güte	59
5.2.4.6	Schweißnaht	59
5.3	Station 15,78 - 8,06 - DB PSP 700 PZi 612	60
5.3.1	Lage und Kajequerschnitte	60
5.3.2	Profil	61
5.3.3	Spundwandberechnung	63
5.3.4	Schweißanschluss Wandaufstockung	64
5.3.4.1	Statisches System	64
5.3.4.2	Einwirkungen	64
5.3.4.3	Kopfplatte	65
5.3.4.4	Z-Güte	69
5.3.4.5	Schweißnaht	70

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Lage Holz- und Fabrikenhafen (Auszug aus [U2]).....	10
Abbildung 2 – Planungsbereich Holz- und Fabrikenhafen (Süd).....	11
Abbildung 3 – Planungsbereich Holz- und Fabrikenhafen (Süd).....	12
Abbildung 4 – Station 8,06 - 70,0 - Auszug Baggerplan [U7]	13
Abbildung 5 – Station 70 - 125 - Auszug Baggerplan[U9]	14
Abbildung 6 – Lage der Kaje - Station 125,00 - 102,8	20
Abbildung 7 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 125,00 - 118,80 und 114,3 - 102,8 [U1].....	20
Abbildung 8 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 118,80 - 114,30 [U1]	21
Abbildung 9 - Skizze HWS-Wand Kaje Station 102,8 - 125,0	21
Abbildung 10 - Profilwerte Spundwand Bestand Larssen 31 (Auszug [U5]	22
Abbildung 11 - Profilwerte Spundwand Larssen 600	22
Abbildung 12 – Lage der Kaje - Station 102,8 - 92,3	37
Abbildung 13 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 102,8 - 99,0 [U1]	37
Abbildung 14 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 99,0 - 92,30 [U1]	38
Abbildung 15 - Profilwerte Spundwand Larssen 600 (Auszug [U5]	39
Abbildung 16 - Profilwerte Spundwand Hoesch IV.....	40
Abbildung 17 – Lage der Kaje - Station 92,30 - 89,91	49
Abbildung 18 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 92,30 - 89,91 [U1]	49
Abbildung 19 – Lage der Kaje - Station 89,91 - 70,86	50
Abbildung 20 - Auszug Bauentwurf - Kaje Station 89,91 - 70,86 [U1]	50
Abbildung 21 – Lage der Kaje - Station 70,86 - 58,96	51
Abbildung 22 - Auszug Bauentwurf - Kaje Station 70,86 - 28,42 [U1]	51
Abbildung 23 – Lage der Kaje - Station 28,42 - 15,78	52
Abbildung 24 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 28,42 - 15,78 [U1]	52
Abbildung 25 - Profilwerte Spundwand Larssen 600 (Auszug [U5]	53
Abbildung 26 - Profilwerte Spundwand Larssen 24	54
Abbildung 27 – Lage der Kaje 15,78 - 8,06.....	60
Abbildung 28 - Auszug Bauentwurf Station 15,78 - 8,06 [U1]	60
Abbildung 29 - Profilwerte Spundwand Larssen 600	61
Abbildung 30 - Profilwerte Tragbohlen Psp 700 (Auszug [U6])	62
Abbildung 31 - System und Belastung	66
Abbildung 31 - Normalspannung σ_v	66
Abbildung 32 - Lagerreaktionen und Normalspannung σ_v	67
Abbildung 32 - Lagerreaktionen und Normalspannung σ_v	67
Abbildung 33 - Normalspannung σ_v entlang der Pzi	68
Abbildung 33 - Normalspannung σ_v entlang der Larssen 600.....	68
Abbildung 35 - Verformung.....	69
Abbildung 36 - Lagerreaktionen entlang der Pzi	70

Unterlagenverzeichnis

- [U1] bremenports, Entwurfsplanung Holz- und Fabrikenhafen
Erläuterungsbericht vom Februar 2011, Rev. 01
Zeichnungen: 1 - 20
- [U2] bremenports - Übersichtsplan
Hafenanlagen in Bremen Stand 2011
- [U3] Hoesch AG Hüttenwerke
Die Stahlspundwand Hoesch
6. Auflage 1965
- [U4] Hoesch AG Hüttenwerke
Profiltafeln für Hosch-Stahlspundwände
6. Auflage 1981
- [U5] Dortmund-Hörder Hüttenunion AG
Larssen Profiltafeln und Tabellen
Ausgabe 1965
- [U6] Preussag Stahl
Peiner Stahlspundwände - Peiner Stahlpfähle
Ausgabe 1991
- [U7] bremenports - Peilplan vom 02.02.2016
Holz- und Fabrikenhafen - Station 70 - Einfahrt
Doc Id 612446
- [U8] bremenports - Baggerplan vom 02.02.2016
Holz- und Fabrikenhafen - Station 70 - Einfahrt
Doc Id 612446
- [U9] bremenports - Peilplan vom 23.11.2015
Holz- und Fabrikenhafen - Station 0 - 70
Doc Id 599674
- [U10] bremenports - Baggerplan vom 23.11.2015
Holz- und Fabrikenhafen - Station 0 - 70
Doc Id 600321
- [U11] Rizkallah + Partner GmbH – Baugrunduntersuchungsbericht mit
Gründungsempfehlung vom 09.05.2016 in der Revision a vom 26.08.2016
Überseestadt Bremen – Holz- und Fabrikenhafen Südseite,
Vorhandene Kaje und neue Hochwasserschutzwand (HWS) am Kühlhaus;
Aktenzeichen: 1917-2015GU2
- [U12] Rizkallah + Partner GmbH – Baugrunduntersuchungsbericht mit
Gründungsempfehlung vom 09.06.2016
Überseestadt Bremen – Holz- und Fabrikenhafen Südseite;
Vorhandene Kaje und neue Hochwasserschutzwand (HWS);
Aktenzeichen: 1917-2015GU3

- [U13] Rizkallah + Partner GmbH – Untersuchungsbericht vom 01.11.2016
Überseestadt Bremen – Holz- und Fabrikenhafen Südseite;
Ermittlung der Wasserdruckverhältnisse nach Überflutung;
Aktenzeichen: 1917-2015GU4

- [U14] Rizkallah + Partner GmbH – Untersuchungsbericht vom 08.11.2016
Überseestadt Bremen – Holz- und Fabrikenhafen Südseite;
Ermittlung der Erddruck und Wasserdruckbelastung für den Belastungsfall
„Überflutung der Kaje“ nach dem Verfahren CULMAN;
Aktenzeichen: 1917-2015GU5

1 Vorbemerkungen

1.1 Allgemeines

Im Generalplan Küstenschutz Niedersachsen/Bremen – Festland vom März 2007 werden für den Bereich der Unterweser neue Sollhöhen für die Hochwasserschutzanlagen (Bestickhöhen) gefordert.

Der zu berücksichtigende Bemessungswasserstand wurde 2008 neu ermittelt und die daraus resultierenden Bestickhöhen vom Senator für Umwelt Bau und Verkehr (SUBV) vorgegeben. Damit sind vereinheitlichte Bestickhöhen für zusammenhängende Uferabschnitte festgelegt.

Um die festgelegten Bestickhöhen zu erreichen, wurde ein Rahmenentwurf von der Inros-Lackner AG, Bremen für Teile der Überseestadt erstellt. Die neuen Bestickhöhe betragen zwischen NN + 8,00 m (Holz- und Fabrikenhafen) und NN + 8,40 m (Kranhafen, Getreidehafen).

Mit dem Prüfvermerk vom 20.05.2011 wurden vom SUBV Vorzugsvarianten für die verschiedenen Kajen der Überseestadt festgelegt.

Die bremenports GmbH & Co.KG wurde im Anschluss von der Wirtschaftsförderung Bremen (WfB) mit der Erarbeitung eines Bauentwurfes für den Holz-und Fabrikenhafen (Süd) beauftragt. Dieser sieht das Aufstocken der bestehenden Ufereinfassung (Hochwasserschutzwand) sowie die Errichtung zusätzlicher, rückgelagerter Hochwasserschutzwände.

In der vorliegenden Statischen Berechnung erfolgt der Nachweis für die Aufstockung der Ufereinfassung. Der Nachweis der bestehenden Spundwand erfolgt unter Berücksichtigung gemessenen Restwanddicken in einer separaten Unterlage.

1.2 Übersicht

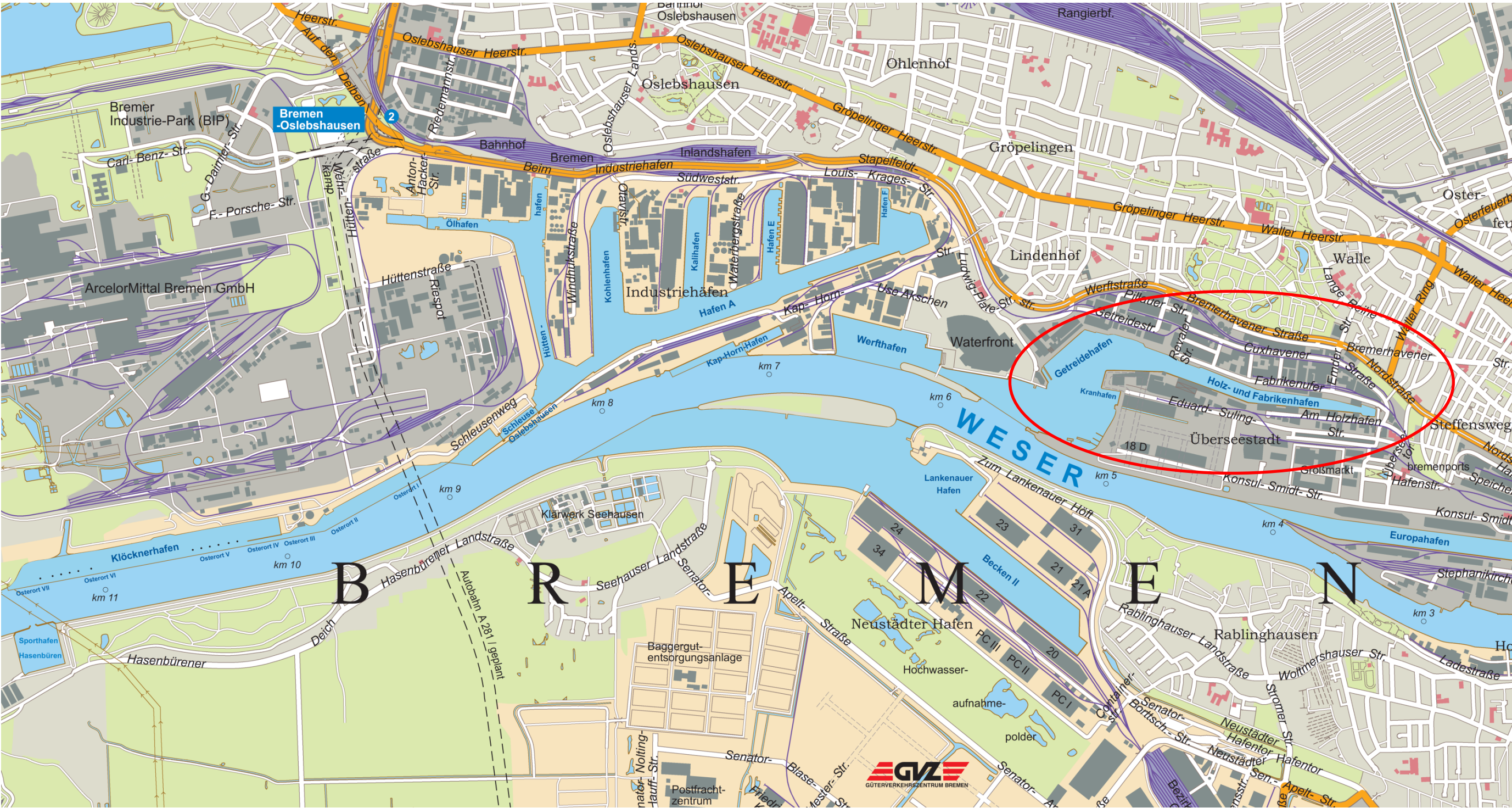


Abbildung 1 – Lage Holz- und Fabrikenhafen (Auszug aus [U2])

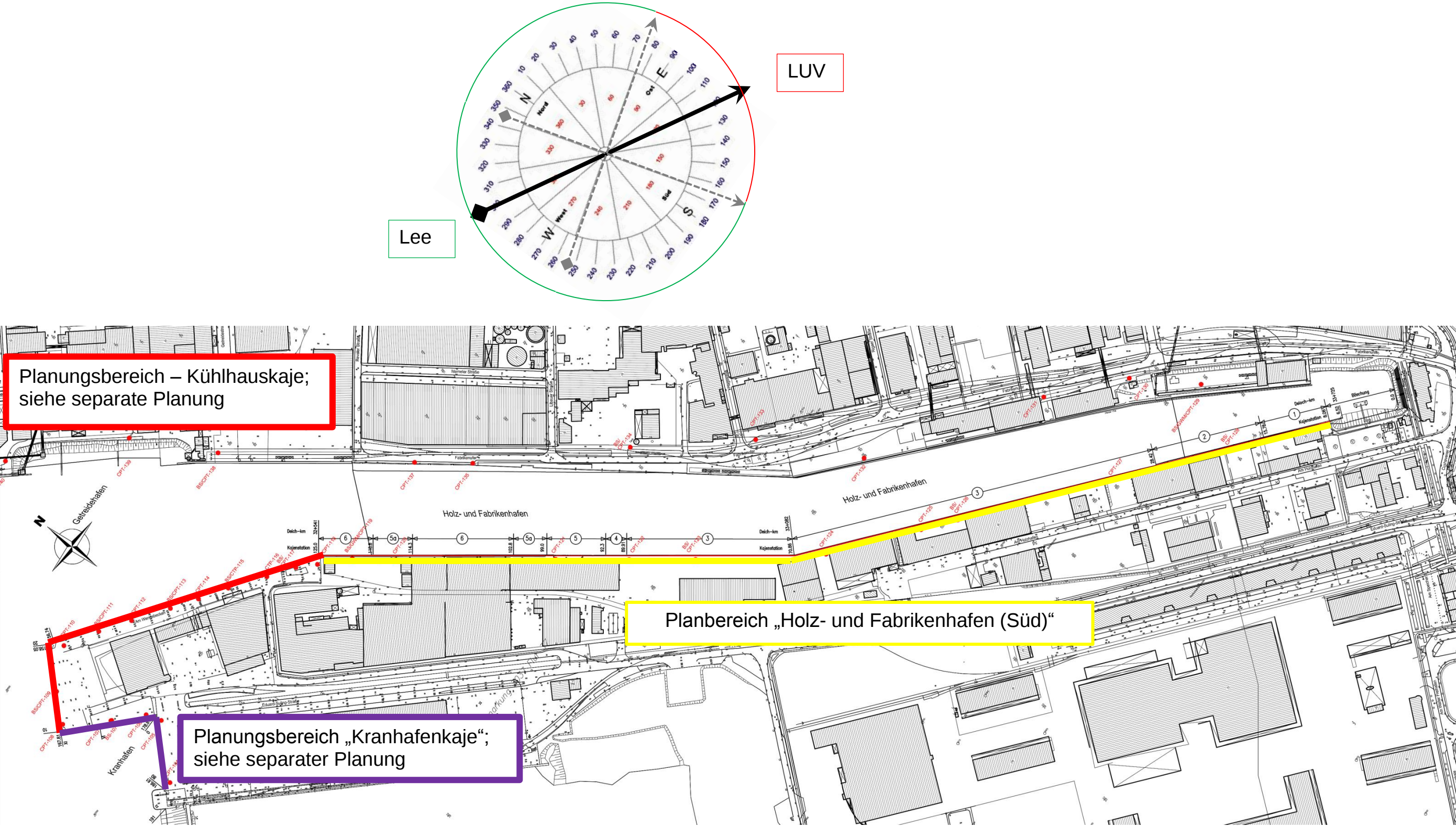


Abbildung 2 – Planungsbereich Holz- und Fabrikenhafen (Süd)



1.3 Peilungen

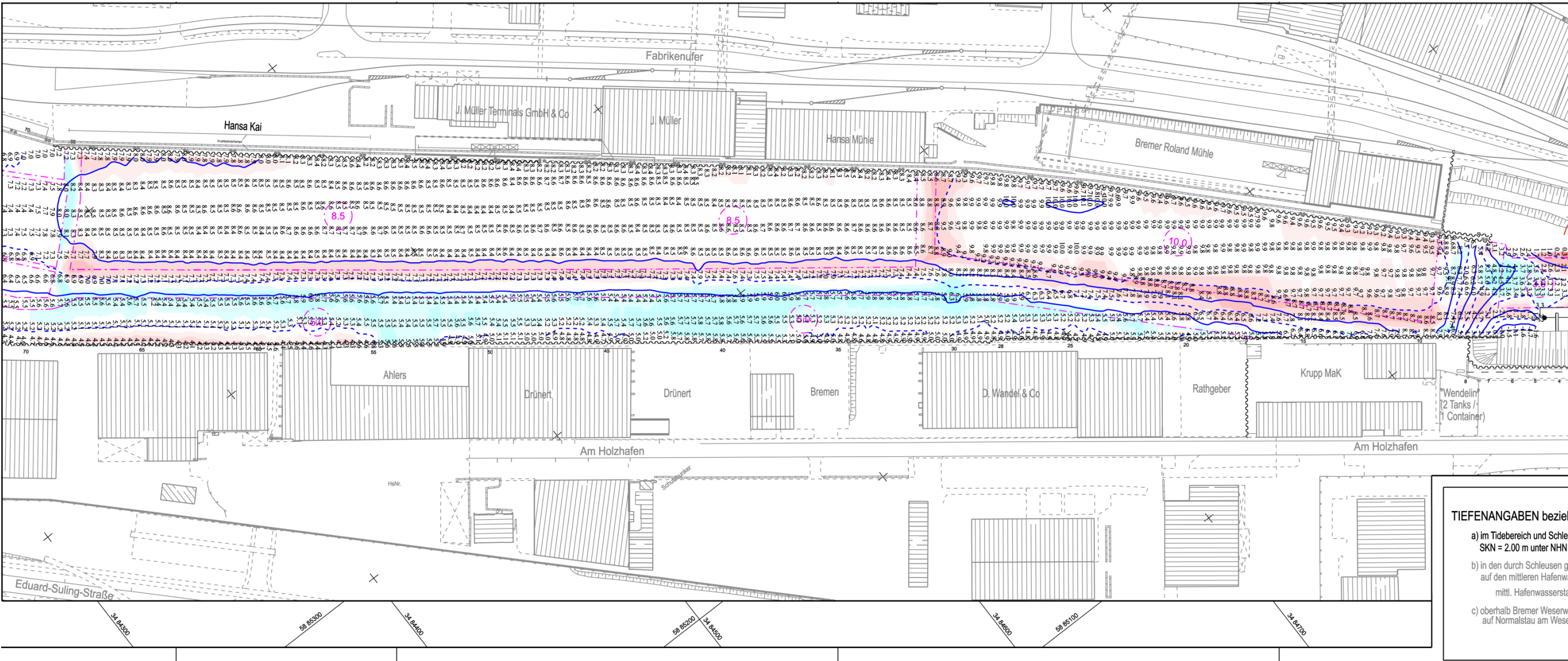


Abbildung 4 – Station 8,06 - 70,0 - Auszug Baggerplan [U7]

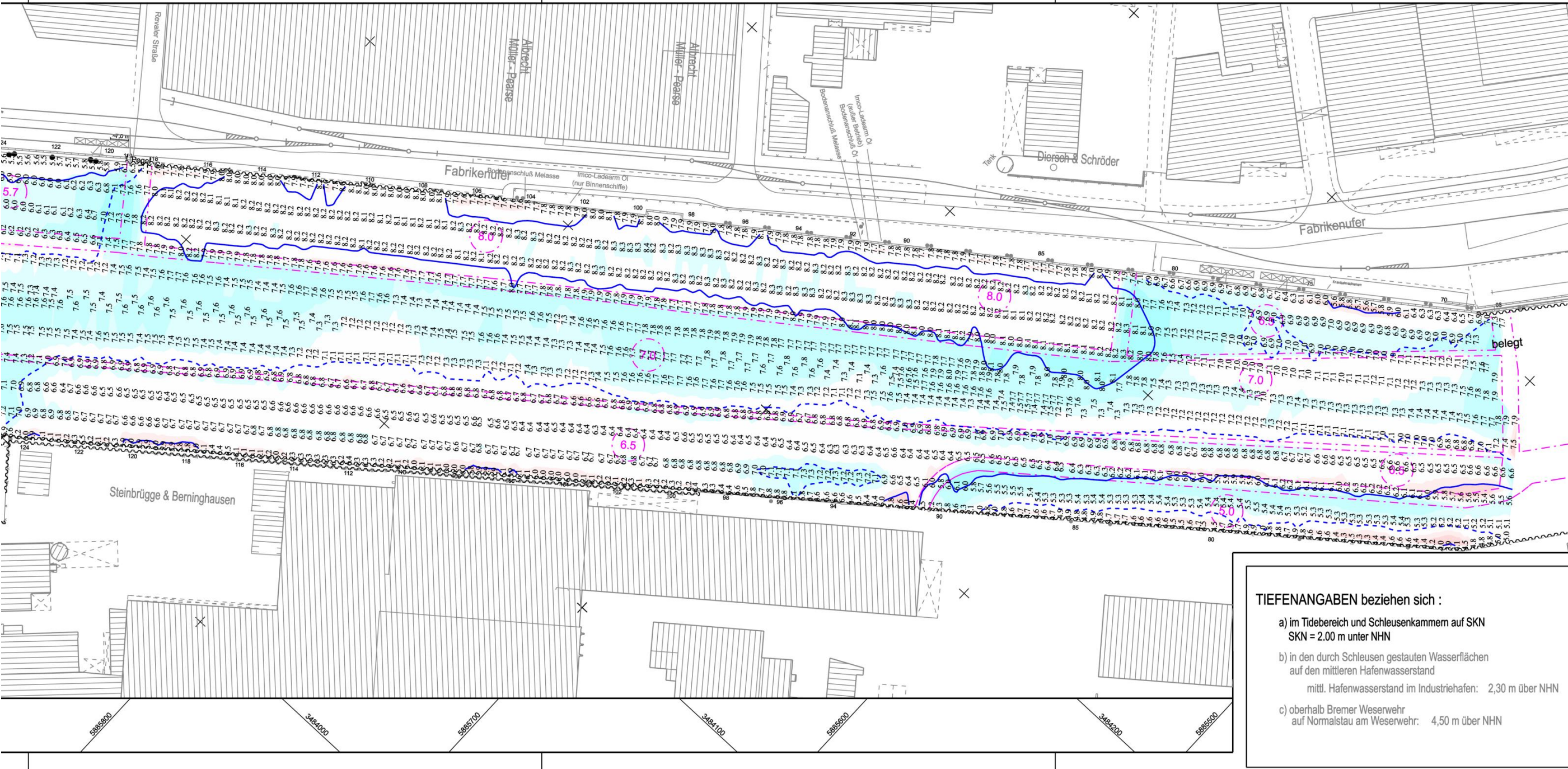


Abbildung 5 – Station 70 - 125 - Auszug Baggerplan[U9]

2 Belastung

2.1 Wasserstände

Hafenwasserstände am Pegel "Schleuse Oslebshausen"

HHThw=	5,34 mNN	(Gem.Wasserstandsdaten WSA 2016)
HThw=	5,21 mNN	(Gem.Wasserstandsdaten WSA 2016)
MThw=	2,52 mNN	(Gem.Wasserstandsdaten WSA 2016)
MTnw=	-1,67 mNN	(Gem.Wasserstandsdaten WSA 2016)
MSpTnw=	-1,75 mNN	(Gem.Baugrundgutachten)
LAT / SKN=	-2,00 mNN	(Gem.Wasserstandsdaten WSA 2016)
NTnw=	-2,79 mNN	(Gem.Wasserstandsdaten WSA 2016)
NNTnw=	-3,23 mNN	(Gem.Wasserstandsdaten WSA 2016)

(Quelle: Wasser- und Schifffahrtsamt Bremen, Stand 09.02.2016)

Gemessene Grundwasserstände

Die Grundwasserstände wurden über Pegelmessungen 2014/2015 ermittelt. Detaillierte Aussagen zu den Grundwassermessstellen sind den Unterlagen [U11] bis [U13] zu entnehmen.

Bemessungswasserstände (Planung /Zukunftszuschlag)

Bemessungswasserstand für den Hochwasserschutz:

Bestickhöhe	NN +8,00 / +8,75 m
Bemessungswasserstand	NN +7,25 / +8,00 m

2.2 Wellendruck nach BHFU 2013

Für diesen Bereich liegt keine Stellungnahme zur Wellenbelastung auf die HWS-Wand vor. Die Wellenparameter werden dem „Seegangsatlas der deutschen Nordseeküste“ entnommen:

Wasserstand +7,00 mNN	} Wellenhöhe $H_{ds} < 0,40$ m; Wellenperiode $T_P = 2$ sec
Windgeschwindigkeit 32 m/s	
Windrichtung 330°	

Die Belastungsermittlung erfolgt mit dem Wellendruckansatz nach den technischen Baubestimmungen Hamburg für eine Welle < 40 cm.

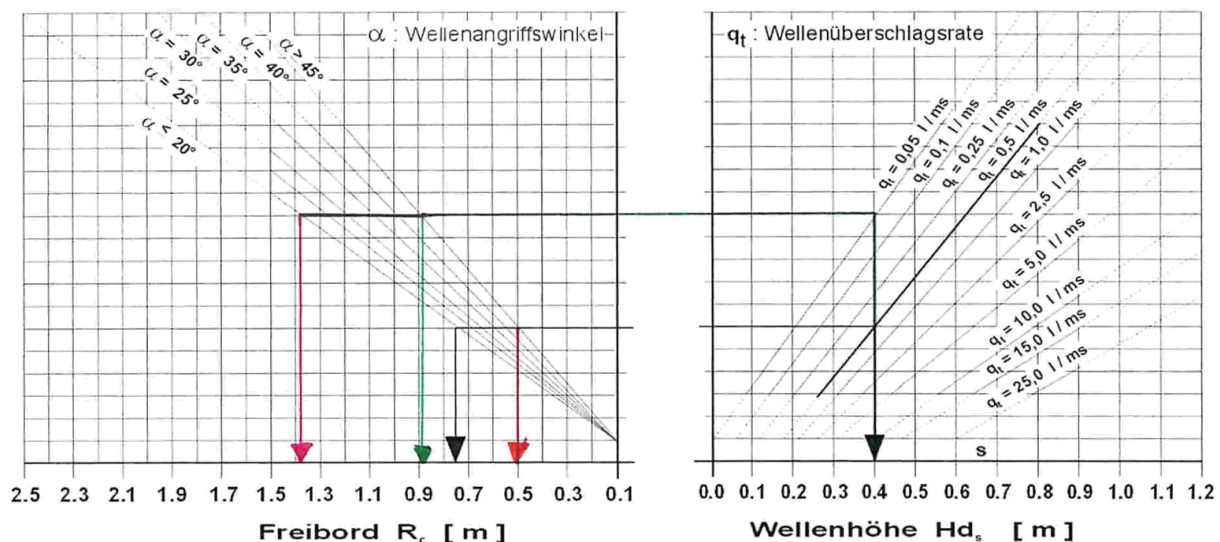
Station 08.06 - 102.8 HWS-Wand auf Uferwand (kein Vorland)

⇒ Belastung nur durch stehende / gebrochene Wellen

Lee-Seite; Wellenhöhe $H_{ds} \leq 0,40$ m ⇒ Wellenlast $F_H = 15,00 / 2 = 7,50$ kN/m

Parameter $\chi_1 = 0,70$

Parameter $\chi_2 = 0,90$



$R_{c0,50}$ = 0,50 - 0,75 m

R_c = 0,75 m

$R_{c0,05}$ = 0,90 - 1,40 m

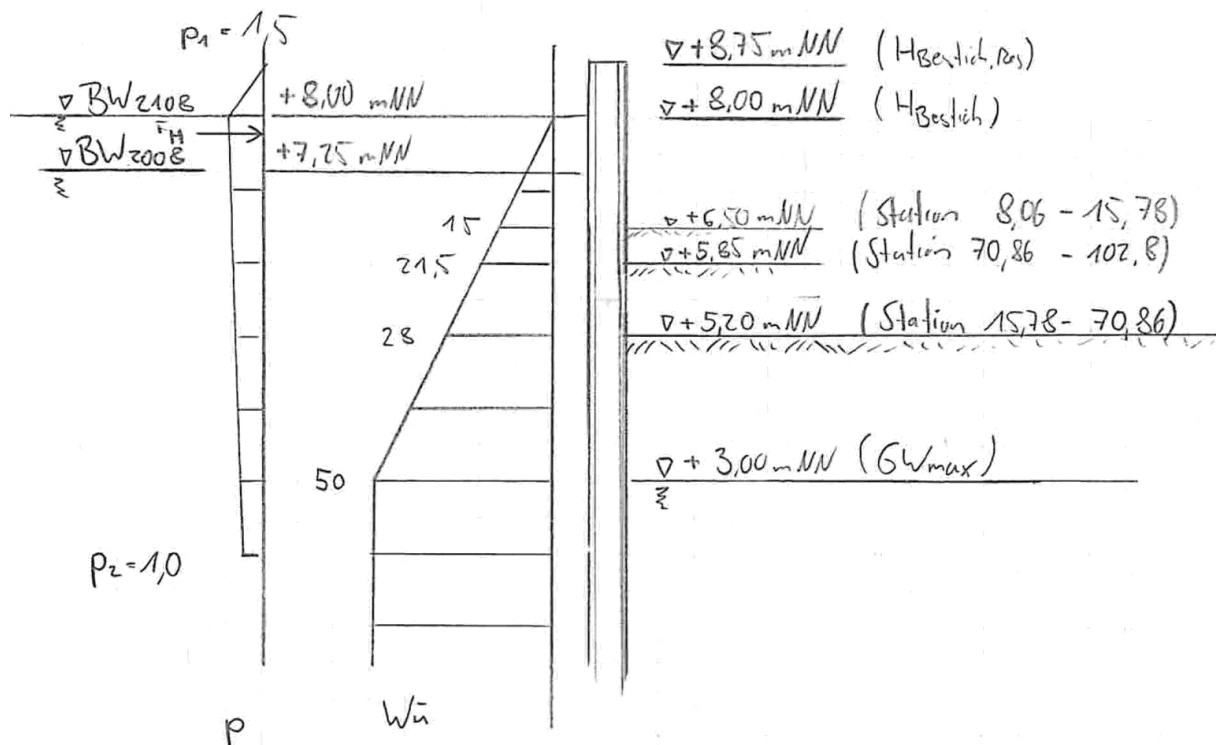
Unter Berücksichtigung des geplanten Freibords von 75 cm ist mit einem Wellenüberlauf zwischen $0,05 \text{ l/ms} \leq q_T \leq 0,50 \text{ l/ms}$ zu rechnen. Die Wellenlast wird bis OK HWS-Wand angesetzt.

$$P_1 = F_H / ((1 + \chi_1) / 2 * d + \chi_2 / 2 * H_{ds}) \quad \text{mit } d \leq 6,0 \text{ m}$$

$$P_1 = 7,5 / ((1 + 0,70) / 2 * 6 + 0,90 / 2 * 0,40) = 1,42 \text{ kN/m}^2$$

$$P_2 = \chi_1 * P_1$$

$$P_2 = 0,70 * 1,42 = 1,00 \text{ kN/m}^2$$



Station 102.08 - 125.0 HWS-Wand an Uferwand mit Vorland

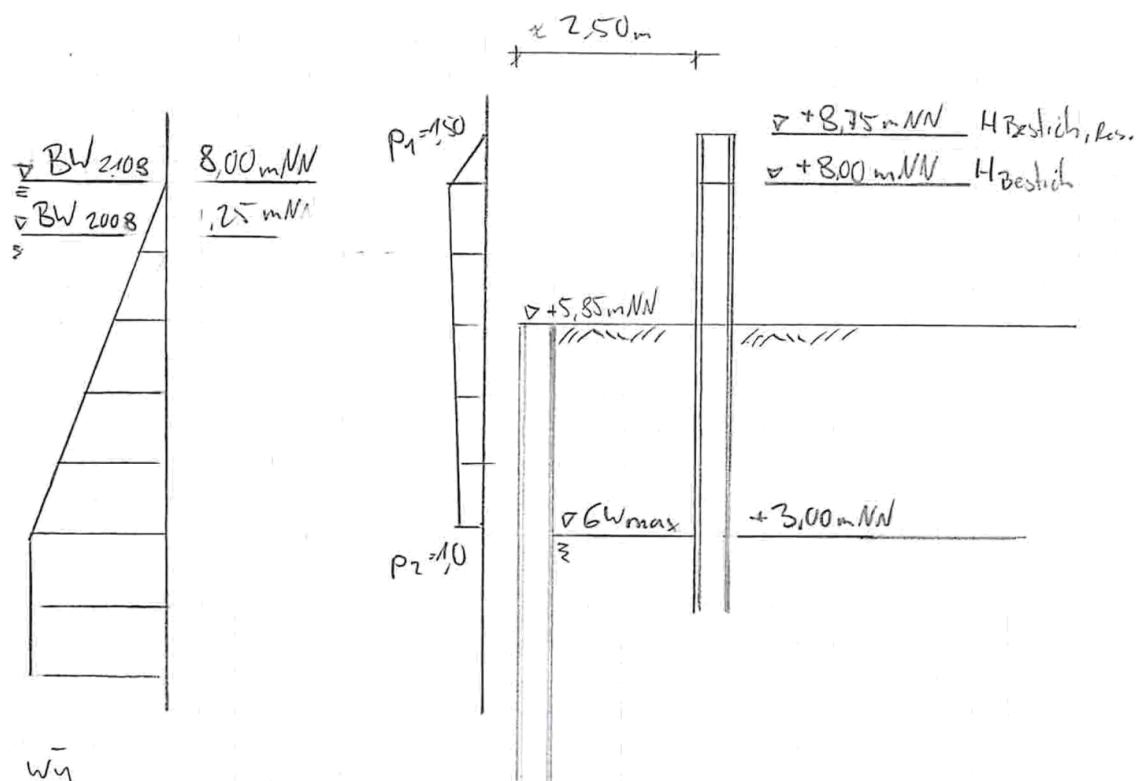
Prüfung der geometrischen Randbedingungen für Sturzbrecher:

- Vorland B_b $\approx 2,50 \text{ m} < 6,00 \text{ m}$ ✓
- Wassertiefe d_1 $\approx 2,15 \text{ m} > 0,30 \text{ m}$ ✓
- Wellenhöhe H_{ds} $\approx 0,40 \text{ m} > 0,30 \text{ m}$ ✓
- Wellenangriffswinkel α_{ds} $< 45^\circ$ ✓

Ein Angriffswinkel zwischen 45° - 90° wird -bedingt durch die fehlende Fetchlänge im Hafenbecken- ausgeschlossen.

⇒ Es ist nicht mit Sturzbrechern zu rechnen.

Die Belastung der HWS-Wand ergibt sich analog zu den Stationen 08.06 - 102.8.



2.3 Treibgutstoß

Die HWS-Wand liegt auf der Lee-Seite. Es wird kein Treibgutstoß angesetzt.

3 Lastfallkombinationen und Teilsicherheitsbeiwerte

Es werden Einwirkungskombinationen in Anlehnung nach BHFU 2013 / EAU 2012 gewählt.

LEE-Seite

Kombination Nr.	Einwirkungen Wasserseite	Bemessungssituation
1	Bemessungshochwasser + volle Welle	BS-A

Die BHFU 2013 sieht eine Einstufung des Bemessungshochwasser sowie der zugehörigen Wellenlast (halbe Welle) in die Bemessungssituation BS-T vor. Da die neue Bemessungssituation einem Jahrhunderthochwasser entspricht, wird die Hochwasserschutzwand mit der vollen Wellenlast aber in der Bemessungssituation BS-A nachgewiesen.

		EAU 2012 bzw. EC7		
		BS-P	BS-T	BS-A
Ständige Last	γ_G	1,35	1,20	1,00
Wasserdruck	$\gamma_{G,red}$	1,20	1,10	1,00
Veränderlich	γ_Q	1,50	1,30	1,00
Erdwiderstand	$\gamma_{R,e}$	1,40	1,30	1,20
Erdwiderstand	$\gamma_{R,e,red}$	1,20	1,15	1,10

		EC3
Querschnittsnachweis	$\gamma_{M,0}$	1,00
	$\gamma_{M,1}$	1,10

4 HWS-Wand mit Vorland

4.1 Station 125,0 - 102,8 - Larssen 31

4.1.1 Lage und Kajequerschnitte

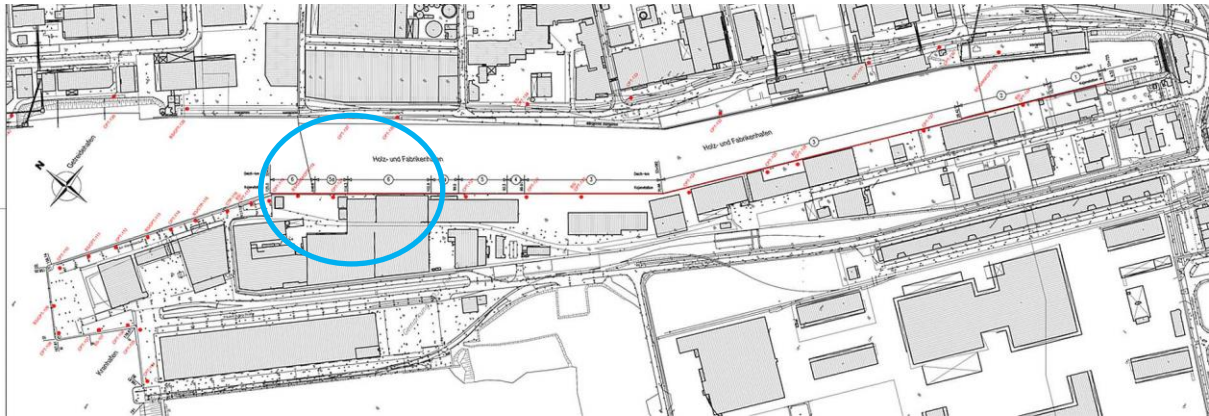


Abbildung 6 – Lage der Kaje - Station 125,00 - 102,8

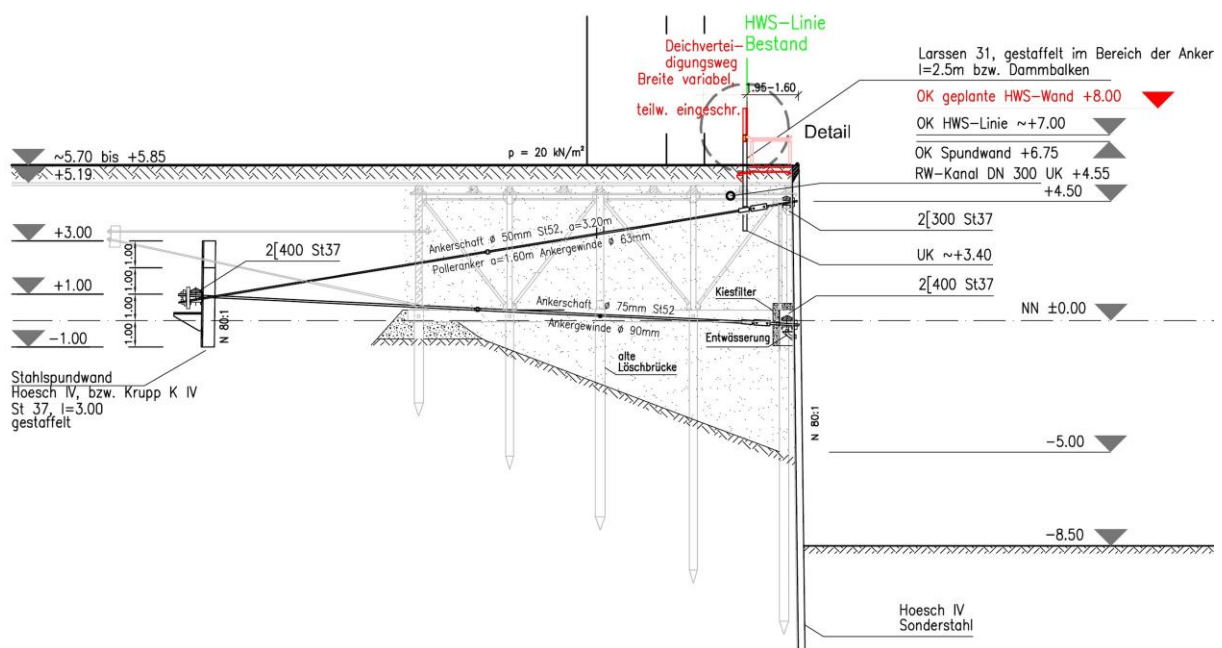
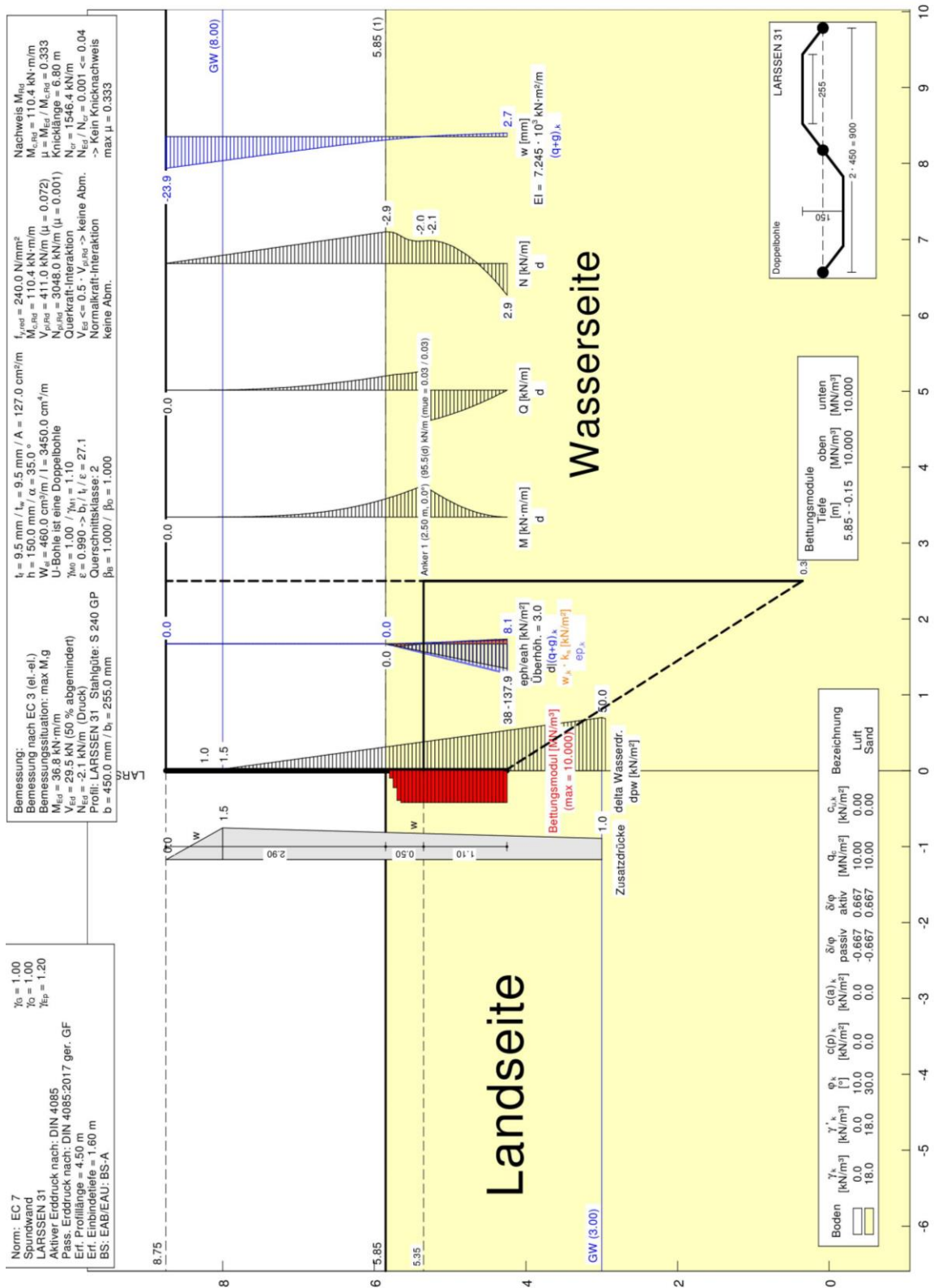


Abbildung 7 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 125,00 - 118,80 und 114,3 - 102,8 [U1]





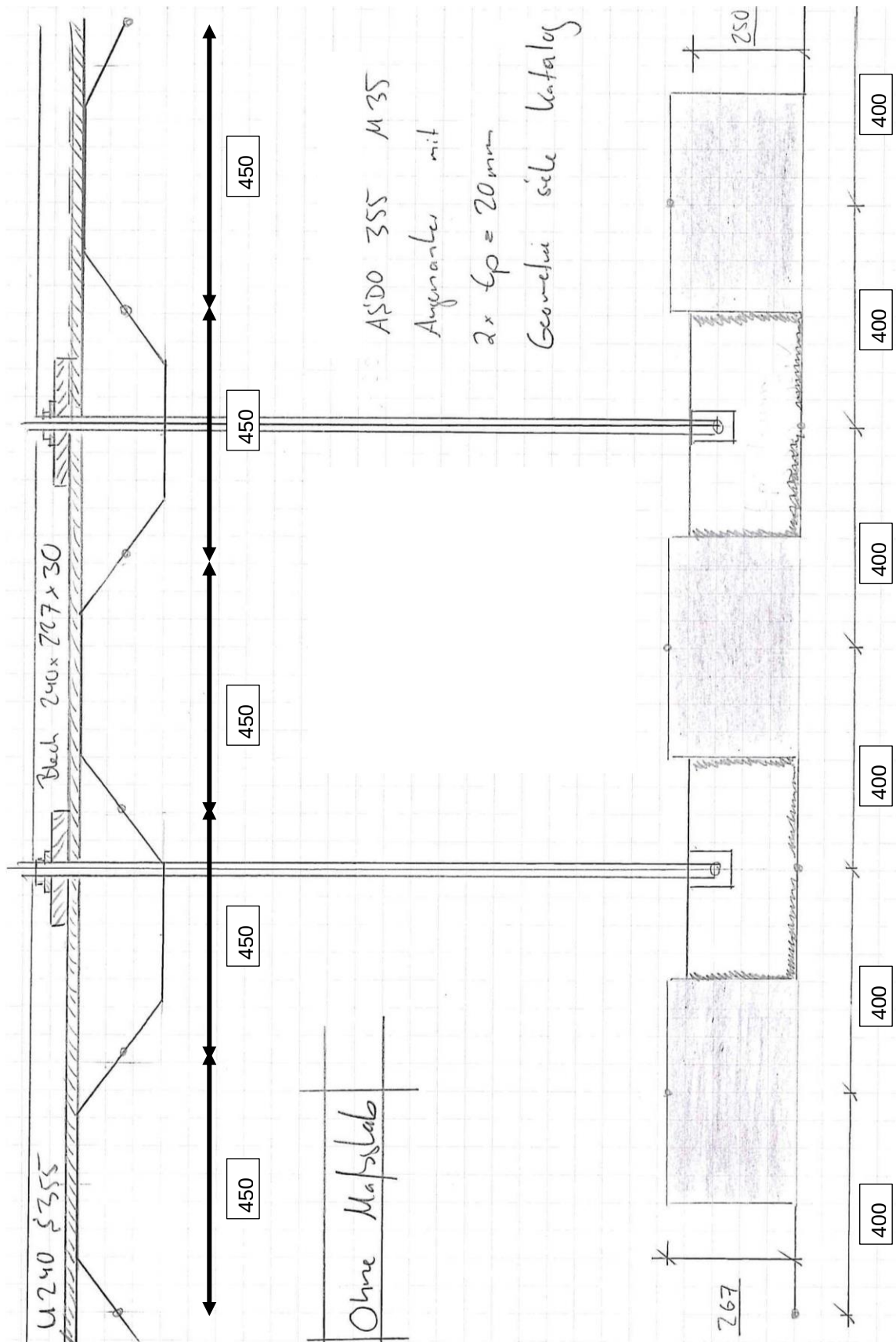
Vertikale Tragfähigkeit

Die Vertikallasten bestehen nur aus dem Eigengewicht der Spundwand. Es kann -auch ohne weitere Berechnungen- von einer ausreichenden vertikalen Tragfähigkeit ausgegangen werden.

Hydraulischer Grundbruch / Sickerwegnachweise

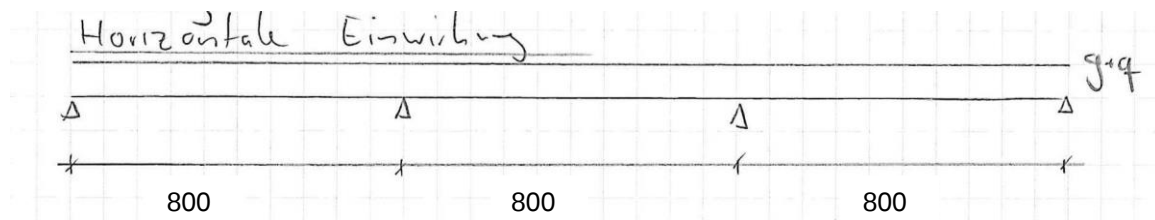
Die überspülte Fläche wird versiegelt, eine Umströmung der Spundwand ist daher nicht zu erwarten. Keine weiteren Nachweise erforderlich.

4.1.4 Gurtung, Anker und Ankeranschluss



4.1.4.1 Gurtung

Gewählt: U240 S235 J2+N



$$(g+q)_d = 100 \text{ kN/m}$$

$$\text{Max } M_{Ed} = 100 \cdot 0,80^2 / 10 = 6,40 \text{ kNm}$$

$$\text{Max } A_{Vd} = 1,15 \cdot 100 \cdot 0,80 = 92,00 \text{ kN}$$

$$\text{Max } V_{Ed} = 0,60 \cdot 100 \cdot 0,80 = 48,00 \text{ kN}$$

Nachweis Elastisch-Elastisch

Gewählt: U240 $W_{el,z} = 39,60 \text{ cm}^3$ S235 J2+N

$$V_{pl,Rd} = 2 \cdot b \cdot t_F \cdot f_y / (3^{0,5} \cdot \gamma_{M0}) = 2 \cdot 85 \cdot 13 \cdot 235 \cdot 10^{-3} / (3^{0,5} \cdot 1) = 299,85 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} / V_{pl,Rd} = 48 / 300 = 0,16 < 1,0$$

$$\text{Max } M_{Ed} / W_{el,z} = 6,4 / 39,60 \cdot 10^3 = 161,62 \text{ N/mm}^2 < 240 \text{ N/mm}^2$$

Vertikale Einwirkungen

$$g_{k1} = 0,5 \text{ m} \times 19 \text{ kN/m}^3 = 9,5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{k2} = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$= 19,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lasteinwirkungsfläche } b \approx 3 \times b_{\text{profil}} \approx 3 \times 0,1 = 0,3 \text{ m}$$

$$g_k = 0,3 \text{ m} \times 19,5 \text{ kN/m}^2 + 0,5 \text{ kN/m} = 6,35 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 0,3 \text{ m} \times 10 \text{ kN/m}^2 = 3 \text{ kN/m}$$

$$(g+q)_d \approx 1,35 \times 6,35 + 1,5 \times 3,0 \approx 13 \text{ kN/m}$$

Durchlaufhöhe *)

$$\text{Max } M_{Ed} \approx \text{Min } M_{Ed} = \frac{q \cdot l^2}{10} = \frac{13 \times 0,9^2}{10} = 1,1 \text{ kNm}$$

$$\text{max } V_{Ed} \approx 0,6 \times q \cdot l = 0,6 \times 13 \cdot 0,9 = 7 \text{ kN}$$

$$\text{Max } A_{u,d} \approx 1,15 \times q \cdot l = 1,15 \times 13 \times 0,9 \approx 13,5 \text{ kN}$$

Biegung — die starke Achse. Die Beanspruchung ist gering o. w. N.

*) Die Gurtung wird konstruktiv an jedem Berg auf einer Länge von 5 cm verschweißt.

4.1.4.2 Rundstahlanker

ASDO 355 M36 Augenanker mit Bolzen

Die Beanspruchung ist gering.

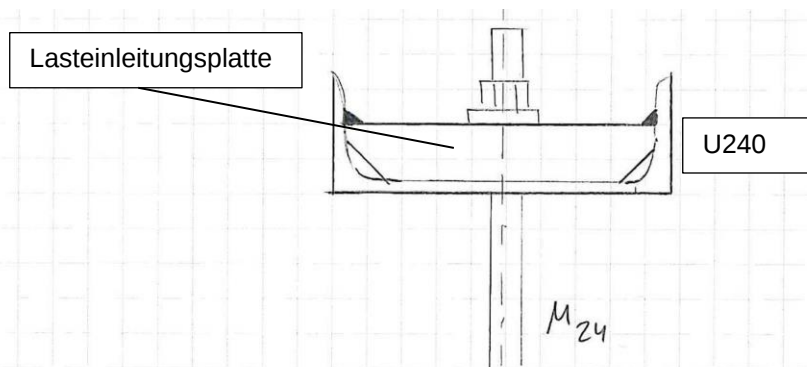
o.w.N.

4.1.4.3 Ankeranschluss Ankertafel

Der Ankeranschluss an der „Ankertafel“ wird konstruktiv ausgeführt. Je nach ausgewähltem Ankertyp werden ein bzw. zwei Bleche $t_p=20$ mm in den Spundwandtälern befestigt.

4.1.4.4 Ankeranschluss Gurt

Gewählt: Lasteinleitungsplatte 240 / 227 / 30 S355



Durchdrängen ohne Lastverteilung:

$$F_{t,rd} = 105 \text{ kN}$$

$$B_{p,rd} = 0,6 \times \pi \times d_m \times t_p \times f_u / \gamma_{M2}$$

$$= 0,6 \times \pi \times 44 \times 9,5 \times 360 / 1,25 = 227 \text{ kN}$$

$$F_{t,rd} / B_{p,rd} = 105 / 227 = 0,46 < 1,00 \quad \checkmark$$

Biegespannung ohne Lastverteilung

$$M_{Ed} \approx \frac{105}{2} \times \frac{0,24 - 0,013}{2} = 6,00 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{(240 - 13) \times 0,95^2}{6} = 3,4 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = 6,00 \times 10^3 / 3,4 = 1765 \text{ N/mm}^2 \gg 235$$

Biegespannung mit Lastverteilung

$$M_{Ed} = \frac{105 \times (0,24 - 0,013)}{4} = 6,00 \text{ kNm}$$

$$\text{erf. } W = \frac{M_{Ed}}{f_y} = \frac{6,00 \times 10^3}{235} = 25,53 \text{ cm}^3$$

$$b_{\text{platte}} = 24 \text{ cm} - 3,0 \text{ cm} = 21,0 \text{ cm}$$

$$\text{erf. } t_{\text{platte}} = \left(\frac{25,53 \times 6}{21} \right)^{0,5} = 2,7 \text{ cm}$$

gewählt: Platte $240 \times 227 \times 30$ r_{355}

$$W_{el} = \frac{21 \cdot 30^2}{6} = 31,5 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{6,0 \times 10^3}{31,5} = 190 \text{ N/mm}^2 < 235 \text{ N/mm}^2 \checkmark$$

Unter Berücksichtigung eines Lochabzuges von rd. 4 cm (M36) ergibt sich das Widerstandsmoment zu:

$$W_{el} = 20 \cdot 3^2 / 6 = 30 \text{ cm}^3$$

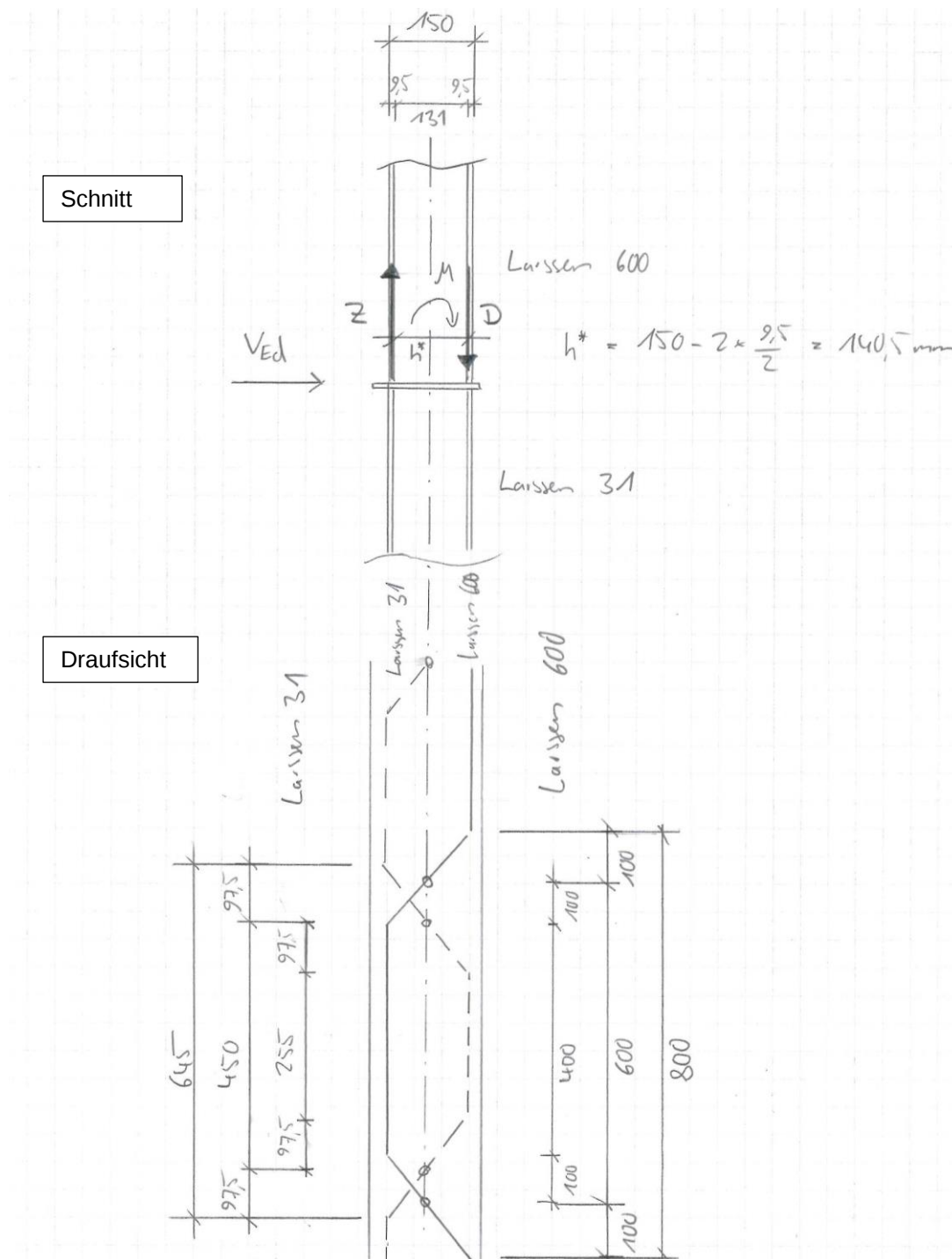
$$\sigma_{Ed} = 6 \cdot 10^3 / 30 = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 200 / 235 = 0,85 < 1,0$$

4.1.5 Schweißanschluss Wandaufstockung

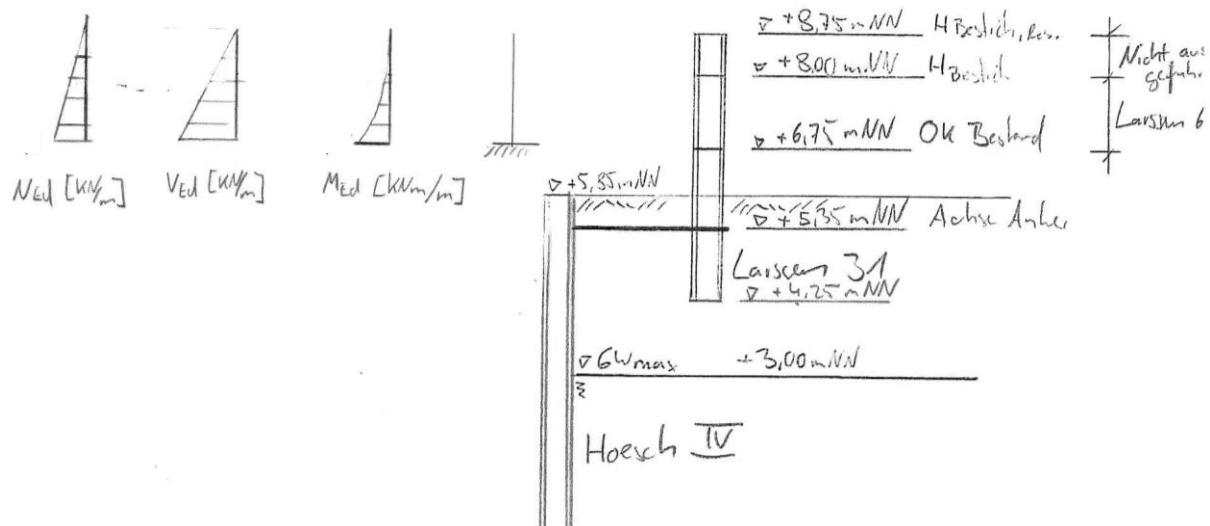
Die Tragfähigkeit des bestehenden Spundwandprofils (Larssen 31) und der Aufstockung (Larssen 600) sind in etwa gleich. Die Tragfähigkeit der Aufstockung ist durch die GGU-Berechnung somit erbracht. Im Folgenden wird der Schweißanschluss nachgewiesen.

4.1.5.1 Statisches System



4.1.5.2 Einwirkungen

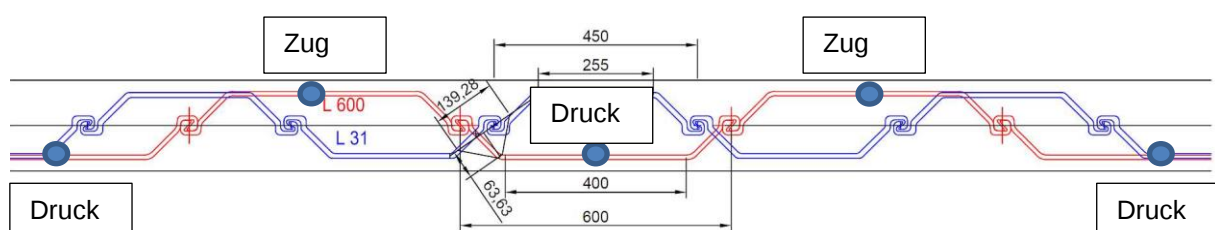
Die Einwirkungen für den Wandanschluss ergeben sich aus der Schnittgrößenermittlung am Gesamtsystem vgl. Abschnitt 4.1.3.



Werte in 6.750 m

$M(d; (g+q), k; g, k; q, k; g, d; w, k) = -5.23 / -5.23 / -5.23 / 0.00 / -5.23 / -5.23 \text{ kN-m/m}$
 $Q(d; (g+q), k; g, k; q, k; g, d; w, k) = -10.16 / -10.16 / -10.16 / 0.00 / -10.16 / -10.16 \text{ kN/m}$
 $N(d; (g+q), k; g, k; q, k; g, d; w, k) = -1.99 / -1.99 / -1.99 / 0.00 / -1.99 / 0.00 \text{ kN/m}$
 $w(d; (g+q), k; g, k; q, k; g, d; w, k) = -8.6 / -8.6 / -8.6 / 0.0 / -8.6 / -9.7 \text{ mm}$

Die Normalkraft aus Spundwandeigengewicht wird wegen Geringfügigkeit vernachlässigt. Das Moment wird für den weiteren Nachweis in eine Druck- und Zugkraft aufgeteilt. Die Last wird nur im Bereich des Spundwandflansches eingeleitet. Unter Berücksichtigung der Systembreite der neuen Spundwand von 0,60 m ergeben sich die Druck- bzw. die Zugkraft wie folgt.



$$D = Z = 5,23 \text{ kNm/m} \cdot 2 \cdot 0,60 \text{ m} / 0,141 \text{ m} = 44,51 \text{ kN}$$

$$d = z = 44,51 / 0,4 = 111,28 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed} = 10 \cdot 0,60 = 6,00 \text{ kN}$$

4.1.5.3 Kopfplatte

Gewählt: $t = 12 \text{ mm}$ S235 N+J2

Z-Güte:15

Die Bohlen L31 werden gemäß Empfehlung E103 schubfest miteinander verschweißt. Bedingt durch den Lastabtrag als Faltwerk erfährt die Kopfplatte keine nennenswerte Biegung. Die Plattendicke wird konstruktiv gewählt.

4.1.5.4 Z-Güte

a)	Schweißnahtdicke, die für die Dehnungsbeanspruchung durch Schweißschumpfung verantwortlich ist	AC Effektive Schweißnahtdicke a_{eff} , siehe Bild 3.2 AC	AC Nahtdicke bei Kehlnähten AC	Z_i	Gewählt
		$a_{eff} \leq 17 \text{ mm}$	$a = 5 \text{ mm}$	$Z_a = 0$	
		$17 < a_{eff} \leq 10 \text{ mm}$	$a = 7 \text{ mm}$	$Z_a = 3$	
		$10 < a_{eff} \leq 20 \text{ mm}$	$a = 14 \text{ mm}$	$Z_a = 6$	6
		$20 < a_{eff} \leq 30 \text{ mm}$	$a = 21 \text{ mm}$	$Z_a = 9$	
		$30 < a_{eff} \leq 40 \text{ mm}$	$a = 28 \text{ mm}$	$Z_a = 12$	
		$40 < a_{eff} \leq 50 \text{ mm}$	$a = 35 \text{ mm}$	$Z_a = 15$	
		$50 < a_{eff}$	$a > 35 \text{ mm}$	$Z_a = 15$	
b)	Nahtform und Anordnung der Naht in T-, Kreuz- und Eckverbindungen			$Z_b = -25$	
		Eckverbindungen		$Z_b = -10$	
		Einlagige Kehlnahtdicke mit $Z_a = 0$ oder Kehlnähte mit $Z_a > 1$ mit Buttern mit niedrigstem Schweißgut		$Z_b = -5$	
		Mehrlagige Kehlnähte		$Z_b = 0$	0
		Voll durchgeschweißte und nicht voll durchgeschweißte Nähte mit geeigneter Schweißfolge, um Schrumpfeffekte zu reduzieren		$Z_b = 3$	
		Voll durchgeschweißte und nicht voll durchgeschweißte Nähte		$Z_b = 5$	
		Eckverbindungen		$Z_b = 8$	
c)	Auswirkung der Werkstoffdicke s auf die lokale Behinderung der Schumpfung	$s \leq 10 \text{ mm}$		$Z_c = 2^a$	
		$10 < s \leq 20 \text{ mm}$		$Z_c = 4^a$	4
		$20 < s \leq 30 \text{ mm}$		$Z_c = 6^a$	
		$30 < s \leq 40 \text{ mm}$		$Z_c = 8^a$	
		$40 < s \leq 50 \text{ mm}$		$Z_c = 10^a$	
		$50 < s \leq 60 \text{ mm}$		$Z_c = 12^a$	
		$60 < s \leq 70 \text{ mm}$		$Z_c = 15^a$	
		$70 < s$		$Z_c = 15^a$	
d)	Auswirkung der großräumigen Behinderung der Schweißschumpfung durch andere Bauteile	Schwache Behinderung: Freie Schumpfung möglich (z. B. T-Anschlüsse)	$Z_d = 0$		
		Mittlere Behinderung: Freie Schumpfung behindert (z. B. Querschott in Kastenträgern)	$Z_d = 3$		
		Starke Behinderung: Freie Schumpfung verhindert (z. B. Längsrippe in orthotroper Fahrbahnplatte)	$Z_d = 5$	5	
e)	Einfluss der Vorwärmung	Ohne Vorwärmung	$Z_e = 0$	0	
		Vorwärmung $\geq 100^\circ\text{C}$	$Z_e = -8$		
^a Darf um 50 % reduziert werden, wenn der Werkstoff in Dickenrichtung vorherrschend statisch und nur durch Druckkräfte belastet wird.					15

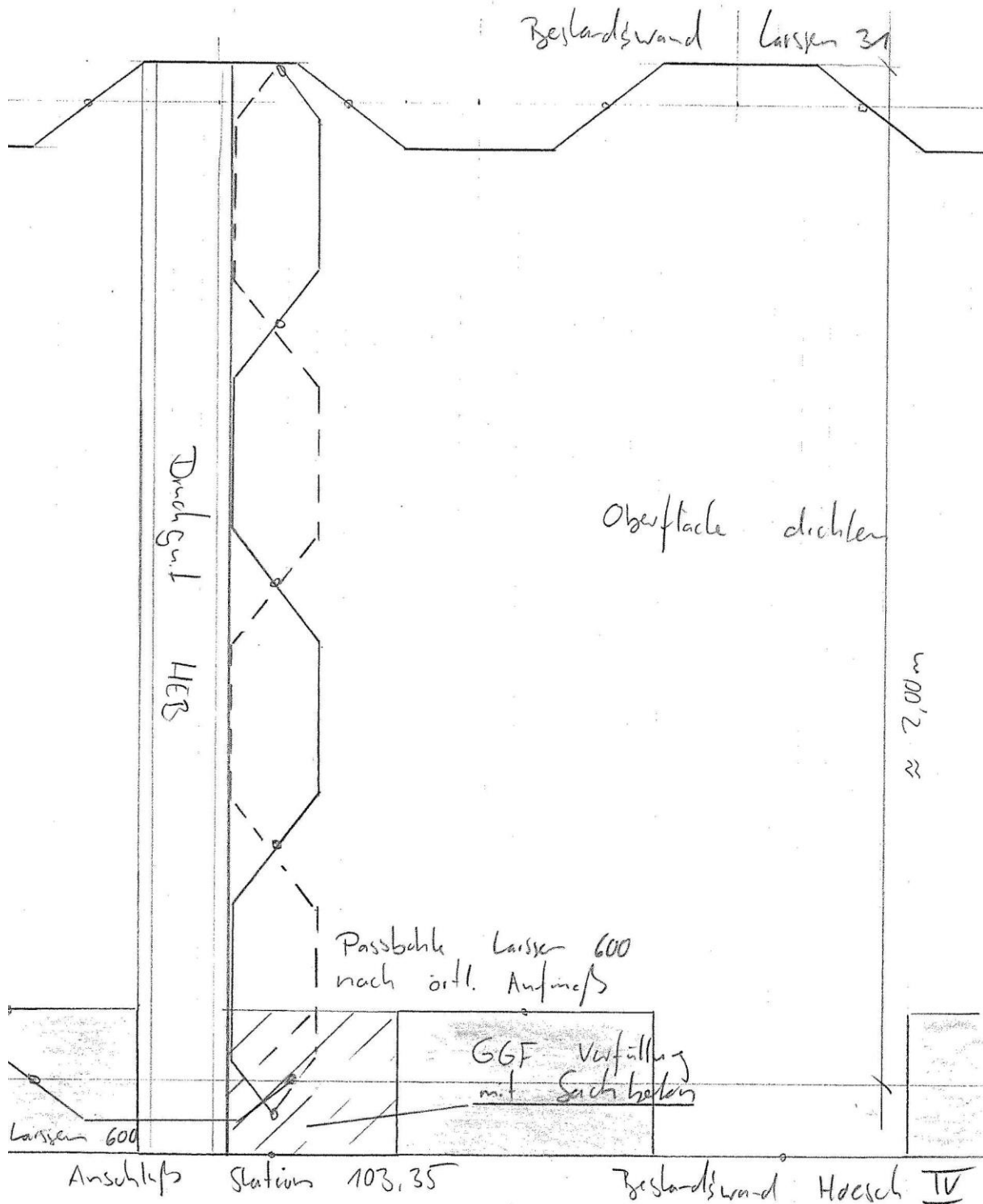
4.1.5.5 Schweißnaht

Die Schweißnaht wird konstruktiv mit $a_w = 6 \text{ mm}$ ausgeführt.

$$\text{Min } a_w = 12 \sqrt{0,5} - 0,5 = 2,96 = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Max } a_w = 0,7 \cdot 9,5 = 6,65 = 7 \text{ mm}$$

4.1.6 Querwand bei Station 103,35



Bei Station 103,35 verspringt die Achse der HWS-Wand. Die verbindende Querwand wird neu hergestellt. Analog zur Spundwandaufstockung im übrigen Bereich wird ein Profil

Larssen 600 verwendet. Anstelle der Zuganker wird ein Querriegel HEB 200 auf +5,35 mNN angeordnet, der als Auflager fungiert.

Der Anschluss an der Bestandswand Larssen 31 erfolgt über ein nachträglich anzubringendes Spundwandschloss. Im Bereich der Bestandswand erfolgt der Anschluss mittels Sackbeton.

Die Schnittgrößen und Ankerkräfte der Spundwand ergeben sich analog zum Abschnitt 4.1.3.

Ankerkraft $A_{H,d} = 101 \text{ kN/m}$

Die Schnittgrößenermittlung des Riegels erfolgt für einen Einfeldträger.

$$\begin{array}{llll} M_{Ed} & = q \cdot l^2 / 8 & = 101 \cdot 2^2 / 8 & = 51 \text{ kNm} \\ V_{Ed} & = q \cdot l / 2 & = 101 \cdot 2 / 2 & = 101 \text{ kNm} \end{array}$$

Nachweis:

$$\begin{array}{llll} \mu_V & = V_{Ed} / V_{pl,y,Rd} & = 101 / 814 & = 0,12 < 0,50 \\ \mu_M & = M_{Ed} / M_{el,y,Rd} & = 51 / 134 & = 0,38 < 1,00 \end{array}$$

Nachweis erfüllt. Die Ausnutzung ist gering. Keine weiteren Nachweise.

5 Station 102,8 - 8,06 - HWS-Wand ohne Vorland

5.1 Station 102.8 - 92,3 - Hoesch IV

5.1.1 Lage und Kajequerschnitte

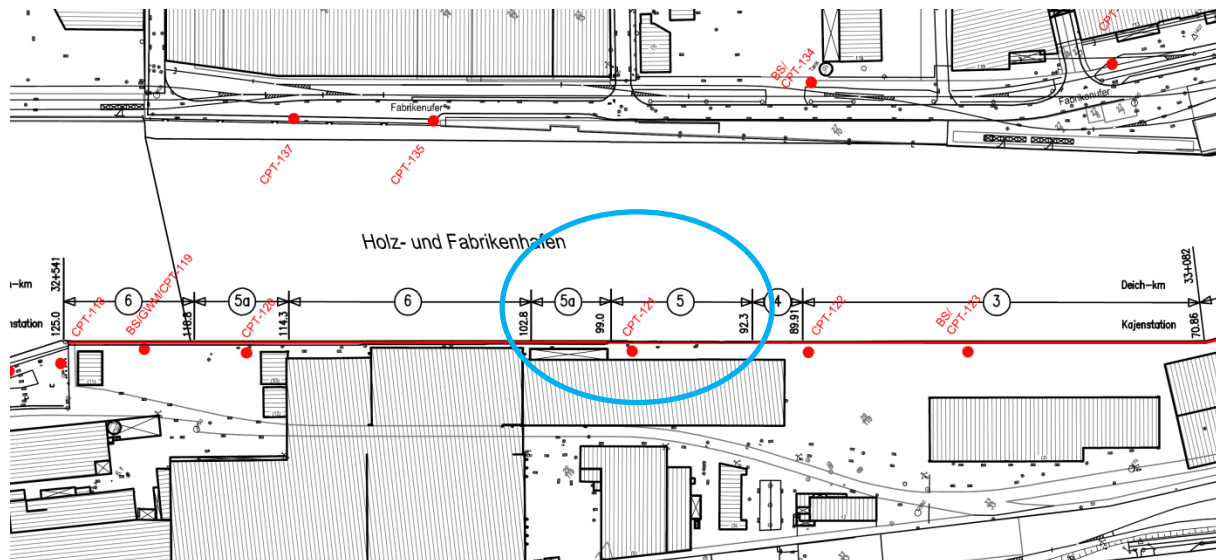


Abbildung 12 – Lage der Kaje - Station 102.8 - 92,3

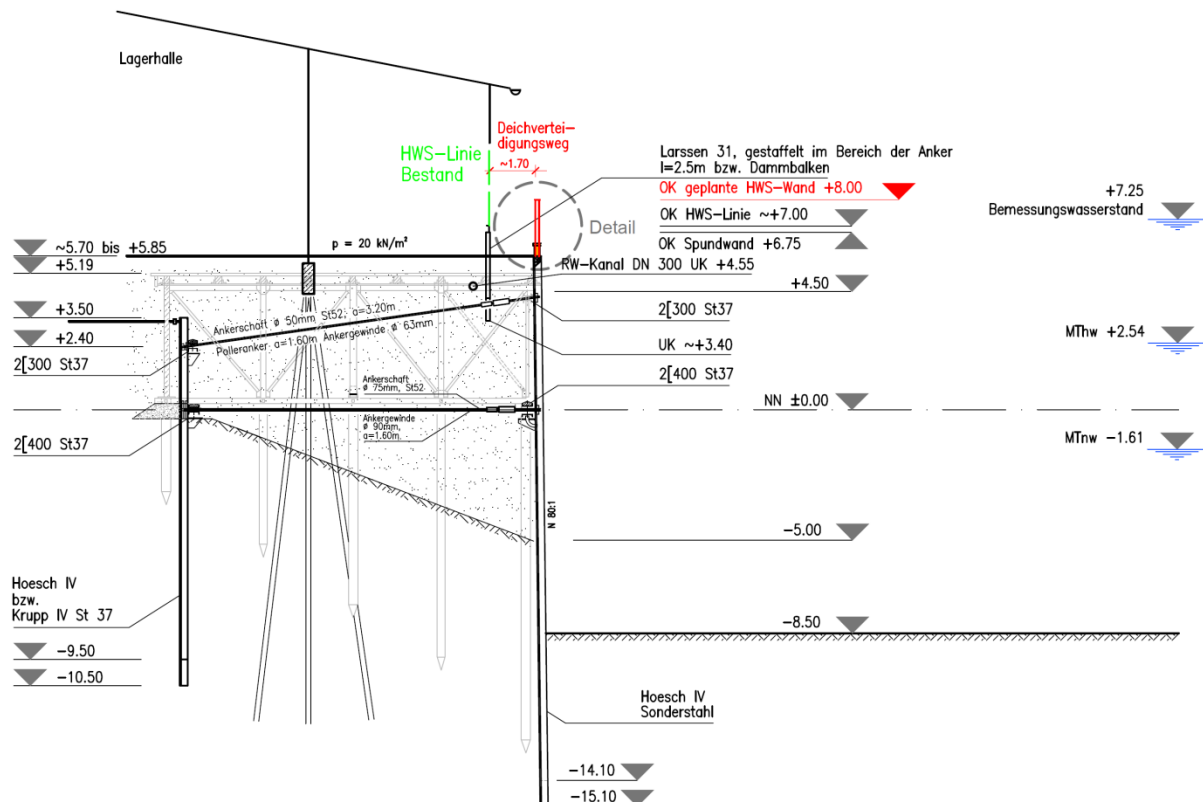


Abbildung 13 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 102.8 - 99,0 [U1]

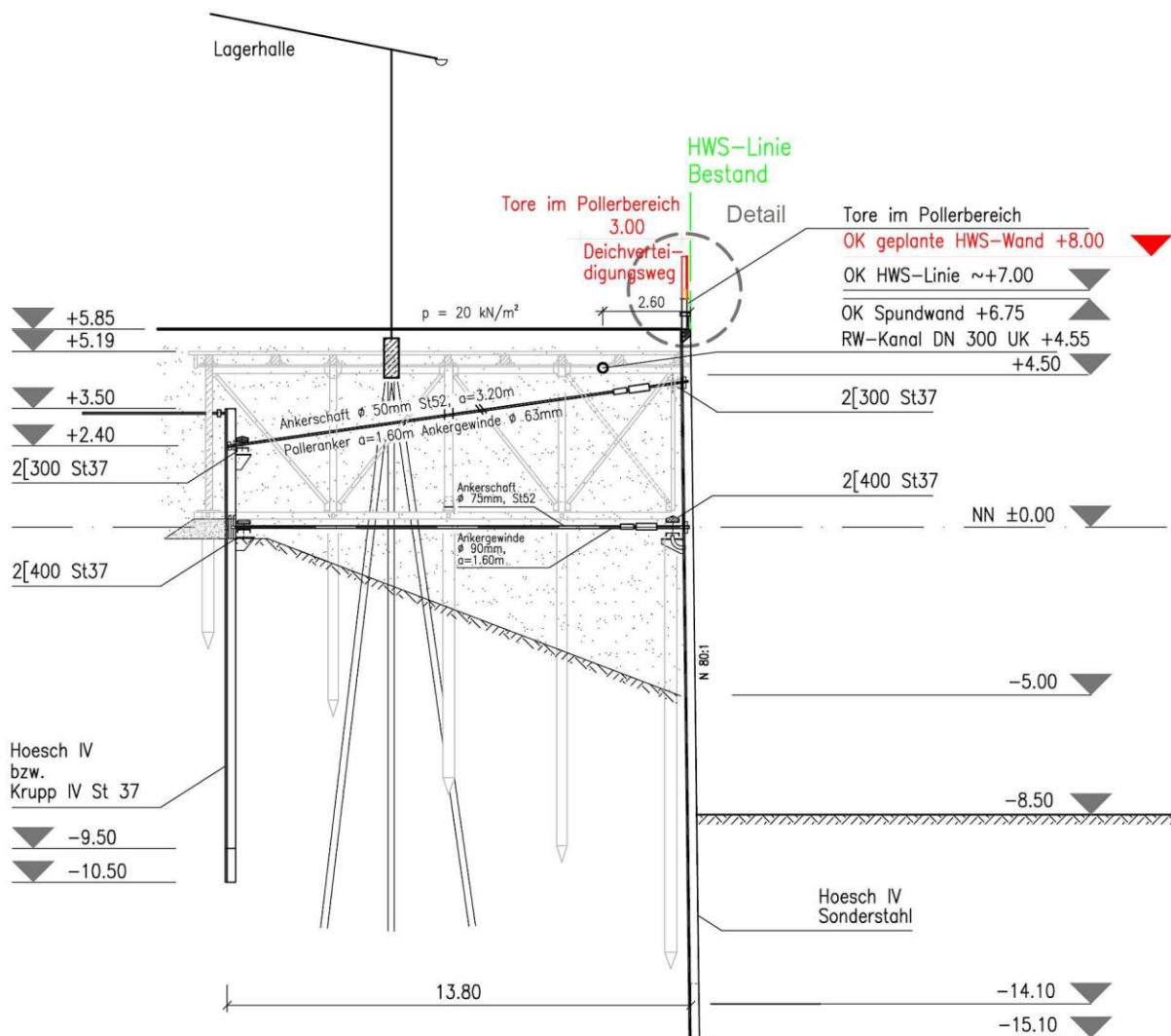


Abbildung 14 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 99,0 - 92,30 [U1]

5.1.2 Profile

Die Spundwandaufstockung (+5,85 mNN - +8,00 mNN) wird mit einer Larssen 600 ausgeführt.

Gewählt: Larssen 600, S240 GP

LARSEN 600

Profilbreite je D = 1200 mm

		Einheit	je m Wand	Einzelbohle	Doppelbohle	Dreifachbohle
Elastisches Widerstandsmoment ¹⁾	W_y	cm ³	510	130	614	712
	W_z	cm ³	–	1010	–	–
Plastisches Widerstandsmoment ¹⁾	W_{py}	cm ³	580	–	–	–
Eigenlast		kg/m	94,0	56,4	112,8	169,2
Querschnittsfläche		cm ²	119,7	71,8	143,6	215,4
Umfang ²⁾		cm	225	156	291	426
Beschichtungsfläche ³⁾		m ² /m	2,25	1,44	2,79	4,14
Statisches Moment	S_y	cm ³	290	–	–	–
Flächenmoment 2. Grades	I_y	cm ⁴	3825	850	4590	6400
	I_z	cm ⁴	–	32220	–	–
Trägheitsradius	i_y	cm	5,65	3,45	5,65	5,45

¹⁾ Widerstandsmomente bezogen auf:

E u. Dr – Schwerachse des jeweiligen Elements; D u. je m Wand – Wandachse y-y.

Die Widerstandsmomente der D, Dr u. je m Wand bedingen eine Verriegelung der im Werk zusammengezogenen Schlösser zur Aufnahme der Schubkräfte.

²⁾ Bei E, D und Dr – einschließlich Schlossinneres der freien Schlösser.

³⁾ Ohne Schlossinneres – beidseitige Beschichtung.

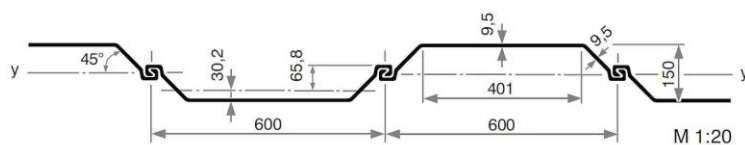


Abbildung 15 - Profilwerte Spundwand Larssen 600 (Auszug [U5])

Die Bestandswand bis +5,85 mNN besteht aus einem Profil Hoesch IV.

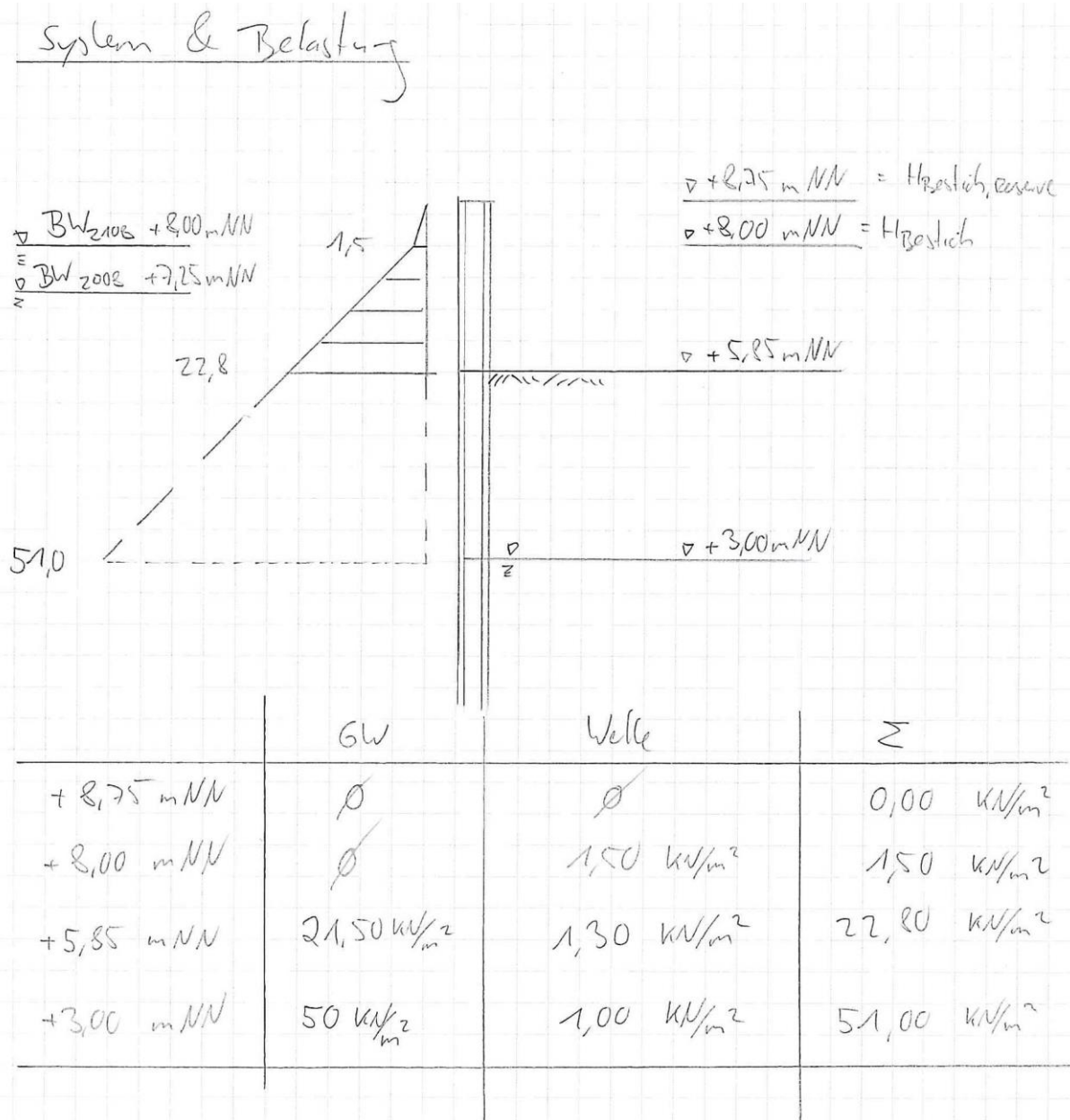
2 Spundwand-Normalprofile (Fortsetzung)												
Profil	Hoesch	Meter- gewicht kg/m	Quer- schnitt cm ²	Umfang cm	Trägheitsmomente cm ⁴			Trägheits- halbmesser cm	zulässige Biegemomente für Lastfall 1 [MkNm]			
					Wider- stands- moment W _x cm ⁴	I _x	I _y		I _{xy}	St Sp 37	St Sp 45	St Sp S
I a		37,83 je E. B. je D. B. je m Wand 89	48,19 96,37 113,38	119 226 253	255 510 600	2 040 4 080 4 800	9 109 — —	3 773 — —	6,51 6,51 6,51	— — 8,4	— — 9,6	— — 12,6
I		42,50 je E. B. je D. B. je m Wand 100	54,15 108,29 127,40	119 226 253	298 595 700	2 380 4 760 5 600	10 000 — —	4 121 — —	6,63 6,63 6,63	— — 9,8	— — 11,2	— — 14,7
II a		51,85 je E. B. je D. B. je m Wand 122	66,06 132,12 155,43	117 222 247	362 723 850	3 070 6 140 7 225	12 000 — —	4 990 — —	6,81 6,81 6,81	— — 11,9	— — 13,6	— — 17,9
II		51,85 je E. B. je D. B. je m Wand 122	66,06 132,12 155,43	128 244 273	468 935 1100	4 675 9 350 11 000	11 985 — —	6 311 — —	8,41 8,41 8,41	— — 15,4	— — 17,6	— — 23,1
III		62,00 je E. B. je D. B. je m Wand 155	78,98 157,96 197,45	133 253 300	640 1280 1600	7 350 14 700 18 400	— — —	— — —	9,65 9,65 9,65	— — 22,4	— — 25,6	— — 33,6
IV		74,00 je E. B. je D. B. je m-Wand 185	94,27 188,54 235,68	140 267 316	880 1760 2200	11 750 23 500 29 370	— — —	— — —	11,16 11,16 11,16	— — 30,8	— — 35,2	— — 46,2
V		101,15 je E. B. je D. B. je m Wand 238	128,85 257,70 303,18	151 286 318	1275 2550 3000	18 500 37 000 43 500	— — —	— — —	11,98 11,98 11,98	— — 42,0	— — 48,0	— — 63,0
155		81,37 je E. B. je D. B. je m Wand 155	103,66 207,33 197,45	171 311 281	1050 2100 2000	15 750 31 500 30 000	— — —	— — —	12,32 12,32 12,32	— — 28,0	— — 32,0	— — 42,0

15

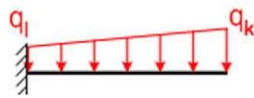
14

Abbildung 16 - Profilwerte Spundwand Hoesch IV

5.1.3 Spundwandberechnung



Schnitt- und Verschiebungsgrößen - Einzelstab - Kragträger



$q_l = 22,80 \text{ kN/m}$
 $q_k = 1,50 \text{ kN/m}$

$l = 2,90 \text{ m}$

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$
 $I = 3825 \text{ cm}^4$

Auflagerkräfte

$A = 35,24 \text{ kN}$

$M_i = -36,16 \text{ kNm}$

Querkraft

$\max V = 0,00 \text{ kN}$

$\min V = -35,24 \text{ kN}$

Biegemoment

$\min M = -36,16 \text{ kNm}$

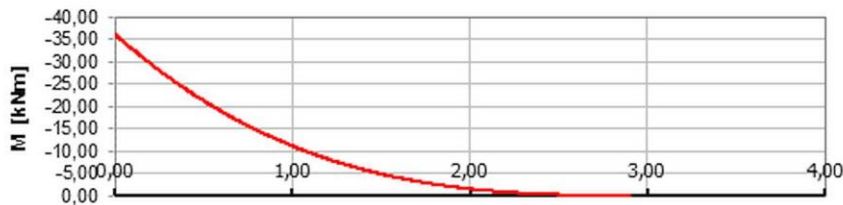
$x_M = 0,00 \text{ m}$

Durchbiegung

$w_{\text{Ende}} = 0,79 \text{ cm}$

$x_{\text{Ende}} = 2,90 \text{ m}$

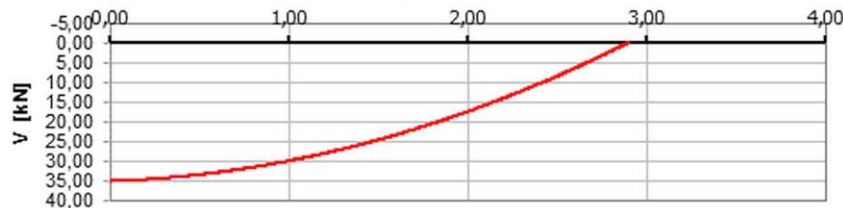
Momentenlinie



Min/Max

-36,16 kNm
0,00 kNm

Querkraftlinie



0,00 kN
35,24 kN

Biegelinie



0,00 cm
0,79 cm

$$V_{Ed} = 1,00 \cdot 35,5 = 35,5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1,00 \cdot 36,5 = 36,5 \text{ kNm/m}$$

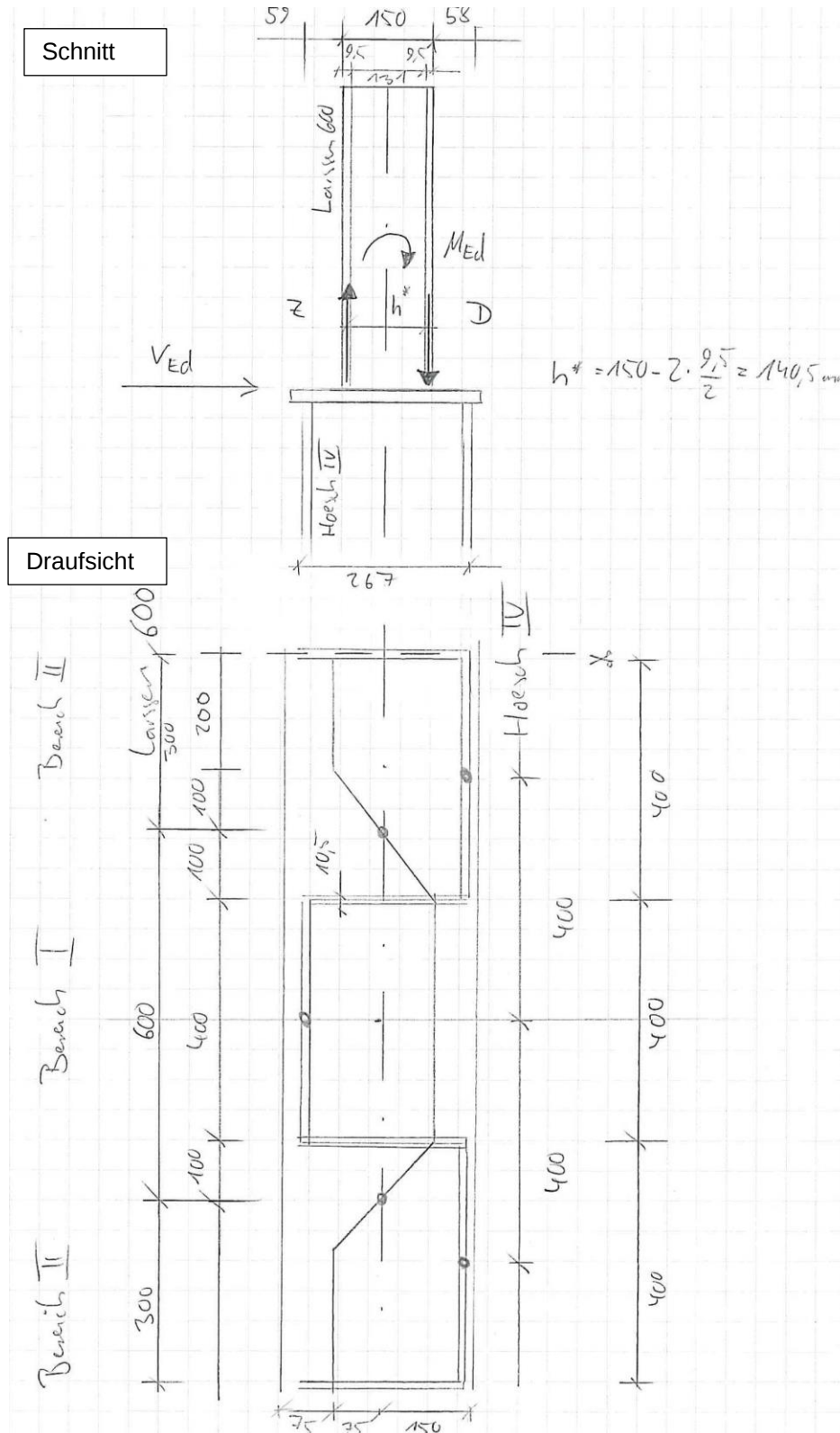
$$\sigma_{Ed} = 36,5 \cdot 1000 / 580 = 62,93 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 240 / 1,00 = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 62,93 / 240 = 0,26 < 1,00$$

Die Tragfähigkeit des bestehenden Spundwandprofils (Hoesch IV) ist wesentlich größer als die der Aufstockung (Larssen 600). Die Tragfähigkeit der Aufstockung für das Bestandsprofil ist somit erbracht.

5.1.4 Schweißanschluss Wandaufstockung

5.1.4.1 Statisches System



5.1.4.2 Einwirkungen

Die Einwirkungen für den Wandanschluss ergeben sich aus der Schnittgrößenermittlung am Gesamtsystem.

Die Bohlen L31 werden gemäß Empfehlung E103 schubfest miteinander verschweißt. Bedingt durch den Lastabtrag als Faltwerk erfährt die Kopfplatte keine nennenswerte Biegung. Die Plattendicke wird konstruktiv gewählt.

Die Normalkraft aus Spundwandeigengewicht wird wegen Geringfügigkeit vernachlässigt. Das Moment wird für den weiteren Nachweis in eine Druck- und Zugkraft aufgeteilt. Das Biegemoment wird nur im Bereich des Spundwandflansches eingeleitet. Die Querkraft nur im Bereich der Spundwandstege.

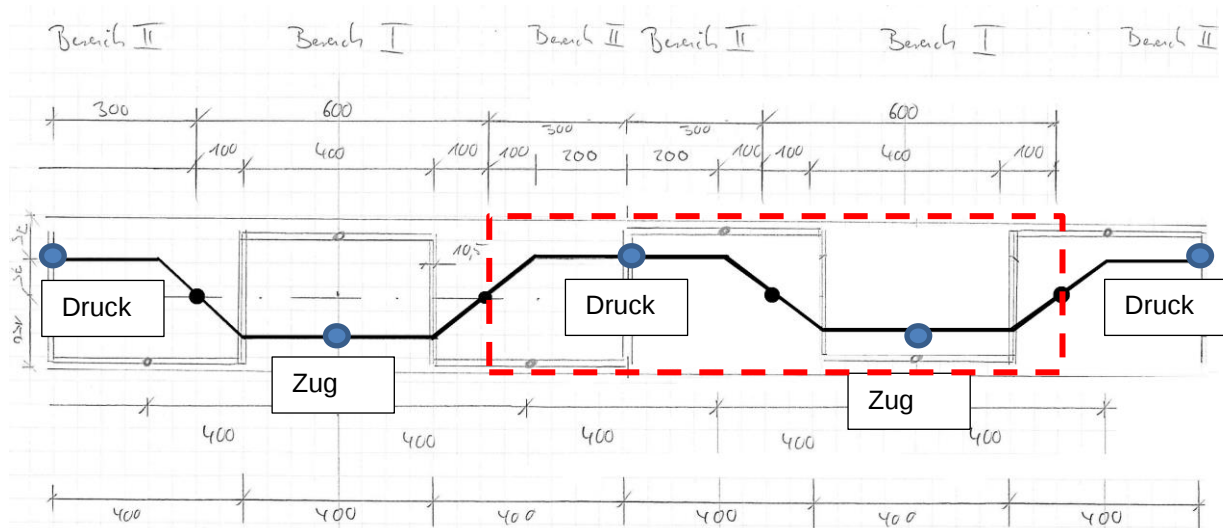
Unter Berücksichtigung der Systembreite der neuen Spundwand von 0,60 m ergeben sich die Druck- bzw. die Zugkraft wie folgt.

$$D_d = Z_d = 36,5 \text{ kNm/m} \cdot 2 \cdot 0,60 \text{ m} / 0,141 \text{ m} = 310,63 \text{ kN}$$

$$d_d = z_d = 311 / 0,40 = 777,50 \text{ kN/m}$$

$$v_{Ed} = 35,50 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed} = 35,5 \cdot 2 \cdot 0,60 = 42,6 \text{ kN}$$



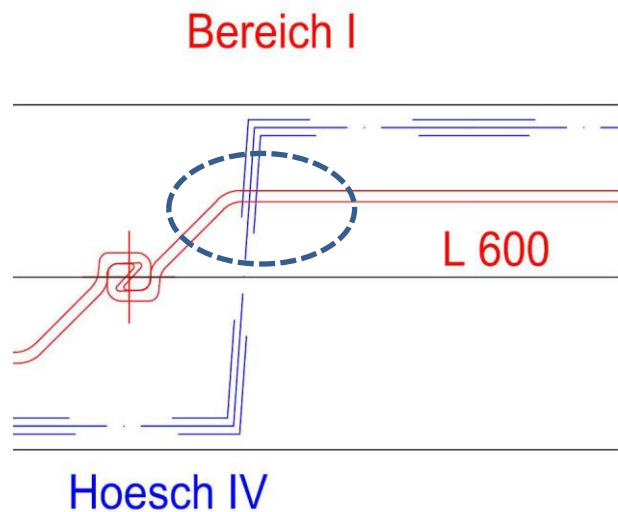
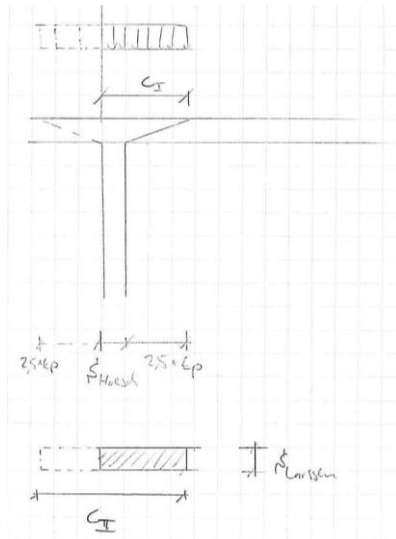
5.1.4.3 Nachweis der Lasteinleitung

Bedingt durch die Geometrie von Bestandswand und neuer Wand sind zwei Bereiche nachzuweisen. Im Bereich I erfolgt der Lastabtrag der Zugkraft über eine Gewölbewirkung in der Larssen 600 direkt in zwei Stege der Hoesch IV. Im Bereich II erfolgt die Lasteinleitung in per Druck in einen Steg der Hoesch IV.

Nachweis der lokalen Lasteinleitung Bereich I

Je Steg werden $Z / 2 = 310,63 / 2 = 155,32 \text{ kN}$ eingeleitet.

Larssen 600; S240 GP



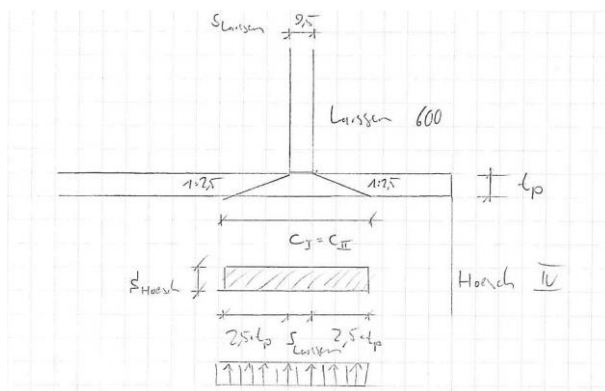
$$c = 1,05 + 2,5 \cdot 30 = 8,55 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Ed} = 155,32 \cdot 10 / (8,55 \cdot 0,95) = 191,23 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = 240 / 1,0 = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 191 / 240 = 0,80 < 1,00$$

Hoesch IV; SpSt



$$c = 0,95 + 2 \cdot 2,5 \cdot 1,20 = 6,95 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Ed} = 156 \cdot 10 / (6,95 \cdot 1,05) = 213,77 \text{ N/mm}^2$$

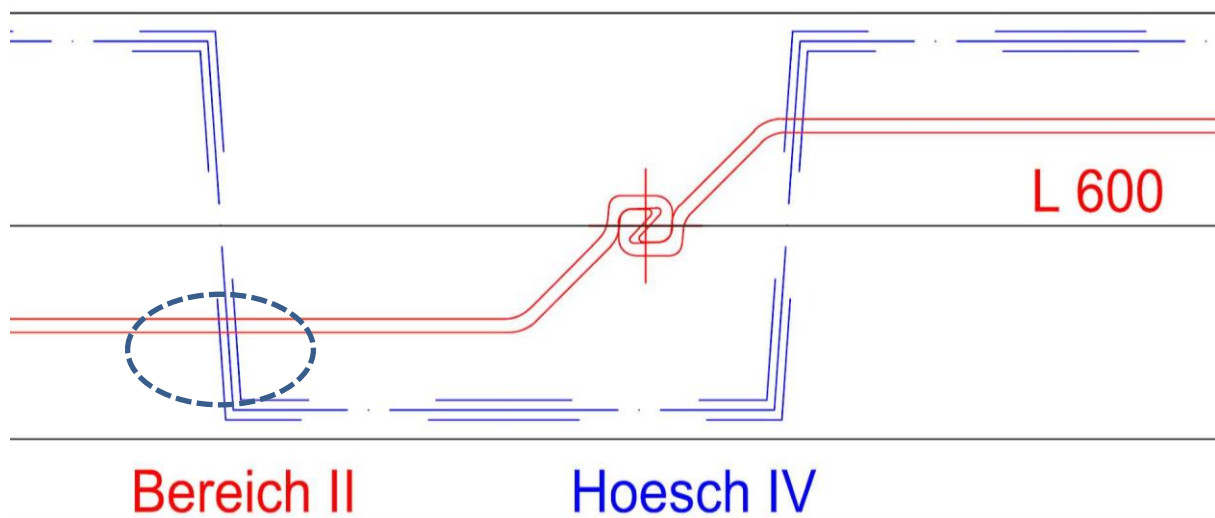
$$\sigma_{Rd} = 360 / 1,0 = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 214 / 360 = 0,59 < 1,00$$

Nachweis der lokalen Lasteinleitung Nachweise Bereich II

Es wird die volle Druck- bzw. Zuglast in einen Steg der Hoesch IV eingeleitet.

D = Z = 311 kN eingeleitet.



Larssen 600; S240 GP

$$c = 1,05 + 2 \cdot 2,5 \cdot 3,0 = 16,05 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Ed} = 311 \cdot 10 / (16,05 \cdot 0,95) = 203,97 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = 240 / 1,0 = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 203,97 / 240 = 0,85 < 1,00$$

Hoesch IV

$$c = 0,95 + 2 \cdot 2,5 \cdot 3,0 = 15,95 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Ed} = 156 \cdot 10 / (15,95 \cdot 1,05) = 93,15 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = 360 / 1,0 = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 93,15 / 360 = 0,26 < 1,00$$

5.1.4.4 Kopfplatte

Gewählt: $t = 30 \text{ mm S235 N+J2}$

Z-Güte: 15

Bedingt durch den Lastabtrag als Faltwerk erfährt die Kopfplatte weder im Bereich I noch im Bereich II nennenswerte Biegung.

5.1.4.5 Z-Güte

Z15 siehe Abschnitt 4.1.5.4

5.1.4.6 Schweißnaht

Gewählt: Doppelkehlnaht $a_w = 6 \text{ mm}$ umlaufend

5.2 Station 92,30 - 15,78 - Larssen 24 / Larssen 25

5.2.1 Lage und Kajequerschnitte

5.2.1.1 Zusammenfassung

Station	GOK	OK SpW Bestand	
92,30 - 89,91	5,85 mNN	+6,75 mNN	Larssen 24
89,91 - 70,63	5,85 mNN	+6,75 mNN	Larssen 24
70,63 - 28,44	5,20 mNN	+6,75 mNN	Larssen 24
28,44 - 15,78	5,20 mNN	+6,75 mNN	Larssen 25

5.2.1.2 Station 92,30 - 89,91 - Larssen 24

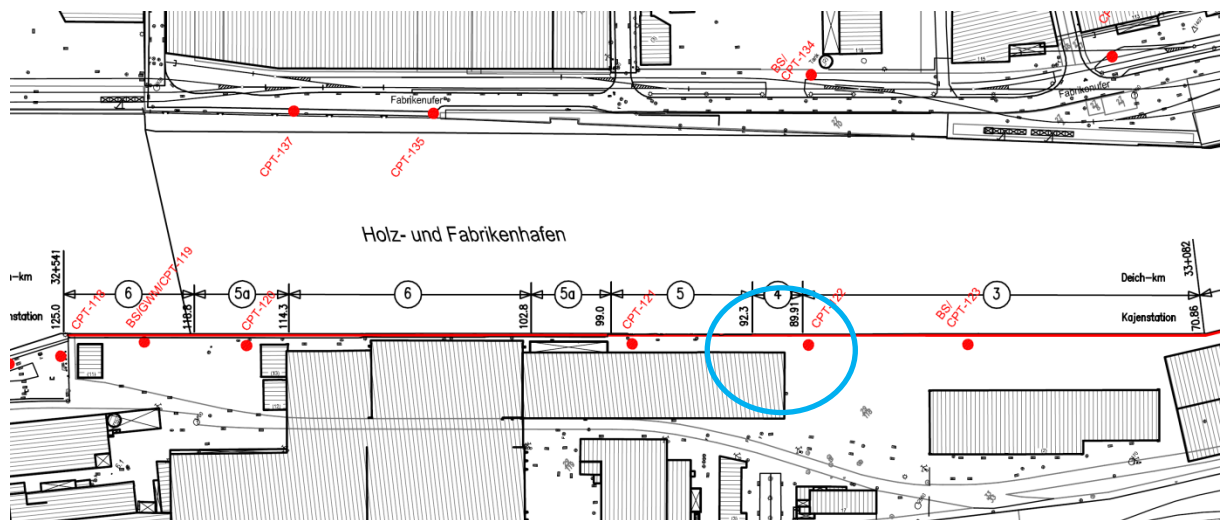


Abbildung 17 – Lage der Kaje - Station 92,30 - 89,91

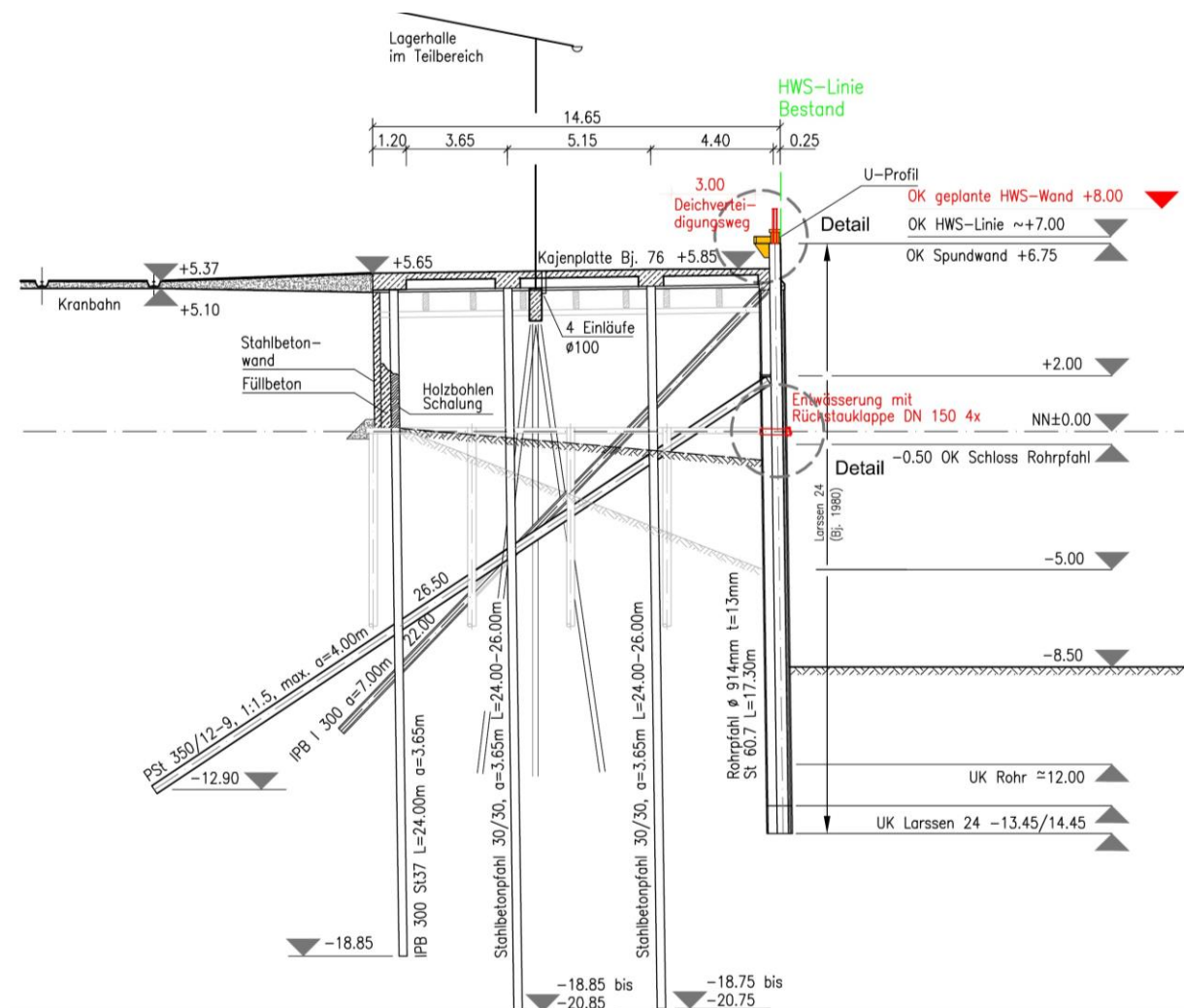


Abbildung 18 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 92,30 - 89,91 [U1]

5.2.1.3 Station 89,91 - 70,86 - Larssen 24

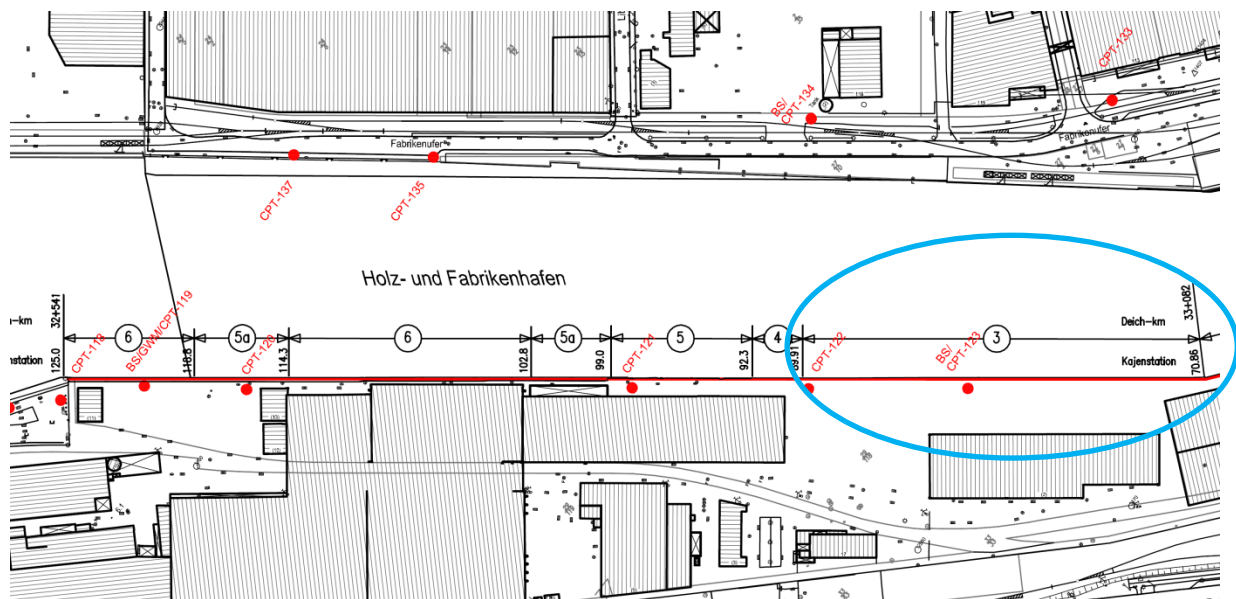


Abbildung 19 – Lage der Kaje - Station 89,91 - 70,86

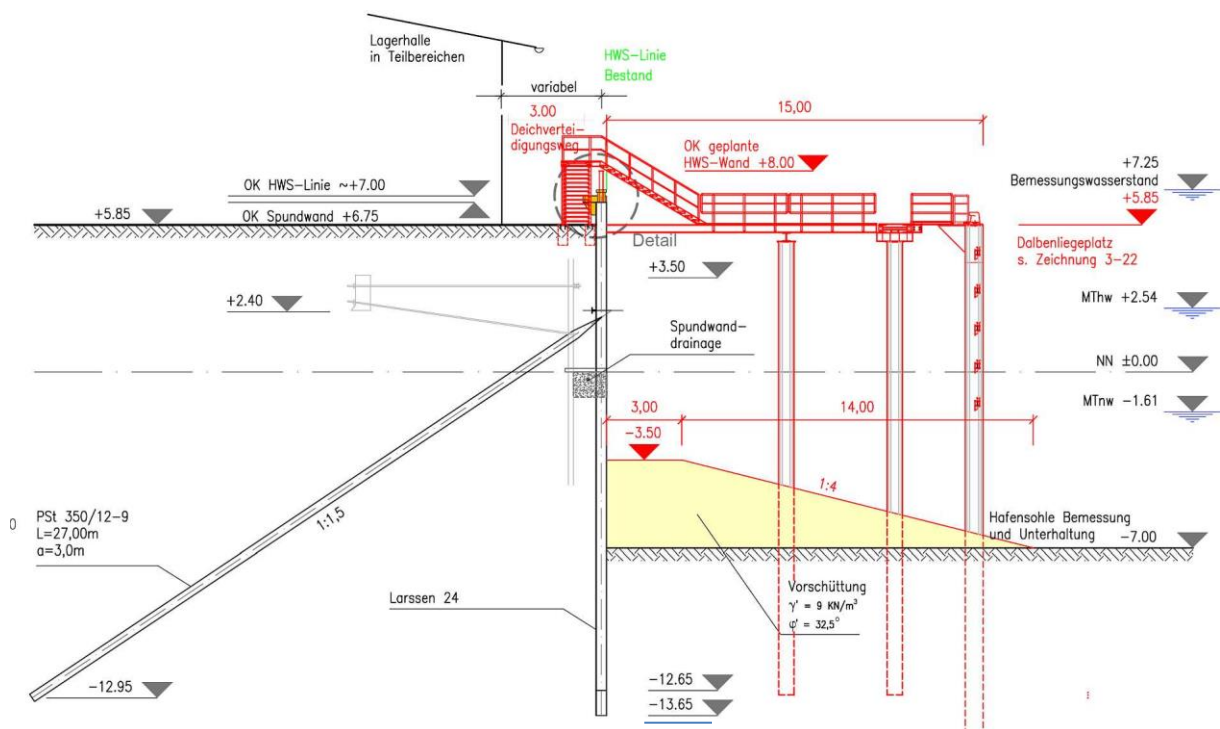


Abbildung 20 - Auszug Bauentwurf - Kaje Station 89,91 - 70,86 [U1]

5.2.1.4 Station 70,86 - 28,42 - Larssen 24

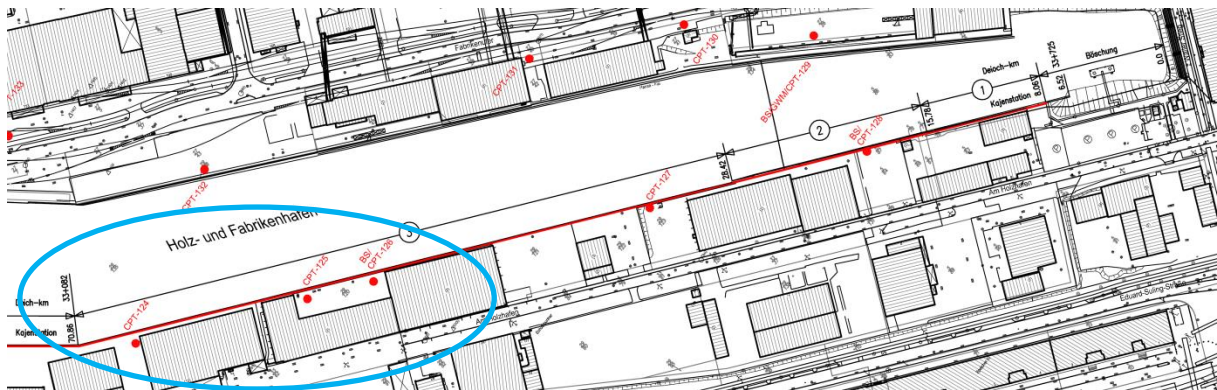


Abbildung 21 – Lage der Kaje - Station 70,86 - 58,96

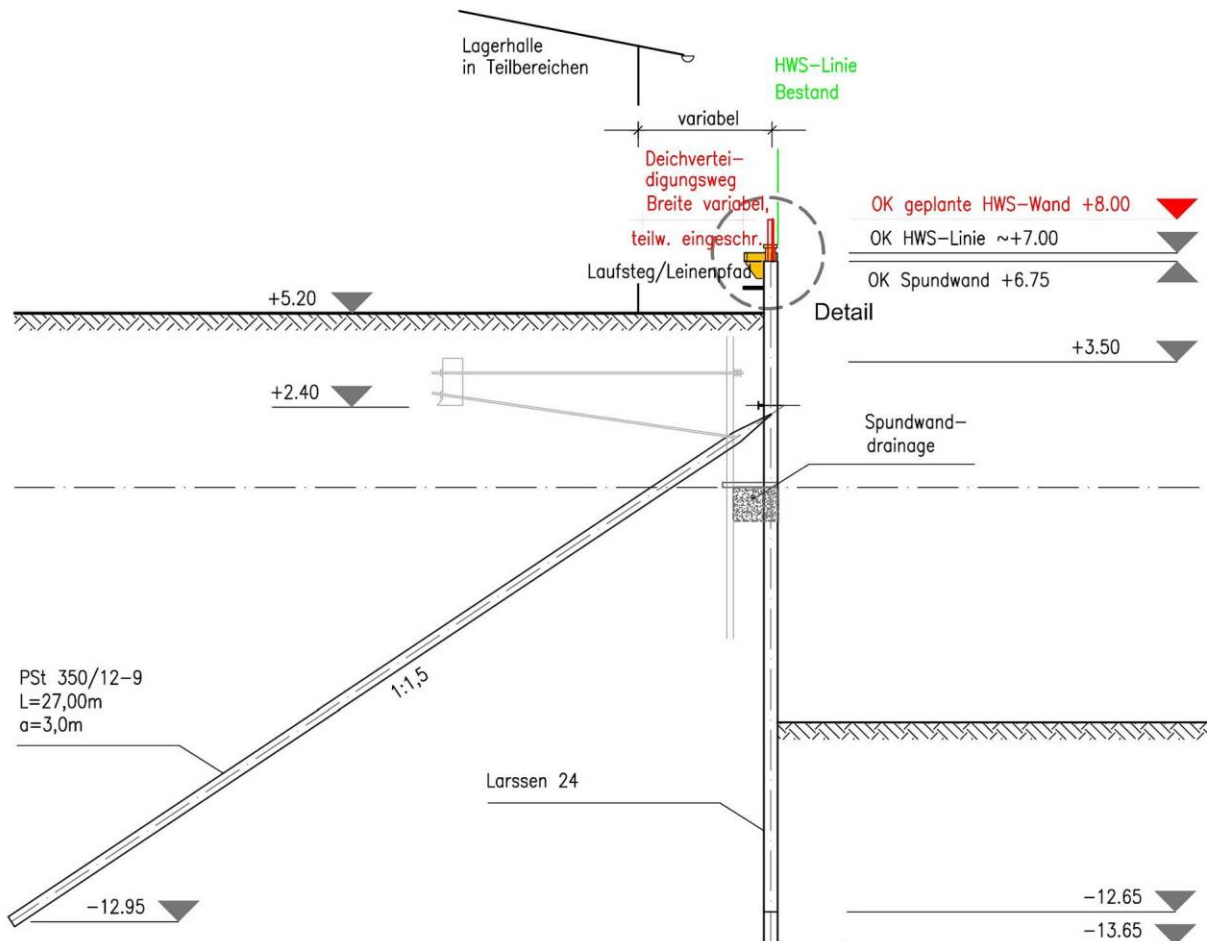


Abbildung 22 - Auszug Bauentwurf - Kaje Station 70,86 - 28,42 [U1]

5.2.1.5 Station 28,42 - 15,78 - Larssen 25

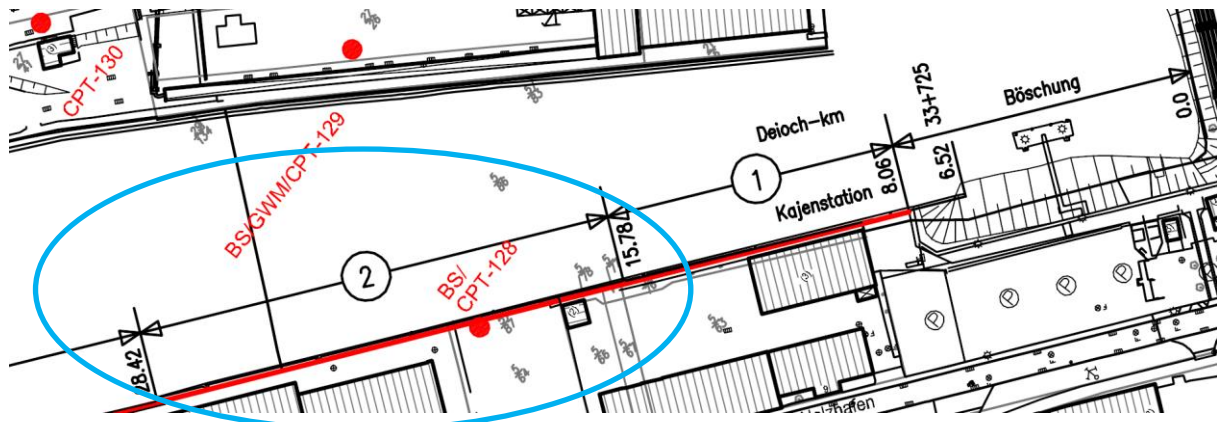


Abbildung 23 – Lage der Kaje - Station 28,42 - 15,78

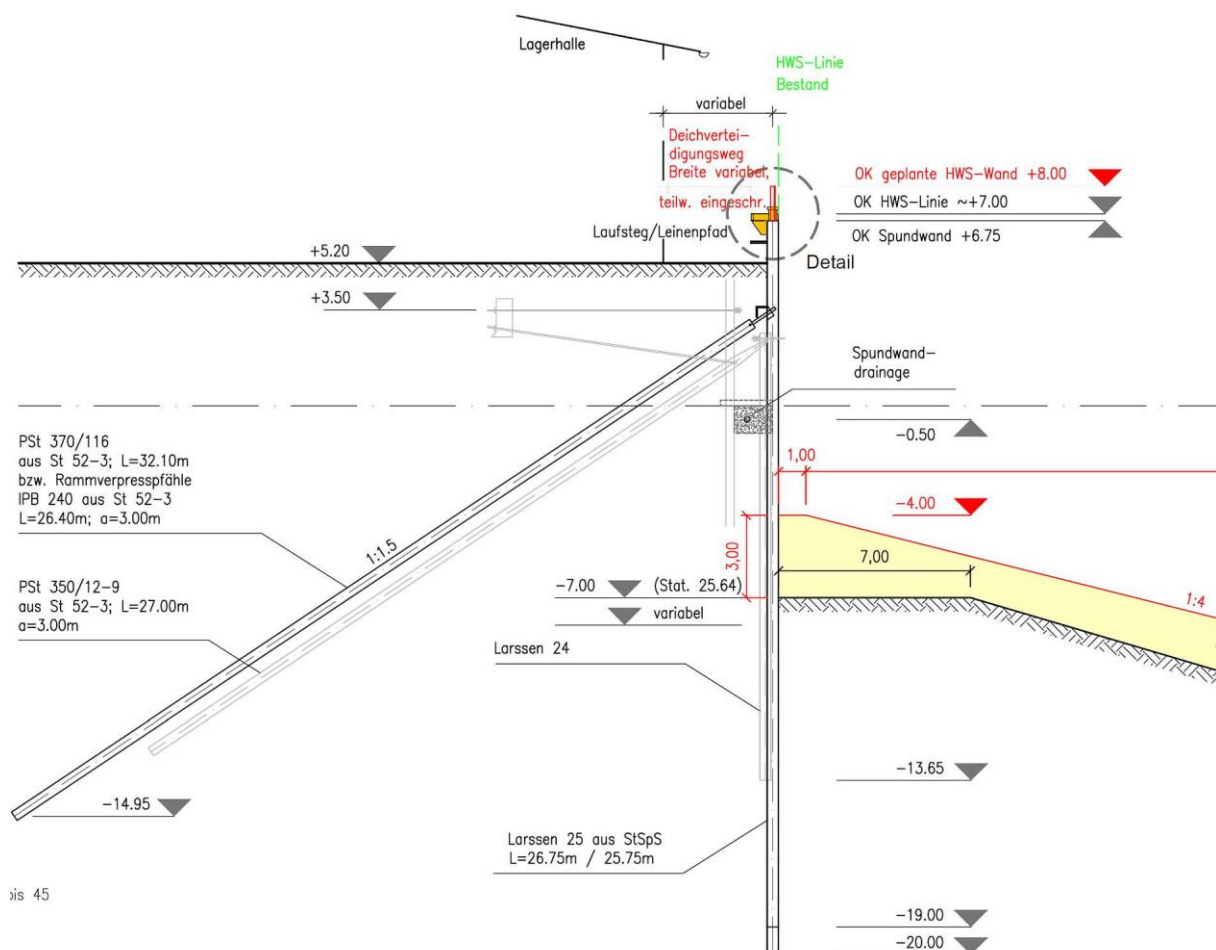


Abbildung 24 - Auszug Bauentwurf Kaje Station 28,42 - 15,78 [U1]

5.2.2 Profile

Die Spundwandaufstockung (+5,85 mNN - +8,00 mNN) wird mit einer Larssen 600 ausgeführt.

Gewählt: Larssen 600, S240 GP

LARSEN 600

Profilbreite je D = 1200 mm

		Einheit	je m Wand	Einzelbohle E	Doppelbohle D	Dreifachbohle Dr
Elastisches Widerstandsmoment ¹⁾	W_y	cm ³	510	130	614	712
	W_z	cm ³	–	1010	–	–
Plastisches Widerstandsmoment ¹⁾	W_y	cm ³	580	–	–	–
Eigenlast		kg/m	94,0	56,4	112,8	169,2
Querschnittsfläche		cm ²	119,7	71,8	143,6	215,4
Umfang ²⁾		cm	225	156	291	426
Beschichtungsfläche ³⁾		m ² /m	2,25	1,44	2,79	4,14
Statisches Moment	S_y	cm ³	290	–	–	–
Flächenmoment 2. Grades	I_y	cm ⁴	3825	850	4590	6400
	I_z	cm ⁴	–	32220	–	–
Trägheitsradius	i_y	cm	5,65	3,45	5,65	5,45

¹⁾ Widerstandsmomente bezogen auf:

E u. Dr – Schwerachse des jeweiligen Elements; D u. je m Wand – Wandachse y-y.

Die Widerstandsmomente der D, Dr u. je m Wand bedingen eine Verriegelung der im Werk zusammengezogenen Schlösser zur Aufnahme der Schubkräfte.

²⁾ Bei E, D und Dr – einschließlich Schlossinneres der freien Schlösser.

³⁾ Ohne Schlossinneres – beidseitige Beschichtung.

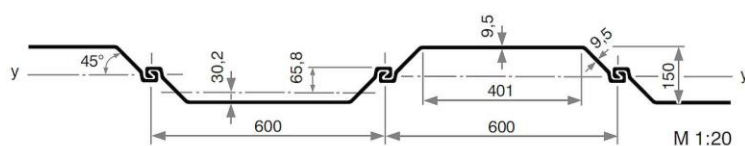


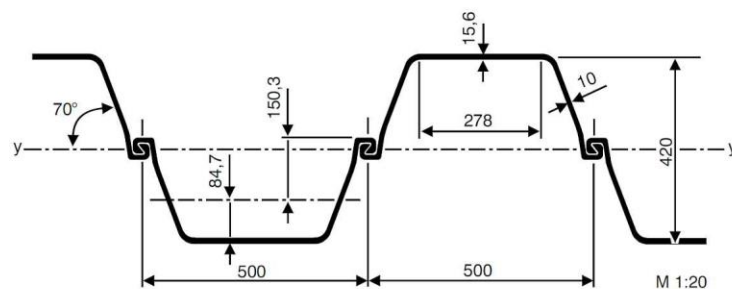
Abbildung 25 - Profilwerte Spundwand Larssen 600 (Auszug [U5])

Die Bestandwand bis +5,85 mNN besteht aus einem Profil Larssen 24 bzw. einem Larssen 25; SpSt.

LARSEN 24

	Einheit	je m Wand	Einzelbohle	Doppelbohle	Dreifachbohle
	Unit	per m wall	Single pile	Double pile	Triple pile
			E	D	Dr
Elastisches Widerstandsmoment ¹⁾ <i>Elastic section modulus¹⁾</i>	W_y	cm ³	2500	547	2500
Plastisches Widerstandsmoment ¹⁾ <i>Plastic section modulus¹⁾</i>	W_z	cm ³	–	1200	–
	W_y	cm ³	2800	830	–
Eigenlast <i>Weight</i>		kg/m	175,0	87,5	175,0
Querschnittsfläche <i>Cross sectional area</i>		cm ²	222	111	222
Umfang ²⁾ <i>Circumference²⁾</i>		cm	315	184	340
Beschichtungsfläche ³⁾ <i>Coating area³⁾</i>		m ² /m	3,15	1,72	3,28
Statisches Moment <i>Static moment</i>	S_y	cm ³	14000	–	–
Flächenträgheitsmoment <i>Moment of inertia</i>	I_y	cm ⁴	52500	8270	52500
Trägheitsradius <i>Radius of gyration</i>	I_z	cm ⁴	–	32160	–
	I_y	cm	15,30	8,63	15,30
	I_z	cm	–	15,30	14,70

Profilbreite je D = 1000 mm
Section width per D = 1000 mm



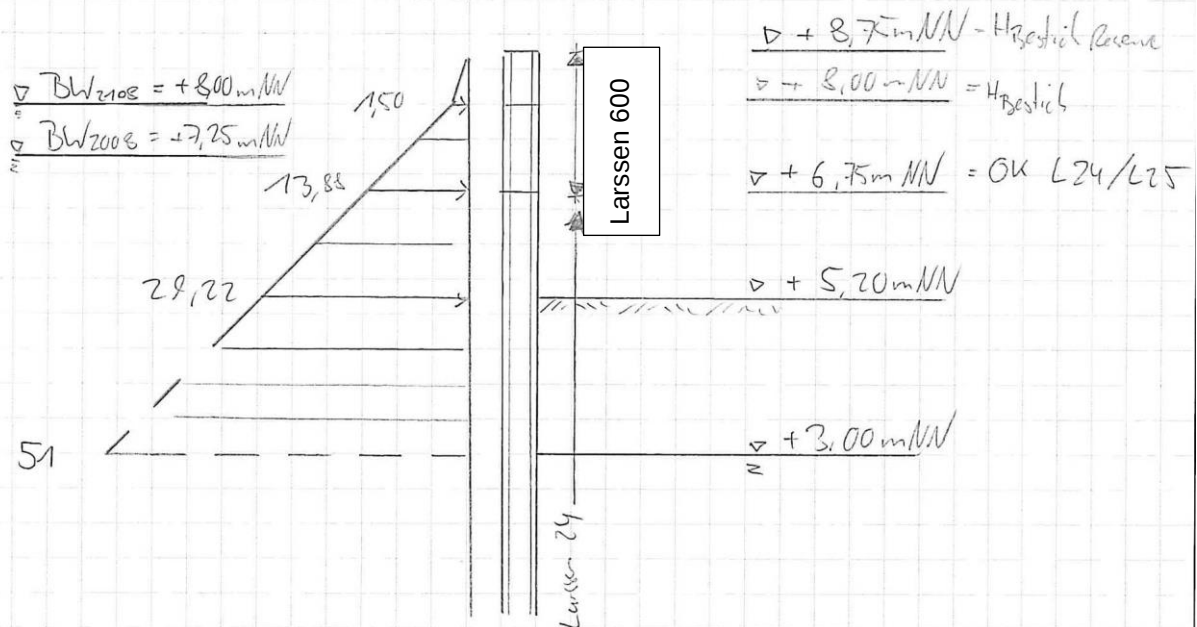
Klasseneinteilung nach EN 1993-5
Classification to EN 1993-5

Stahlsorte	Stahlsorte	Stahlsorte	Stahlsorte	Stahlsorte	Stahlsorte
Steel grades	Steel grades	Steel grades	Steel grades	Steel grades	Steel grades
S 240 GP	S 270 GP	S 320 GP	S 355 GP	S 390 GP	S 430 GP
2	2	2	2	2	2

Abbildung 26 - Profilwerte Spundwand Larssen 24

5.2.3 Spundwandberechnung

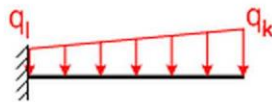
System & Belastung



z [m NN]	p_{GW} [kN/m ²]	p_{walle} [kN/m ²]	Σ [kN/m ²]
+ 8,75	0	0	0
+ 8,00	0	1,50	1,50
+ 6,75	12,50	1,38	13,88
+ 5,20	28,00	1,22	29,22
+ 3,00	50,0	1,00	51,00

Nachweis Larssen 600

Schnitt- und Verschiebungsgrößen - Einzelstab - Kragträger



$q_l = 13,88 \text{ kN/m}$
 $q_k = 1,50 \text{ kN/m}$

$l = 2,00 \text{ m}$

$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$
 $I = 3825 \text{ cm}^4$

Auflagerkräfte

$A = 15,38 \text{ kN}$

$M_i = -11,25 \text{ kNm}$

Querkraft

$\max V = 0,00 \text{ kN}$

$\min V = -15,38 \text{ kN}$

Biegemoment

$\min M = -11,25 \text{ kNm}$

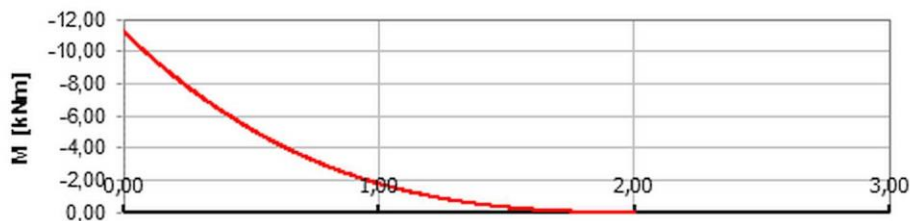
$x_M = 0,00 \text{ m}$

Durchbiegung

$w_{\text{Ende}} = 0,12 \text{ cm}$

$x_{\text{Ende}} = 2,00 \text{ m}$

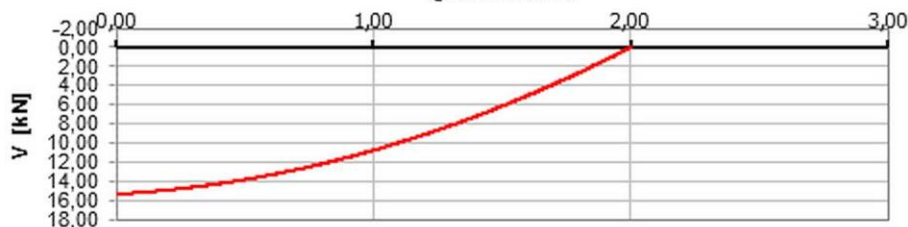
Momentenlinie



Min/Max

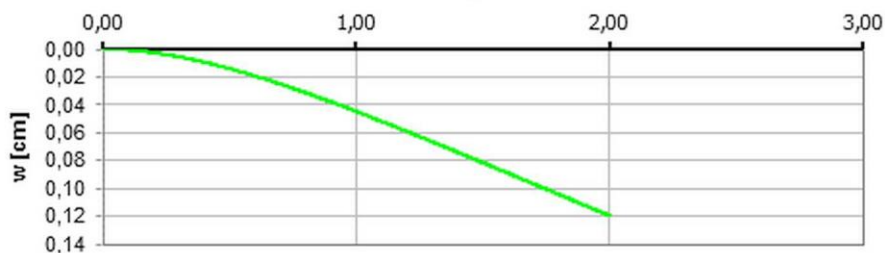
-11,25 kNm
0,00 kNm

Querkraftlinie



0,00 kN
15,38 kN

Biegelinie



0,00 cm
0,12 cm

$$V_{Ed} = 1,00 \cdot 15,38 = 15,38 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 1,00 \cdot 11,25 = 11,25 \text{ kNm/m}$$

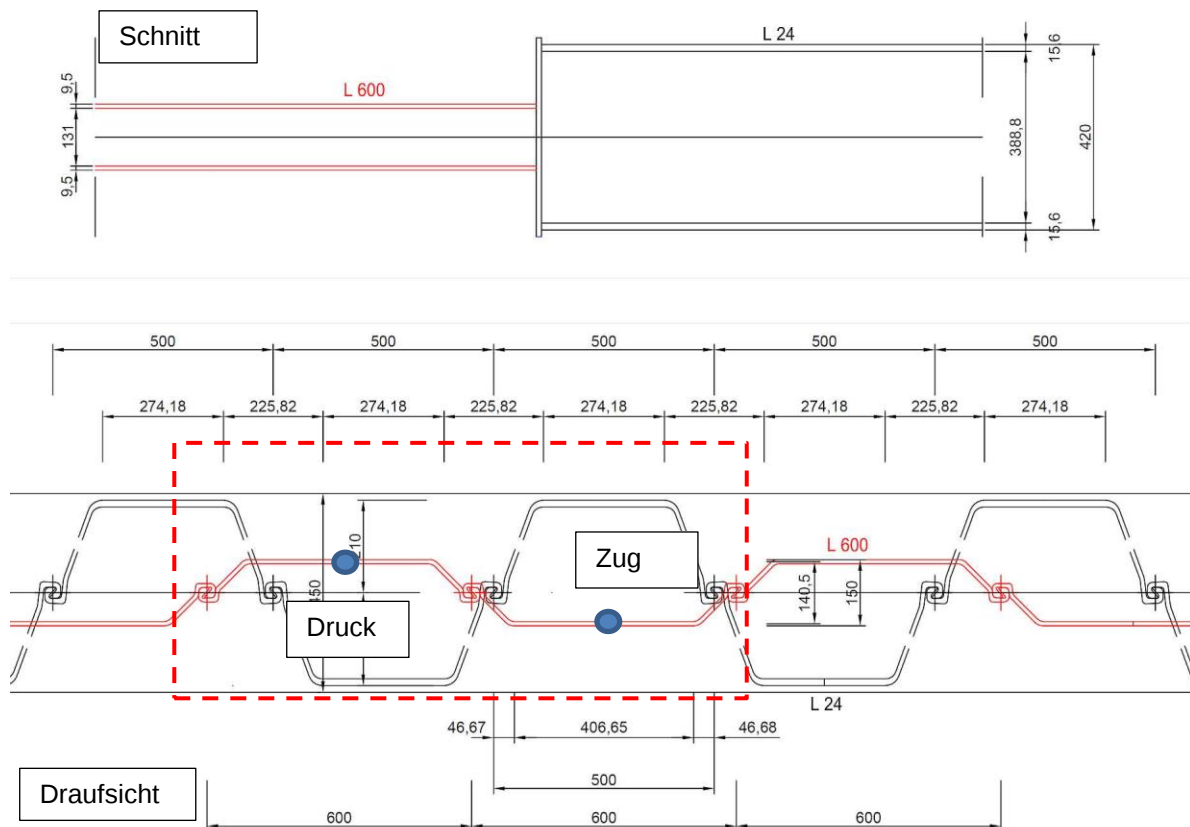
$$\sigma_{Ed} = 12,38 \cdot 1000 / 512 = 24,18 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{Rd} = 240 / 1,00 = 240 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 24,18 / 240 = 0,10 < 1,00$$

5.2.4 Schweißanschluss Wandaufstockung

Die Tragfähigkeit des bestehenden Spundwandprofils (Larssen 24) ist wesentlich größer als die der Aufstockung (Larssen 600). Die Tragfähigkeit der Aufstockung für das Bestandsprofil ist somit erbracht. Im Folgenden wird noch der Schweißanschluss nachgewiesen.

5.2.4.1 Statisches System



5.2.4.2 Einwirkungen

Die Einwirkungen für den Wandanschluss ergeben sich aus der Schnittgrößenermittlung am Gesamtsystem. Die Normalkraft aus Spundwandeigengewicht wird wegen Geringfügigkeit vernachlässigt. Das Moment wird für den weiteren Nachweis in eine Druck- und Zugkraft aufgeteilt. Das Biegemoment wird nur im Bereich des Spundwandflansches eingeleitet. Die Querkraft nur im Bereich der Spundwandstege.

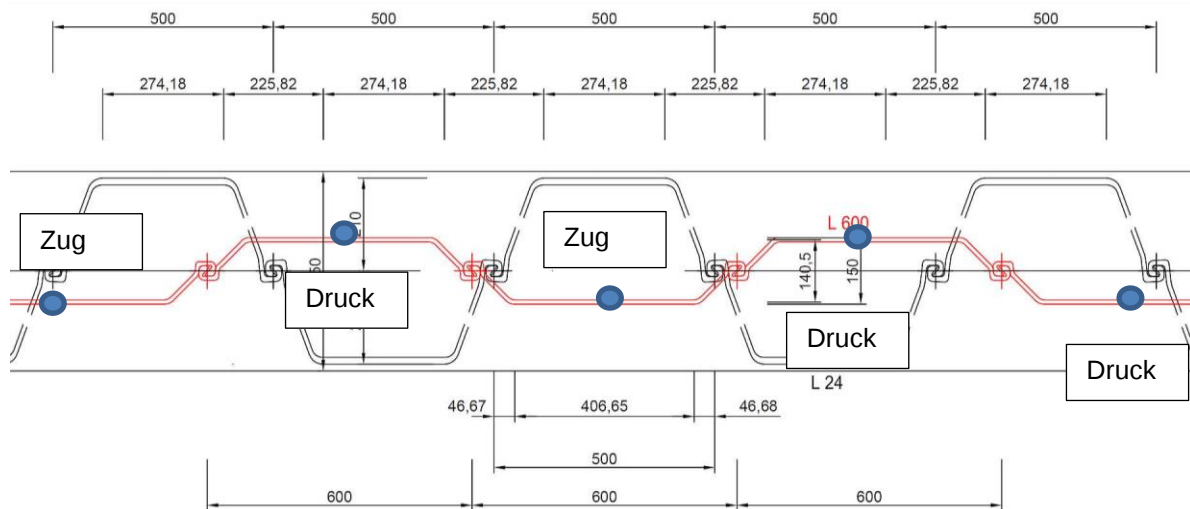
Unter Berücksichtigung der Systembreite der neuen Spundwand von 0,60 m ergeben sich die Druck- bzw. die Zugkraft wie folgt.

$$D_d = Z_d = 11,25 \text{ kNm/m} \cdot 2 \cdot 0,60 \text{ m} / 0,141 \text{ m} = 95,75 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = 15,38 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed} = 15,38 \cdot 2 \cdot 0,60 = 18,46 \text{ kN}$$

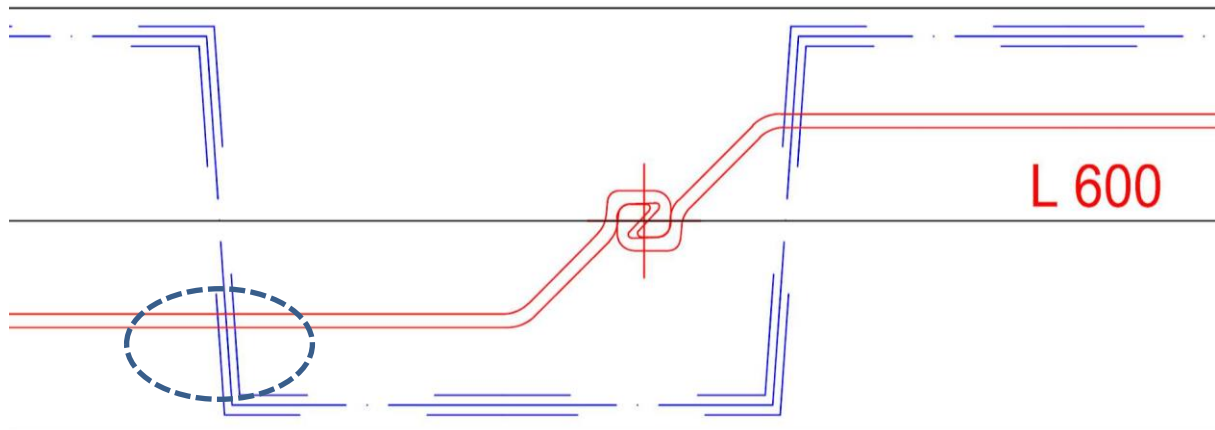
Bedingt durch die abweichende Geometrie von Bestandswand und neuer Wand sind sowohl Druck- als auch Zugkraft sowohl für Bereich I als auch für Bereich II nachzuweisen.



Nachweis der lokalen Lasteinleitung Nachweise Bereich I

Es wird die volle Druck- bzw. Zuglast in einen Steg der Hoesch IV eingeleitet.

$D = Z \approx 100 \text{ kN}$ eingeleitet.



Larssen 600; S240 GP

$$c = 1,00 + 2 * 2,5 * 1,2 = 7,00 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Ed} = 100 * 10 / (7,00 * 0,95) = 150,38 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = 240 / 1,0 = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 150,38 / 240 = 0,63 < 1,00$$

Larssen 24/25

$$c = 0,95 + 2 * 2,5 * 1,20 = 6,95 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Ed} = 100 * 10 / (6,95 * 1,05) = 59,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = 360 / 1,0 = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu = 59,71 / 360 = 0,17 < 1,00$$

5.2.4.4 Kopfplatte

Gewählt: $t = 12 \text{ mm}$ S235 N+J2
Z-Güte:15

Die Plattendicke wird konstruktiv gewählt. Vgl. auch Abschnitt 5.3.4.3.

5.2.4.5 Z-Güte

Z15 siehe Abschnitt 4.1.5.4

5.2.4.6 Schweißnaht

Gewählt: Doppelkehlnaht $a_w = 6 \text{ mm}$ umlaufend

5.3 Station 15,78 - 8,06 - DB PSP 700 PZi 612

5.3.1 Lage und Kajequerschnitte

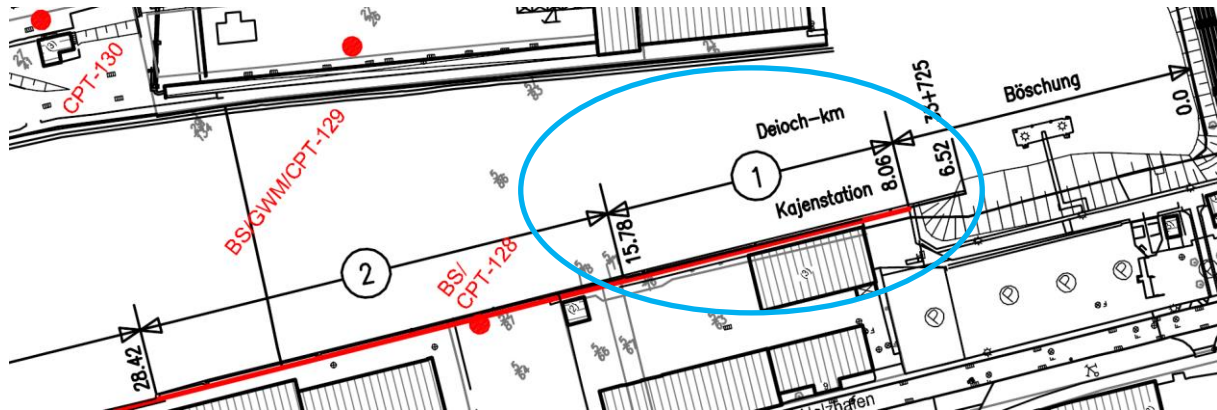


Abbildung 27 – Lage der Kaje 15,78 - 8,06

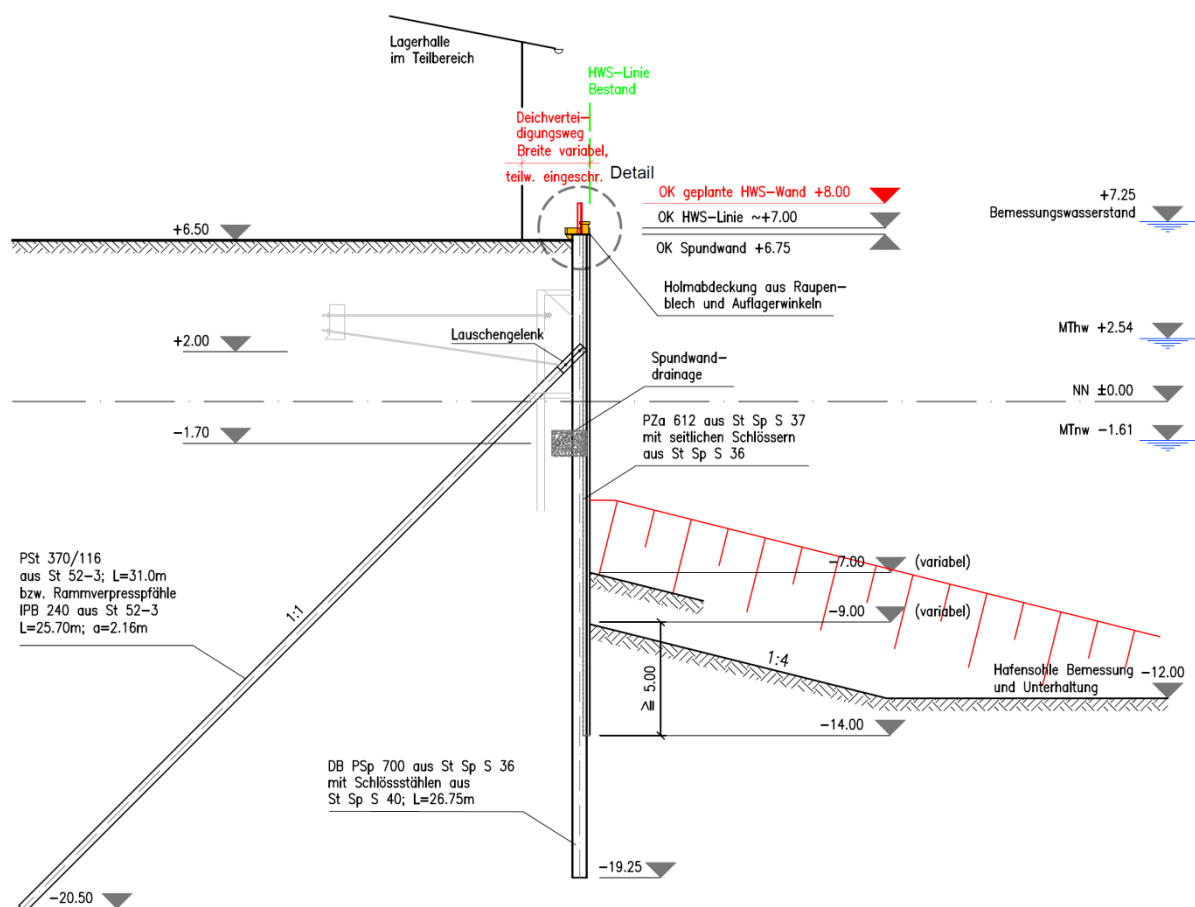


Abbildung 28 - Auszug Bauentwurf Station 15,78 - 8,06 [U1]

5.3.2 Profil

Die Spundwandaufstockung (+6,75 mNN - +8,00 mNN) wird mit einer Larssen 600 ausgeführt.

LARSEN 600

Profilbreite je D = 1200 mm

		Einheit	je m Wand	Einzelbohle	Doppelbohle	Dreifachbohle
				E	D	Dr
Elastisches Widerstandsmoment ¹⁾	W_y	cm ³	510	130	614	712
	W_z	cm ³	–	1010	–	–
Plastisches Widerstandsmoment ¹⁾	W_{py}	cm ³	580	–	–	–
Eigenlast		kg/m	94,0	56,4	112,8	169,2
Querschnittsfläche		cm ²	119,7	71,8	143,6	215,4
Umfang ²⁾		cm	225	156	291	426
Beschichtungsfläche ³⁾		m ² /m	2,25	1,44	2,79	4,14
Statisches Moment	S_y	cm ³	290	–	–	–
Flächenmoment 2. Grades	I_y	cm ⁴	3825	850	4590	6400
	I_z	cm ⁴	–	32220	–	–
Trägheitsradius	i_y	cm	5,65	3,45	5,65	5,45

1) Widerstandsmomente bezogen auf:

E u. Dr – Schwerachse des jeweiligen Elements; D u. je m Wand – Wandachse y-y.

Die Widerstandsmomente der D, Dr u. je m Wand bedingen eine Verriegelung der im Werk zusammengezogenen Schlösser zur Aufnahme der Schubkräfte.

2) Bei E, D und Dr – einschließlich Schlossinneres der freien Schlösser.

3) Ohne Schlossinneres – beidseitige Beschichtung.

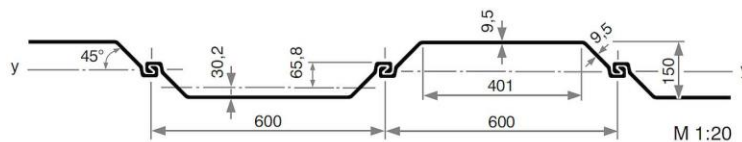
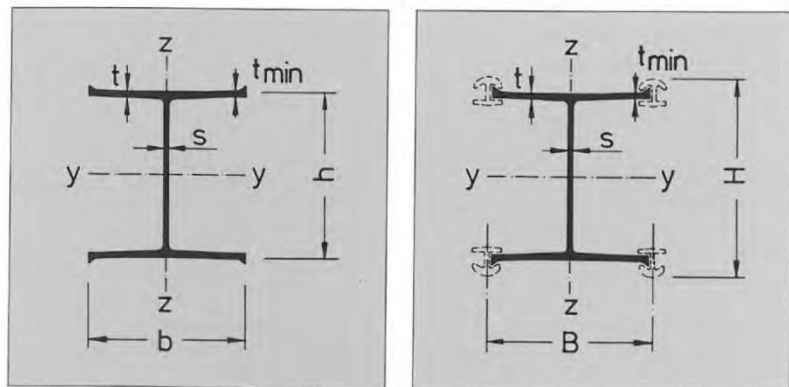


Abbildung 29 - Profilwerte Spundwand Larssen 600

1.3 Peiner Kastenspundbohlen Abmessungen und Gewichte

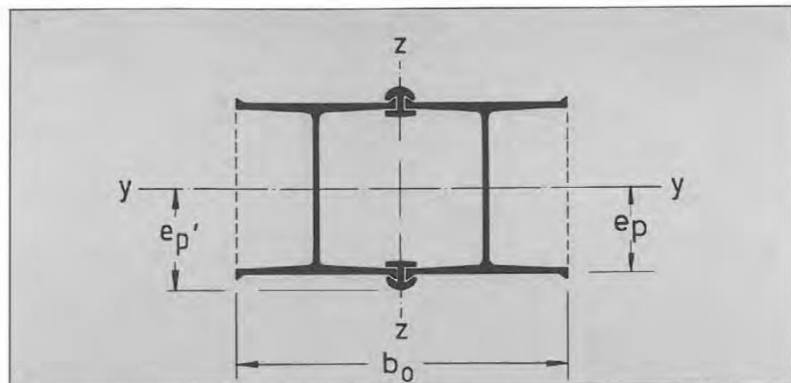


*) im Mittel = Flanschfläche : b

Nur die in den Zahlentafeln auf Seite 7 und 8 angegebenen Gewichte für PSp-Bohlen und Schloßstahl sind zur Berechnung des rechnerischen Liefergewichts maßgebend. Die Preussag Stahl AG ist in der Lage, auch andere Kastenspundwandprofile außer den angegebenen zu walzen.

Profilbezeichnung	Abmessungen							Gewicht der Einzelbohle ohne Schloßstahl kg/m
	h	H	b	B	s	t*	t _{min}	
PSp	mm							kg/m
370	370	445	380	398	10	15,7	14	122
400	400	475	380	398	11	15,7	14	127
500	500	575	380	398	11	15,7	14	136
600	600	675	460	478	14	17,1	14	188
700	700	775	460	478	14	17,1	14	199
800	800	875	460	478	14	18,6	14	221
900	900	975	460	478	14	18,6	14	232
1000	1000	1075	460	478	14	18,6	14	243
1001	1000	1075	460	478	14	22,2	14	267

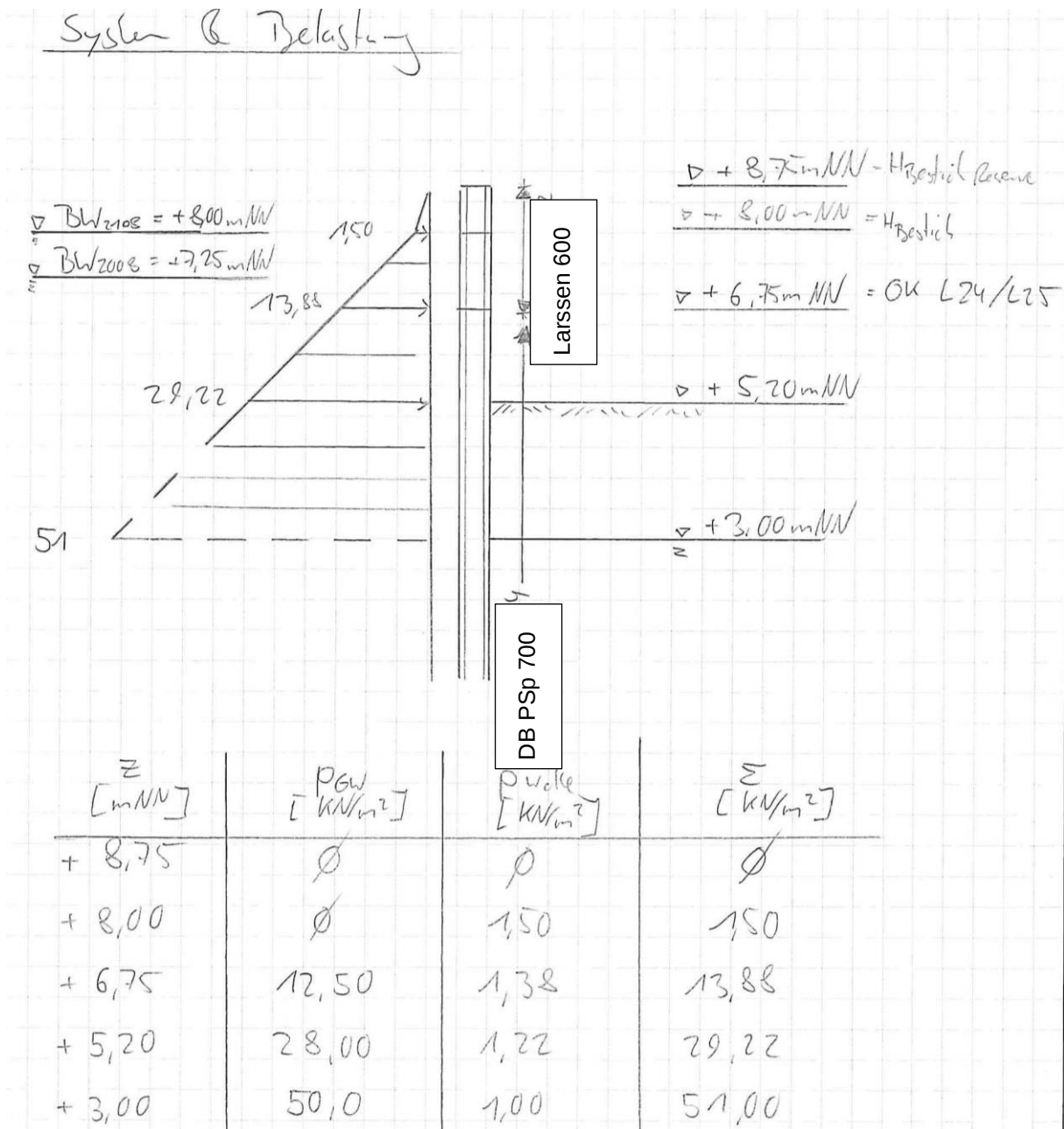
1.45 Doppelbohle



Profilbezeichnung	Gewicht	Breite		Umfang		Querschnitt		Tragheitsmoment		Widerstandsmoment			Tragheitshalbmesser		Randabstand	
		b ₀	Abwicklung	Umriss	Stahl	Umriss	Umriss	J _y	J _z	W _y	W _{y'}	W _z	i _y	i _z	e _p	e _{p'}
PSp	kg/m	mm	cm	cm	cm ²	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ³	cm ³	cm	cm	cm	cm
370	281	778	314	245	358	2920	101 610	153 790	5 490	4 570	3950	16,9	20,7	18,5	22,2	22,2
400	291	778	319	251	371	3160	120 680	159 070	6 030	5 090	4090	18,0	20,7	20,0	23,7	23,7
500	309	778	339	271	393	3930	194 380	167 780	7 780	6 770	4310	22,2	20,7	25,0	28,7	28,7
600	413	938	405	323	526	5660	360 330	327 680	12 010	10 690	6990	26,2	25,0	30,0	33,7	33,7
700	435	938	425	343	554	6590	504 110	343 680	14 400	13 020	7330	30,2	25,0	35,0	38,7	38,7
800	479	938	444	363	609	7530	714 780	377 220	17 870	16 350	8040	34,3	24,9	40,0	43,7	43,7
900	501	938	464	383	637	8460	926 300	393 220	20 580	19 010	8380	38,1	24,9	45,0	48,7	48,7
1000	523	938	484	403	665	9390	1 169 650	409 220	23 390	21 770	8730	42,0	24,8	50,0	53,7	53,7
1001	571	938	481	403	727	9390	1 310 410	449 310	26 210	24 390	9580	42,5	24,9	50,0	53,7	53,7

Abbildung 30 - Profilwerte Tragbohlen Psp 700 (Auszug [U6])

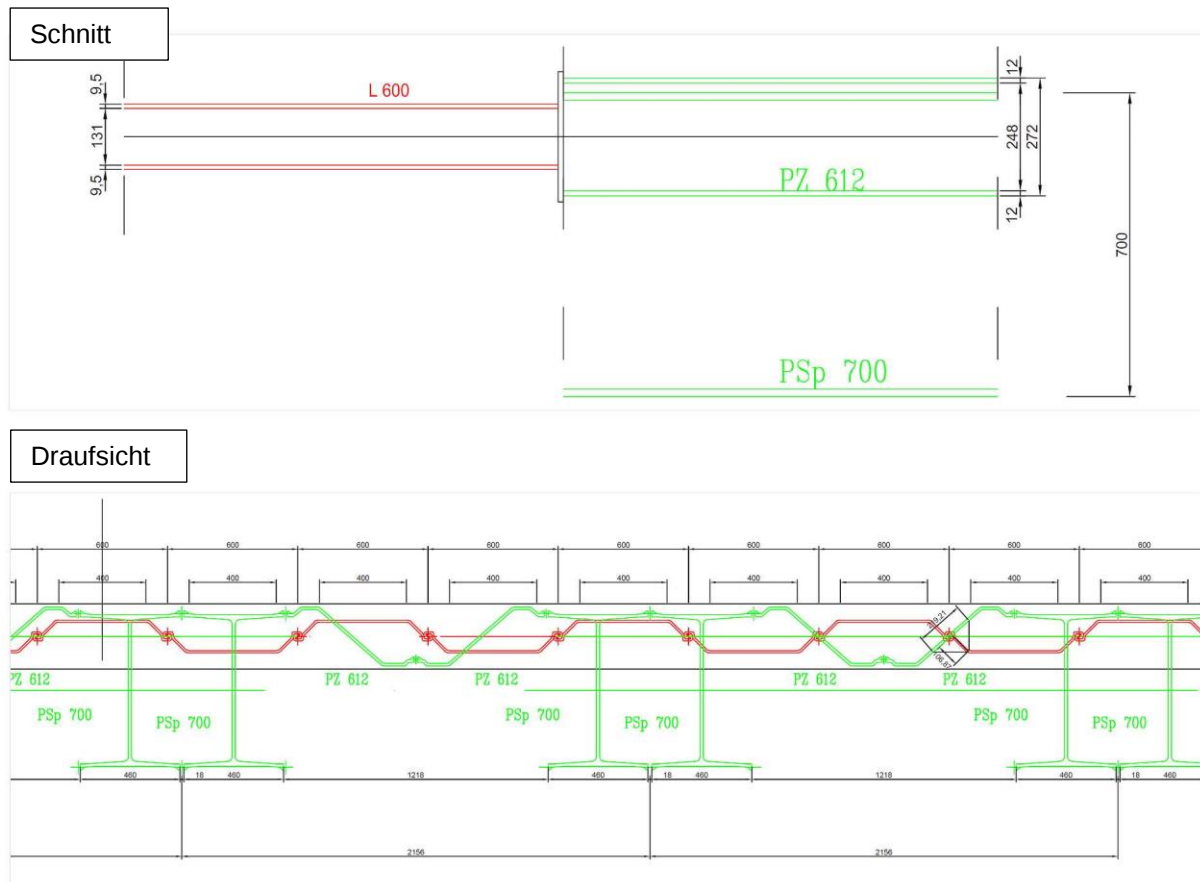
5.3.3 Spundwandberechnung



Vgl. auch Abschnitt 5.2.3

5.3.4 Schweißanschluss Wandaufstockung

5.3.4.1 Statisches System



5.3.4.2 Einwirkungen

Die Einwirkungen für den Wandanschluss ergeben sich aus der Schnittgrößenermittlung am Gesamtsystem vgl. Abschnitt 5.3.3

Die Normalkraft aus Spundwandeigengewicht wird wegen Geringfügigkeit vernachlässigt. Das Moment wird für den weiteren Nachweis in eine Druck- und Zugkraft aufgeteilt. Das Biegemoment wird nur im Bereich des Spundwandflansches eingeleitet. Die Querkraft nur im Bereich der Spundwandstege.

Unter Berücksichtigung der Systembreite der neuen Spundwand von 0,60 m ergeben sich die Druck- bzw. die Zugkraft wie folgt.

$$D_d = Z_d = 11,25 \text{ kNm/m} \cdot 2 \cdot 0,60 \text{ m} / 0,141 \text{ m} = 95,75 \text{ kN}$$

$$d_d = z_d = 100 / 0,40 = 250 \text{ kN/m}$$

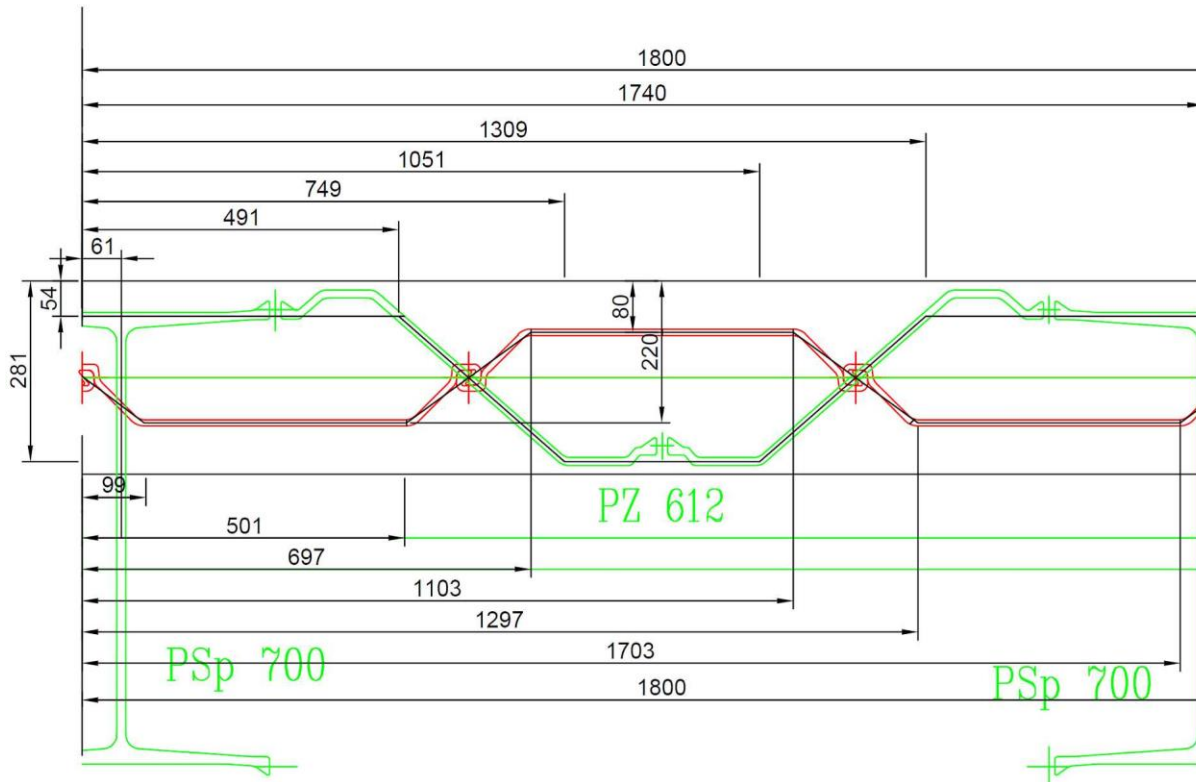
$$v_{Ed} = 15,38 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ed} = 15,38 \cdot 2 \cdot 0,60 = 18,46 \text{ kN}$$

5.3.4.3 Kopfplatte

Gewählt: $t = 12 \text{ mm S235 N+J2}$

Z-Güte:15



Die Kopfplatte wird mit R-FEM berechnet. Die kombinierte Spundwand wird als gelenkiges Auflager modelliert. Die Spundwand Larssen 600 wird mittels exzentrischer Stäbe und Querkraftgelenken im Bereich der Schlösser modelliert.

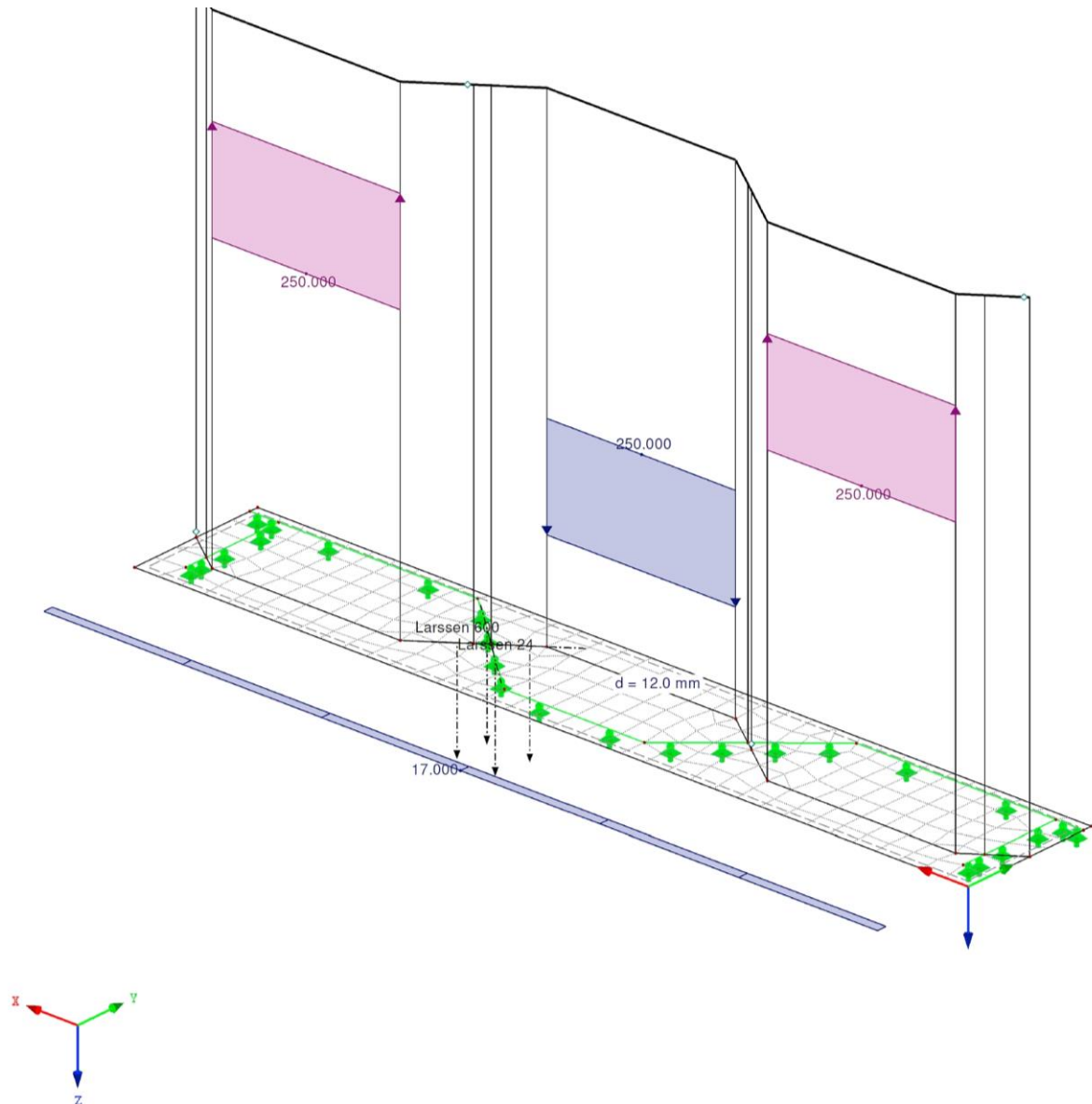


Abbildung 31 - System und Belastung

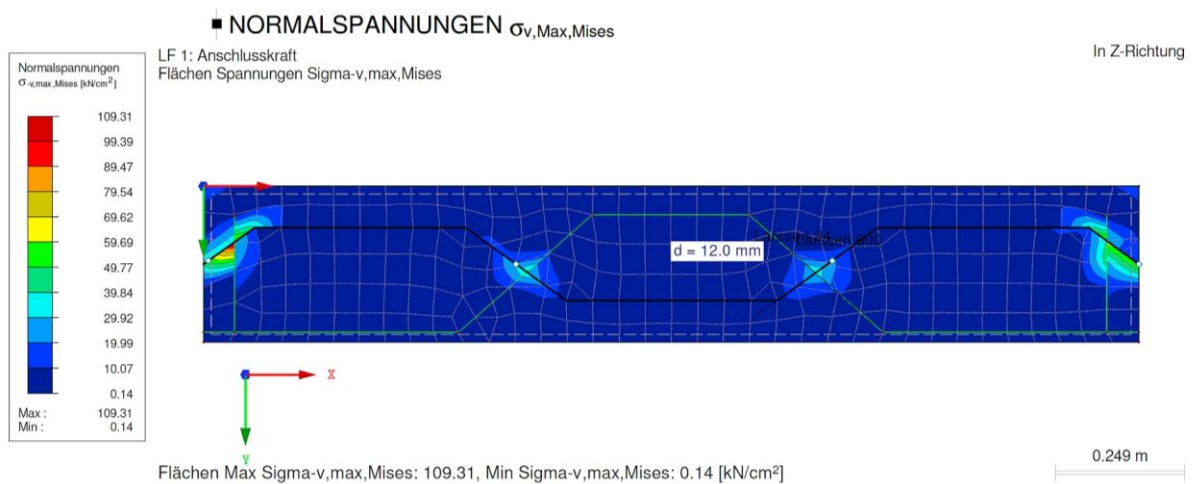


Abbildung 32 - Normalspannung σ_v

■ LAGERREAKTIONEN & VERGLEICHSSPANNUNG DETAIL

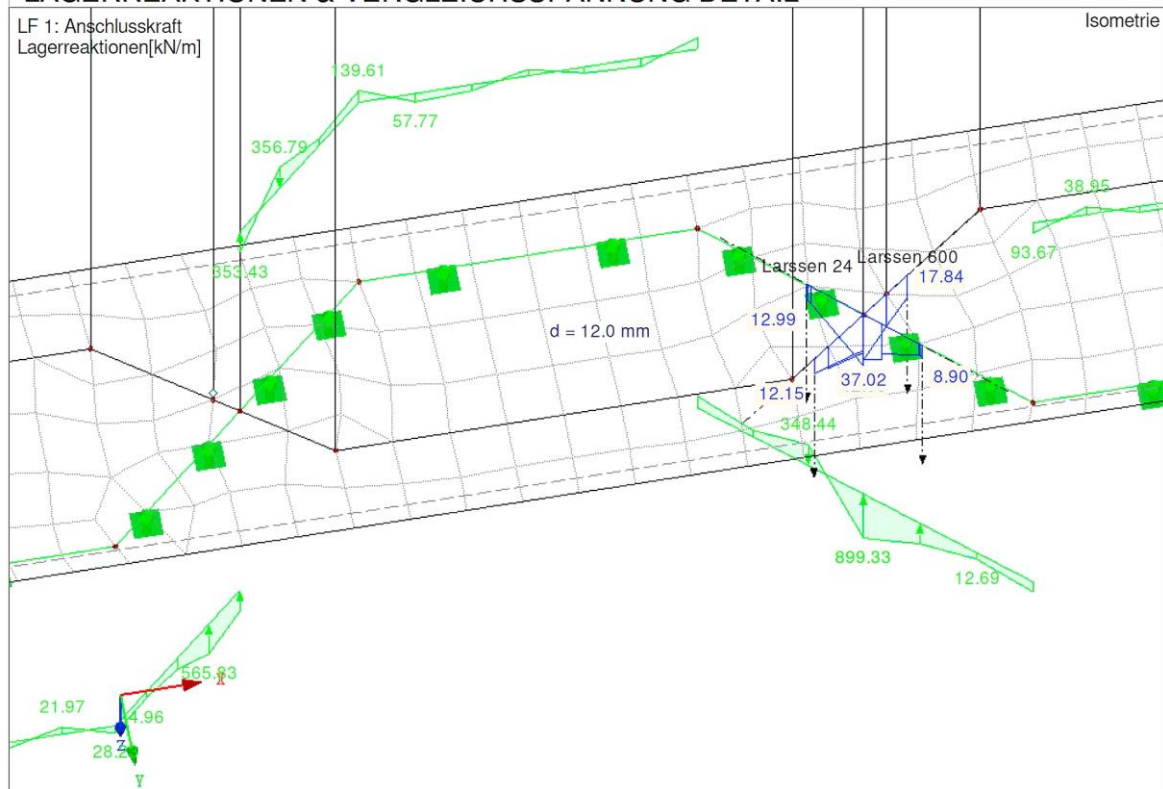


Abbildung 33 - Lagerreaktionen und Normalspannung σ_v

■ LAGERREAKTIONEN & VERGLEICHSSPANNUNG DETAIL

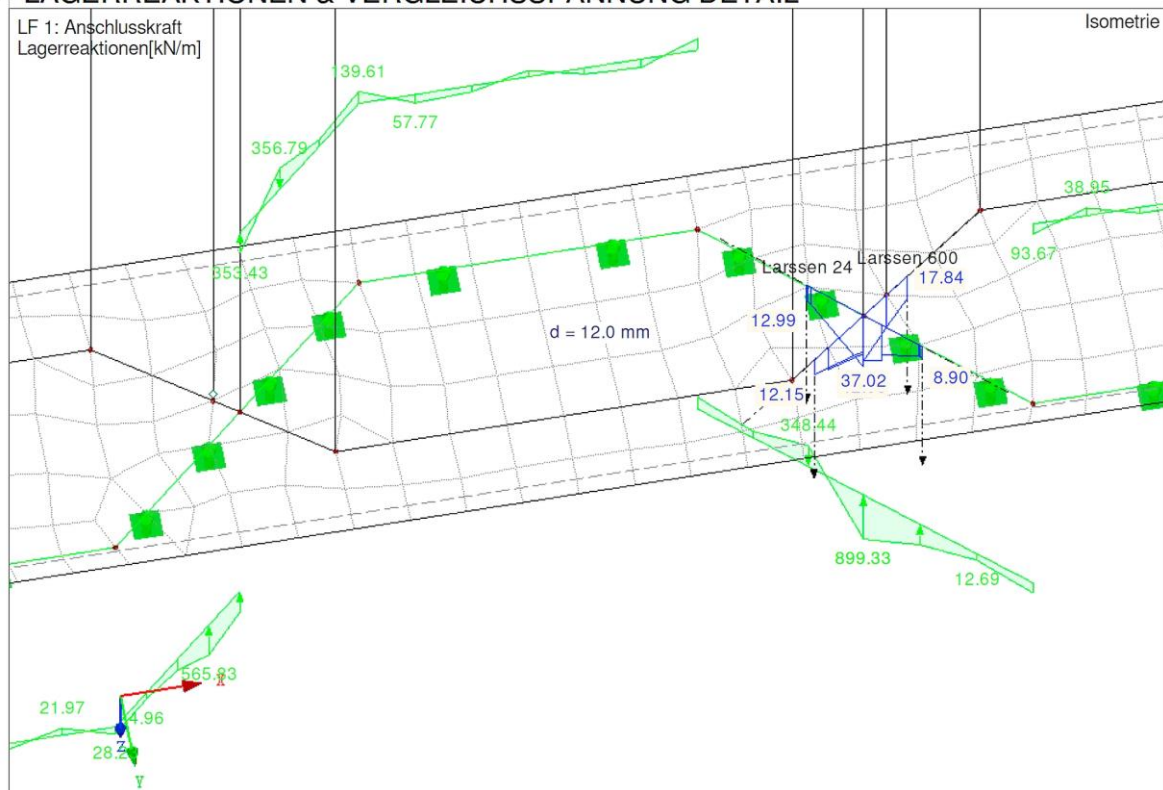


Abbildung 34 - Lagerreaktionen und Normalspannung σ_v

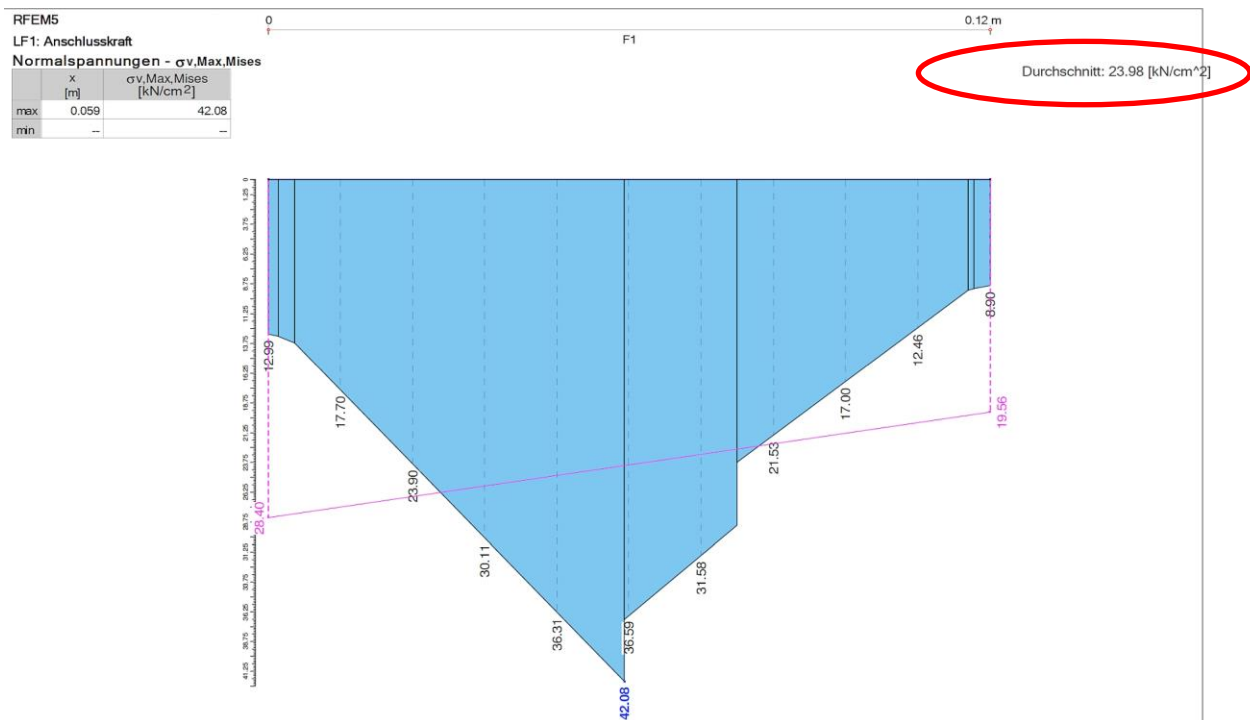


Abbildung 35 - Normalspannung σ_v entlang der Pzi

$$\mu = 23,98 / 24 = 1,00 = 1,00\checkmark$$

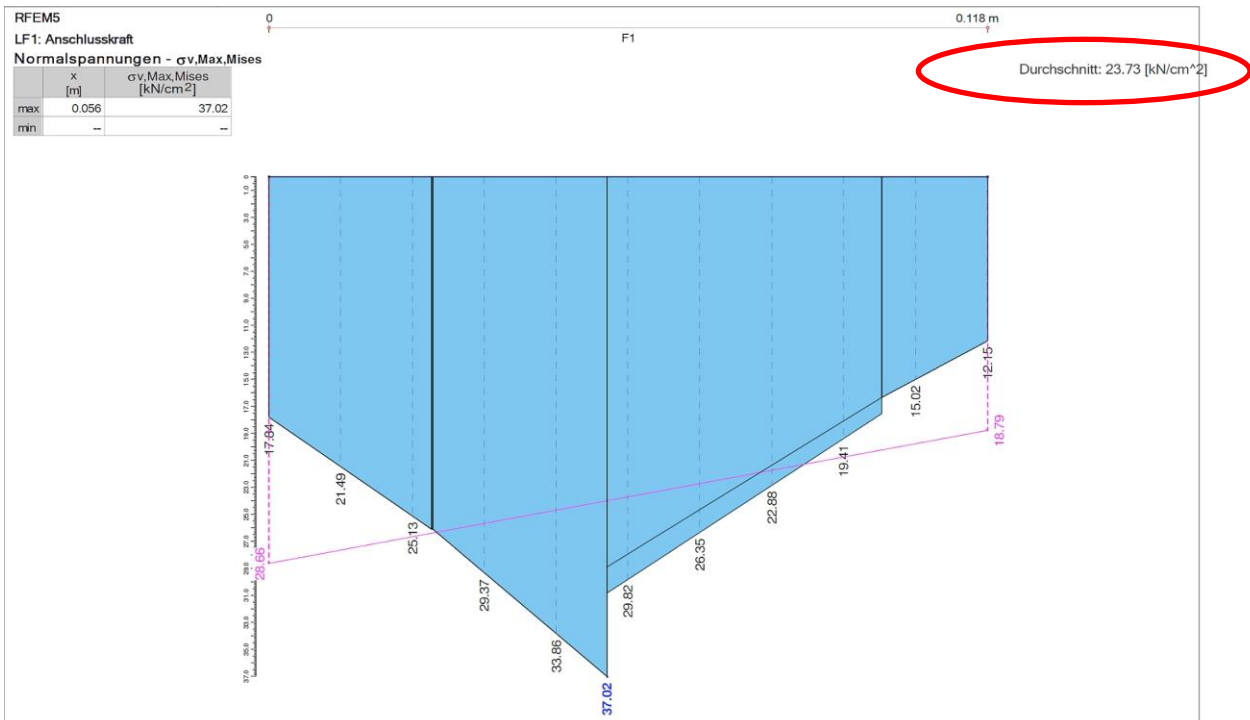


Abbildung 36 - Normalspannung σ_v entlang der Larssen 600

$$\mu = 23,73 / 24 = 1,00 = 1,00\checkmark$$

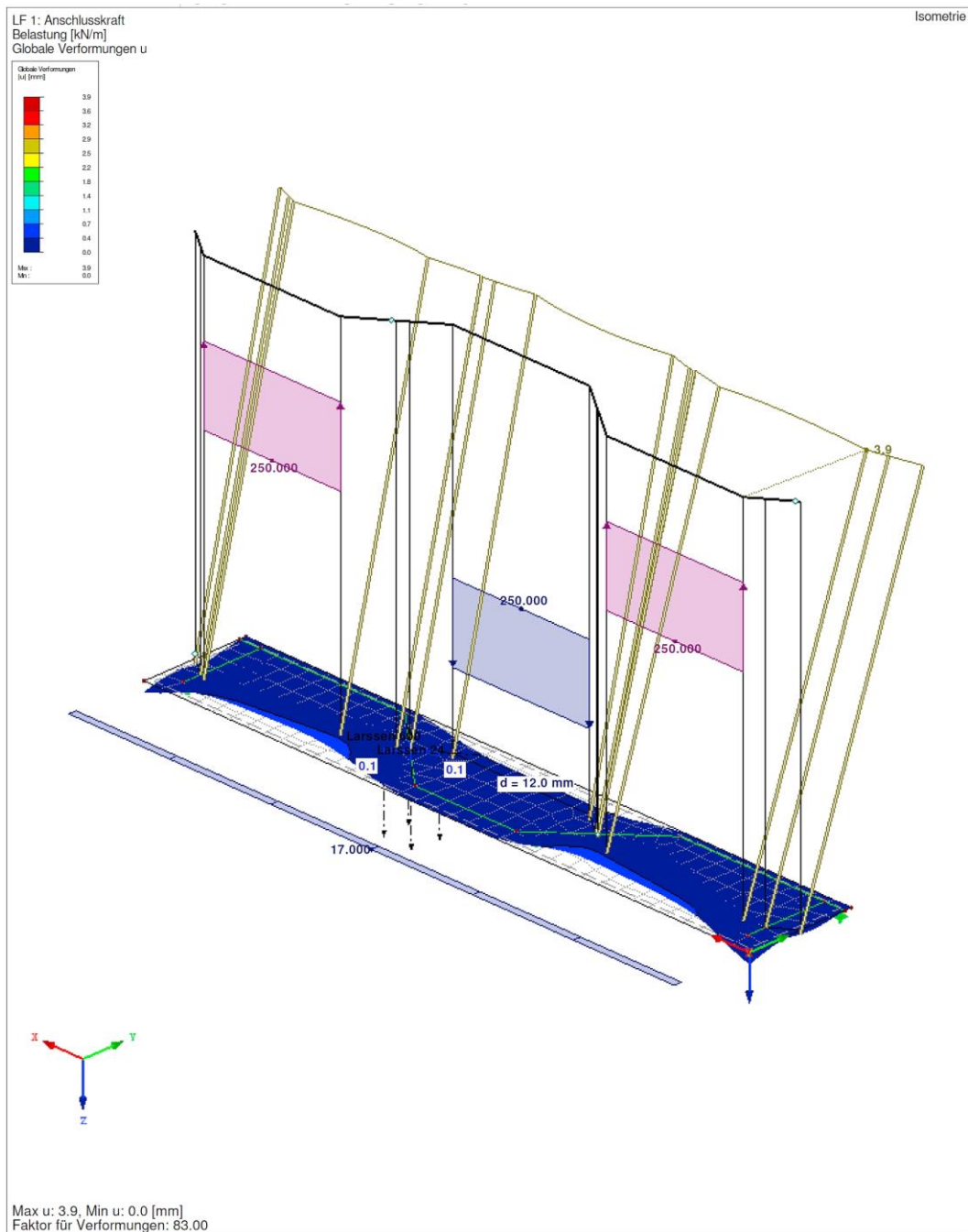


Abbildung 37 - Verformung

5.3.4.4 Z-Güte

Z15 siehe Abschnitt 4.1.5.4

5.3.4.5 Schweißnaht

Gewählt: Doppelkehlnaht $a_w = 6$ mm umlaufend

■ ERGEBNISVERLÄUFE AM LINIENLAGER L5,L43

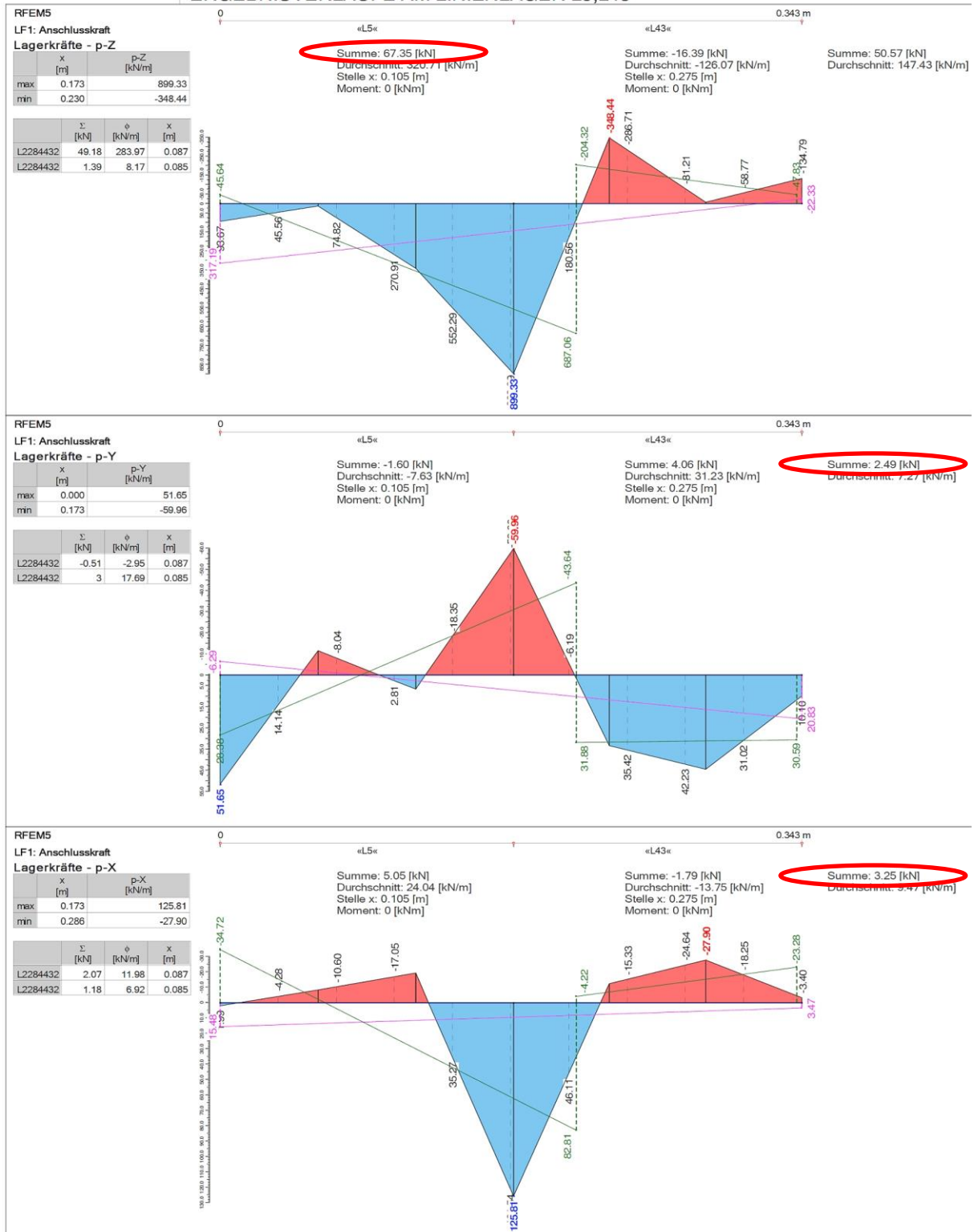


Abbildung 38 - Lagerreaktionen entlang der Pzi

Die Lasteintragung von der Kopfplatte in die Pzi erfolgt auf einer Länge von rd. 20 cm. Der Nachweis der Schweißnaht wird nach dem vereinfachten Verfahren gemäß Schneider Bautabellen geführt.

Gewählt: $a_w = 6 \text{ mm}$ mit $F_{wRd} = 15,27 \text{ kN/cm}$ (S240 GP)

$$F_{w,Ed} = (68^2 + 2,5^2 + 3,25^2)^{0,5} = 68,12 \text{ kN}$$

$$F_{w,Ed} = 12,47 \cdot 20 = 249,4 \text{ kN}$$

$$\mu = 68,12 / 249 = 0,27 < 1,00$$