

DIPLOMARBEIT Master Thesis

Entwurf einer Versuchsanlage für Tragfähigkeitsversuche von SCSC-Platten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs/ einer Diplom-Ingenieurin

unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Fink

und als verantwortlich mitwirkender Assistent

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Marlene Steuerer

E212

Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Christoph Kienast

0925471

Ysper 4
A-3683 Yspertal

Wien, am 09.10.2014



Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich während der gesamten Studienzeit begleitet und unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Josef Fink, Frau Univ.Ass. Dipl.-Ing. Marlene Steurer sowie Herrn Dipl.-Ing. Herbert Pardatscher des Institutes für Tragkonstruktionen – Stahlbau für die gute Betreuung sowie für die vielen lehrreichen Besprechungen.

Ein großer Dank gilt auch meinen Freunden und Studienkollegen. Stellvertretend für alle die mich während dem Studium begleitet haben, möchte ich mich an dieser Stelle bei Herrn Cand. Dipl.-Ing. Stefan Hehenberger und Herrn Dipl.-Ing. Markus Waglechner für deren Unterstützung und Motivation seit der Schulzeit bedanken.

Außerdem möchte ich mich bei meinen Eltern Elfriede und Josef Kienast sowie meiner Schwester Claudia Poschenreither für die große Unterstützung während meiner gesamten schulischen und akademischen Laufbahn bedanken.

Kurzfassung

Die am Institut für Tragkonstruktionen, Forschungsbereich Stahlbau der Technischen Universität Wien, entwickelte SCSC-Platte (Steel- Concrete- Steel- Composite) soll zur bestmöglichen Beschreibung ihres Tragverhaltens experimentell untersucht werden. Die Platte wird sowohl hinsichtlich des statischen Tragvermögens als auch auf deren Ermüdungsverhalten unter dynamischer Beanspruchung untersucht. Die vorliegende Arbeit behandelt die Entwicklung des dazu benötigten Versuchsrahmens. Die Plattengröße sowie deren Masse, die hohe abgeschätzte Traglast und den daraus resultierenden Problemstellungen hatten entscheidenden Einfluss auf die Planung des Versuchsaufbaus.

Um die geplanten Versuche wirtschaftlich und kostensparend durchführen zu können, wurde der Versuchsrahmen für zwei unterschiedliche Standorte, Wien und Graz, geplant und vordimensioniert. Auf Grundlage dieser Planung, den berechneten Massen und den Rahmenbedingungen, wurde zum Zwecke einer Detailplanung die endgültige Entscheidung für einen Standort getroffen.

Die weitere Planung wird durch die statische Tragwerksberechnung, die Detailberechnung der Lasteinleitungs- und durchleitungsbereiche sowie deren Einfluss auf die Spannungsnachweise erweitert. Die Berechnung der Ermüdungsfestigkeit erfolgte insofern, dass die auftretenden Spannungsdifferenzen der globalen Berechnung nachgewiesen wurden, Detailnachweise wurden im Bereich der Ermüdungsfestigkeit nicht geführt.

Abschließend wurde die Werkstattplanung des gesamten Aufbaus vorgenommen. Die Werkstattplanung umfasst sämtliche Pläne und Darstellungen, welche zur Herstellung dieses Bauwerks erforderlich sind.

Abstract

At the Institute of Structural Engineering, Research Center of Steel Structures at the Vienna University of Technology, the SCSC-plate (Steel- Concrete- Steel- Composite) is under investigation, to describe the load carrying behavior. The sandwich structure will be tested to evaluate the statical limit state and the fatigue limit state, therefore was a structure needed that can withstand the acting effects. The size of the plate, their mass as well as the level of the assumed statical limit state and the resulting problems of these issues had an important influence on the planned structure.

To execute these tests economical and cost efficient, the structure was planned and pre-analyzed for two different testing sites, one in Vienna and another one in Graz. Based on this planning state, the calculated steel-mass and the boundary conditions of the individual sites, the decision for one of these sites was felled to plan the structure in detail.

The expanded planning state includes the structural calculation, detailed calculations of local effects and their influence on the stress checks of the section. The calculation of the fatigue limit state includes the check of the acting stress range of the global calculation, detailed verifications are not included.

Based on the global and detailed calculations, the production planning had been done for the whole structure. The production planning includes all plans and informations that are used to produce this structure.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	9
1.1	Abgrenzung dieser Arbeit – Ausblick auf weitere Nachweisführungen	9
1.2	Abkürzungsverzeichnis	9
1.2.1	Querschnitts- / Bauteilbezeichnungen	9
1.2.2	Bezeichnungen	9
1.2.3	Schnittgrößen / Spannungen	9
1.2.4	Geometrische Größen.....	10
1.3	Variantenstudie	10
1.3.1	Vorentwurf.....	11
1.3.2	Entwurf.....	13
1.3.3	Ergebnis der Variantenstudie.....	16
2.	Einwirkungen	18
2.1	Ständige Einwirkungen	18
2.1.1	Eigengewicht der Platte	18
2.1.2	Eigengewicht des Stahlrahmens.....	18
2.1.3	Eigengewicht des Unwuchterregers	18
2.1.4	Eigengewicht der Waagbalken [WB1] und [WB2].....	18
2.2	Veränderliche Einwirkungen – Prüfkräfte / Pressenkräfte	19
2.2.1	Anordnung der Plattenkräfte	19
2.2.2	Statische Traglastversuche – Maximale Pressenkraft.....	19
2.2.3	Statische Traglastversuche – Vorspannkraft.....	19
2.2.4	Dynamische Ermüdungsversuche – Lastschwingbreite	19
2.2.5	Dynamische Ermüdungsversuche – Mittelspannung.....	21
2.3	Teilsicherheitsbeiwerte.....	22
2.3.1	Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen nach ÖNORM EN 1993-1-1	22
2.3.2	Teilsicherheitsbeiwerte für das Material nach ÖNORM EN 1993-1-1 und ÖNORM B 1993-1-1	22
2.3.3	Teilsicherheitsbeiwerte für das Material nach ÖNORM EN 1993-1-9 und ÖNORM B 1993-1-9	23
3.	Materialkennwerte	24
4.	Querschnitte	25
4.1	[AT] Auflagerträger.....	25
4.2	[LT] Längsträger.....	26
4.3	[LTu] Längsträger unten.....	27
4.4	[QT] _{geschlossen} Querträger geschlossen.....	28
4.5	[QT] _{offen} Querträger offen.....	29
4.6	[VT] Vorspannträger.....	30
4.7	[WB1] Waagbalken 1 / [VTB] Verteilbalken	31
4.8	[WB2] Waagbalken 2	32
4.9	[ZS] Zugstütze	33
5.	Modellbildung	34
5.1	Berechnungsmodell – Aufbau statische Traglastversuche.....	34
5.2	Berechnungsmodell – Aufbau dynamische Ermüdungsversuche	34
6.	Grenzzustände der Tragfähigkeit	36
6.1	Teilsicherheitsbeiwerte.....	36
6.2	Querschnittsklassifikation.....	36
6.2.1	[AT] Auflagerträger.....	39
6.2.2	[LT] Längsträger.....	39
6.2.3	[LTu] Längsträger unten.....	40
6.2.4	[QT] _{geschlossen} Querträger geschlossen.....	40
6.2.5	[QT] _{offen} Querträger offen	41
6.2.6	[VT] Vorspannträger.....	41
6.2.7	[WB1] Waagbalken 1 / [VTB] Verteilbalken	42
6.2.8	[WB2] Waagbalken 2	42
6.2.9	[ZS] Zugstütze.....	43
6.3	Lastfälle / Lastfallkombinationen.....	44
6.3.1	Lastfälle – Übersicht.....	44
6.3.2	[AT] Versuchsdurchführung	45
6.3.3	[LT] Vorspannung.....	48
6.3.4	[LT] Versuchsdurchführung.....	50
6.3.5	[LTu] FLS Vorspannung.....	53

6.3.6	[QT] _{geschlossen} Vorspannung.....	55
6.3.7	[QT] _{geschlossen} Versuchsdurchführung.....	57
6.3.8	[QT] _{offen} Vorspannung.....	59
6.3.9	[QT] _{offen} Versuchsdurchführung.....	61
6.3.10	[VT] Vorspannung	63
6.3.11	[VT] Versuchsdurchführung	65
6.3.12	[VTB] FLS Vorspannung	68
6.3.13	[WB1] Versuchsdurchführung	69
6.3.14	[WB2] Versuchsdurchführung	70
6.3.15	[ZS] Vorspannung	71
6.3.16	[ZS] Versuchsdurchführung	73
6.4	Querschnittsnachweise	75
6.4.1	Allgemeines.....	75
6.4.2	[AT] Versuchsdurchführung	76
6.4.3	[LT] Vorspannung.....	77
6.4.4	[LT] Versuchsdurchführung.....	79
6.4.5	[LTu] FLS Vorspannung.....	82
6.4.6	[QT] _{geschlossen} Versuchsdurchführung.....	84
6.4.7	[QT] _{offen} Versuchsdurchführung.....	89
6.4.8	[QT] Torsionsabtragung Querträger.....	93
6.4.9	[VT] Versuchsdurchführung – [QT] _{geschlossen}	94
6.4.10	[VT] Versuchsdurchführung – [QT] _{offen}	96
6.4.11	[WB1] Versuchsdurchführung	98
6.4.12	[WB2] Versuchsdurchführung	100
6.4.13	[ZS] Vorspannung	102
6.4.14	[ZS] Versuchsdurchführung	102
6.5	Stabilitätsnachweise.....	103
6.5.1	[AT] Versuchsdurchführung	103
6.5.2	[LT] Vorspannung.....	103
6.5.3	[LT] Versuchsdurchführung.....	104
6.5.4	[QT] _{geschlossen} Versuchsdurchführung.....	104
6.5.5	[QT] _{offen} Versuchsdurchführung.....	105
6.5.6	[VT] Vorspannung	105
6.5.7	[VT] Versuchsdurchführung	106
6.5.8	[WB1] Versuchsdurchführung	106
6.5.9	[WB2] Versuchsdurchführung	107
6.5.10	[ZS] Vorspannung	108
6.6	Globale Stabilitätsanalyse.....	109
6.6.1	Lastfall Vorspannung	109
6.6.2	Lastfall Versuchsdurchführung	111
6.7	Anschlüsse und Verbindungen	114
6.7.1	Anschluss Zugstütze [ZS] – Querträger [QT].....	114
6.7.2	Anschluss Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT].....	127
6.8	Detailnachweise – Lasteinleitungen/-durchleitungen.....	135
6.8.1	Grundlagen	135
6.8.2	Steifennachweise	136
6.8.3	Lastdetail LD _{ULS} 01 – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung.....	138
6.8.4	Lastdetail LD _{ULS} 01 – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung.....	140
6.8.5	Lastdetail LD _{ULS} 02 – [QT] _{geschlossen} – Vorspannung.....	142
6.8.6	Lastdetail LD _{ULS} 02 – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung.....	146
6.8.7	Lastdetail LD _{ULS} 02 – [QT] _{offen} – Vorspannung.....	149
6.8.8	Lastdetail LD _{ULS} 02 – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung.....	154
6.8.9	Lastdetail LD _{ULS} 03 – Vorspannung.....	159
6.8.10	Lastdetail LD _{ULS} 03 – Versuchsdurchführung	162
6.8.11	Lastdetail LD _{ULS} 04 – Vorspannung.....	164
6.8.12	Lastdetail LD _{ULS} 04 – Versuchsdurchführung	167
6.8.13	Lastdetail LD _{ULS} 05 – Vorspannung.....	169
6.8.14	Lastdetail LD _{ULS} 05 – Versuchsdurchführung	175
6.8.15	Lastdetail LD _{ULS} 06 – [QT] _{geschlossen} – Vorspannung.....	179
6.8.16	Lastdetail LD _{ULS} 06 – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung.....	184
6.8.17	Lastdetail LD _{ULS} 06 – [QT] _{offen} – Vorspannung.....	186
6.8.18	Lastdetail LD _{ULS} 06 – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung.....	191

6.8.19	<i>Lastdetail LD_{ULS}07 – Versuchsdurchführung</i>	193
6.8.20	<i>Lastdetail LD_{ULS}08 – Versuchsdurchführung</i>	199
6.8.21	<i>Lastdetail LD_{ULS}09 – Versuchsdurchführung</i>	202
6.8.22	<i>Lastdetail LD_{ULS}10 – Versuchsdurchführung</i>	206
6.8.23	<i>Lastdetail LD_{ULS}11 – Versuchsdurchführung</i>	209
7.	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	211
7.1	Teilsicherheitsbeiwerte	211
7.2	[AT] Versuchsdurchführung	211
7.3	[LT] Vorspannung	212
7.4	[LT] Versuchsdurchführung	213
7.5	[LTu] FLS Vorspannung	214
7.6	[QT] _{geschlossen} Versuchsdurchführung	215
7.7	[QT] _{offen} Versuchsdurchführung	216
7.8	[QT] Versuchsdurchführung – Nachweis der Horizontalverschiebung	217
7.9	[VT] Vorspannung	218
7.10	[VT] Versuchsdurchführung	219
7.11	[VTB] FLS Vorspannung	220
7.12	[WB1] Versuchsdurchführung	221
7.13	[WB2] Versuchsdurchführung	221
8.	Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit	222
8.1	Teilsicherheitsbeiwerte	223
8.2	Modellbildung	223
8.3	Ermittlung der Beanspruchungen / Nachweisführung im Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit	226
8.3.1	<i>[AT] Auflagerträger</i>	226
8.3.2	<i>[LT] Längsträger</i>	229
8.3.3	<i>[LTu] Längsträger unten</i>	234
8.3.4	<i>[QT]_{geschlossen} Querträger geschlossen</i>	237
8.3.5	<i>[QT]_{offen} Querträger offen</i>	240
8.3.6	<i>[VT] Vorspannträger – [QT]_{geschlossen}</i>	243
8.3.7	<i>[VT] Vorspannträger – [QT]_{offen}</i>	247
8.3.8	<i>[VTB] Verteilbalken – [QT]_{geschlossen}</i>	251
8.3.9	<i>[VTB] Verteilbalken – [QT]_{geschlossen}</i>	252
8.3.10	<i>[WB1] Waagbalken 1</i>	253
8.3.11	<i>[WB2] Waagbalken 2</i>	254
8.4	Vorspannsystem	255
8.4.1	<i>Vorspannsystem mit Gewindestangen</i>	255
8.4.2	<i>Vorspannsystem mit DYWIDAG Glattstäben 36 WS</i>	255
8.4.3	<i>Schlussfolgerung</i>	256
8.4.4	<i>Ausführungshinweis</i>	256
9.	Konstruktive Details	257
9.1	Querschnittsaussteifungen – Steifen	257
9.2	Längsverschieblichkeit der SCSC-Platte	257
9.3	Auswahl der Stahlsorte im Hinblick auf Eigenschaften in Dickenrichtung	257
9.3.1	<i>Endplatte aus LD_{ULS}06</i>	259
9.3.2	<i>Endplatte aus LD_{ULS}05</i>	260
10.	Literaturverzeichnis	261
10.1	Wissenschaftliche Arbeiten	261
10.2	Literatur, Bücher	261
10.3	Normen und Regelwerke	261
10.4	Verwendete Software	262
11.	Anhang	263
11.1	Dynamische Berechnung der SCSC-Platte	263
11.2	Konstruktionsplan Unwuchterreger	266
11.3	Datenblatt Kraftmessdosen	267
11.4	Vorspannsystem Glattstab 36 WS	271
11.5	Planliste	276
11.6	Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger geschlossen	277
11.7	Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger offen	279

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Vorentwurf Versuchsaufbau Wien.....	11
Abbildung 1.2: Vorentwurf Versuchsaufbau Graz	12
Abbildung 1.3: Entwurf Traglastversuche Wien (Längs- und Queransicht) am Beispiel [QT] _{geschlossen} ..	14
Abbildung 1.4: Entwurf Ermüdungsversuche Wien (Längs- und Queransicht) am Beispiel [QT] _{geschlossen}	15
Abbildung 1.5: Entwurf Traglastversuche Graz (Längs- und Queransicht).....	16
Abbildung 1.6: Entwurf Ermüdungsversuche Graz (Längs- und Queransicht).....	16
Abbildung 2.1: Biegemomentenlinie bei LM71; M_{min} , M_0 , M_{max} (siehe Anhang 11.1).....	20
Abbildung 5.1: Berechnungsmodell – statische Traglastversuche	34
Abbildung 5.2: Berechnungsmodell – dynamische Ermüdungsversuche.....	35
Abbildung 6.1: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht	45
Abbildung 6.2: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Pressenkraft	46
Abbildung 6.3: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Normalkraft N_{Ed}	47
Abbildung 6.4: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$	47
Abbildung 6.5: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	47
Abbildung 6.6: Längsträger [LT] – Vorspannung – Eigengewicht	48
Abbildung 6.7: Längsträger [LT] – Vorspannung – Vorspannkraft	48
Abbildung 6.8: Längsträger [LT] – Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$	49
Abbildung 6.9: Längsträger [LT] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	49
Abbildung 6.10: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht	50
Abbildung 6.11: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Versuchskräfte.....	50
Abbildung 6.12: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Vorspannkraft	51
Abbildung 6.13: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$	52
Abbildung 6.14: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	52
Abbildung 6.15: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Eigengewicht	53
Abbildung 6.16: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Vorspannung FLS	53
Abbildung 6.17: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$	54
Abbildung 6.18: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	54
Abbildung 6.19: Querträger geschlossen [QT] – Vorspannung – Eigengewicht.....	55
Abbildung 6.20: Querträger geschlossen [QT] – Vorspannung – Normalkraft N_{Ed}	56
Abbildung 6.21: Querträger geschlossen [QT] – Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$	56
Abbildung 6.22: Querträger geschlossen [QT] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	56
Abbildung 6.23: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht	57
Abbildung 6.24: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Pressenkraft	57
Abbildung 6.25: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Normalkraft N_{Ed}	58
Abbildung 6.26: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$	58
Abbildung 6.27: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	58
Abbildung 6.28: Querträger offen [QT] – Vorspannung – Eigengewicht.....	59
Abbildung 6.29: Querträger offen [QT] – Vorspannung – Normalkraft N_{Ed}	60
Abbildung 6.30: Querträger offen [QT] – Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$	60
Abbildung 6.31: Querträger offen [QT] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	60
Abbildung 6.32: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht	61
Abbildung 6.33: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Pressenkraft	61
Abbildung 6.34: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Normalkraft N_{Ed}	62
Abbildung 6.35: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$	62
Abbildung 6.36: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	62
Abbildung 6.37: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Eigengewicht.....	63
Abbildung 6.38: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Vorspannkraft.....	63
Abbildung 6.39: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$	64
Abbildung 6.40: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	64
Abbildung 6.41: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht	65
Abbildung 6.42: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Versuchskräfte	65
Abbildung 6.43: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Vorspannkraft.....	66
Abbildung 6.44: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$	67
Abbildung 6.45: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	67
Abbildung 6.46: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Eigengewicht.....	68
Abbildung 6.47: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Vorspannung FLS	68
Abbildung 6.48: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$	68

Abbildung 6.49: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	68
Abbildung 6.50: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht.....	69
Abbildung 6.51: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Pressenkraft	69
Abbildung 6.52: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$	69
Abbildung 6.53: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	69
Abbildung 6.54: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht.....	70
Abbildung 6.55: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Pressenkraft	70
Abbildung 6.56: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$	70
Abbildung 6.57: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$	70
Abbildung 6.58: Zugstütze [ZS] – Vorspannung – Eigengewicht.....	71
Abbildung 6.59: Zugstütze [ZS] – Vorspannung – Vorspannkrafte	71
Abbildung 6.60: Zugstütze [ZS] – Vorspannung – Normalkraft N_{Ed}	72
Abbildung 6.61: Zugstütze [ZS] – Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed} / V_{y,Ed}$	72
Abbildung 6.62: Zugstütze [ZS] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed} / M_{z,Ed}$	72
Abbildung 6.63: Zugstütze [ZS] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht	73
Abbildung 6.64: Zugstütze [ZS] – Versuchsdurchführung – Versuchskräfte	73
Abbildung 6.65: Zugstütze [ZS] – Versuchsdurchführung – Normalkraft N_{Ed}	74
Abbildung 6.66: Zugstütze [ZS] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed} / V_{y,Ed}$	74
Abbildung 6.67: Zugstütze [ZS] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed} / M_{z,Ed}$	74
Abbildung 6.68: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$	76
Abbildung 6.69: Längsträger [LT] – Vorspannung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$	77
Abbildung 6.70: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$	79
Abbildung 6.71: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$	82
Abbildung 6.72: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$	84
Abbildung 6.73: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$	89
Abbildung 6.74: Vorspannträger [VT] – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$	94
Abbildung 6.75: Vorspannträger [VT] – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$	96
Abbildung 6.76: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$...	98
Abbildung 6.77: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$..	100
Abbildung 6.78: Globale Stabilitätsanalyse – Vorspannung – Eigengewicht	109
Abbildung 6.79: Globale Stabilitätsanalyse – Vorspannung – Vorspannkraften.....	109
Abbildung 6.80: Globale Stabilitätsanalyse – Vorspannung – Eigenform	110
Abbildung 6.81: Globale Stabilitätsanalyse – Versuchsdurchführung – Eigengewicht	111
Abbildung 6.82: Globale Stabilitätsanalyse – Versuchsdurchführung – Vorspannkraften	111
Abbildung 6.83: Globale Stabilitätsanalyse – Versuchsdurchführung – Versuchskräfte	112
Abbildung 6.84: Globale Stabilitätsanalyse – Versuchsdurchführung – Eigenform.....	112
Abbildung 6.85: Anschluss Zugstütze [ZS]-Querträger [QT] _{geschlossen} / [QT] _{offen}	114
Abbildung 6.86: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – Fließmuster 1	115
Abbildung 6.87: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – Fließmuster 2	116
Abbildung 6.88: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – Fließmuster 3	116
Abbildung 6.89: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – Fließmuster 4	116
Abbildung 6.90: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – Fließmuster 5	117
Abbildung 6.91: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – Fließmuster 6	117
Abbildung 6.92: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT] _{offen} – Fließmuster 1	121
Abbildung 6.93: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT] _{offen} – Fließmuster 2	122
Abbildung 6.94: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT] _{offen} – Fließmuster 3	122
Abbildung 6.95: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT] _{offen} – Fließmuster 4	122
Abbildung 6.96: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT] _{offen} – Fließmuster 5	123
Abbildung 6.97: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT] _{offen} – Fließmuster 6	123
Abbildung 6.98: Anschluss Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT]	127
Abbildung 6.99: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 1	129
Abbildung 6.100: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 2	129
Abbildung 6.101: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 3	130
Abbildung 6.102: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 4	130
Abbildung 6.103: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 5	131
Abbildung 6.104: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 6	131
Abbildung 6.105: Einteilung der Lastdetails.....	135

Abbildung 6.106: Nachweisverfahren Steifentyp 1	136
Abbildung 6.107: Nachweisverfahren Steifentyp 2	137
Abbildung 6.108: Nachweisverfahren Steifentyp 3	137
Abbildung 6.109: Lastdetail LD _{ULS01} – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung – Kräfte/Spannungen	138
Abbildung 6.110: Lastdetail LD _{ULS01} – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung	139
Abbildung 6.111: Lastdetail LD _{ULS01} – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung – Kräfte/Spannungen	140
Abbildung 6.112: Lastdetail LD _{ULS01} – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung	141
Abbildung 6.113: Lastdetail LD _{ULS02} – [QT] _{geschlossen} – Vorspannung – Kräfte/Spannungen	143
Abbildung 6.114: Lastdetail LD _{ULS02} – [QT] _{geschlossen} – Vorspannung	144
Abbildung 6.115: Lastdetail LD _{ULS02} – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung – Kräfte/Spannungen	146
Abbildung 6.116: Lastdetail LD _{ULS02} – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung	147
Abbildung 6.117: Lastdetail LD _{ULS02} – [QT] _{offen} – Vorspannung – Kräfte/Spannungen	150
Abbildung 6.118: Lastdetail LD _{ULS02} – [QT] _{offen} – Vorspannung	151
Abbildung 6.119: Lastdetail LD _{ULS02} – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung – Kräfte/Spannungen	155
Abbildung 6.120: Lastdetail LD _{ULS02} – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung	156
Abbildung 6.121: Lastdetail LD _{ULS03} – Versuchsdurchführung/Vorspannung	160
Abbildung 6.122: Lastdetail LD _{ULS04} – Versuchsdurchführung/Vorspannung	165
Abbildung 6.123: Lastdetail LD _{ULS05} – Vorspannung	171
Abbildung 6.124: Lastdetail LD _{ULS05} – Versuchsdurchführung	176
Abbildung 6.125: Lastdetail LD _{ULS06} – [QT] _{geschlossen} – Vorspannung – Kräfte/Spannungen	181
Abbildung 6.126: Lastdetail LD _{ULS06} – [QT] _{geschlossen} – Vorspannung	182
Abbildung 6.127: Lastdetail LD _{ULS06} – [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung	185
Abbildung 6.128: Lastdetail LD _{ULS06} – [QT] _{offen} – Vorspannung – Kräfte/Spannungen	188
Abbildung 6.129: Lastdetail LD _{ULS06} – [QT] _{offen} – Vorspannung	189
Abbildung 6.130: Lastdetail LD _{ULS06} – [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung	192
Abbildung 6.131: Lastdetail LD _{ULS07} – Versuchsdurchführung	195
Abbildung 6.132: Lastdetail LD _{ULS08} – Versuchsdurchführung	200
Abbildung 6.133: Lastdetail LD _{ULS09} – Versuchsdurchführung	202
Abbildung 6.134: Berührungspressung nach Hertz [2]	203
Abbildung 6.135: Lastdetail LD _{ULS10} – Versuchsdurchführung	206
Abbildung 6.136: Lastdetail LD _{ULS11} – Versuchsdurchführung	209
Abbildung 7.1: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Verformung	211
Abbildung 7.2: Längsträger [LT] – Vorspannung – Verformung	212
Abbildung 7.3: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Verformung	213
Abbildung 7.4: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Verformung	214
Abbildung 7.5: Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – Versuchsdurchführung – Verformung	215
Abbildung 7.6: Querträger offen [QT] _{offen} – Versuchsdurchführung – Verformung	216
Abbildung 7.7: Pressenverdrehung [WB1] – Obergurt	217
Abbildung 7.8: Pressenverdrehung Querträger [QT]	217
Abbildung 7.9: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Verformung	218
Abbildung 7.10: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Verformung	219
Abbildung 7.11: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Verformung	220
Abbildung 7.12: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Verformung	221
Abbildung 7.13: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Verformung	221
Abbildung 8.1: Ermüdungsfestigkeitskurven für Längsspannungen und Schubspannungen [14]	223
Abbildung 8.2: Einwirkende Lastschwingbreite [WB1], [WB2] (nach Punkt 2.2.4)	223
Abbildung 8.3: Einwirkende Lastschwingbreite [VTB], [QT] (nach Punkt 2.2.4)	224
Abbildung 8.4: Einwirkende Lastschwingbreite [VT], [LT], [LTu] (nach Punkt 2.2.4)	224
Abbildung 8.5: Einwirkende Lastschwingbreite [AT] (nach Punkt 2.2.4)	225
Abbildung 8.6: Auflagerträger [AT] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	226
Abbildung 8.7: Auflagerträger [AT] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	226
Abbildung 8.8: Längsträger [LT] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	229
Abbildung 8.9: Längsträger [LT] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	229
Abbildung 8.10: Längsträger unten [LTu] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	234
Abbildung 8.11: Längsträger unten [LTu] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	234
Abbildung 8.12: Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	237
Abbildung 8.13: Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen} – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	237
Abbildung 8.14: Querträger offen [QT] _{offen} – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	240
Abbildung 8.15: Querträger offen [QT] _{offen} – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	240

Abbildung 8.16: Vorspannträger [VT] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	243
Abbildung 8.17: Vorspannträger [VT] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	243
Abbildung 8.18: Vorspannträger [VT] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	247
Abbildung 8.19: Vorspannträger [VT] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	247
Abbildung 8.20: Verteilbalken [VTB] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	251
Abbildung 8.21: Verteilbalken [VTB] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	251
Abbildung 8.22: Verteilbalken [VTB] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	252
Abbildung 8.23: Verteilbalken [VTB] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	252
Abbildung 8.24: Waagbalken 1 [WB1] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	253
Abbildung 8.25: Waagbalken 1 [WB1] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	253
Abbildung 8.26: Waagbalken 2 [WB2] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$	254
Abbildung 8.27: Waagbalken 2 [WB2] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$	254
Abbildung 8.28: Kerbfallklasse für Schrauben und Gewindestangen [14]	255
Abbildung 9.1: Ansicht der Schweißnähte Endplatte LD _{ULS} 06 am Beispiel [QT] _{geschlossen}	259
Abbildung 9.2: Ansicht der Schweißnähte Endplatte LD _{ULS} 05	260

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Eigengewicht Waagbalken.....	18
Tabelle 2.2: Berechnung der einwirkenden FLS-Schwingbreite (siehe Anhang 11.1)	20
Tabelle 2.3: Berechnung der FLS-Mittelspannung (siehe Anhang 11.1)	21
Tabelle 4.1: Querschnittswerte Auflagerträger [AT] – HE-M 700.....	25
Tabelle 4.2: Querschnittswerte Längsträger [LT]	26
Tabelle 4.3: Querschnittswerte Längsträger unten [LTu]	27
Tabelle 4.4: Querschnittswerte Querträger geschlossen [QT] _{geschlossen}	28
Tabelle 4.5: Querschnittswerte Querträger offen [QT] _{offen}	29
Tabelle 4.6: Querschnittswerte Vorspannträger [VT]	30
Tabelle 4.7: Querschnittswerte Waagbalken 1 [WB1] / Verteilbalken [VTB] – HE-M 220	31
Tabelle 4.8: Querschnittswerte Waagbalken 2 [WB2] – HE-M 140	32
Tabelle 4.9: Querschnittswerte Zugstütze [ZS]	33
Tabelle 6.1: Nachweis gegen Normalspannungsbeulen (Auszug ÖNORM EN 1993-1-1 Tabelle 5.2).....	37
Tabelle 6.2: Nachweis gegen Normalspannungsbeulen (Auszug ÖNORM EN 1993-1-1 Tabelle 5.2) (Fortsetzung).....	38
Tabelle 6.3: Lastfälle – Übersicht.....	44
Tabelle 9.1: Einflüsse auf die Anforderungen Z_{Ed} (Auszug aus ÖNORM EN 1993-1-10, Tabelle 3.2) ...	258
Tabelle 11.1: Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger geschlossen	277
Tabelle 11.2: Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger geschlossen (Fortsetzung).....	278
Tabelle 11.3: Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger offen	279
Tabelle 11.4: Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger offen (Fortsetzung).....	280

1. Einleitung

1.1 Abgrenzung dieser Arbeit – Ausblick auf weitere Nachweisführungen

Der Versuchsaufbau wird zunächst im Rahmen des Forschungsprojektes FFG-VIF 2012, Projektschwerpunkt 2.2.8, „Entwicklung einer neuartigen Sandwich-Verbundplatte für Eisenbahnbrücken“ zur Durchführung von statischen Traglastversuchen verwendet. In einem weiterführenden Forschungsvorhaben werden dynamische Versuche an der SCSC-Platte durchgeführt. Aus diesem Grund wird der geplante Versuchsrahmen auch mit Bedacht auf die Einwirkungen der dynamischen Versuche konstruiert. Der Fokus liegt allerdings auf der Planung der statischen Versuche, so dass die Nachweise für die Ermüdungsversuche nur in Form von Spannungsdifferenzen behandelt werden.

Weiterführende Untersuchungen müssen noch im Bereich der dynamischen Einwirkungen geführt werden. Diese betreffen hauptsächlich die Interaktion zwischen den einzelnen Bauteilen wie beispielsweise lokale Lasteinleitungsbereiche und Detailnachweise.

1.2 Abkürzungsverzeichnis

1.2.1 Querschnitts- / Bauteilbezeichnungen

[AT].....	Auflagerträger
[LT]	Längsträger
[LTu]	Längsträger unten
[QT] _{geschlossen} ...	Querträger mit geschlossenem Querschnitt
[QT] _{offen}	Querträger mit offenem Querschnitt
[VT].....	Vorspannträger
[VTB]	Verteilbalken
[WB1].....	Waagbalken 1
[WB2].....	Waagbalken 2
[ZS].....	Zugstütze

1.2.2 Bezeichnungen

LD.....	Lastdetail
---------	------------

1.2.3 Schnittgrößen / Spannungen

N_{Ed}	Bemessungswert der einwirkenden Normalkraft
$V_{y,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft in y-Richtung
$V_{z,Ed}$	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft in z-Richtung
$M_{y,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes um die y-Achse
$M_{z,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Biegemomentes um die z-Achse
$M_{x,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Torsionsmomentes
$M_{xp,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden primären Torsionsmomentes
$M_{xs,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden sekundären Torsionsmomentes
$M_{\omega,Ed}$	Bemessungswert des einwirkenden Wölbmomentes

- $\sigma_{x,Ed}$ Normalspannung in die lokale x-Richtung (= Bauteillängsachse)
 $\sigma_{y,Ed}$ Normalspannung in die lokale y-Richtung (= quer zur Bauteillängsachse)
 $\sigma_{z,Ed}$ Normalspannung in die lokale z-Richtung (aus lokaler Lasteinleitung / -durchleitung)
 $\sigma_{||,Ed}$ Normalspannung parallel zur Schweißnahtlängsachse
 $\sigma_{\perp,Ed}$ Normalspannung orthogonal zur Schweißnahtlängsachse

 τ_{Ed} Schubspannung
 $\tau_{||,Ed}$ Schubspannung parallel zur Schweißnahtlängsachse
 $\tau_{\perp,Ed}$ Schubspannung orthogonal zur Schweißnahtlängsachse

 f Kraft je Längeneinheit (bei Lasteinleitungen)

1.2.4 Geometrische Größen

- A_i Querschnittsfläche, Flächenmomente 0. Ordnung
 $A_z = S_y$ Statisches Moment um die y-Achse, Flächenmomente 1. Ordnung um die y-Achse
 $A_y = S_z$ Statisches Moment um die z-Achse, Flächenmomente 1. Ordnung um die z-Achse
 $A_{zz} = S_y$ Trägheitsmoment um die y-Achse, Flächenmomente 2. Ordnung um die y-Achse
 $A_{yy} = S_z$ Trägheitsmoment um die z-Achse, Flächenmomente 2. Ordnung um die z-Achse
 I_t St. Venant'sches-Torsionsträgheitsmoment (Primärtorsion)
 $A_{\omega\omega} = I_{\omega}$ Wölbwiderstand (Sekundärtorsion)

 y_p Koordinate des betrachteten Punktes P, bezogen auf die lokalen Querschnittskordinaten
 z_p Koordinate des betrachteten Punktes P, bezogen auf die lokalen Querschnittskordinaten
 ω_p Wölbordinate des betrachteten Punktes P

1.3 Variantenstudie

Die Variantenstudie umfasst die Planung der Gesamtkonstruktion der Versuchsstandorte Wien und Graz. Hierbei wurde das Gesamtkonzept festgelegt, die Vordimensionierung der Profile als auch die Erarbeitung der konstruktiven Details durchgeführt. Die Thematiken die sich hierbei ergaben, waren unter anderem:

- die Wahl der optimalen Laststellung um das Lastmodell 71 bestmöglich abzubilden
- die Abschätzung der Traglast der SCSC-Platte
- die Größe der auftretenden Versuchskräfte
- die unterschiedlichen Rahmenbedingungen der Versuchsstandorte
- Probleme welche während der Versuchsdurchführung auftreten können, bzw. deren Verhinderung durch konstruktive Maßnahmen. Diese Problemstellungen sind hauptsächlich auf eine unerwünschte Verschiebung der SCSC-Platte zurückzuführen.

1.3.1 Vorentwurf

Die Ausarbeitung erfolgte, wie schon eingangs erwähnt, für die Standorte Wien und Graz. Wegen des Vorhandenseins eines sogenannten „Aufspannfeldes“, welches aus einer massiven Betonplatte besteht, wurde Graz als alternativer Standort zu Wien ausgewählt. Der Vorteil der Variante Graz liegt darin, dass die gesamten Pressenkräfte direkt in die Betonplatte eingeleitet werden können. Hingegen ist beim Standort Wien ein geschlossenes System vorzusehen, dieses ist somit nicht an einen bestimmten Ort gebunden sondern kann an einem geeigneten Platz positioniert werden.

Vorentwurf Variante Wien

Die zuvor beschriebene Variante Wien (siehe Abbildung 1.1), besteht aus drei über der SCSC-Platte angeordneten Querjoche, die mittels sogenannter Hydro-Hohlkolben-Zylinder an das obere Deckblech der SCSC-Platte gekoppelt sind. Die Aufgabe dieser Zylinder ist es, die auftretenden Relativverformungen aus Biegung der Querjoche und der SCSC-Platte auszugleichen, um eine einachsige Biegung der Platte zu gewährleisten. Die Hohlkolben sind mittels Hydraulikschläuchen miteinander verbunden und stellen so den Verformungsausgleich der Querjoche dar. Die Dimensionierung der Querjoche erfolgte auf Basis der Verformungen, diese sollten so gering wie möglich gehalten werden.

Das System besteht weiters aus zwei Auflagerträgern, zwei Längsträgern und drei unter den Längsträgern angeordneten Querträgern. Die Auflagerträger bilden das Auflager der SCSC-Platte, diese werden ebenfalls so dimensioniert, dass die Verformungen möglichst gering sind. Die Pressen werden am Untergurt der Querträger angeordnet. Über Spannstangen werden die Querjoche nach unten gezogen. Durch diesen Kraftfluss ergibt sich ein geschlossenes Kraftsystem.

Die Problematik bei dieser Anordnung liegt allerdings in der Lagerung der Querjoche. Diese Profile sind ausschließlich an den Enden über Spannstangen gehalten. Die Spannstangen weisen jedoch keine Behinderung gegen Verdrehen um die Längsachse der Querjoche auf. Eine Aussteifung, gegen diese Rotation, mit den anderen Querjochen, stellt eine aufwendige Alternative dar. Grund dafür sind die unterschiedlichen Vertikalverschiebungen der Querjoche die sich aus der Biegung der SCSC-Platte ergeben. Somit kommt es zu Relativverschiebungen zwischen der mittleren Querjoch-Achse und den äußeren Querjoch die nur durch eine komplexe Aussteifungskonstruktion gelöst werden könnte.

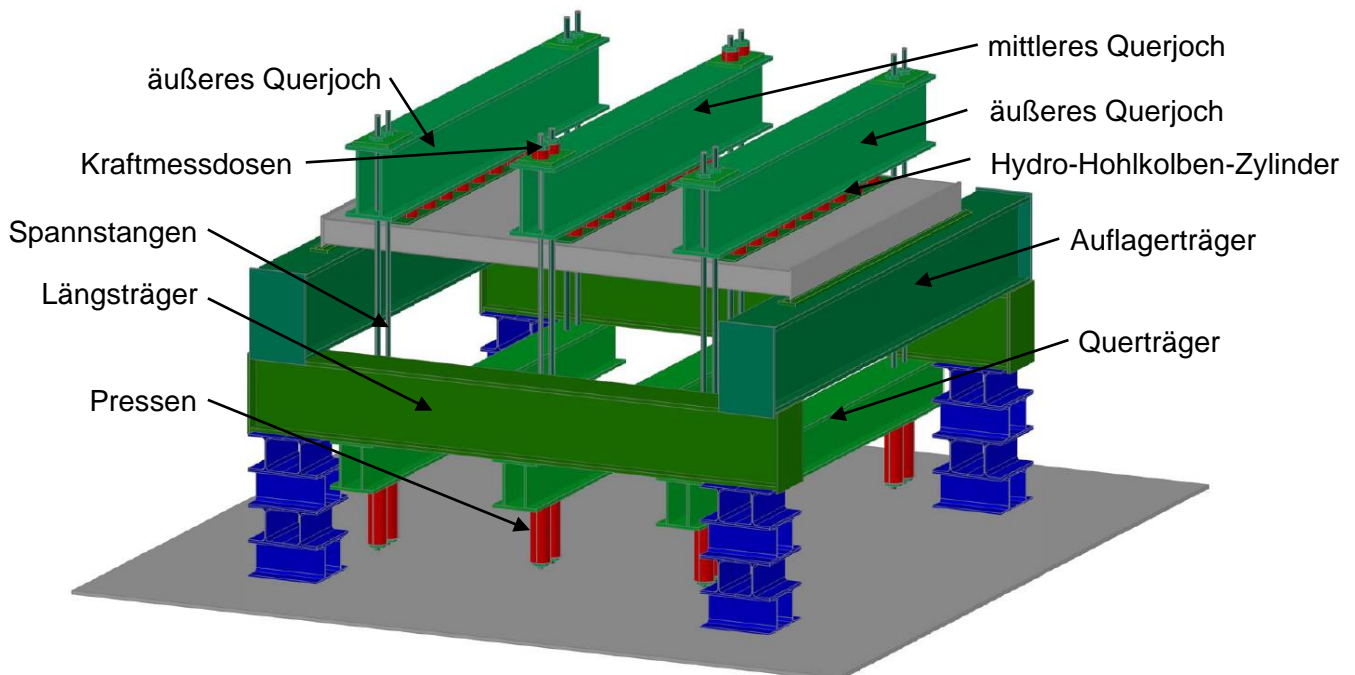


Abbildung 1.1: Vorentwurf Versuchsaufbau Wien

Vorentwurf Variante Graz

Der Vorentwurf der Variante Graz (siehe Abbildung 1.2) unterscheidet sich vom Standort Wien nur insofern, dass die Längsträger sowie die Querträger aufgrund des Vorhandenseins eines geeigneten massiven Aufspannfeldes entfallen. Die Pressen, über die die Versuchskraft aufgebracht wird, werden an der Unterseite des Aufspannfeldes montiert. Somit ergeben sich auch bei dieser Alternative die gleichen Problematiken der Querjoche, die schon zuvor bei der Variante Wien diskutiert wurden.

Vorteilhaft bei dieser Ausführungsform ist die geringere Anzahl an Stahlprofilen und somit die kostengünstigere Herstellung des Versuchsaufbaus. Dem gegenüber stehen allerdings einige Kostenpunkte, wie beispielsweise die Anmietung der benötigten Hallen der Technischen Universität Graz sowie der Reiseaufwand des betreuenden Personals der Technischen Universität Wien.

Die Variante Graz weist ebenso wie die Variante Wien einige besondere Problemstellungen auf. So sind beispielsweise die Verankerungskräfte, welche in das Aufspannfeld eingeleitet werden, begrenzt. Auch der Umstand, dass die Ermüdungsversuche am selben Versuchsstandort stattfinden sollen wie die statischen Traglastversuche, zeigt ein weiteres Problem auf. Der fehlende Erschütterungsschutz des Aufspannfeldes könnte mögliche Schäden an den umliegenden Bauwerken zur Folge haben.

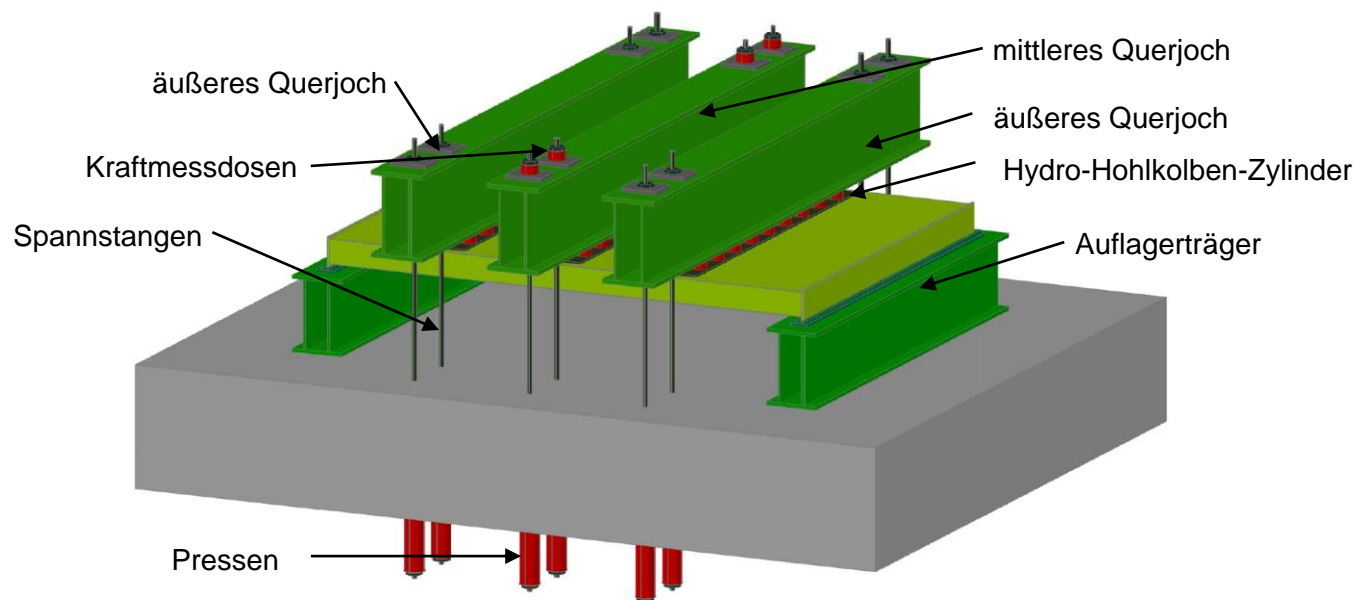


Abbildung 1.2: Vorentwurf Versuchsaufbau Graz

Eine Alternative Versuchsanlage der Variante Graz stellt der Ersatz der Pressen durch ein Druckkissen dar. Dabei werden zwei Druckkissen übereinander auf das Aufspannfeld aufgelegt. Die SCSC-Platte wird anschließend über diesen Druckkissen angeordnet. Die Querränder der Platte werden mittels vorgespannter Spannstangen mit dem Aufspannfeld verbunden, sodass die SCSC-Platte seitlich gelagert ist. Über ein Aggregat werden die beiden Wasserkissen aufgepumpt. Durch diesen Druck wird die Platten von der Unterseite belastet.

Vorteil dieser Alternative ist die gleichmäßige Druckverteilung an der gesamten Plattenunterseite, welche sich aufgrund des hydraulischen Druckes ergibt. Diese Flächeneinwirkung bildet die gleichmäßige Belastung, welche auch auf einer Brücke mit Schotterbett anzutreffen ist, ideal ab. Ein weiterer Vorteil ist der geringe Konstruktionsaufwand. Bei dieser Versuchsanlage werden ausschließlich die seitlichen Verankerungen benötigt.

Nachteilig ist allerdings, dass die Ermüdungsversuche nicht durchgeführt werden können. Das Druckkissen könnte zwar zyklisch aufgepumpt und entlastet werden, allerdings ist die zeitliche Abfolge zu groß um die Versuche in einem geeigneten Zeitraum durchführen zu können. Aus diesem Grund wäre eine weitere Konstruktion für diese Tests erforderlich. Infolgedessen wird die Versuchsdurchführung mittels Druckkissen der Variante Graz nicht weiter verfolgt.

1.3.2 Entwurf

Entwurf Variante Wien

Basierend auf den Problemen des Vorentwurfes wurde der Rahmen gänzlich neu entwickelt. Grundlage für diese Umplanung war die Änderung der Lastaufbringung. Im Vorentwurf wurden die Pressen unter der Platte angeordnet, dieser Ansatz wird nun durch eine Lastaufbringung von der Oberseite der SCSC-Platte ersetzt. Die Darstellung dieses neuen Aufbaus für die Variante Wien ist in Abbildung 1.3 zu sehen.

Die Kräfte der Pressen, die über der SCSC-Platte angeordnet sind, werden über eine Verteilkonstruktion, welche aus insgesamt drei Waagbalken besteht, in vier Teilkräfte aufgespalten. Die Abstände dieser Teilkräfte wurden so ermittelt, dass sie den Biegemomentenverlauf aus dem Eisenbahnbetrieb bestmöglich abbilden.

Über den Pressen wird ein Querträger [QT] angeordnet. Dieser Bauteil hat die Aufgabe, die einwirkenden Kräfte in die Unterkonstruktion, bestehend aus zwei Längsträgern [LT] und zwei Auflagerträgern [AT], abzutragen. Die Steifigkeit des Querträgers spielt eine entscheidende Rolle für eine sichere Durchführung der Versuche. Ausgehend von den [QT]-Verformungen zufolge der Pressenkräfte, wirken abtreibende Kräfte in Plattenquerrichtung auf die Obergurte der Waagbalken [WB]. Durch die starre Verbindung der Pressen mit dem [QT]-Untergurt wirken diese Kräfte auch auf die Pressen. Diese Einwirkungen bewirken einen erhöhten Verschleiß der Kolbendichtungen. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, wird der Querträger so dimensioniert, dass dessen Verformungen keine größere Schädigung der Pressen nach sich zieht. Hierzu wird die relative Horizontalverschiebung zwischen [QT]-Untergurt und dem Kolbenkopf auf max. 3,5 mm begrenzt. Dieser Wert wurde unter Annahme festgelegt, dass die daraus resultierenden Einwirkungen auf die Kolbendichtungen keine maßgebliche Schädigung zur Folge hat (siehe Punkt 7.8).

Der Querträger dient weiters auch der Abtragung von etwaigen Torsionseinwirkungen. Diese könnten sich beispielsweise aus diversen Imperfektionen einstellen, welche nicht quantifiziert werden können. Um diesen Einwirkungen dennoch Rechnung zu tragen, werden an den Lasteinleitungsstellen außenliegende Steifen angeordnet. Diese konstruktive Maßnahme ist notwendig um die Formtreueheit des Querschnitts zu gewährleisten und die Torsionsbeanspruchung hauptsächlich über den Bredt'schen Schubfluss des geschlossenen Querschnitts abzutragen.

Die Lagerung des Querträgers erfolgt beidseitig über sogenannte Zugstützen [ZS] an den Enden des [QT]-Untergurts. Deren Aufgabe ist es, während der Versuchsdurchführung, die Kräfte in den darunterliegenden Längsträger [LT] abzuleiten. Die Zugstütze [ZS] ist somit am oberen Ende mit dem [QT]-Untergurt und am unteren Ende mit dem [LT]-Obergurt verbunden. Der begrenzte Platz, der sich zwischen [QT]-Untergurt und der oberen [ZS]-Endplatte bzw. zwischen [LT]-Obergurt und der unteren [ZS]-Endplatte ergibt, lässt maximal vier Schrauben zur Verbindung dieser Bauteile zu. Die im Versuch auftretende maximal zu übertragende Kraft liegt allerdings weit über der Tragfähigkeit von vier Schrauben. Aus diesem Grund wird vor der Versuchsdurchführung die Stütze einer Vorspannung ausgesetzt, diese hat zur Folge, dass bei der Versuchsdurchführung die Vorspannung erst aufgehoben werden muss, bevor die Schrauben aktiviert werden. Die Einwirkung auf die Schrauben wird somit vielfach geringer.

Die aufgebrachte Vorspannung wird über einen sogenannten Vorspannträger [VT] am Obergurt des Querträgers [QT] eingeleitet, die gesamte Vorspannkraft muss daher durch den [QT]-Steg und den Auflagersteifen bis zur oberen Endplatte der Zugstütze durchgeleitet werden. Die Vorspannung wird über vier Spannstangen aufgebracht, diese werden nach oben hin am [VT]-Obergurt und nach unten hin am Untergurt des Längsträgers verankert. Durch die lokale Kräfteinleitung des Vorspannsystems am [VT]-Obergurt bzw. am [LT]-Untergurt und den daraus resultierenden lokalen Spannungen, ist zur Verteilung der Vorspannkraft eine Lastausbreitungsplatte erforderlich. Durch die Platte, welche über der gesamten Länge über dem darunterliegenden [VT]-Steg bzw. [LT]-Steg aufliegt, kann die einwirkende Kraft auf diese Stege gleichmäßig verteilt werden, die auftretende Zwischenbiegung der Gurte wird auf ein Minimum reduziert und kann daher vernachlässigt werden.

Durch die Verschraubung der Vorspannträger [VT] mit dem Querträger [QT], können diese Bauteile samt den am [QT]-Untergurt befestigten Pressen gemeinsam bewegt werden. Dieser Vorteil wird vor allem beim Aus- und Einbau der Probekörper sehr deutlich, es müssen daher lediglich die

Spannstangen neu vorgespannt und die Verschraubungen zwischen [QT]-Untergurt und [ZS]-Endplatte neu eingebaut werden.

Der Auflagerträger, an dessen Obergurt die SCSC-Platte aufliegt, wird beidseitig an den Enden der [LT]-Obergurte gelagert. Durch diese Anordnung entsteht ein geschlossenes Kraftsystem. Die Lagerung des gesamten Aufbaus erfolgt jeweils an den Enden der [LT]-Untergurte mittels sogenannter Distanzträger [DT].

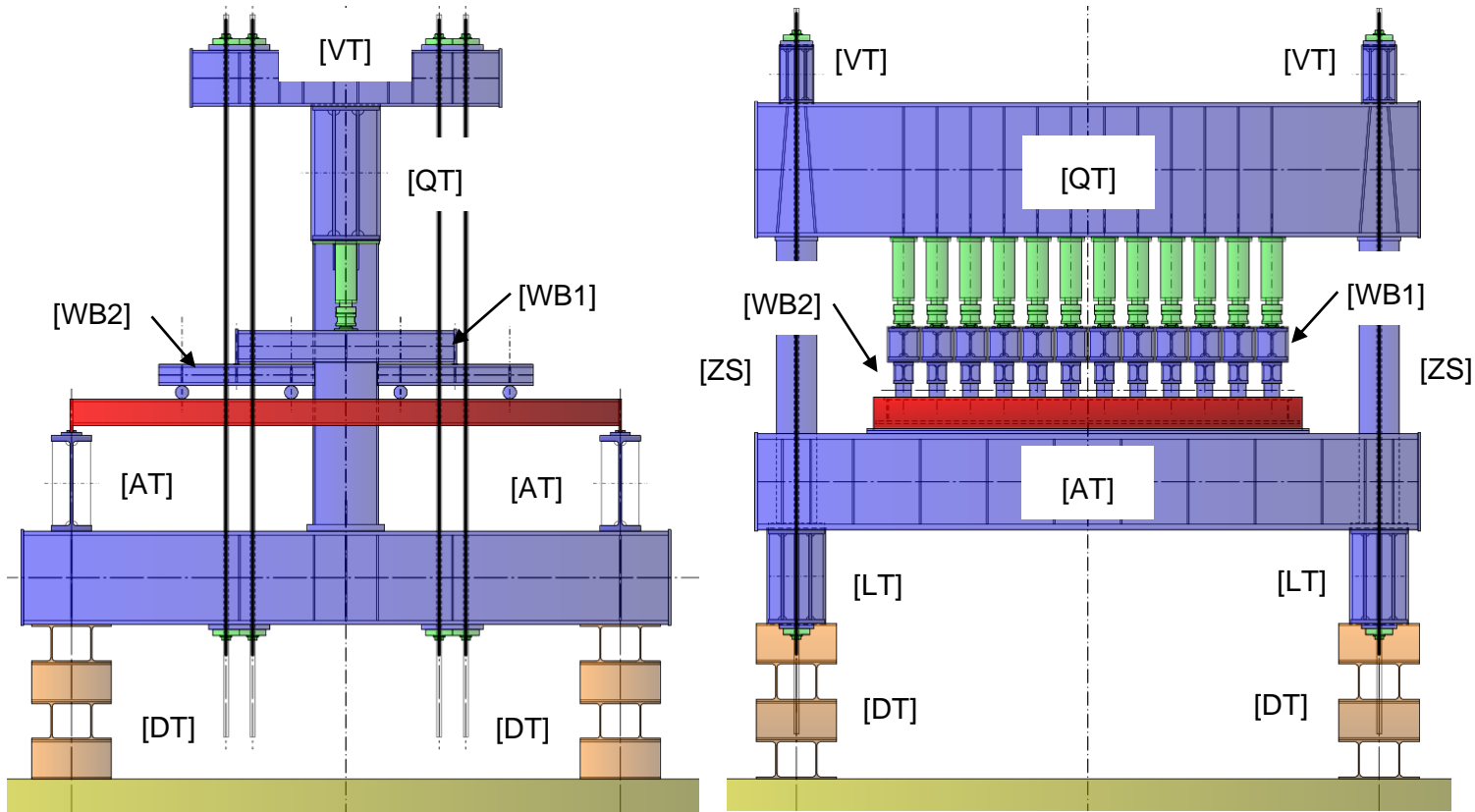


Abbildung 1.3: Entwurf Traglastversuche Wien (Längs- und Queransicht) am Beispiel [QT]_{geschlossen}

Zur Durchführung der Ermüdungsversuche muss der Versuchsrahmen geringfügig adaptiert werden. Wie in Abbildung 1.4 zu sehen ist, entfällt beispielsweise die Zugstütze [ZS], die Begründung liegt darin, dass der Aufbau für die Ermüdungsversuche ein schwingungsfähiges System bilden muss. Daher darf der Querträger [QT] mit den darunterliegenden Längsträgern [LT] nicht starr verbunden sein.

Die auftretende Mittelspannung, welche für die Ermüdungsversuche der SCSC-Platten benötigt wird, wird über die vier Spannglieder aufgebracht. Durch einen zusätzlichen Träger (Längsträger unten [LTu]), der über Federpakete mit dem darüber liegenden Längsträger [LT] gekoppelt ist, wird so ein schwingungsfähiges Masse-Feder-System gebildet.

Die aufbrachte, erzwungene Schwingung wird über einen sogenannten Unwuchterreger hergestellt. Dieser besteht aus zwei exzentrisch angeordneten rotierenden Massescheiben, die so eine periodische Schwingung erzeugen. Der Unwuchterreger wird am [QT]-Obergurt montiert. Der unsymmetrische Aufbau dieses Gerätes könnte zu ungewünschten, zyklischen Torsionseinwirkungen des Querträgers [QT] führen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird für die Durchführung der Ermüdungsversuche ein weiterer, baugleicher Querträger [QT] unter dem Vorspannträger [VT] positioniert. Die beiden Querträger [QT] werden in einem Achsabstand von 820 mm symmetrisch unter dem Vorspannträger [VT] positioniert, sodass die Torsionseinwirkungen durch diese beiden Bauteile aufgenommen werden. Weiters muss unter den Querträgern [QT] ein zusätzlicher Träger eingebaut werden, durch den die Unwuchterregerkräfte der Querträger [QT] gebündelt und auf die darunterliegenden Waagbalken [WB1] übertragen werden.

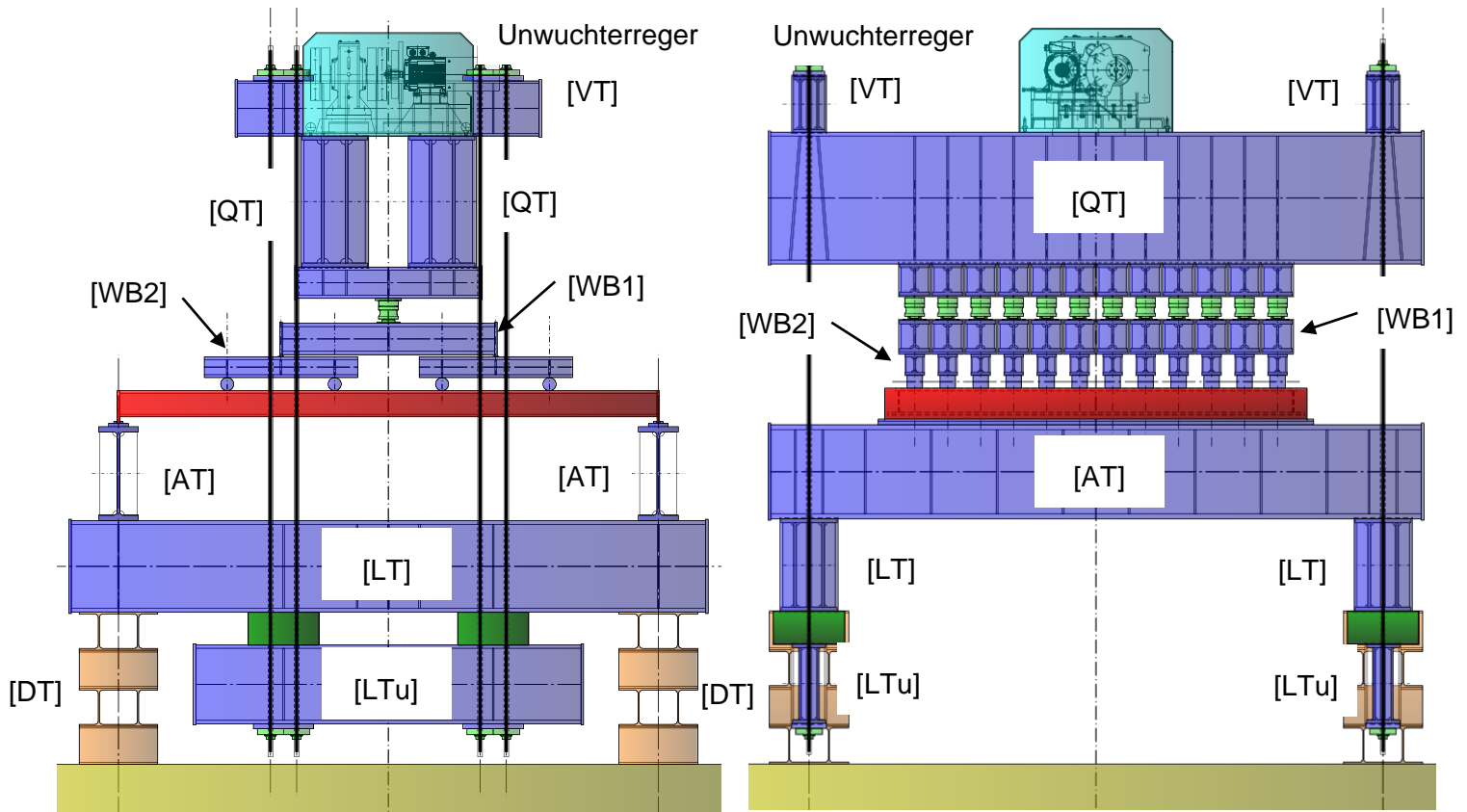


Abbildung 1.4: Entwurf Ermüdungsversuche Wien (Längs- und Queransicht) am Beispiel [QT]_{geschlossen}

Entwurf Variante Graz

Der Entwurf der Versuchsanlage für den Standort Graz (siehe Abbildung 1.5) orientiert sich im Wesentlichen an der Konstruktion für den Standort Wien. Der Auflagerträger [AT] auf welchem die SCSC-Platte gelagert wird, liegt direkt am Aufspannfeld auf und leitet somit die Vorspann- sowie die Versuchskräfte in die massive Betonplatte ab. Der Längsträger [LT] dient der Verteilung der Zugkräfte, die bei der Versuchsdurchführung über die Spannstrangen [LT] in das Aufspannfeld eingeleitet werden.

Wie schon bei der Variante Wien, wird auch in Graz die Zugstütze [ZS] über vier Spannstrangen vorgespannt, diese Spannglieder können direkt am Aufspannfeld verankert werden. Bei der Durchführung der Versuche wird die Vorspannung aufgehoben, die Differenzkraft wird über die Zugstütze [ZS] in den Längsträger [LT] eingeleitet. Um die Kräfte am Aufspannfeld besser zu verteilen, wird der Längsträger [LT] zusätzlich mit vier Spanngliedern am Aufspannfeld verankert. Über eine variable Vorspannung der vier Spannglieder am [LT]-Obergurt kann die Zugkraft somit nahezu gleichmäßig auf die acht Ankerpunkte am Aufspannfeld verteilt werden.

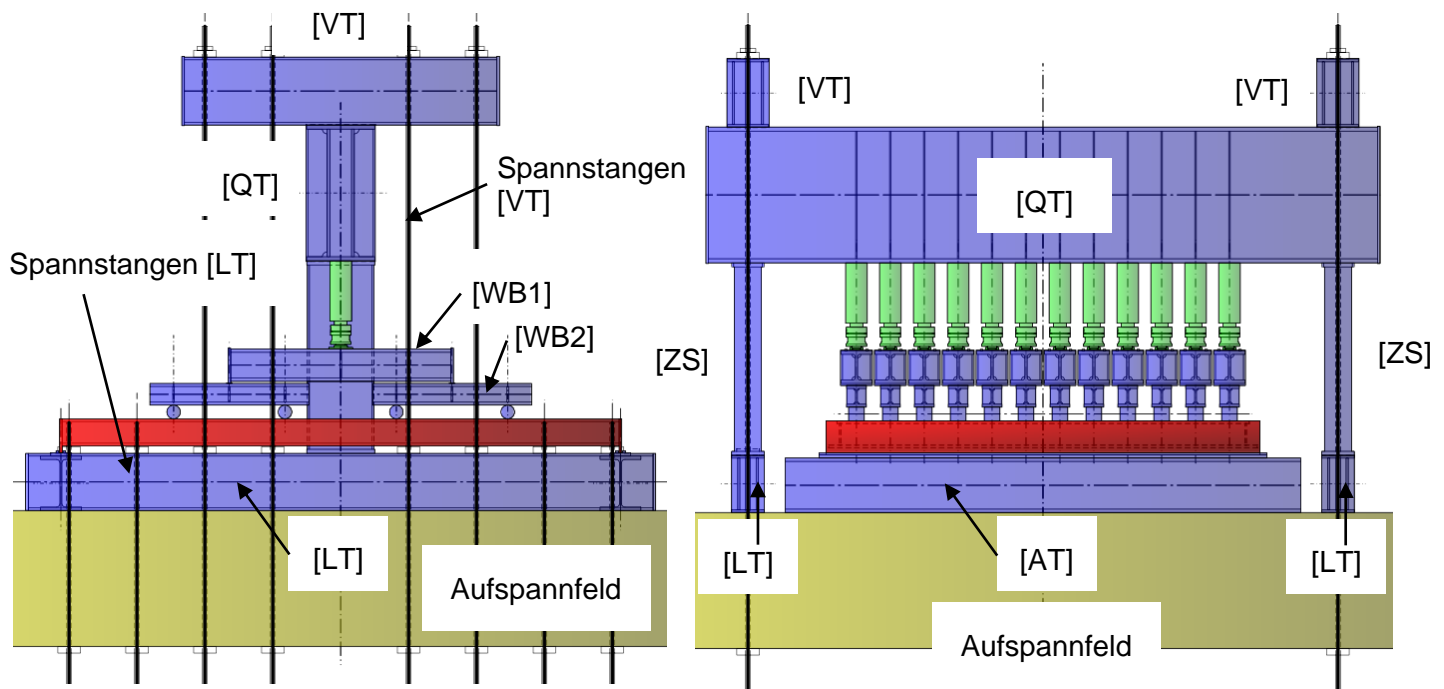


Abbildung 1.5: Entwurf Traglastversuche Graz (Längs- und Queransicht)

Für die dynamischen Ermüdungsversuche wird der Aufbau adaptiert, siehe Abbildung 1.6. Es wird hierzu der Vorspannträger [VT] entfernt und durch den Längsträger [LT] ersetzt. Diese Umordnung ist notwendig da für die Ermüdungsversuche zwei parallel angeordnete Querträger [QT] verwendet werden und somit der Abstand der Spannglieder vergrößert werden muss.

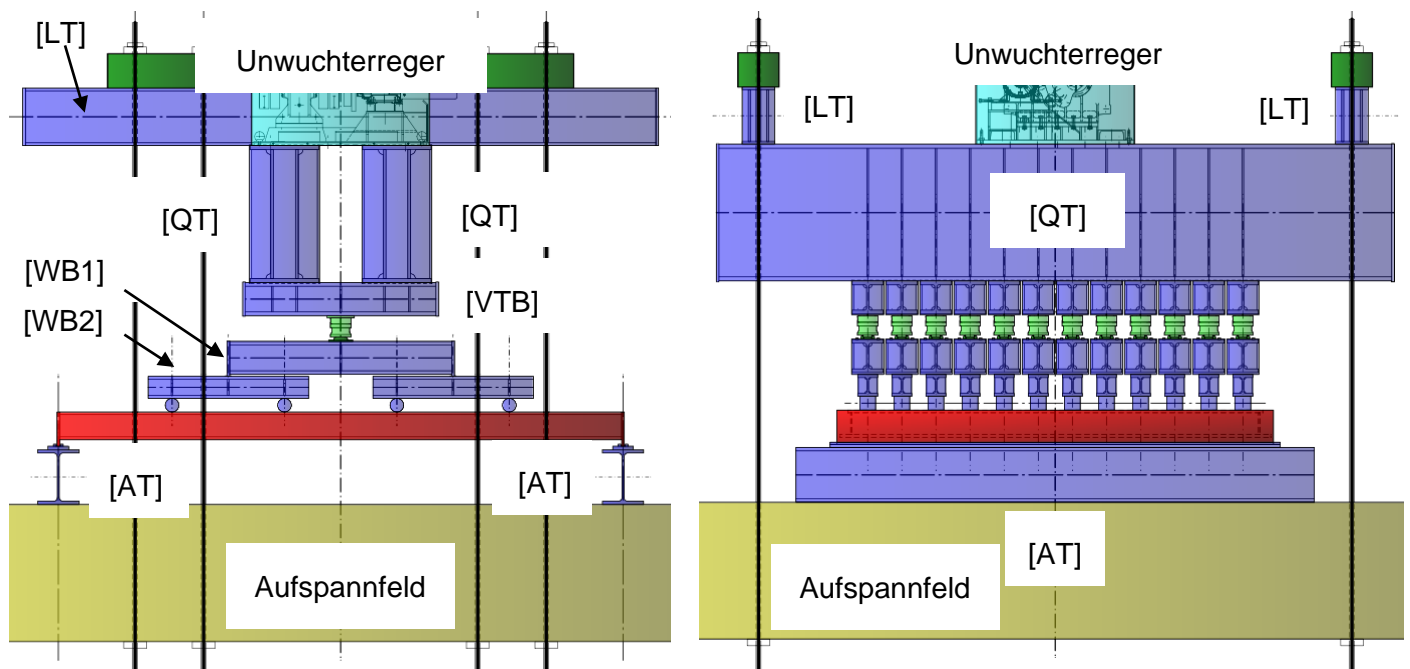


Abbildung 1.6: Entwurf Ermüdungsversuche Graz (Längs- und Queransicht)

1.3.3 Ergebnis der Variantenstudie

Das Ergebnis der Variantenstudie fiel zugunsten der Variante Wien aus. In Graz gibt es zwei Hallen in denen die Versuche durchgeführt werden könnten. In der Halle des Labors für konstruktiven Ingenieurbau der Technischen Universität Graz befindet sich ein Aufspannfeld das keine Trennung zu den Fundamenten hat. Dieser Umstand hätte zur Folge, dass sich die Schwingungen der dynamischen Versuche nahezu ungehindert im Untergrund ausbreiten und zu Schäden in den umliegenden Bauwerken führen könnten. Das Aufspannfeld in der Schwingungsprüfhalle des

Institutes für Leichtbau der Technischen Universität Graz ist zu den Fundamenten hin entkoppelt. Allerdings sind die in das Aufspannfeld einzuleitenden Vorspann- und Versuchskräfte zu groß. Somit sind die beiden angeführten Hallen für die geplanten Versuche ungeeignet.

Zum Zwecke einer möglichst wirtschaftlichen Dimensionierung wird der Querträger [QT] für die Variante Wien sowohl als geschlossener Querschnitt $[QT]_{\text{geschlossen}}$ als auch mit einem offenem Profil $[QT]_{\text{offen}}$ geplant. Der große Vorteil des geschlossenen Querschnitts liegt in der hohen Torsionssteifigkeit. Da vor allem die Torsionseinwirkungen aus den Versuchen bzw. den Imperfektionen nicht quantifiziert werden können, ist ein hoher Widerstand gegen Torsionseinwirkungen besonders vorteilhaft.

2. Einwirkungen

2.1 Ständige Einwirkungen

2.1.1 Eigengewicht der Platte

Nach [1] (Tabelle 2.8) ergibt sich die flächenbezogene Masse bzw. das flächenbezogene Gewicht der SCSC-Platte zu:

$$m_{k,SCSC-Platte} = 745 \text{ kg/m}^2$$

$$g_{k,SCSC-Platte} \cong 7,45 \text{ kN/m}^2$$

Die Plattenlänge beträgt 4,14 m, die Plattenbreite 3,00 m, daraus errechnet sich das Eigengewicht des Versuchskörpers zu:

$$G_{k,SCSC-Platte} = 4,14 \cdot 3,00 \cdot 7,45 = 92,53 \text{ kN}$$

Diese Kraft wird in vertikaler Richtung nach unten wirkend an den Bauteilen angesetzt.

2.1.2 Eigengewicht des Stahlrahmens

Die ständige Einwirkung des Versuchsrahmens wird im Programm Dlubal RSTAB automatisch über die Querschnittsgeometrie mit einer Wichte von $\gamma_{G,St} = 78,50 \text{ kN/m}^3$ zu einer gleichförmigen Kraft in vertikaler Richtung nach unten wirkend, entlang der Stabachse angesetzt.

2.1.3 Eigengewicht des Unwuchterregers

Die Masse bzw. das Eigengewicht des Unwuchterregers wird lt. Konstruktionsplan (siehe 11.2) mit

$$M_{k,Unwuchterreger} = 1.433 \text{ kg}$$

$$G_{k,Unwuchterreger} \cong 14,33 \text{ kN}$$

in vertikaler Richtung nach unten wirkend angesetzt.

2.1.4 Eigengewicht der Waagbalken [WB1] und [WB2]

Dieses Eigengewicht muss gesondert berücksichtigt werden, da es im Versuchsaufbau nicht mitabgebildet wird.

Aus der Stahlliste ergibt sich folgende Aufstellung der Einzelpositionen:

Tabelle 2.1: Eigengewicht Waagbalken

[2.1]	[2] Waagebalken 1	Träger	12	2.003,69
[2.2]	[2] Waagebalken 1	Endplatte	24	237,29
[2.3]	[2] Waagebalken 1	Steifen	24	40,38
[2.4]	[2] Waagebalken 1	Streifen	24	6,03
[2.5]	[2] Waagebalken 1	Streifen	24	5,12
[3.1]	[3] Waagebalken 2	Träger	24	1.775,77
[3.2]	[3] Waagebalken 2	Steifen	96	59,79
[3.3]	[3] Waagebalken 2	Streifen	48	4,75
[3.4]	[3] Waagebalken 2	Einleitungsplatte Rolle	48	746,06
[3.5]	[3] Waagebalken 2	Einleitungsstreifen Rolle	4	938,80
[3.6]	[3] Waagebalken 2	Zylinder	48	443,91
GESAMTMASSE				6.261,59 kg

Die Gesamtmasse bzw. das Eigengewicht der Waagbalken wird mit

$$M_{k,Waagbalken} = 6.262 \text{ kg}$$

$$G_{k,Waagbalken} \cong 61,43 \text{ kN}$$

in vertikaler Richtung nach unten wirkend angesetzt.

2.2 Veränderliche Einwirkungen – Prüfkräfte / Pressenkräfte

2.2.1 Anordnung der Plattenkräfte

Die Anordnung der [WB2]-Auflagerkräfte am oberen Deckblech der SCSC-Platte wurde so ermittelt, dass der Biegemomentenverlauf am Versuchskörper dem Biegemomentenverlauf verursacht durch das Lastmodell LM71 bestmöglich angenähert wird.

2.2.2 Statische Traglastversuche – Maximale Pressenkraft

Die maximale Kraft einer Presse ergibt sich lt. Herstellerangaben zu $P_{max,Presse} = 595 \text{ kN/Presse}$.

Durch die Anordnung von 12 Pressen entlang des Querträgers ergibt sich eine maximale Prüfkraft von:

$$P_{max,Platte} = 12 \cdot 595 = 7.140 \text{ kN} \approx 7,20 \text{ MN}$$

Es wird daher im Folgenden mit einer maximalen Versuchskraft von 7.200 kN gerechnet. Das entspricht einer maximalen Pressenkraft von:

$$P_{max,Presse} = \frac{7.200}{12} = 600 \text{ kN/Presse}$$

2.2.3 Statische Traglastversuche – Vorspannkraft

Zuerst wird die Traglast einer Spannstange ermittelt. Diese wird nach den geltenden ÖNORMEN EN 1993-1-1 Punkt 6.2.3 bzw. ÖNORM EN 1993-1-8 Punkt 3.6.1 folgendermaßen berechnet:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_{Sp} \cdot f_{ub,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,90 \cdot 8,17 \cdot 100}{1,25} = 588,24 \text{ kN} \quad \text{ÖNORM EN 1993-1-8/3.6.1}$$

(die angesetzten Festigkeitskennwerte sind unter Punkt 3 bzw. jene für die Teilsicherheitsbeiwerte unter Punkt 2.3.2 aufgelistet)

Die maximale Beanspruchbarkeit einer Spannstangen M36 mit der Güte 10.9 ergibt sich somit zu je 588,24 kN.

Die Vorspannkraft für die statischen Traglastversuche wird mit 90% der Beanspruchbarkeit einer Spannstange M36 10.9 festgelegt. Diese 90% ergeben sich daher, dass die Spannstangen nicht überbeansprucht werden sollen.

$$F_{Vorspannkraft} = 0,90 \cdot F_{t,Rd} = 0,90 \cdot 588,24 \cong 529 \text{ kN/Spannstange}$$

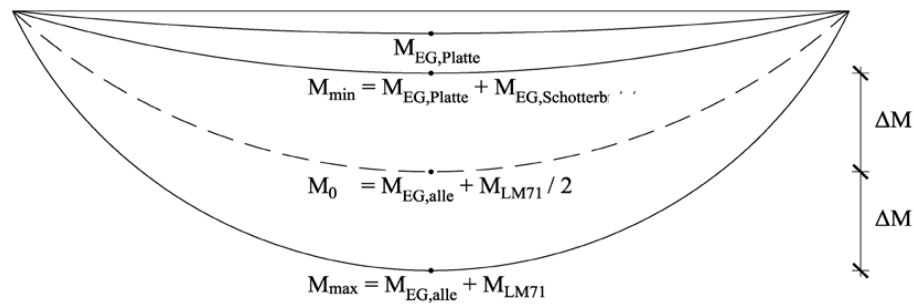
Im Zuge von Ermüdungsberechnungen stellte sich heraus, dass herkömmliche Gewindestangen aufgrund der hohen Kerbwirkung für die Ermüdungsnachweise ungeeignet sind. Aus diesem Grund wird ein Vorspannsystem der Fa. DYWIDAG verwendet (siehe 11.4). Dieses Stabspannsystem besteht aus einem Glattstab $d = 36 \text{ mm}$ mit an den Enden kaltaufgerollten Gewinden. Die maximale Vorspannkraft dieses Spannsystems wird lt. Technischem Datenblatt (siehe 11.4) mit max. 856 kN beziffert.

Für den Lastfall Vorspannung wird bei den Traglastversuchen der zuvor errechnete Wert von 529 kN je Spannstange verwendet, da diese ausreicht um die Verbindung zwischen Querträger [QT] und Zugstütze [ZS] ausführen zu können.

Die Vorspannkraft für die Durchführung der Ermüdungsversuche wird in Punkt 2.2.5 ermittelt.

2.2.4 Dynamische Ermüdungsversuche – Lastschwingbreite

In diesem Abschnitt wird die erforderliche Lastschwingbreite, auf Basis der durch das Lastmodell LM71 auftretenden Schwingbreite, ermittelt. Diese Berechnung ist Grundlage für die einwirkende ermüdungswirksame Beanspruchung der Konstruktion.

Abbildung 2.1: Biegemomentenlinie bei LM71; M_{\min} , M_0 , M_{\max} (siehe Anhang 11.1)

$M_{EG,Platte}$ maximales Biegemoment zufolge Eigengewicht der SCSC-Platte

$M_{EG,Schotterbett}$... maximales Biegemoment zufolge Eigengewicht des Aufbaus

M_{LM71} maximales Biegemoment zufolge Lastmodell 71

Tabelle 2.2: Berechnung der einwirkenden FLS-Schwingbreite (siehe Anhang 11.1)

	Nennschotterbett- höhe -30%	Nennschotterbetthöhe	Nennschotterbett- höhe +30%
$P_1 = P_{EG,Schotterbett} =$	92,04 kN	132,25 kN	172,46 kN
$P_2 = P_{LM71/2} =$	374,35 kN	368,52 kN	362,55 kN
$P_{\min} = P_1 = P_{EG,Schotterbett} =$	92,04 kN	132,25 kN	172,46 kN
$P_0 = P_{\min} + P_2 =$	466,39 kN	500,77 kN	535,01 kN
$P_{\max} = P_0 + P_2 =$	840,74 kN	869,30 kN	897,57 kN
$\Delta P = P_{\max} - P_{\min} =$	748,70 kN	737,05 kN	725,11 kN

$$P_{FLS,\Delta\sigma,Platte} = \frac{748,70}{12} = 62,40 \text{ kN}$$

$$P_{FLS,\Delta\sigma,Spannstangen} = \frac{748,70}{8} = 93,59 \text{ kN}$$

$$P_{FLS,\Delta\sigma,[AT]} = \frac{748,70}{2} \cdot \frac{1}{3,30} = 113,44 \text{ kN/m}$$

2.2.5 Dynamische Ermüdungsversuche – Mittelspannung

Die dynamischen Einwirkungen auf die SCSC-Platte im Betriebszustand ergeben sich einerseits aus einem periodisch schwingenden Anteil, der zuvor berechnet wurde und einem konstanten Anteil, der sogenannten Mittelspannung. Die Berechnung der Mittelspannung ist Grundlage für die Ermittlung der Vorspannkraft bei den dynamischen Ermüdungsversuchen.

Tabelle 2.3: Berechnung der FLS-Mittelspannung (siehe Anhang 11.1)

	Nennschotterbett- höhe -30%	Nennschotterbetthöhe	Nennschotterbett- höhe +30%
$P_1 = P_{Eg, Schotterbett} =$	92,04 kN	132,25 kN	172,46 kN
$P_2 = P_{LM71/2} =$	374,35 kN	368,52 kN	362,55 kN
$P_{min} = P_1 = P_{Eg, Schotterbett} =$	92,04 kN	132,25 kN	172,46 kN
$P_0 = P_{min} + P_2 =$	466,39 kN	500,77 kN	<u>535,01 kN</u>

$$P_{FLS, Vorspannung, Spannstangen} = \frac{535,01}{8} = 66,88 \text{ kN}$$

$$P_{FLS, Vorspannung, Platte} = \frac{535,01}{12} = 44,59 \text{ kN}$$

2.3 Teilsicherheitsbeiwerte

2.3.1 Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen nach ÖNORM EN 1993-1-1

Das geplante Bauwerk stellt eine temporäre Versuchsanlage dar, diese Bauwerksart ist in den Normen nicht geregelt. Um eine wirtschaftliche und effiziente Konstruktion gewährleisten zu können wurden einige Teilsicherheitsbeiwerte individuell angesetzt. So wurde der Teilsicherheitsbeiwert für die Pressenkraft, welcher zweifelsfrei eine Nutzlast darstellt, mit $\gamma_{F,Q} = 1,00$ angenommen.

Der Grund für diese Ansätze liegt darin, dass beispielsweise die maximale Pressenkraft kaum einer statistischen Schwankung unterliegt und somit sehr genau festgelegt werden kann.

Grenzzustand der Tragfähigkeit

- ständige Einwirkungen, ungünstig $\gamma_{F,G} = 1,35$
(Berücksichtigt unter anderem das zusätzliche Gewicht der Pressen sowie Kleinteile wie Steifen, Endplatten und Schrauben.)
- ständige Einwirkungen, günstig $\gamma_{F,G} = 1,00$
- Vorspannung, ungünstig $\gamma_{F,P} = 1,05$
- Vorspannung, günstig $\gamma_{F,P} = 1,00$
- Versuchsdurchführung, ungünstig $\gamma_{F,Q} = 1,00$
- Versuchsdurchführung, günstig $\gamma_{F,Q} = 1,00$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

- ständige Einwirkungen, ungünstig $\gamma_{F,G} = 1,00$
- ständige Einwirkungen, günstig $\gamma_{F,G} = 1,00$
- Vorspannung, ungünstig $\gamma_{F,P} = 1,00$
- Vorspannung, günstig $\gamma_{F,P} = 1,00$
- Versuchsdurchführung, ungünstig $\gamma_{F,Q} = 1,00$
- Versuchsdurchführung, günstig $\gamma_{F,Q} = 1,00$

Grenzzustand der Ermüdung

- Versuchsdurchführung $\gamma_{Ff} = 1,00$

2.3.2 Teilsicherheitsbeiwerte für das Material nach ÖNORM EN 1993-1-1 und ÖNORM B 1993-1-1

Nach ÖNORM EN 1993-1-1 Punkt 6.1 (1) Anmerkung 2B bzw. dem nationalen Anwendungsdokument ÖNORM B 1993-1-1 Punkt 4.4 gelten folgende Teilsicherheitsbeiwerte des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes:

- Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten (unabhängig von der Querschnittsklasse) $\gamma_{M0} = 1,00$
- Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Bauteilen bei Stabilitätsversagen (bei Anwendung von Bauteilnachweisen) $\gamma_{M1} = 1,00$
- Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Querschnitten bei Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung $\gamma_{M2} = 1,25$
- Teilsicherheitsbeiwert für die Beanspruchbarkeit von Anschlüssen $\gamma_{M2} = 1,25$

2.3.3 Teilsicherheitsbeiwerte für das Material nach ÖNORM EN 1993-1-9 und ÖNORM B 1993-1-9

Auf Basis einer niedrigen Schadensfolge und dem Konzept der Schadenstoleranz, wird nach ÖNORM EN 1993-1-9 Tabelle 3.1 der Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungsfestigkeit mit $\gamma_{Mf} = 1,00$ festgelegt.

3. Materialkennwerte

In diesem Abschnitt werden sämtliche Materialparameter der verwendeten Materialien aufgelistet, diese werden im Zuge der Berechnungen wiederverwendet.

Streckgrenzen:

$$\text{Baustahl S355J2+N (t} \leq 40 \text{ mm), ÖNORM EN 10025-2} \quad f_{yk} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Baustahl S355J2+N (40 mm < t} \leq 80 \text{ mm), ÖNORM EN 10025-2} \quad f_{yk} = 335 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Schrauben/Spannstangen, Festigkeitsklasse 10.9:} \quad f_{yb,k} = 900 \text{ N/mm}^2$$

Zugfestigkeiten:

$$\text{Baustahl S355J2+N (t} \leq 40 \text{ mm), ÖNORM EN 10025-2} \quad f_{uk} = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Baustahl S355J2+N (40 mm < t} \leq 80 \text{ mm), ÖNORM EN 10025-2} \quad f_{uk} = 470 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Schrauben/Spannstangen, Festigkeitsklasse 10.9:} \quad f_{ub,k} = 1.000 \text{ N/mm}^2$$

Materialkennwerte von Stahl:

$$\text{Elastizitätsmodul:} \quad E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Schubmodul:} \quad G = 81.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Poissonsche Zahl:} \quad \nu = 0,30$$

$$\text{Wärmeausdehnungskoeffizient} \quad \alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ je K}$$

$$\text{Wichte:} \quad \gamma = 78,50 \text{ kN/m}^3$$

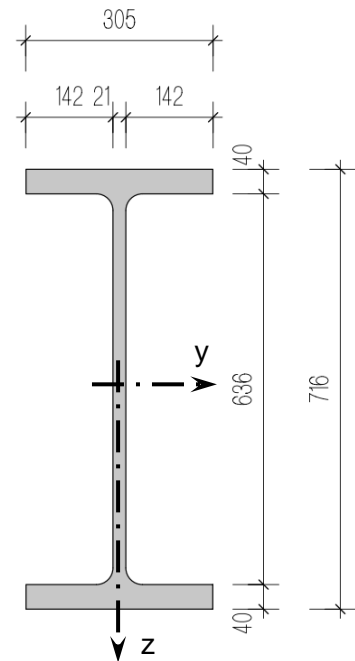
4. Querschnitte

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die verwendeten Profile und deren Querschnittswerte. Diese wurden über die Software Dlubal DUENQ, Programm-Version 7.01.960 ermittelt.

4.1 [AT] Auflagerträger

Tabelle 4.1: Querschnittswerte Auflagerträger [AT] – HE-M 700

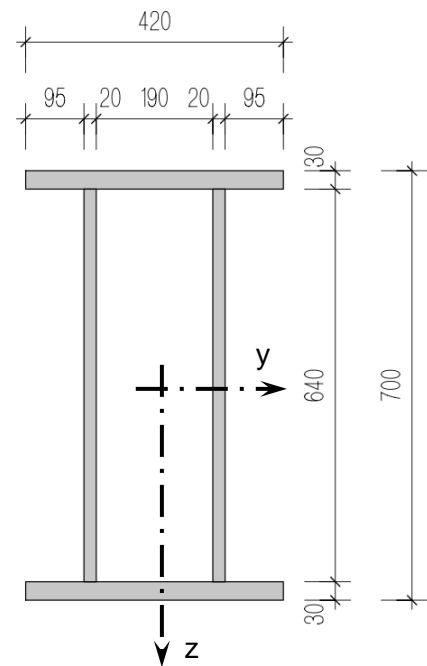
Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Profilhöhe	h	716,000	mm
Profilbreite	b	304,000	mm
Stegdick	t_s	21,000	mm
Flanschdicke	t_g	40,000	mm
Ausrundungsradius	r	27,000	mm
Querschnittsfläche	A	383,000	cm ²
Schubfläche	A_y	204,170	cm ²
Schubfläche	A_z	137,820	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	$A_{v,y}$	253,280	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	$A_{v,z}$	169,800	cm ²
Stegfläche	A_{steg}	134,000	cm ²
Plastische Schubfläche	$A_{pl,y}$	243,200	cm ²
Plastische Schubfläche	$A_{pl,z}$	141,960	cm ²
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I_y	329300,0	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I_z	18800,0	cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	293,000	mm
Trägheitsradius	i_z	70,100	mm
Polarer Trägheitsradius	i_p	301,300	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 Steghöhe)	i_{zg}	78,700	mm
Volumen	V	38300,000	cm ³ /m
Querschnittsgewicht	G	300,700	kg/m
Mantelfläche	$A_{fläche}$	2,560	m ² /m
Profilfaktor	A_m/V	66,841	1/m
Torsionsträgheitsmoment	I_t	1590,0	cm ⁴
Wölbwiderstand	I_ω	21400000,0	cm ⁶
Widerstandsmoment	W_y	9200,000	cm ³
Widerstandsmoment	W_z	1240,000	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W_ω	41649,800	cm ⁴
Statisches Moment	$S_{y,max}$	5270,000	cm ³
Statisches Moment	$S_{z,max}$	462,080	cm ³
Wölbordinate	ω_{max}	513,760	cm ²
Wöblfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	$S_{\omega,max}$	15618,300	cm ⁴
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y}$	10540,000	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z}$	1928,780	cm ³
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	$W_{pl,\omega}$	62473,200	cm ⁴
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y}$	1,146	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z}$	1,555	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,\omega}$	1,500	
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	a	
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	b	
Flanschlochdurchmesser	d_L	28,000	mm
Flanschlochabstand	w	145,000	mm
Flanschlochabstand	w_1	130,000	mm
c/t-Verhältnis (Gurt)	c/t_{Gurt}	2,860	
c/t-Verhältnis (Steg)	c/t_{Steg}	27,700	



4.2 [LT] Längsträger

Tabelle 4.2: Querschnittswerte Längsträger [LT]

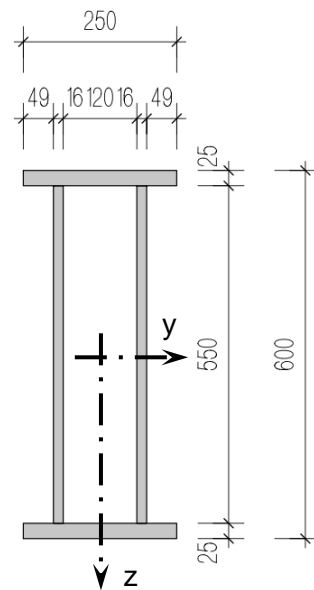
Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Obere Flanschbreite	b_o	420,000	mm
Obere Flanschdicke	t_o	30,000	mm
Stegdicke	s	20,000	mm
Innengröße	b_i	190,000	mm
Höhe	h	700,000	mm
Untere Flanschbreite	b_u	420,000	mm
Untere Flanschdicke	t_u	30,000	mm
Obere Kehlnahtdicke	a_o	3,000	mm
Untere Kehlnahtdicke	a_u	3,000	mm
Querschnittsfläche	A	508,000	cm ²
Schubfläche	A_y	122,390	cm ²
Schubfläche	A_z	257,130	cm ²
Kernfläche	A_k	1407,000	cm ²
Schwerpunktstand	e_z	350,000	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I_y	370377,0	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I_z	65353,3	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	I_p	435731,0	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	$I_{p,M}$	435731,0	cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	270,000	mm
Trägheitsradius	i_z	113,400	mm
Polarer Trägheitsradius	i_p	292,900	mm
Polarer Trägheitsradius	$i_{p,M}$	292,900	mm
Querschnittsgewicht	G	398,800	kg/m
Mantelfläche	$A_{\text{Fläche}}$	2,720	m ² /m
Torsionsträgheitsmoment	I_t	98839,8	cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment St. Venant	$I_{t,StVen}$	1079,3	cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment Bredt	$I_{t,Bredt}$	97760,4	cm ⁴
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	z_M	0,000	mm
Wölbwiderstand bezogen auf M	I_ω	29030000,0	cm ⁶
Wölbträgheitsradius	$i_{\omega,M}$	81,600	mm
Abklingfaktor	λ	0,004	1/mm
Widerstandsmoment	$W_{y,max}$	10582,200	cm ³
Widerstandsmoment	$W_{y,min}$	-10582,200	cm ³
Widerstandsmoment	W_z	3112,060	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W_ω	49885,700	cm ⁴
Statisches Moment	$S_{y,max}$	3134,500	cm ³
Statisches Moment	$S_{z,max}$	1333,500	cm ³
Wölbordinate	ω_{max}	581,910	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	$S_{\omega,max}$	18038,400	cm ⁴
Kindem'sche Querschnittsstrecke	$r_{y,Kindem}$	0,000	mm
Querschnittsstrecke	$r_{M,z}$	0,000	mm
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	f_z	0,000	mm
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y,max}$	12538,000	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z,max}$	5334,000	cm ³
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y,max}$	1,185	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z,max}$	1,714	
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	c	
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	c	



4.3 [LTu] Längsträger unten

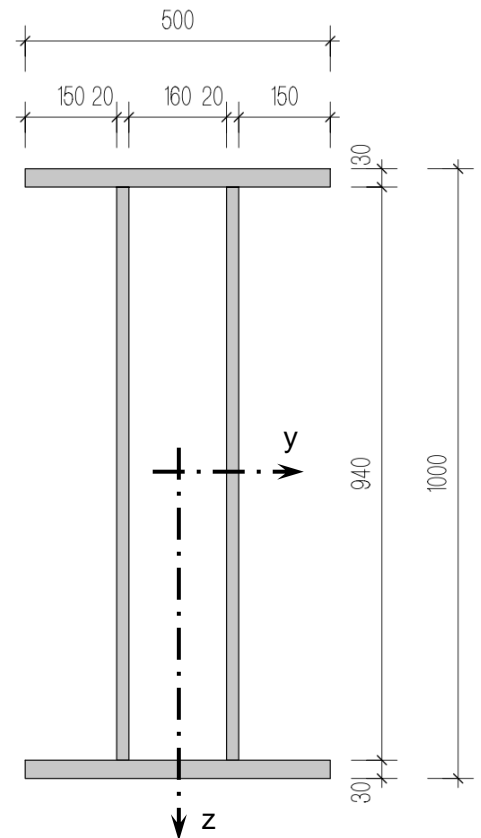
Tabelle 4.3: Querschnittswerte Längsträger unten [LTu]

Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Obere Flanschbreite	b_o	250,000	mm
Obere Flanschdicke	t_o	25,000	mm
Stegdicke	s	16,000	mm
Innengröße	b_i	120,000	mm
Höhe	h	600,000	mm
Untere Flanschbreite	b_u	250,000	mm
Untere Flanschdicke	t_u	25,000	mm
Obere Kehlnahtdicke	a_o	3,000	mm
Untere Kehlnahtdicke	a_u	3,000	mm
Querschnittsfläche	A	301,000	cm ²
Schubfläche	A_y	45,130	cm ²
Schubfläche	A_z	176,160	cm ²
Kernfläche	A_k	782,000	cm ²
Schwerpunktstand	e_z	300,000	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I_y	147752,0	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I_z	14686,2	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	I_p	162438,0	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	$I_{p,M}$	162438,0	cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	221,600	mm
Trägheitsradius	i_z	69,900	mm
Polarer Trägheitsradius	i_p	232,300	mm
Polarer Trägheitsradius	$i_{p,M}$	232,300	mm
Querschnittsgewicht	G	236,300	kg/m
Mantelfläche	$A_{\text{Fläche}}$	1,978	m ² /m
Torsionsträgheitsmoment	I_t	29959,4	cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment St. Venant	$I_{t,StVen}$	401,1	cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment Bredt	$I_{t,Bredt}$	29558,3	cm ⁴
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	z_M	0,000	mm
Wölbwiderstand bezogen auf M	I_ω	4784000,0	cm ⁶
Wölbträgheitsradius	$i_{\omega,M}$	54,300	mm
Abklingfaktor	λ	0,005	1/mm
Widerstandsmoment	$W_{y,max}$	4925,070	cm ³
Widerstandsmoment	$W_{y,min}$	-4925,070	cm ³
Widerstandsmoment	W_z	1174,890	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W_ω	15533,400	cm ⁴
Statisches Moment	$S_{y,max}$	1503,440	cm ³
Statisches Moment	$S_{z,max}$	494,510	cm ³
Wölbordinate	ω_{max}	307,970	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit	$S_{\omega,max}$	5833,900	cm ⁴
Kindem'sche Querschnittsstrecke	$r_{y,Kindem}$	0,000	mm
Querschnittsstrecke	$r_{M,z}$	0,000	mm
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	f_z	0,000	mm
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y,max}$	6013,750	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z,max}$	1978,050	cm ³
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y,max}$	1,221	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z,max}$	1,684	
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	c	
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	c	



4.4 [QT]_{geschlossen} Querträger geschlossenTabelle 4.4: Querschnittswerte Querträger geschlossen [QT]_{geschlossen}

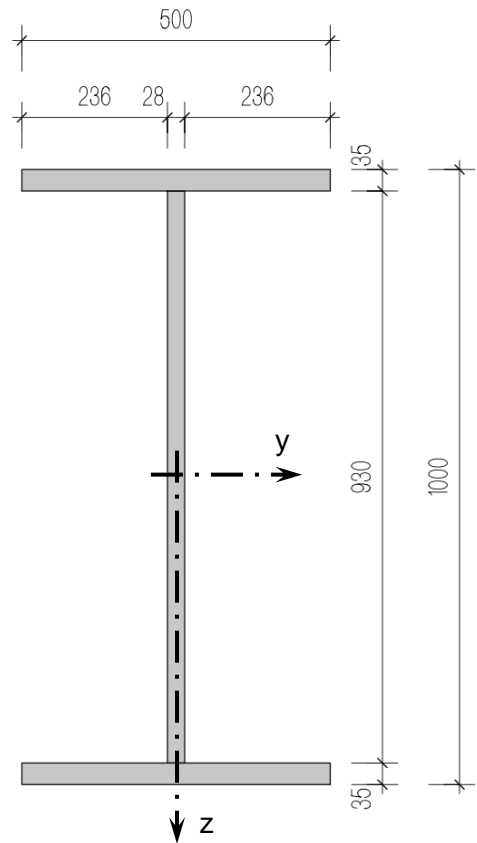
Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Obere Flanschbreite	b_o	500,000	mm
Obere Flanschdicke	t_o	30,000	mm
Stegdicke	s	20,000	mm
Innengröße	b_i	160,000	mm
Höhe	h	1000,000	mm
Untere Flanschbreite	b_u	500,000	mm
Untere Flanschdicke	t_u	30,000	mm
Obere Kehlnahtdicke	a_o	4,000	mm
Untere Kehlnahtdicke	a_u	4,000	mm
Querschnittsfläche	A	676,000	cm ²
Schubfläche	A_y	130,570	cm ²
Schubfläche	A_z	371,650	cm ²
Kernfläche	A_k	1746,000	cm ²
Schwerpunktstand	e_z	500,000	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I_y	982761,0	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I_z	93081,3	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	I_p	1076000,0	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	$I_{p,M}$	1076000,0	cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	381,300	mm
Trägheitsradius	i_z	117,300	mm
Polarer Trägheitsradius	i_p	398,900	mm
Polarer Trägheitsradius	$i_{p,M}$	398,900	mm
Querschnittsgewicht	G	530,700	kg/m
Mantelfläche	$A_{\text{Fläche}}$	3,700	m ² /m
Torsionsträgheitsmoment	I_t	113255,0	cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment St. Venant	$I_{t,StVen}$	1383,3	cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment Bredt	$I_{t,Bredt}$	111872,0	cm ⁴
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	z_M	0,000	mm
Wölbwiderstand bezogen auf M	I_ω	130700000,0	cm ⁶
Wölbträgheitsradius	$i_{\omega,M}$	110,200	mm
Abklingfaktor	λ	0,002	1/mm
Widerstandsmoment	$W_{y,max}$	19655,200	cm ³
Widerstandsmoment	$W_{y,min}$	-19655,200	cm ³
Widerstandsmoment	W_z	3723,250	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W_ω	117035,000	cm ⁴
Statisches Moment	$S_{y,max}$	5846,500	cm ³
Statisches Moment	$S_{z,max}$	1783,500	cm ³
Wölbordinate	ω_{max}	1116,390	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	$S_{\omega,max}$	45165,900	cm ⁴
Kindem'sche Querschnittsstrecke	$r_{y,Kindem}$	0,000	mm
Querschnittsstrecke	$r_{M,z}$	0,000	mm
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	f_z	0,000	mm
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y,max}$	23386,000	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z,max}$	7134,000	cm ³
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y,max}$	1,190	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z,max}$	1,916	
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	c	
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	c	



4.5 [QT]_{offen} Querträger offen

Tabelle 4.5: Querschnittswerte Querträger offen [QT]_{offen}

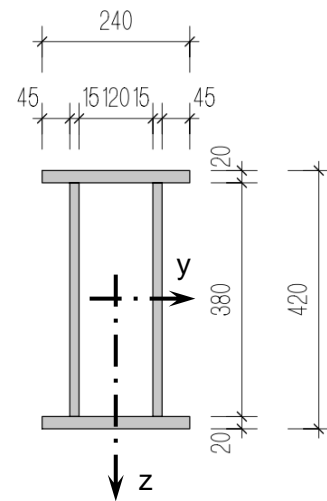
Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Höhe	h	1000,000	mm
Breite	b	500,000	mm
Stegdicke	s	28,000	mm
Flanschdicke	t	35,000	mm
Kehlnahtdicke	a	4,000	mm
Querschnittsfläche	A	610,400	cm ²
Schubfläche	A _y	350,000	cm ²
Schubfläche	A _z	260,400	cm ²
Plastische Schubfläche	A _{pl,y}	350,000	cm ²
Plastische Schubfläche	A _{pl,z}	270,200	cm ²
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I _y	1003000,0	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I _z	73086,8	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	I _p	1076000,0	cm ⁴
Trägheitsradius	i _y	405,300	mm
Trägheitsradius	i _z	109,400	mm
Polarer Trägheitsradius	i _p	419,800	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 S)	i _{zg}	126,800	mm
Querschnittsgewicht	G	479,200	kg/m
Mantelfläche	A _{Fläche}	3,944	m ² /m
Torsionsträgheitsmoment	I _t	2072,3	cm ⁴
Wölbwiderstand bezogen auf M	I _ω	169800000,0	cm ⁶
Abklingfaktor	λ	0,000	1/mm
Widerstandsmoment	W _y	20057,300	cm ³
Widerstandsmoment	W _z	2923,470	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W _ω	140729,000	cm ⁴
Statisches Moment	S _{y,max}	11470,900	cm ³
Statisches Moment	S _{z,max}	1092,890	cm ³
Wölbordinate	ω _{max}	1206,250	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit	S _{ω,max}	52773,400	cm ⁴
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,y,max}	22941,800	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,z,max}	4557,280	cm ³
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	W _{pl,ω}	211094,000	cm ⁴
Plastischer Formbeiwert	α _{pl,y,max}	1,144	
Plastischer Formbeiwert	α _{pl,z,max}	1,559	
Plastischer Formbeiwert	α _{pl,ω}	1,500	
Knicklinie nach EN	KL _{y,EN}	b	
Knicklinie nach EN	KL _{z,EN}	c	



4.6 [VT] Vorspannträger

Tabelle 4.6: Querschnittswerte Vorspannträger [VT]

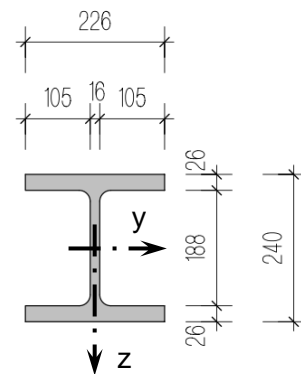
Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Obere Flanschbreite	b_o	240,000	mm
Obere Flanschdicke	t_o	20,000	mm
Stegdicke	s	15,000	mm
Innengröße	b_i	120,000	mm
Höhe	h	450,000	mm
Untere Flanschbreite	b_u	240,000	mm
Untere Flanschdicke	t_u	20,000	mm
Obere Kehlnahtdicke	a_o	3,000	mm
Untere Kehlnahtdicke	a_u	3,000	mm
Querschnittsfläche	A	219,000	cm ²
Schubfläche	A_y	42,950	cm ²
Schubfläche	A_z	123,020	cm ²
Kernfläche	A_k	580,500	cm ²
Schwerpunktstand	e_z	225,000	mm
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I_y	61638,3	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)	I_z	10235,2	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	I_p	71873,5	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	$I_{p,M}$	71873,5	cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	167,800	mm
Trägheitsradius	i_z	68,400	mm
Polarer Trägheitsradius	i_p	181,200	mm
Polarer Trägheitsradius	$i_{p,M}$	181,200	mm
Querschnittsgewicht	G	171,900	kg/m
Mantelfläche	$A_{\text{Fläche}}$	1,630	m ² /m
Torsionsträgheitsmoment	I_t	19247,5	cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment St. Venant	$I_{t,StVen}$	218,0	cm ⁴
Torsionsträgheitsmoment Bredt	$I_{t,Bredt}$	19029,5	cm ⁴
Schubmittelpunkt-Lage bezogen auf S	z_M	0,000	mm
Wölbwiderstand bezogen auf M	I_ω	1435000,0	cm ⁶
Wölbträgheitsradius	$i_{\omega,M}$	44,700	mm
Abklingfaktor	λ	0,007	1/mm
Widerstandsmoment	$W_{y,max}$	2739,480	cm ³
Widerstandsmoment	$W_{y,min}$	-2739,480	cm ³
Widerstandsmoment	W_z	852,940	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W_ω	7079,290	cm ⁴
Statisches Moment	$S_{y,max}$	831,190	cm ³
Statisches Moment	$S_{z,max}$	351,560	cm ³
Wölbordinate	ω_{max}	202,680	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit ω)	$S_{\omega,max}$	2553,500	cm ⁴
Kindem'sche Querschnittsstrecke	$r_{y,Kindem}$	0,000	mm
Querschnittsstrecke	$r_{M,z}$	0,000	mm
Lage der Flächenhalbierenden bez. auf S	f_z	0,000	mm
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y,max}$	3324,750	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z,max}$	1406,250	cm ³
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y,max}$	1,214	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z,max}$	1,649	
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	c	
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	c	



4.7 [WB1] Waagbalken 1 / [VTB] Verteilbalken

Tabelle 4.7: Querschnittswerte Waagbalken 1 [WB1] / Verteilbalken [VTB] – HE-M 220

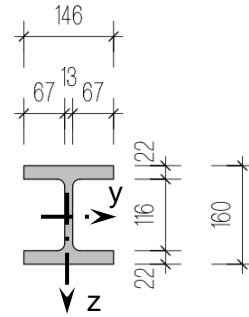
Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Profilhöhe	h	240,000	mm
Profilbreite	b	226,000	mm
Stegdicke	t_s	15,500	mm
Flanschdicke	t_g	26,000	mm
Ausrundungsradius	r	18,000	mm
Querschnittsfläche	A	149,000	cm ²
Schubfläche	A_y	98,310	cm ²
Schubfläche	A_z	30,630	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	$A_{v,y}$	122,710	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	$A_{v,z}$	44,870	cm ²
Stegfläche	A_{Steg}	29,100	cm ²
Plastische Schubfläche	$A_{pl,y}$	117,520	cm ²
Plastische Schubfläche	$A_{pl,z}$	33,170	cm ²
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I_y	14600,0	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I_z	5010,0	cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	98,900	mm
Trägheitsradius	i_z	57,900	mm
Polarer Trägheitsradius	i_p	114,600	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 St)	i_{zg}	61,600	mm
Volumen	V	14900,000	cm ³ /m
Querschnittsgewicht	G	117,000	kg/m
Mantelfläche	$A_{Fläche}$	1,320	m ² /m
Profilfaktor	A_m/V	88,591	1/m
Torsionsträgheitsmoment	I_t	316,0	cm ⁴
Wölbwiderstand	I_ω	572700,0	cm ⁶
Widerstandsmoment	W_y	1220,000	cm ³
Widerstandsmoment	W_z	444,000	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W_ω	4736,580	cm ⁴
Statisches Moment	$S_{y,max}$	710,000	cm ³
Statisches Moment	$S_{z,max}$	166,000	cm ³
Wölbordinate	ω_{max}	120,910	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit	$S_{\omega,max}$	1776,170	cm ⁴
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y}$	1420,000	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z}$	678,550	cm ³
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	$W_{pl,\omega}$	7104,670	cm ⁴
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y}$	1,164	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z}$	1,528	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,\omega}$	1,500	
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	b	
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	c	
Flanschlochdurchmesser	d_L	28,000	mm
Flanschlochabstand	w	122,000	mm
Flanschlochabstand	w_1	120,000	mm
c/t-Verhältnis (Gurt)	c/t_{Gurt}	3,360	
c/t-Verhältnis (Steg)	c/t_{Steg}	9,810	



4.8 [WB2] Waagbalken 2

Tabelle 4.8: Querschnittswerte Waagbalken 2 [WB2] – HE-M 140

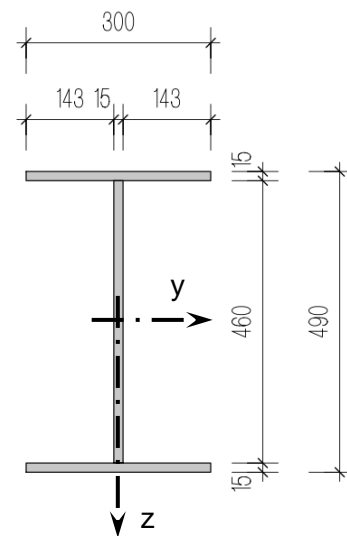
Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Profilhöhe	h	160,000	mm
Profilbreite	b	146,000	mm
Stegdicke	t_s	13,000	mm
Flanschdicke	t_g	22,000	mm
Ausrundungsradius	r	12,000	mm
Querschnittsfläche	A	80,600	cm ²
Schubfläche	A_y	53,880	cm ²
Schubfläche	A_z	16,650	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	$A_{v,y}$	67,490	cm ²
Wirksame Schubfläche nach EC 3	$A_{v,z}$	24,500	cm ²
Stegfläche	A_{Steg}	15,100	cm ²
Plastische Schubfläche	$A_{pl,y}$	64,240	cm ²
Plastische Schubfläche	$A_{pl,z}$	17,940	cm ²
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I_y	3290,0	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I_z	1140,0	cm ⁴
Trägheitsradius	i_y	63,900	mm
Trägheitsradius	i_z	37,700	mm
Polarer Trägheitsradius	i_p	74,200	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 St)	i_{zg}	40,000	mm
Volumen	V	8060,000	cm ³ /m
Querschnittsgewicht	G	63,300	kg/m
Mantelfläche	$A_{Fläche}$	0,857	m ² /m
Profilfaktor	A_m/V	106,328	1/m
Torsionsträgheitsmoment	I_t	120,0	cm ⁴
Wölbwiderstand	I_ω	54330,0	cm ⁶
Widerstandsmoment	W_y	411,000	cm ³
Widerstandsmoment	W_z	157,000	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W_ω	1078,620	cm ⁴
Statisches Moment	$S_{y,max}$	247,000	cm ³
Statisches Moment	$S_{z,max}$	58,620	cm ³
Wölbordinate	ω_{max}	50,370	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit	$S_{\omega,max}$	404,470	cm ⁴
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,y}$	494,000	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	$W_{pl,z}$	240,510	cm ³
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	$W_{pl,\omega}$	1617,880	cm ⁴
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,y}$	1,202	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,z}$	1,532	
Plastischer Formbeiwert	$\alpha_{pl,\omega}$	1,500	
Knicklinie nach EN	$KL_{y,EN}$	b	
Knicklinie nach EN	$KL_{z,EN}$	c	
Flanschlochdurchmesser	d_L	21,000	mm
Flanschlochabstand	w	88,000	mm
Flanschlochabstand	w_1	76,000	mm
c/t-Verhältnis (Gurt)	c/t_{Gurt}	2,480	
c/t-Verhältnis (Steg)	c/t_{Steg}	7,080	



4.9 [ZS] Zugstütze

Tabelle 4.9: Querschnittswerte Zugstütze [ZS]

Querschnittswert	Symbol	Wert	Einheit
Höhe	h	490,000	mm
Breite	b	300,000	mm
Stegdicke	s	15,000	mm
Flanschdicke	t	15,000	mm
Kehlnahtdicke	a	3,000	mm
Querschnittsfläche	A	159,000	cm ²
Schubfläche	A _y	90,000	cm ²
Schubfläche	A _z	69,000	cm ²
Plastische Schubfläche	A _{pl,y}	90,000	cm ²
Plastische Schubfläche	A _{pl,z}	71,250	cm ²
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I _y	62949,5	cm ⁴
Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grade)	I _z	6762,9	cm ⁴
Polares Trägheitsmoment	I _p	69712,4	cm ⁴
Trägheitsradius	i _y	199,000	mm
Trägheitsradius	i _z	65,200	mm
Polarer Trägheitsradius	i _p	209,400	mm
Trägheitsradius des Gurtquerschnitts (1/5 St)	i _{zg}	75,800	mm
Querschnittsgewicht	G	124,800	kg/m
Mantelfläche	A _{Fläche}	2,150	m ² /m
Torsionsträgheitsmoment	I _t	118,8	cm ⁴
Wölbwiderstand bezogen auf M	I _ω	3807000,0	cm ⁶
Abklingfaktor	λ	0,000	1/mm
Widerstandsmoment	W _y	2569,370	cm ³
Widerstandsmoment	W _z	450,860	cm ³
Wölbwiderstandsmoment	W _ω	10687,500	cm ⁴
Statisches Moment	S _{y,max}	1465,500	cm ³
Statisches Moment	S _{z,max}	168,640	cm ³
Wölbordinate	ω _{max}	356,250	cm ²
Wölbfläche (Flächenmoment 1. Grades mit	S _{ω,max}	4007,810	cm ⁴
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,y,max}	2931,000	cm ³
Plastisches Widerstandsmoment	W _{pl,z,max}	700,880	cm ³
Plastisches Wölbwiderstandsmoment	W _{pl,ω}	16031,300	cm ⁴
Plastischer Formbeiwert	α _{pl,y,max}	1,141	
Plastischer Formbeiwert	α _{pl,z,max}	1,555	
Plastischer Formbeiwert	α _{pl,ω}	1,500	
Knicklinie nach EN	KL _{y,EN}	b	
Knicklinie nach EN	KL _{z,EN}	c	



5. Modellbildung

5.1 Berechnungsmodell – Aufbau statische Traglastversuche

Zur Vereinfachung der Berechnung wird der Versuchsrahmen in ein Berechnungsmodell übergeführt. Diesem Modell liegen mehrere Annahmen und Voraussetzungen zu Grunde. Diese betreffen einerseits, in der praktischen Baustatik übliche Vereinfachungen und Annahmen und andererseits auf das gegenständliche Bauwerk angewendete, individuelle Annahmen:

- Sämtliche Verbindungen zwischen den Bauteilen werden als Biegemomentengelenke definiert.
- Die drehelastische Einspannwirkung von Trägerkreuzungen, wird nicht weiter berücksichtigt.
- Die Spannstangen werden als reine Zugglieder definiert
- Exzentrische Stabanschlüsse werden mitabgebildet
- Die Lagerung der Längsträger erfolgt an festen, gelenkigen Auflagern
- Die Berechnung erfolgt nach elastischer Stabtheorie I. Ordnung, es werden somit keine Effekte aus den Verformungen berücksichtigt.
- Die Bauteile werden zur Vereinfachung auf deren Schwerachse reduziert, diese besitzen, mit Ausnahme der Spannstäbe, folgende Eigenschaften:
 - Dehnsteifigkeit EA
 - Biegesteifigkeiten EI_y, EI_z bzw. EA_{zz}, EA_{yy}
 - Schubsteifigkeit $G\tilde{A}$
 - Torsionssteifigkeit GI_T
 - Wölbsteifigkeit $EA_{\omega\omega}$

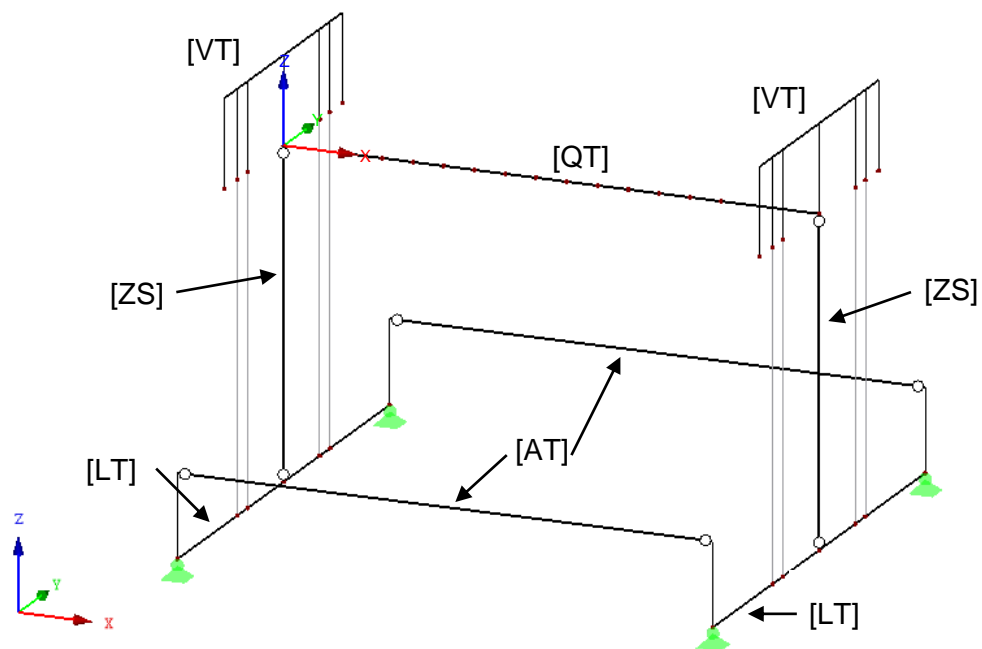


Abbildung 5.1: Berechnungsmodell – statische Traglastversuche

5.2 Berechnungsmodell – Aufbau dynamische Ermüdungsversuche

Im Wesentlichen gelten die gleichen Annahmen welche bereits unter Punkt 5.1 genannt wurden. Erweitert wurden die Annahmen nur durch folgende Punkte:

- Die Federpakete zwischen [LT] und [LTu] werden durch starre Kopplungen idealisiert, diese Annahme liegt für die Schnittgrößenermittlung und somit auch für die Spannungsberechnung auf der sicheren Seite.
- Zur horizontalen Lagerung des [LTu] wird ein zentrisches Lager eingeführt, welches ausschließlich horizontale Kräfte aufnehmen kann. Die vertikale Lastabtragung erfolgt über die starren Kopplungen zum [LT].
- Die Verteilbalken [VTB] sind beidseitig durch Gelenke an den [QT]-Untergurten angebunden.
- Da der Querträger [QT] ausschließlich über Zugglieder mit dem Längsträger [LT] verbunden ist, muss der Querträger [QT] an den Enden sowohl vertikal als auch horizontal gelagert werden.

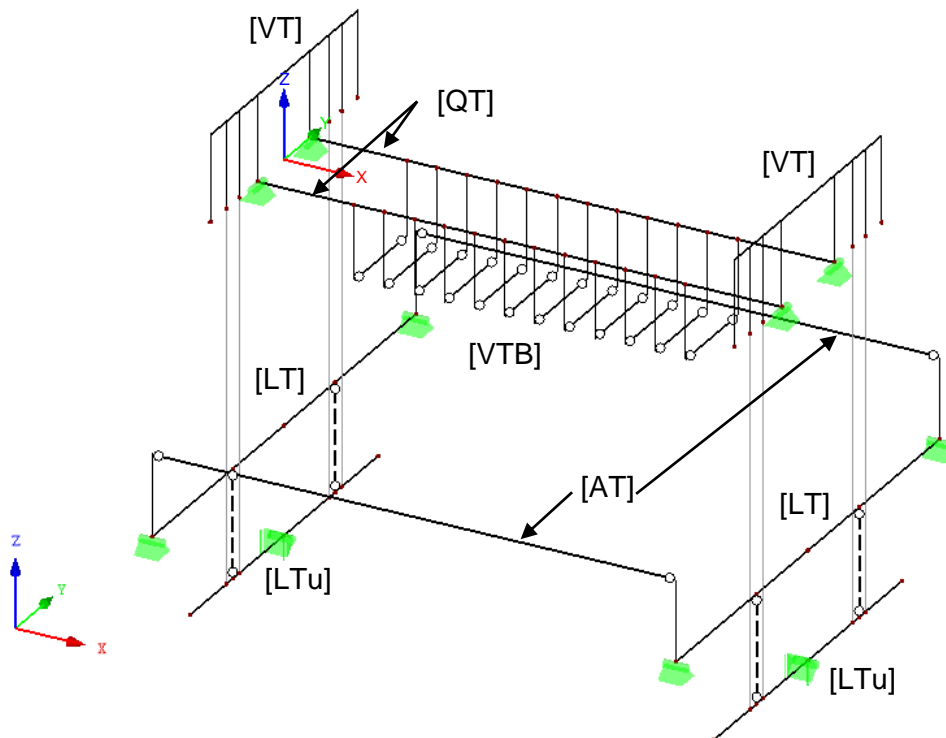


Abbildung 5.2: Berechnungsmodell – dynamische Ermüdungsversuche

6. Grenzzustände der Tragfähigkeit

6.1 Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Grenzzustand der Tragfähigkeit werden nach Punkt 2.3.1 bzw. Punkt 2.3.2 angesetzt.

6.2 Querschnittsklassifikation

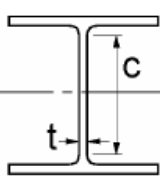
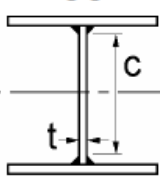
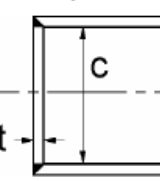
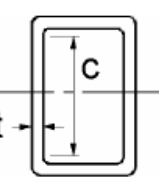
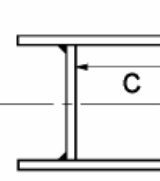
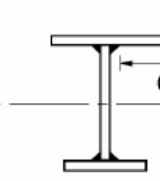
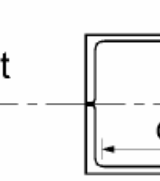
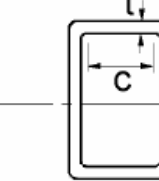
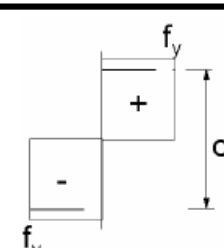
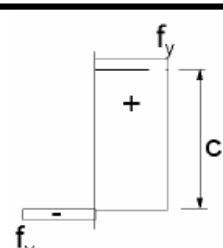
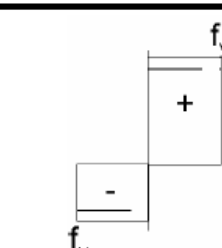
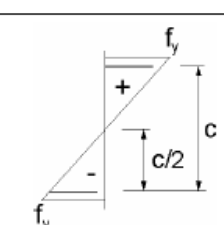
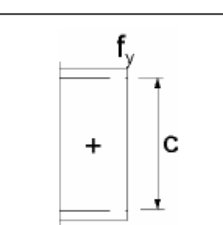
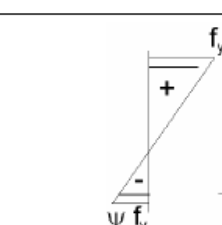
Die Querschnittsklassifizierung dient zum einen der Auswahl des anzuwendenden Berechnungsverfahrens. Die möglichen Verfahren nach ÖNORM EN 1993-1-1 unterscheiden sich in der Berechnung der einwirkenden Bauteilbeanspruchung und der Querschnittsbeanspruchbarkeit. Die möglichen Berechnungsmethoden werden in E-E, E-P und P-P eingeteilt. Zum anderen dient diese Nachweisform der Identifizierung möglicher lokaler Instabilitäten. Diese Art des Stabilitätsverlusts wird durch Drucknormalspannungen ausgelöst

Der Nachweis gegen Normalspannungsbeulen erfolgt dabei nach ÖNORM EN 1993-1-1 Tabelle 5.2, diese sieht die Einstufung der Querschnitte in 4 Klassen vor.

In der vorliegenden Arbeit wurde das Berechnungsverfahren E-E gewählt. Diese Methode sieht eine elastische Tragwerksberechnung und eine elastische Querschnittsbeanspruchbarkeit vor. Aus diesem Grund muss der Querschnitt mindestens der Klasse 3 zuzuordnen sein, sofern der gesamte Querschnitt angesetzt werden soll. Ist der Querschnitt der Klasse 4 zuzuordnen, müssen einzelne Querschnittsteile unberücksichtigt bleiben und effektive Querschnittswerte ermittelt werden.

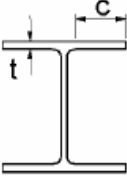
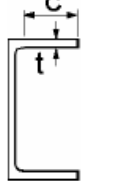
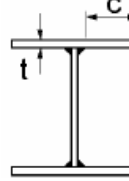
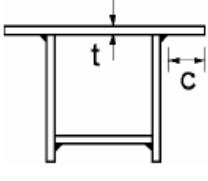
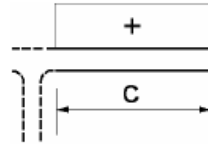
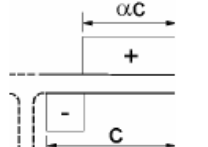
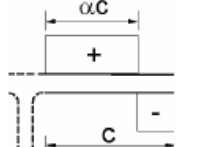
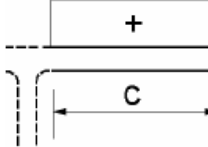
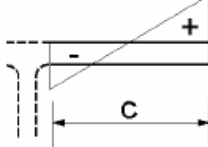
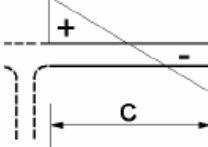
Nachweis gegen Normalspannungsbeulen nach ÖNORM EN 1993-1-1 Tabelle 5.2

Tabelle 6.1: Nachweis gegen Normalspannungsbeulen (Auszug ÖNORM EN 1993-1-1 Tabelle 5.2)

Beidseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile							
							Biegeachse
							Biegeachse
Klasse	auf Biegung beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile				
1							
	$clt \leq 72\varepsilon$	$clt \leq 33\varepsilon$	für $\alpha > 0,5$: $clt \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$: $clt \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$				
2	$clt \leq 83\varepsilon$	$clt \leq 38\varepsilon$	für $\alpha > 0,5$: $clt \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ für $\alpha \leq 0,5$: $clt \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$				
3							
	$clt \leq 124\varepsilon$	$clt \leq 42\varepsilon$	für $\psi > -1$: $clt \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ für $\psi \leq -1^a$: $clt \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	f_y	235	275	355	420	460	
	ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71	

^a Es gilt $\psi \leq -1$ falls entweder die Druckspannungen $\sigma \leq f_y$ oder die Dehnungen infolge Zug $\varepsilon_y > \frac{f_y}{E}$ sind.

Tabelle 6.2: Nachweis gegen Normalspannungsbeulen (Auszug ÖNORM EN 1993-1-1 Tabelle 5.2) (Fortsetzung)

Einseitig gestützte Flansche							
							
Gewalzte Querschnitte			Geschweißte Querschnitte				
Klasse	auf Druck beanspruchte Querschnittsteile	auf Druck und Biegung beanspruchte Querschnittsteile					
		freier Rand im Druckbereich		freier Rand im Zugbereich			
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
1	$clt \leq 9\varepsilon$	$clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$		$clt \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
2	$clt \leq 10\varepsilon$	$clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$		$clt \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$			
Spannungsverteilung über Querschnittsteile (Druck positiv)							
3	$clt \leq 14\varepsilon$	$clt \leq 21\varepsilon \sqrt{k_\sigma}$					
		Für k_σ siehe EN 1993-1-5					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$		f_y	235	275	355	420	460
		ε	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Nachweis gegen Schubbeulen nach ÖNORM EN 1993-1-5

Eine weitere Form des lokalen Stabilitätsversagens stellt das schubinduzierte Beulen dar. Dieser Nachweis erfolgt in Anlehnung an ÖNORM EN 1993-1-5.

Der Nachweis wird vereinfacht über die Ungleichung:

$$\frac{h_w}{t_w} > 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

geführt. Diese wurde für nicht ausgesteifte Blechfelder hergeleitet, liegt aber auf der sicheren Seite für ausgesteifte Bleche und kann somit vereinfachend herangezogen werden.

6.2.1 [AT] Auflagerträger

HE-M 700

Flansche: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$h =$	716 mm
$b =$	304 mm
$t_w =$	21 mm
$t_f =$	40 mm
$r =$	27 mm
$c =$	115 mm
$t = t_f =$	40 mm
$c/t =$	$2,86 \leq 14\varepsilon$ = 11,39

Querschnittsklasse 3

Steg: zweiseitig gestützt, unter Biegebeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c =$	582 mm
$t = t_w =$	21 mm
$c/t =$	$27,71 \leq 124\varepsilon$ = 100,89

Querschnittsklasse 3

Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche

$h_w = c =$	582 mm
$t_w = t =$	21 mm
$\varepsilon =$	0,81
$\eta =$	1,00 (auf der sicheren Seite liegend)
$h_w / t_w =$	$27,71 < 72 \varepsilon / \eta$ = 58,58

kein Nachweis gegen Schubbeulen erf.

6.2.2 [LT] Längsträger

Flansche, außen: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	95 mm
$a_{Kehlnaht} =$	5 mm (einseitig)
$c =$	90 mm
$t =$	30 mm
$c/t =$	$3,00 \leq 14\varepsilon$ = 11,39

Querschnittsklasse 3

Flansche, innen: zweiseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	190 mm
$a_{Kehlnaht} =$	0 mm (beidseitig)
$c =$	190 mm
$t =$	30 mm
$c/t =$	$6,33 \leq 42\varepsilon$ = 34,17

Querschnittsklasse 3

Steg: zweiseitig gestützt, unter Biegebeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	640 mm
$a_{Kehlnaht} =$	5 mm (beidseitig)
$c =$	630 mm
$t =$	20 mm
$c/t =$	$31,50 \leq 124\varepsilon$ = 100,89

Querschnittsklasse 3

Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche

$h_w = c_{brutto} =$	640 mm
$t_w = t =$	20 mm
$\varepsilon =$	0,81
$\eta =$	1,00 (auf der sicheren Seite liegend)
$h_w / t_w =$	$32,00 < 72 \varepsilon / \eta$ = 58,58

kein Nachweis gegen Schubbeulen erf.

6.2.3 [LTu] Längsträger unten

Flansche, außen: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	49 mm
$a_{Kehlnaht} =$	3 mm (einseitig)
$c =$	46 mm
$t =$	25 mm
$c/t =$	$1,84 \leq 14\varepsilon$ $= 11,39$

Querschnittsklasse 3

Flansche, innen: zweiseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	120 mm
$a_{Kehlnaht} =$	0 mm (beidseitig)
$c =$	120 mm
$t =$	25 mm
$c/t =$	$4,80 \leq 42\varepsilon$ $= 34,17$

Querschnittsklasse 3

Stege: zweiseitig gestützt, unter Biegebeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	550 mm
$a_{Kehlnaht} =$	3 mm (beidseitig)
$c =$	544 mm
$t =$	16 mm
$c/t =$	$34,00 \leq 124\varepsilon$ $= 100,89$

Querschnittsklasse 3

Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche

$h_w = c_{brutto} =$	550 mm
$t_w = t =$	16 mm
$\varepsilon =$	0,81
$\eta =$	1,00 (auf der sicheren Seite liegend)
$h_w / t_w =$	$34,38 < 72 \varepsilon / \eta$ $= 58,58$

kein Nachweis gegen Schubbeulen erf.

6.2.4 [QT]_{geschlossen} Querträger geschlossen

Flansche, außen: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	150 mm
$a_{Kehlnaht} =$	8 mm (einseitig)
$c =$	142 mm
$t =$	30 mm
$c/t =$	$4,73 \leq 14\varepsilon$ $= 11,39$

Querschnittsklasse 3

Flansche, innen: zweiseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	160 mm
$a_{Kehlnaht} =$	0 mm (beidseitig)
$c =$	160 mm
$t =$	30 mm
$c/t =$	$5,33 \leq 42\varepsilon$ $= 34,17$

Querschnittsklasse 3

Stege: zweiseitig gestützt, unter Biegebeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	940 mm
$a_{Kehlnaht} =$	8 mm (beidseitig)
$c =$	924 mm
$t =$	20 mm
$c/t =$	$46,20 \leq 124\varepsilon$ $= 100,89$

Querschnittsklasse 3

Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche

$h_w = c_{brutto} =$	940 mm
$t_w = t =$	20 mm
$\varepsilon =$	0,81
$\eta =$	1,00 (auf der sicheren Seite liegend)
$h_w / t_w =$	$47,00 < 72 \varepsilon / \eta$ $= 58,58$

kein Nachweis gegen Schubbeulen erf.

6.2.5 [QT]_{offen} Querträger offen

Flansche: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	236 mm
$a_{Kehlnaht} =$	8 mm (einseitig)
$c =$	228 mm
$t =$	35 mm
$c/t =$	$6,51 \leq 14\varepsilon$ $= 11,39$

Querschnittsklasse 3

Steg: zweiseitig gestützt, unter Biegebeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	930 mm
$a_{Kehlnaht} =$	8 mm
$c =$	914 mm
$t =$	28 mm
$c/t =$	$32,64 \leq 124\varepsilon$ $= 100,89$

Querschnittsklasse 3

Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche

$h_w = c_{brutto} =$	930 mm
$t_w = t =$	28 mm
$\varepsilon =$	0,81
$\eta =$	1,00 (auf der sicheren Seite liegend)
$h_w / t_w =$	$33,21 < 72 \varepsilon / \eta$ $= 58,58$

kein Nachweis gegen Schubbeulen erf.

6.2.6 [VT] Vorspannträger

Flansche, außen: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	45 mm
$a_{Kehlnaht} =$	8 mm (einseitig)
$c =$	37 mm
$t =$	20 mm
$c/t =$	$1,85 \leq 14\varepsilon$ $= 11,39$

Querschnittsklasse 3

Flansche, innen: zweiseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	120 mm
$a_{Kehlnaht} =$	0 mm (beidseitig)
$c =$	120 mm
$t =$	20 mm
$c/t =$	$6,00 \leq 42\varepsilon$ $= 34,17$

Querschnittsklasse 3

Steg: zweiseitig gestützt, unter Biegebeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	380 mm
$a_{Kehlnaht} =$	8 mm (beidseitig)
$c =$	364 mm
$t =$	15 mm
$c/t =$	$24,27 \leq 124\varepsilon$ $= 100,89$

Querschnittsklasse 3

Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche

$h_w = c_{brutto} =$	380 mm
$t_w = t =$	15 mm
$\varepsilon =$	0,81
$\eta =$	1,00 (auf der sicheren Seite liegend)
$h_w / t_w =$	$25,33 < 72 \varepsilon / \eta$ $= 58,58$

kein Nachweis gegen Schubbeulen erf.

6.2.7 [WB1] Waagbalken 1 / [VTB] Verteilbalken

HE-M 200

Flanche: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$h =$	240 mm
$b =$	226 mm
$t_w =$	15,5 mm
$t_f =$	26 mm
$r =$	18 mm
$c =$	87 mm
$t = t_f =$	26 mm
$c/t =$	$3,36 \leq 14\varepsilon$ = 11,39

Querschnittsklasse 3

Stege: zweiseitig gestützt, unter Biegebeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c =$	152 mm
$t = t_w =$	16 mm
$c/t =$	$9,81 \leq 124\varepsilon$ = 100,89

Querschnittsklasse 3

Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche

$h_w = c =$	152 mm
$t_w = t =$	16 mm
$\varepsilon =$	0,81
$\eta =$	1,00 (auf der sicheren Seite liegend)
$h_w / t_w =$	$9,81 < 72 \varepsilon / \eta$ = 58,58

kein Nachweis gegen Schubbeulen erf.

6.2.8 [WB2] Waagbalken 2

HE-M 140

Flanche: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$h =$	160 mm
$b =$	146 mm
$t_w =$	13 mm
$t_f =$	22 mm
$r =$	12 mm
$c =$	55 mm
$t = t_f =$	22 mm
$c/t =$	$2,48 \leq 14\varepsilon$ = 11,39

Querschnittsklasse 3

Stege: zweiseitig gestützt, unter Biegebeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c =$	92 mm
$t = t_w =$	13 mm
$c/t =$	$7,08 \leq 124\varepsilon$ = 100,89

Querschnittsklasse 3

Nachweis gegen Schubbeulen für unausgesteifte Stegbleche

$h_w = c =$	92 mm
$t_w = t =$	13 mm
$\varepsilon =$	0,81
$\eta =$	1,00 (auf der sicheren Seite liegend)
$h_w / t_w =$	$7,08 < 72 \varepsilon / \eta$ = 58,58

kein Nachweis gegen Schubbeulen erf.

6.2.9 [ZS] Zugstütze

Flansche: einseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	143 mm
$a_{Kehlnaht} =$	3 mm (einseitig)
$c =$	140 mm
$t =$	15 mm
$c/t =$	$9,33 \leq 14\varepsilon$ $= 11,39$

Querschnittsklasse 3

Steg: zweiseitig gestützt, unter Druckbeanspruchung

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,81
$c_{brutto} =$	460 mm
$a_{Kehlnaht} =$	3 mm
$c =$	454 mm
$t =$	15 mm
$c/t =$	$30,27 \leq 42\varepsilon$ $= 34,17$

Querschnittsklasse 3

6.3 Lastfälle / Lastfallkombinationen

6.3.1 Lastfälle – Übersicht

Tabelle 6.3: Lastfälle – Übersicht

[AT] Versuchsdurchführung	Punkt 6.3.2
$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$	
[LT] Vorspannung	Punkt 6.3.3
$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$	
[LT] Versuchsdurchführung	Punkt 6.3.4
$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot P_{k,[ZS]} \text{ bzw. } P_{k,\text{Spannstangen}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$	
[LTu] FLS Vorspannung	Punkt 6.3.5
$LK_{\text{FLS,Vorspannung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot P_{\text{FLS,Vorspannung,Spannstangen}}$	
[QT] _{geschlossen} Vorspannung	Punkt 6.3.6
$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,05 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}}$	
[QT] _{geschlossen} Versuchsdurchführung	Punkt 6.3.7
$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Pressenkraft bei Traglast}}$	
[QT] _{offen} Vorspannung	Punkt 6.3.8
$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,05 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}}$	
[QT] _{offen} Versuchsdurchführung	Punkt 6.3.9
$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$	
[VT] Vorspannung	Punkt 6.3.10
$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$	
[VT] Versuchsdurchführung	Punkt 6.3.11
$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot P_{k,\text{Spannstangen}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$	
[VTB] FLS Vorspannung	Punkt 6.3.12
$LK_{\text{FLS,Vorspannung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot P_{\text{FLS,Vorspannung,Platte}}$	
[WB1] Versuchsdurchführung	Punkt 6.3.13
$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$	

[WB2] Versuchsdurchführung	Punkt 6.3.14
$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$	
[ZS] Vorspannung	Punkt 6.3.15
$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$	
[ZS] Versuchsdurchführung	Punkt 6.3.16
$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$	

6.3.2 [AT] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

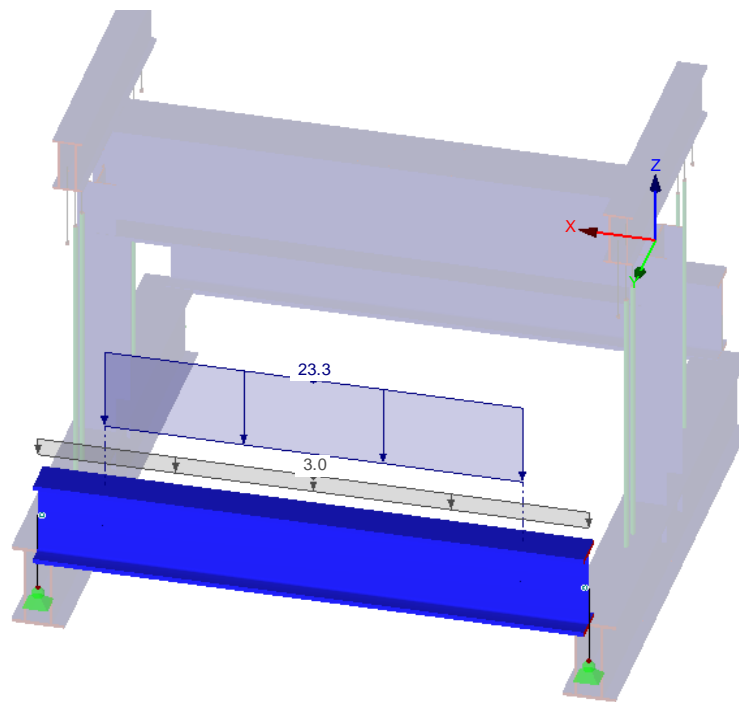


Abbildung 6.1: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht

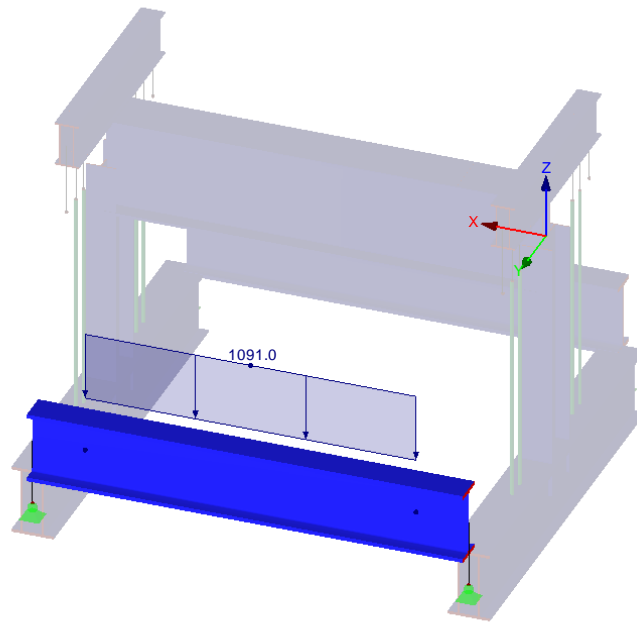
$$g_{k,SCSC-Platte} = \frac{92,53}{2 \cdot 3,30} = 14,02 \text{ kN/m}$$

$$g_{k,Waagbalken} = \frac{61,43}{2 \cdot 3,30} = 9,31 \text{ kN/m}$$

Die Plattenbreite der SCSC-Platte beträgt 3,00 m, durch die darunterliegende Lasteinleitungsstruktur und den elastischen Lastausbreitungswinkel von 45° ergibt sich eine Länge von 3,30 m auf die die Einwirkung verteilt werden kann.

$$g_{k,Aufbau} = g_{k,SCSC-Platte} + g_{k,Waagbalken} = 23,33 \text{ kN/m}$$

⊕

Lastfall Versuchsdurchführung [kN/m]**Abbildung 6.2: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Pressenkraft**

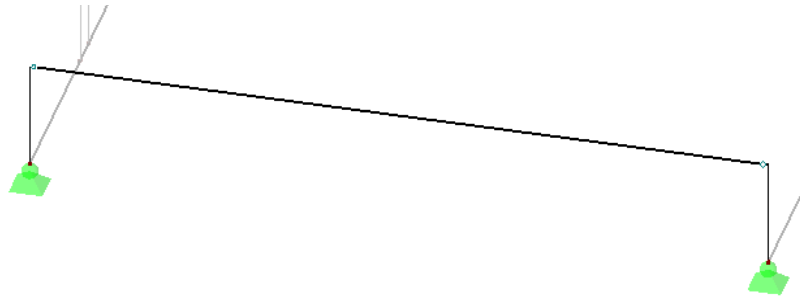
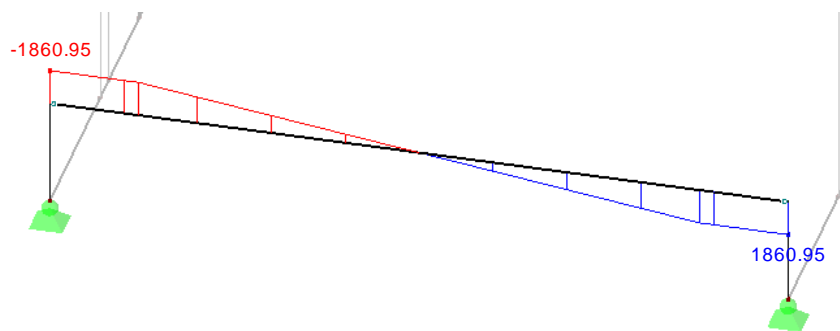
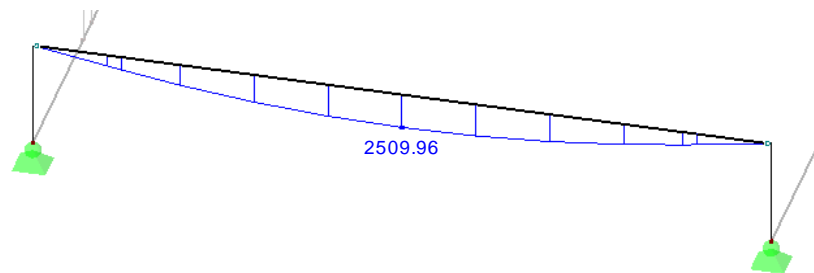
$$p_{k, \text{Pressenkraft}} = \frac{7.200}{2 \cdot 3,30} = 1.090,91 \cong 1.091 \text{ kN/m}$$

Die Plattenbreite der SCSC-Platte beträgt 3,00 m, durch die darunterliegende Lasteinleitungsstruktur und den elastischen Lastausbreitungswinkel von 45° ergibt sich eine Länge von 3,30 m auf die die Einwirkung verteilt werden kann.

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

Schnittgrößen / Auflagerkräfte*Normalkraft N_{Ed} [kN]***Abbildung 6.3: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Normalkraft N_{Ed}** *Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]***Abbildung 6.4: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$** *Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]***Abbildung 6.5: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$**

6.3.3 [LT] Vorspannung

Lastfälle

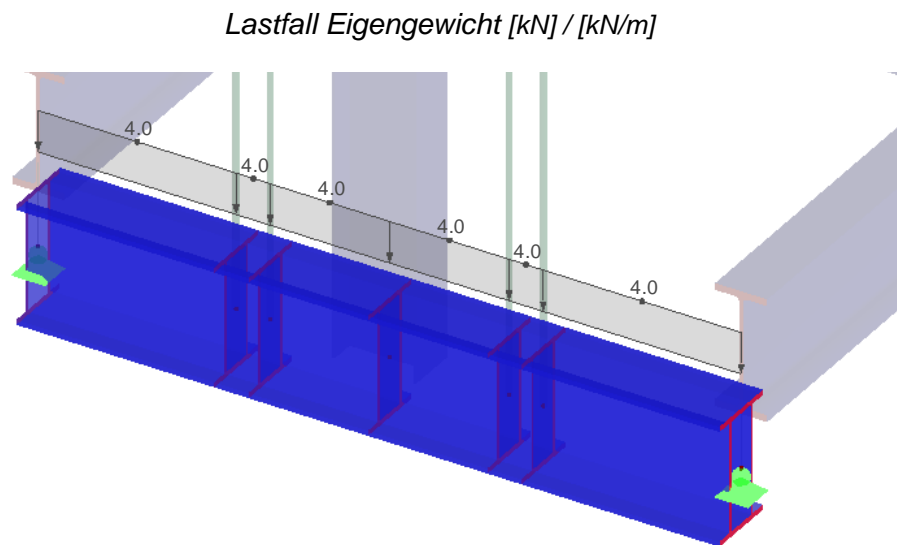


Abbildung 6.6: Längsträger [LT] – Vorspannung – Eigengewicht

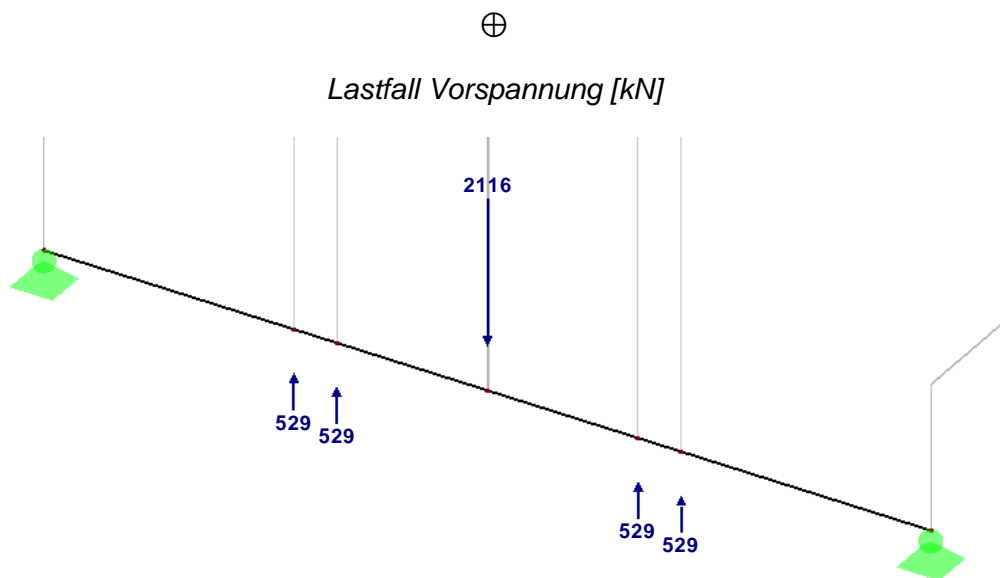


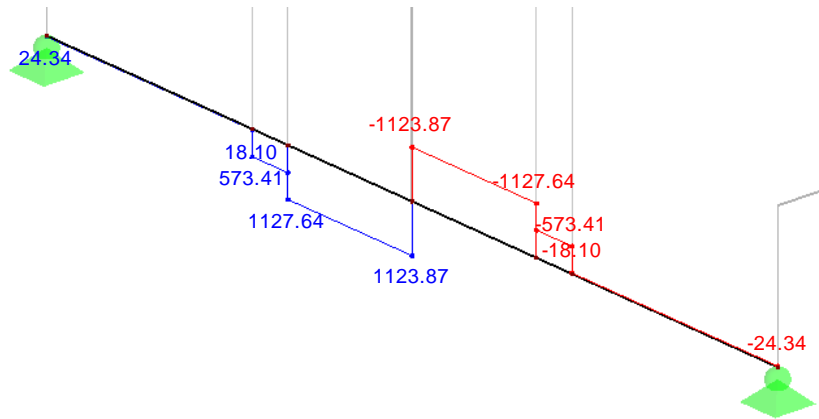
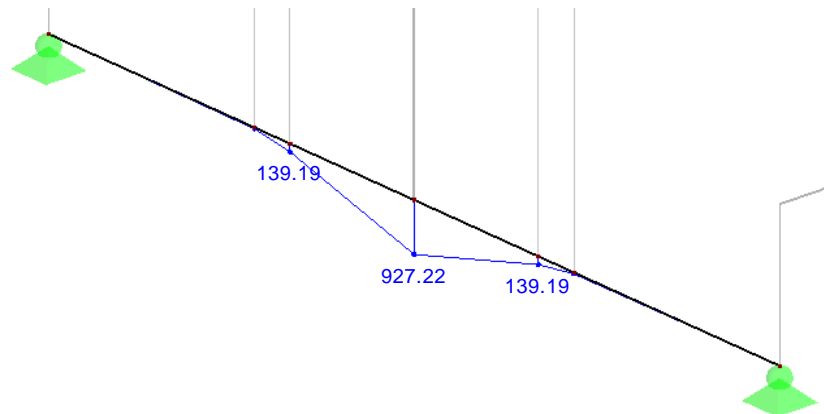
Abbildung 6.7: Längsträger [LT] – Vorspannung – Vorspannkräfte

Siehe Punkt 2.2.3

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$$

Schnittgrößen / AuflagerkräfteQuerkräft $V_{z,Ed}$ [kN]Abbildung 6.8: Längsträger [LT] – Vorspannung – Querkräft $V_{z,Ed}$ Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]Abbildung 6.9: Längsträger [LT] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.4 [LT] Versuchsdurchführung

Lastfälle

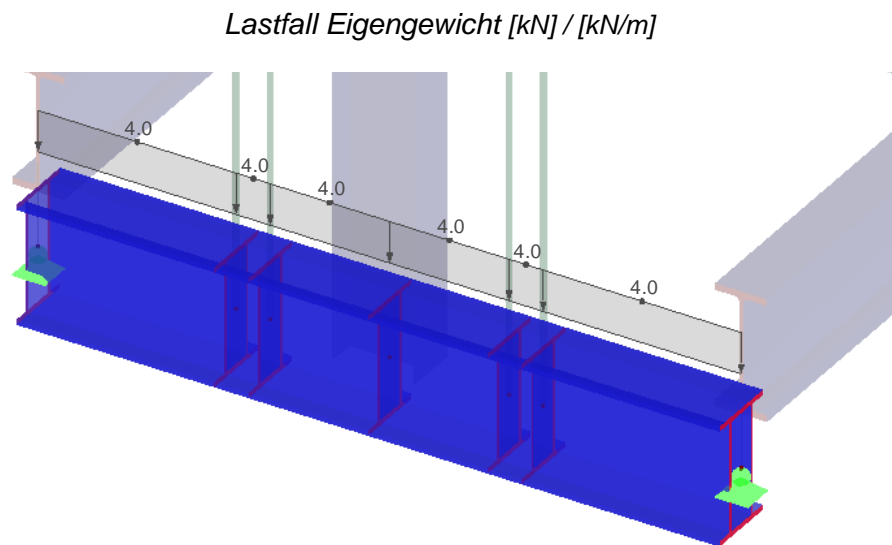


Abbildung 6.10: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht

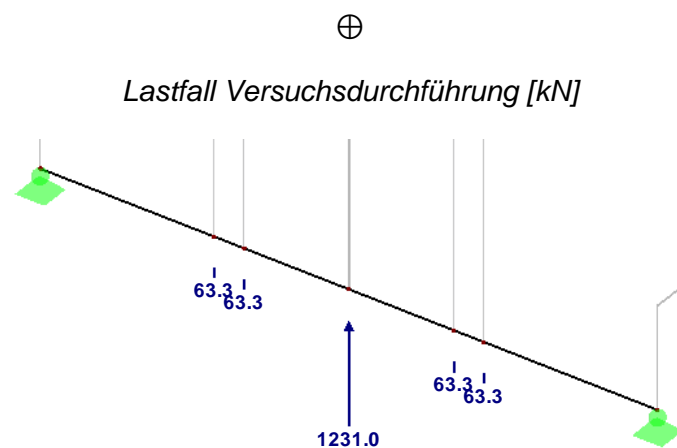


Abbildung 6.11: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Versuchskräfte

$$P_{k,Zug} = -P_{k,Vorspannung} + P_{k,Versuchsdurchführung} = -2.116 + \frac{7.200}{2} = 1.484 \text{ kN}$$

Diese Einwirkung wird steifigkeits- (= flächen) äquivalent und unter Einbeziehung des statischen Satzes auf die Zugstütze und die Spannstrangen verteilt:

$$P_{k,[ZS]} = P_{k,Zug} \cdot \frac{A_{[ZS]}}{A_{[ZS]} + 4 \cdot A_{S,Spannstangen}} = 1.484 \cdot \frac{159}{159 + 4 \cdot 8,17} = 1.231 \text{ kN}$$

$$P_{k,Spannstangen} = P_{k,Zug} \cdot \frac{A_{S,M36}}{A_{[ZS]} + 4 \cdot A_{S,Spannstangen}} = 1.484 \cdot \frac{8,17}{159 + 4 \cdot 8,17} = 63,25 \text{ kN}$$

Die einwirkenden Kräfte auf die Spannstrangen können sich gegebenenfalls erhöhen, falls keine Gewindestangen M36 10.9 sondern das Glattstab-Spannsystem der Fa. DYWIDAG verwendet wird. Grund hierfür ist die erhöhte Dehnsteifigkeit EA des Glattstabquerschnittes, der nicht durch ein Gewinde geschwächt ist. Das DYWIDAG Glattstabspannsystem besitzt an den Enden ein kalt aufgerolltes Gewinde, welches allerdings zu keiner Schwächung des Querschnitts führt.

Dieser Umstand reduziert die einwirkende Normalkraft der Zugstütze [ZS].

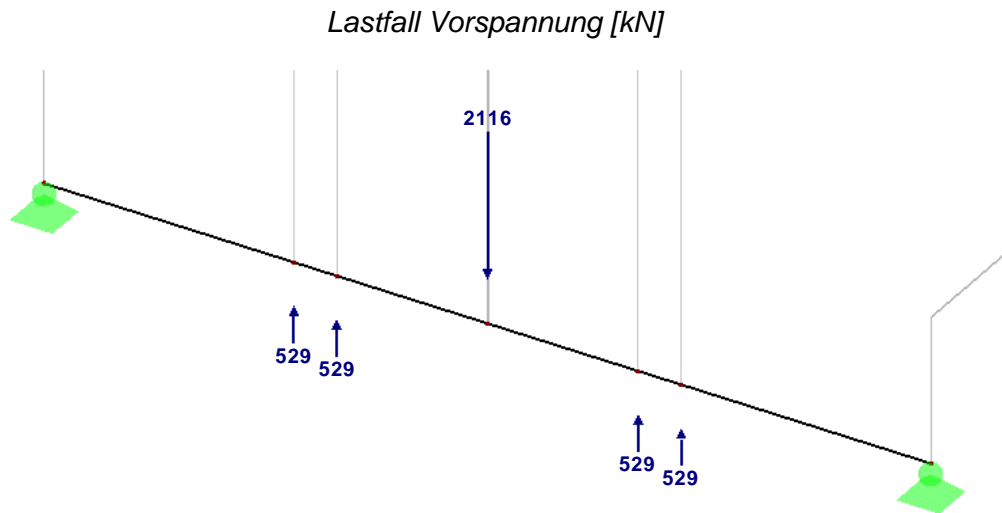


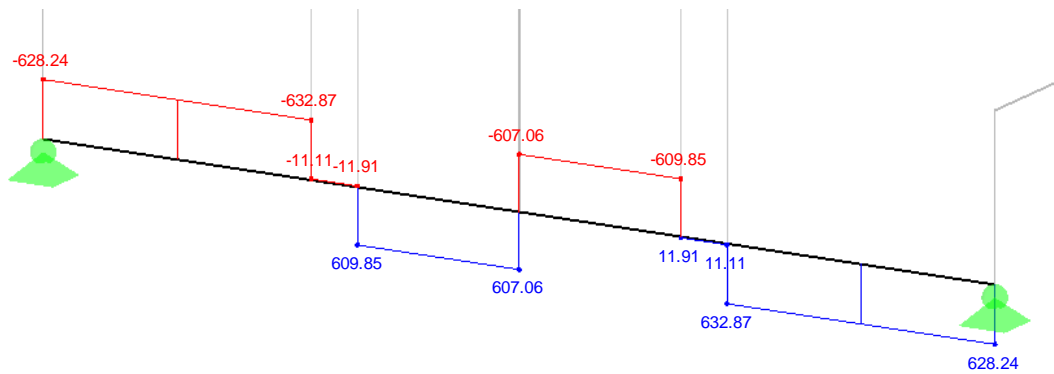
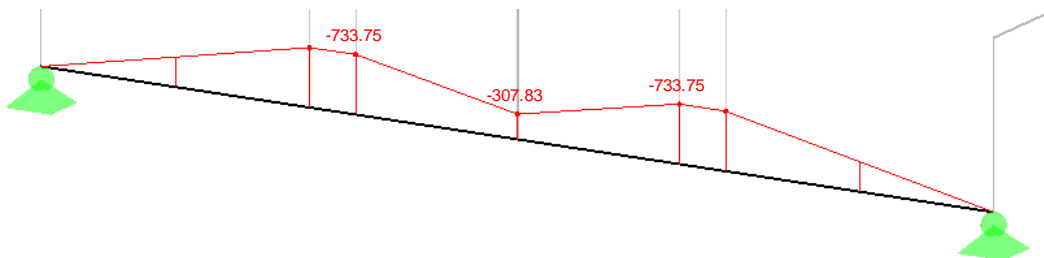
Abbildung 6.12: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Vorspannkkräfte

Siehe Punkt 2.2.3

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot P_{k,[ZS]} \text{ bzw. } P_{k,\text{Spannstangen}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$$

SchnittgrößenQuerkraft $V_{z,Ed}$ [kN]Abbildung 6.13: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$ Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]Abbildung 6.14: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.5 [LTu] FLS Vorspannung

Lastfälle

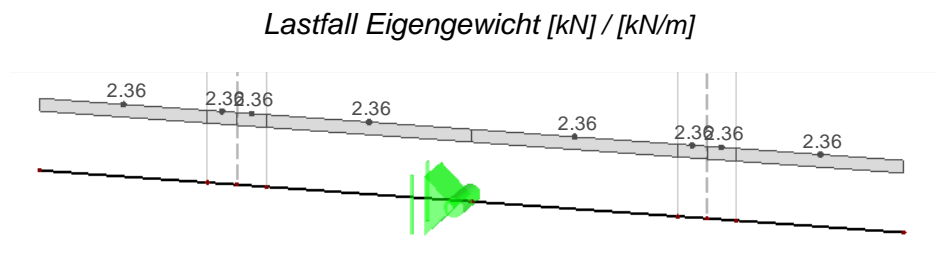


Abbildung 6.15: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Eigengewicht

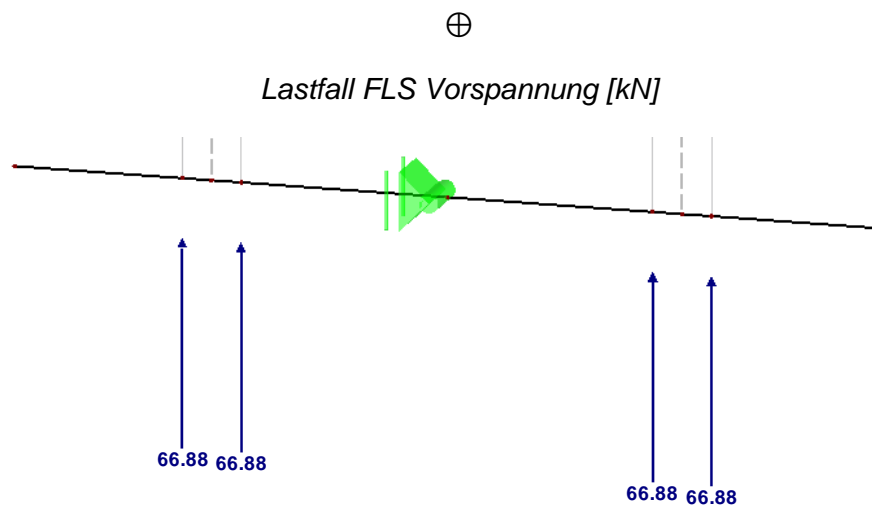


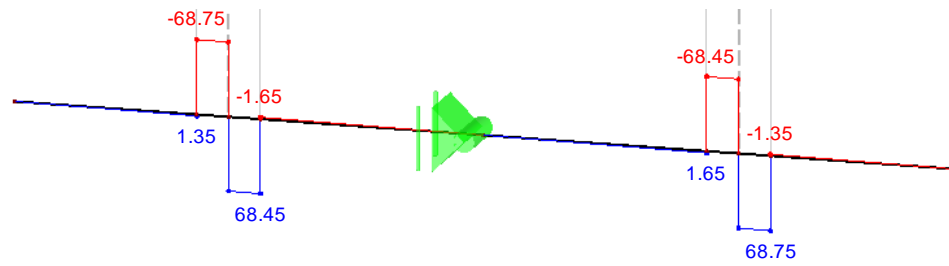
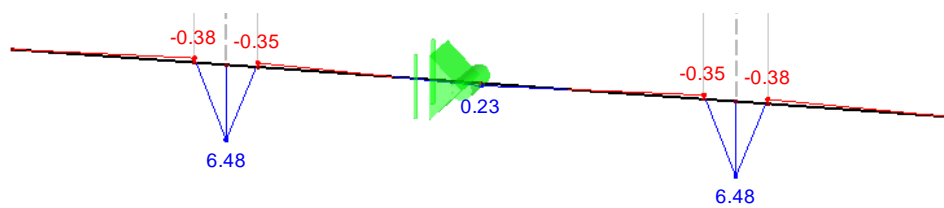
Abbildung 6.16: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Vorspannung FLS

$P_{FLS,Vorspannung,Spannstangen}$ siehe 2.2.5

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{FLS,Vorspannung} = 1,00 \cdot LF_{Eigengewicht} \oplus 1,05 \cdot P_{FLS,Vorspannung,Spannstangen}$$

SchnittgrößenQuerkraft $V_{z,Ed}$ [kN]Abbildung 6.17: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$ Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]Abbildung 6.18: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.6 [QT]_{geschlossen} Vorspannung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

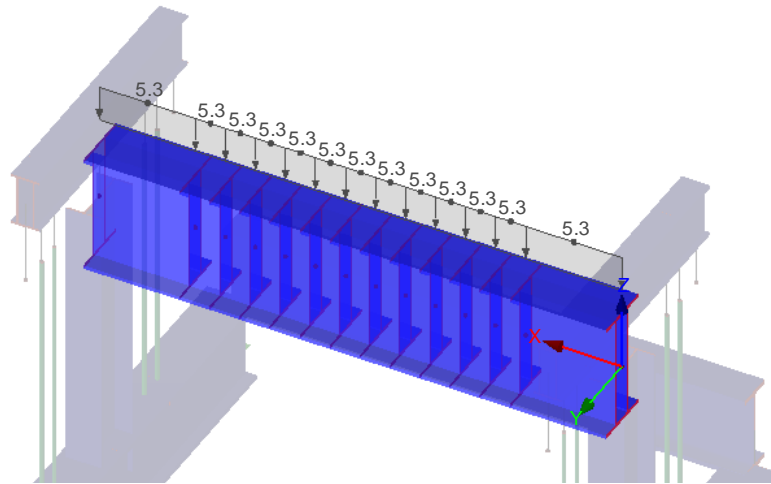
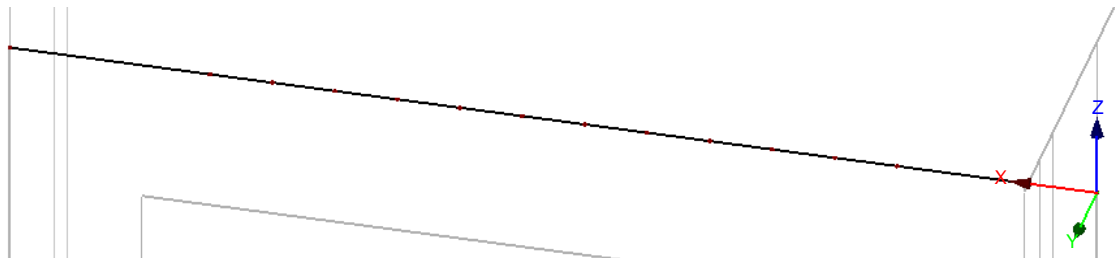
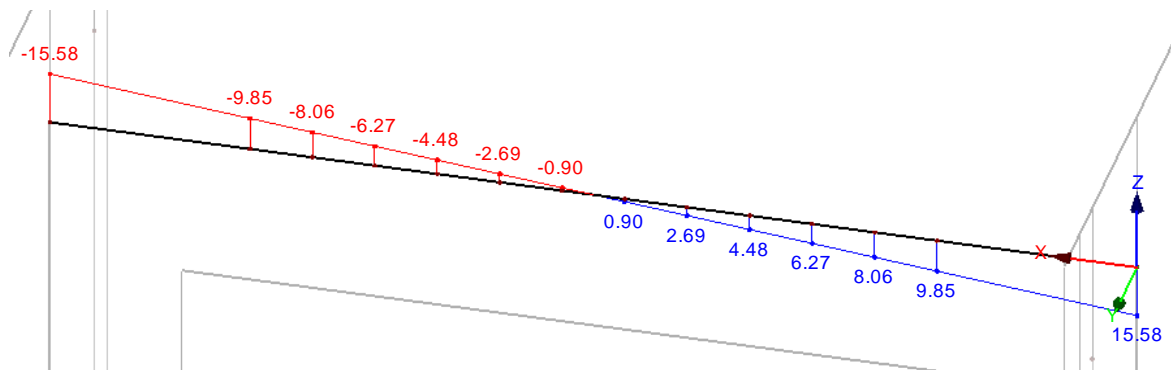
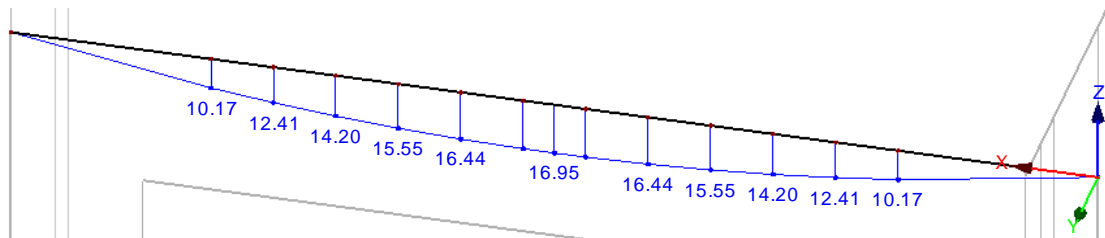


Abbildung 6.19: Querträger geschlossen [QT] – Vorspannung – Eigengewicht

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}}$$

SchnittgrößenNormalkraft N_{Ed} [kN]Abbildung 6.20: Querträger geschlossen [QT] – Vorspannung – Normalkraft N_{Ed} Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]Abbildung 6.21: Querträger geschlossen [QT] – Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$ Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]Abbildung 6.22: Querträger geschlossen [QT] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.7 [QT]_{geschlossen} Versuchsdurchführung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

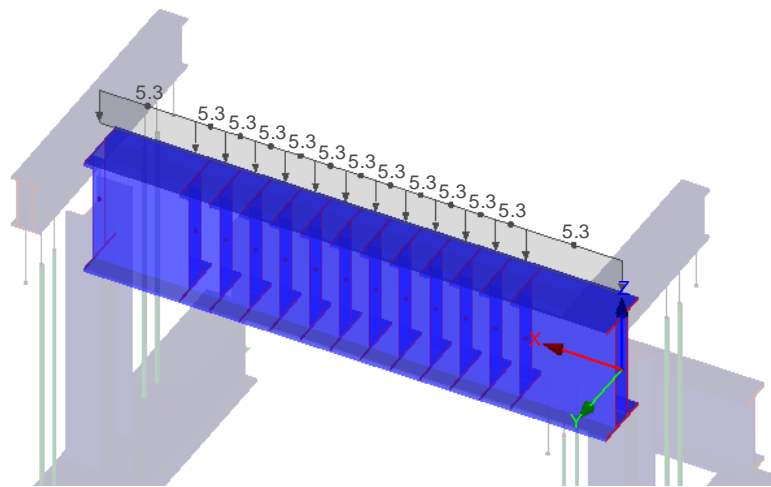


Abbildung 6.23: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht

⊕

Lastfall Versuchsdurchführung [kN]

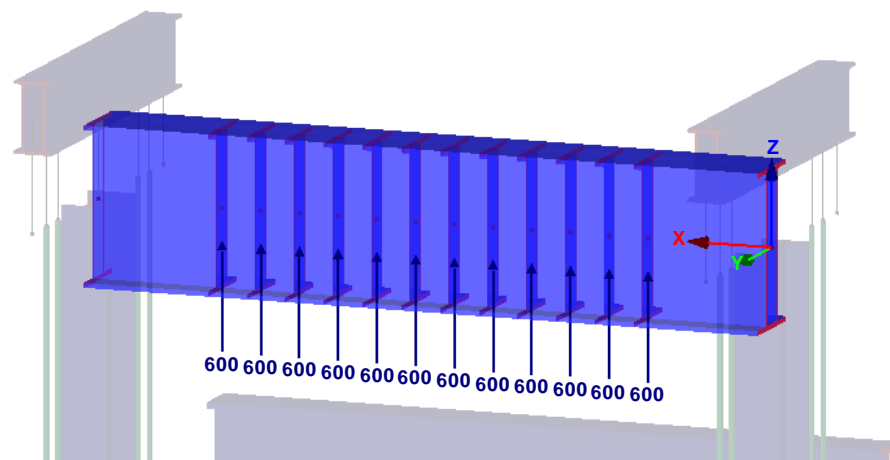


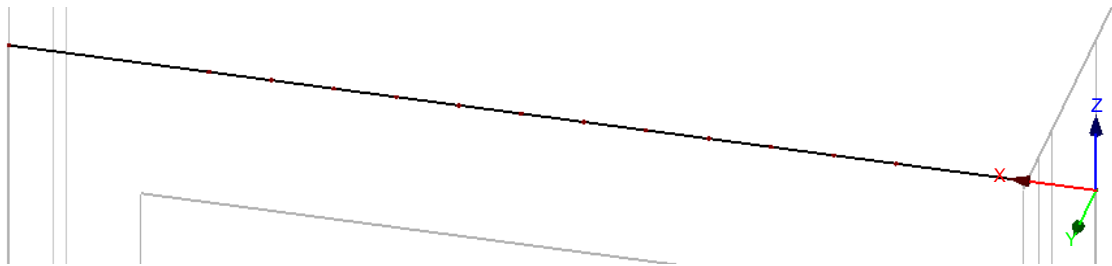
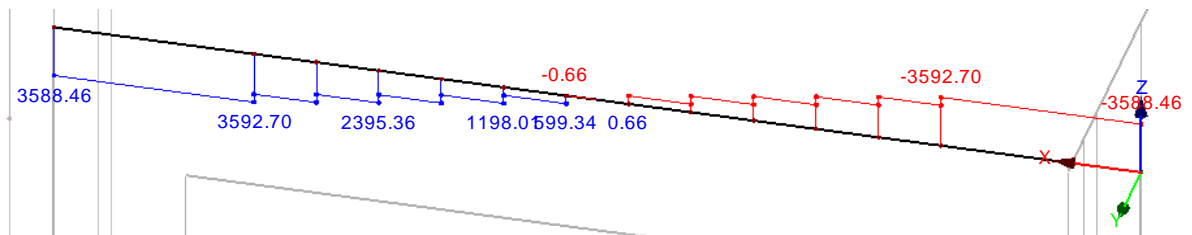
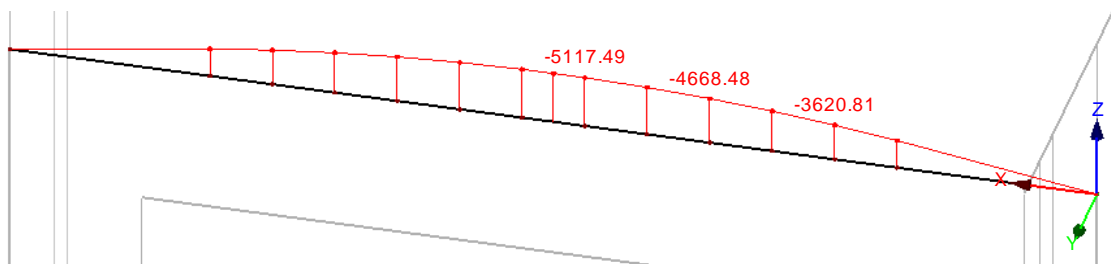
Abbildung 6.24: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Pressenkräfte

$$P_{k, \text{Pressenkraft}} = \frac{7.200}{12} = 600 \text{ kN (nach Punkt 2.2.2)}$$

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Pressenkraft bei Traglast}}$$

SchnittgrößenNormalkraft N_{Ed} [kN]Abbildung 6.25: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Normalkraft N_{Ed} Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]Abbildung 6.26: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$ Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]Abbildung 6.27: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.8 [QT]_{offen} Vorspannung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

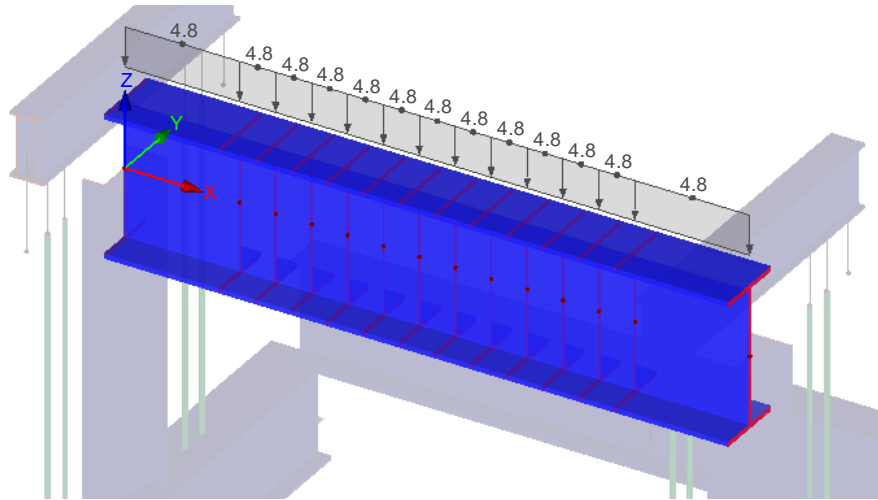
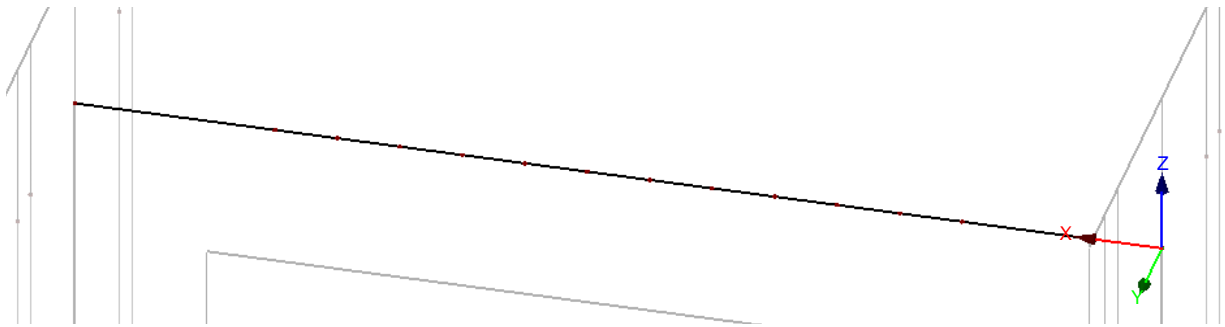
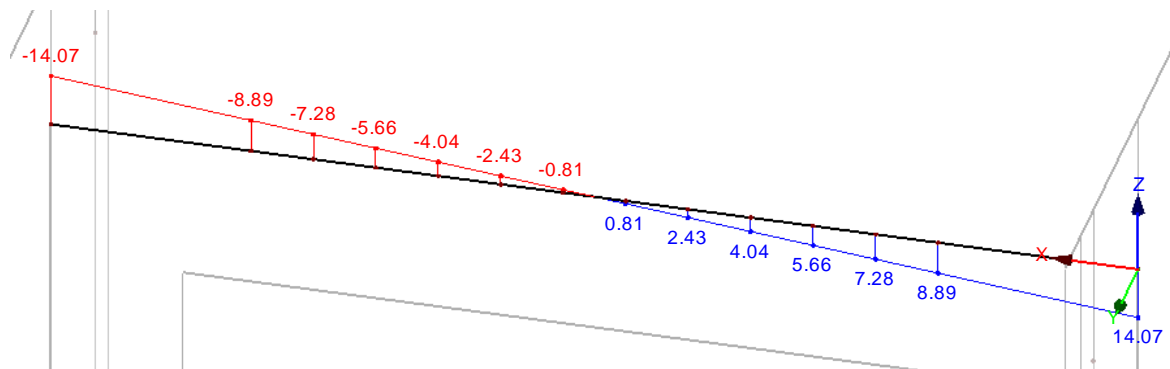
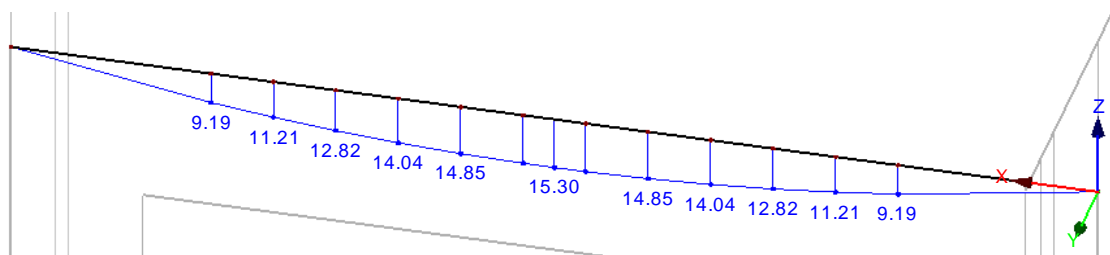


Abbildung 6.28: Querträger offen [QT] – Vorspannung – Eigengewicht

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}}$$

SchnittgrößenNormalkraft N_{Ed} [kN]Abbildung 6.29: Querträger offen [QT] – Vorspannung – Normalkraft N_{Ed} Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]Abbildung 6.30: Querträger offen [QT] – Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$ Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]Abbildung 6.31: Querträger offen [QT] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.9 [QT]_{offen} Versuchsdurchführung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

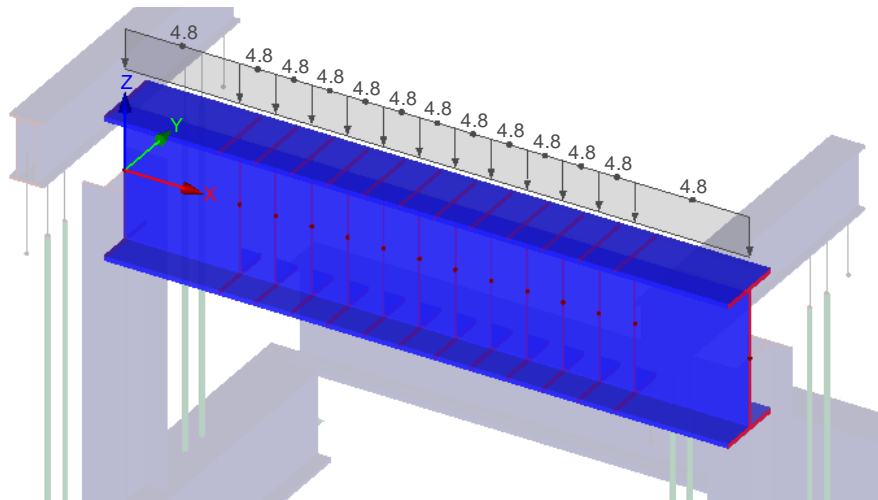


Abbildung 6.32: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht



Lastfall Versuchsdurchführung [kN]

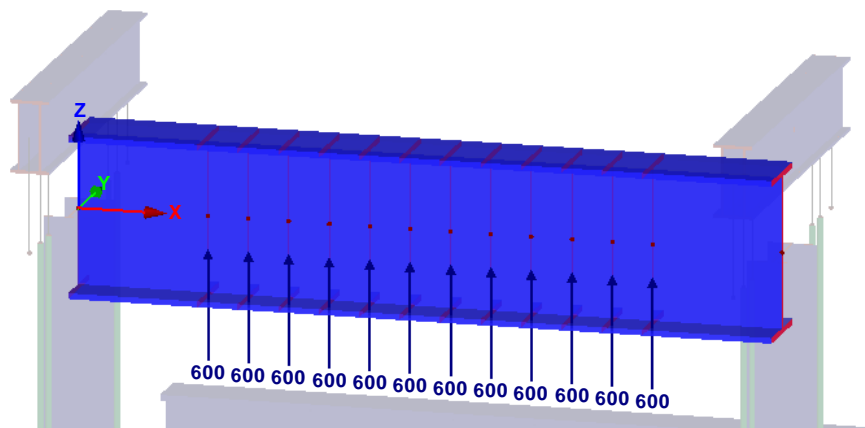


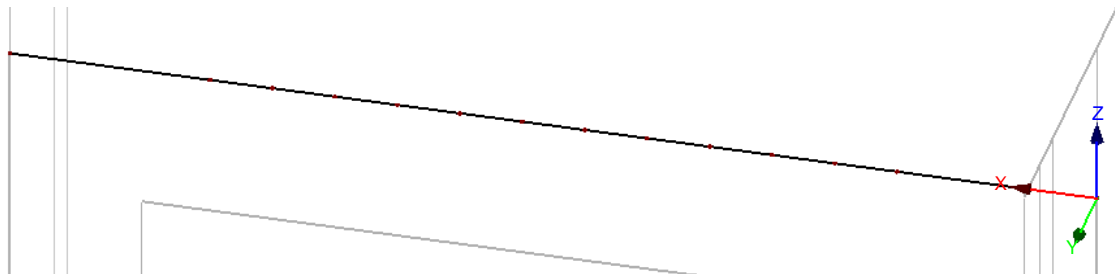
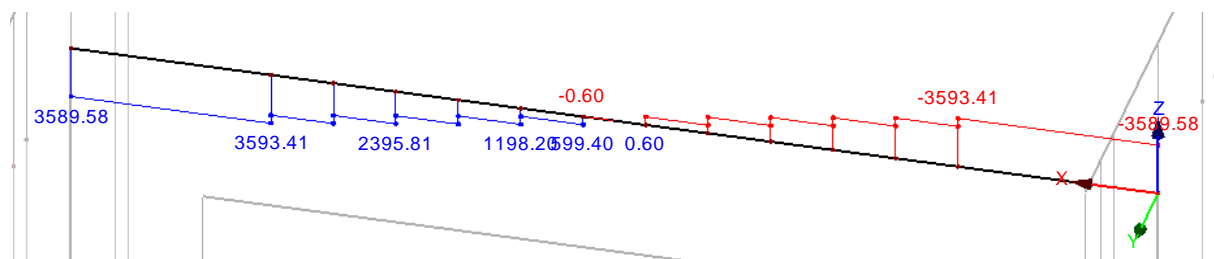
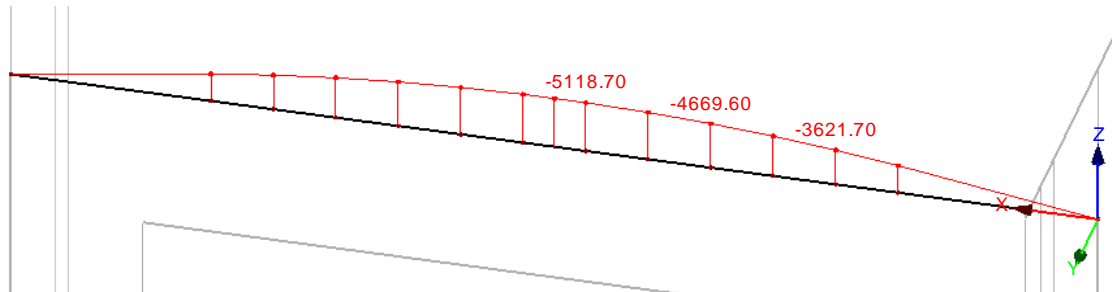
Abbildung 6.33: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Pressenkräfte

$$P_{k, \text{Pressenkraft}} = \frac{7.200}{12} = 600 \text{ kN}$$

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

SchnittgrößenNormalkraft N_{Ed} [kN]Abbildung 6.34: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Normalkraft N_{Ed} Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]Abbildung 6.35: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$ Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]Abbildung 6.36: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.10 [VT] Vorspannung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

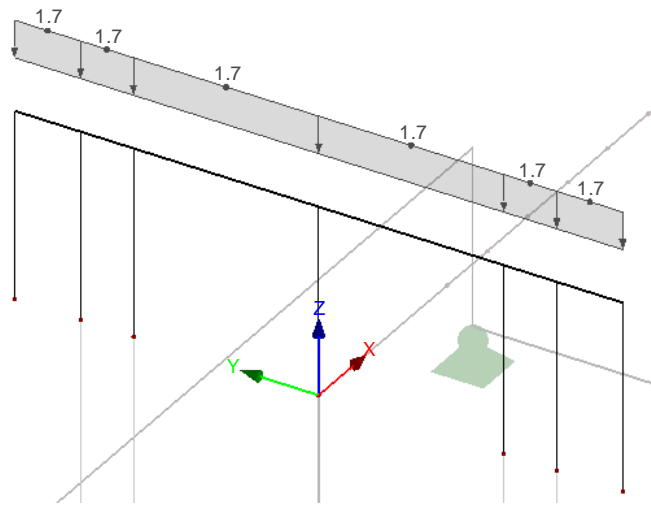


Abbildung 6.37: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Eigengewicht

⊕

Lastfall Vorspannung [kN]

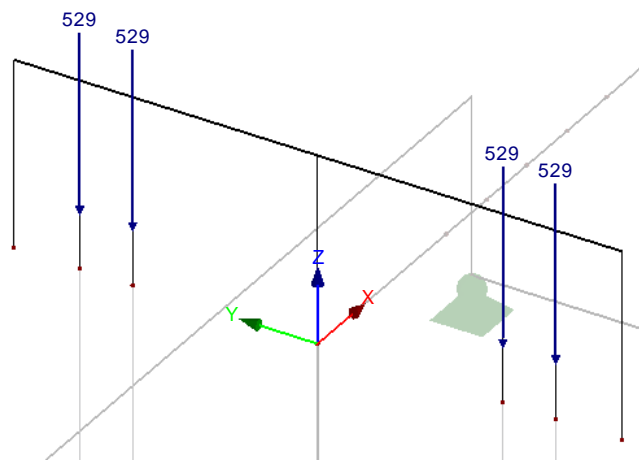


Abbildung 6.38: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Vorspannkräfte

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$$

Schnittgrößen

Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]

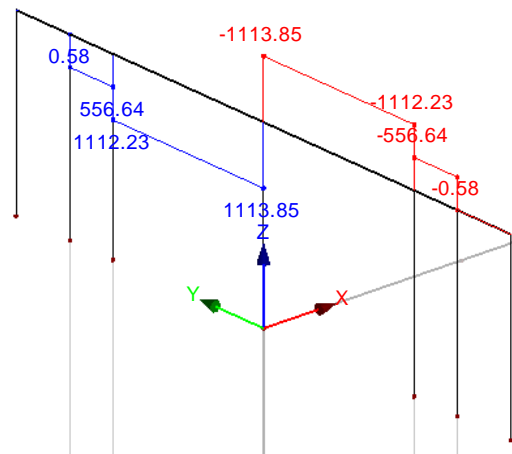


Abbildung 6.39: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$

Im Lastfall Vorspannung wird eine Kraft von $2 \cdot 1.113,85 \text{ kN} = 2.227,70 \text{ kN}$ durch den Querträger [QT] in die Zugstütze [ZS] abgeleitet.

Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]

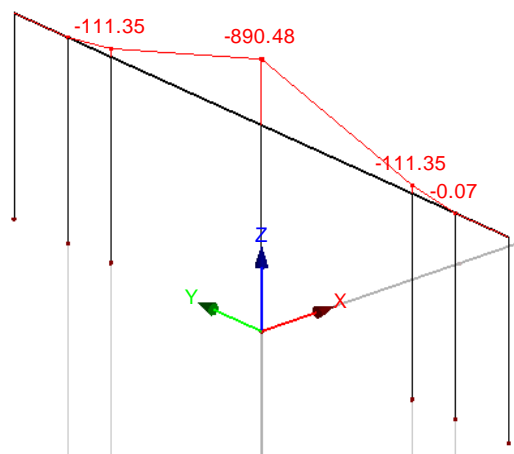


Abbildung 6.40: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.11 [VT] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

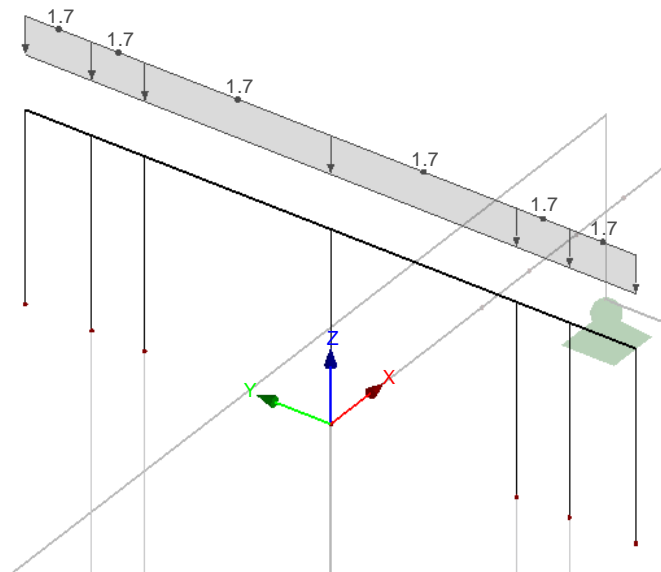


Abbildung 6.41: Vorspanträger [VT] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht



Lastfall Versuchsdurchführung [kN]

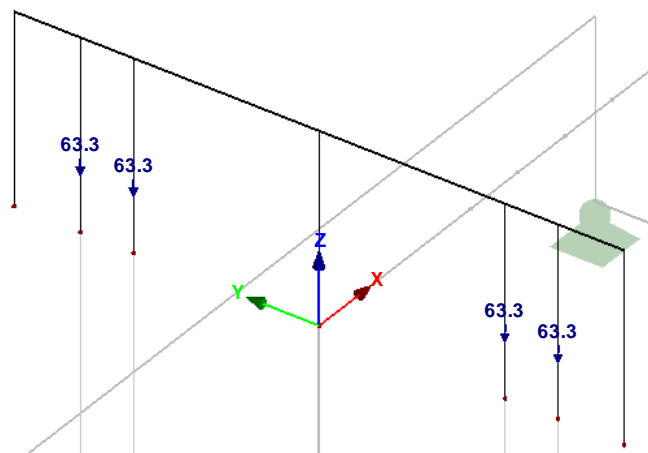


Abbildung 6.42: Vorspanträger [VT] – Versuchsdurchführung – Versuchskräfte

(siehe Punkt 6.3.4)

$$P_{k,Spannstangen} = P_{k,Zug} \cdot \frac{A_{S,Spannstangen}}{A_{[ZS]} + 4 \cdot A_{S,Spannstangen}} = 1.484 \cdot \frac{8,17}{159 + 4 \cdot 8,17} = 63,25 \text{ kN}$$

Lastfall Vorspannung [kN]

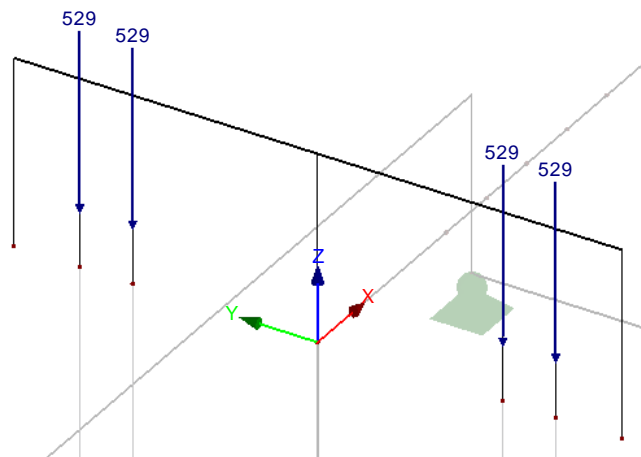


Abbildung 6.43: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Vorspannkräfte

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot P_{k,\text{Spannstangen}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$$

Schnittgrößen

Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]

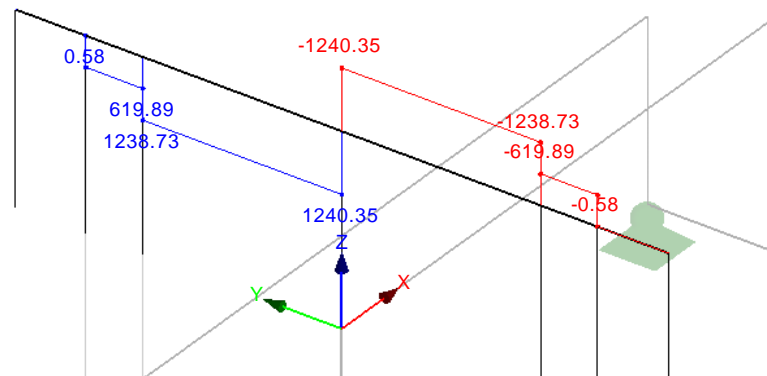


Abbildung 6.44: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$

Im Lastfall Versuchsdurchführung wird eine Kraft von $2 \cdot 1.240,35 \text{ kN} = 2.480,70 \text{ kN}$ in den [QT]-Obergurt eingeleitet.

Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]

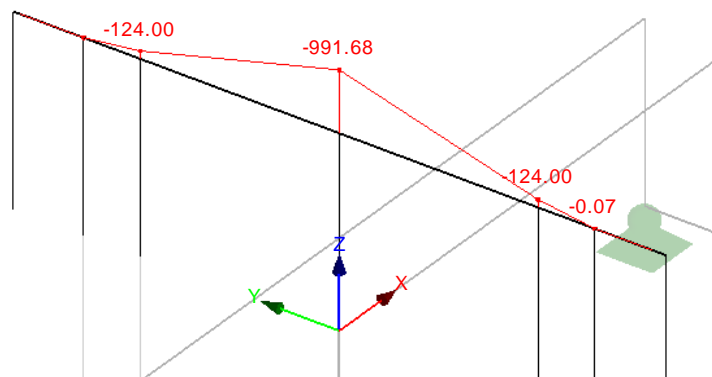


Abbildung 6.45: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.12 [VTB] FLS Vorspannung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]



Abbildung 6.46: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Eigengewicht

⊕

Lastfall FLS Vorspannung [kN]

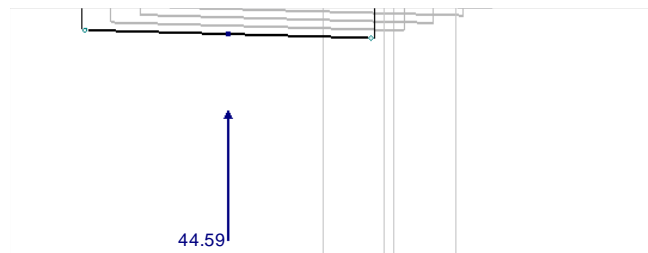


Abbildung 6.47: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Vorspannung FLS

$P_{FLS,Vorspannung,Platte}$ siehe Punkt 2.2.5

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$L_{K_{FLS,Vorspannung}} = 1,00 \cdot L_{F_{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot P_{FLS,Vorspannung,Platte}$$

Schnittgrößen

Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]

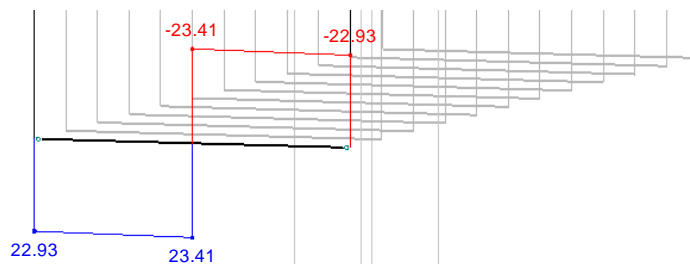


Abbildung 6.48: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed}$

Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]

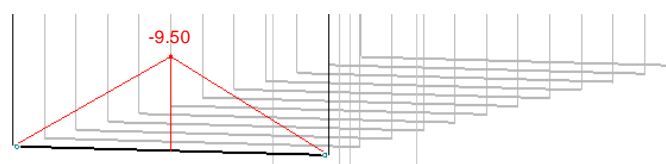


Abbildung 6.49: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.13 [WB1] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

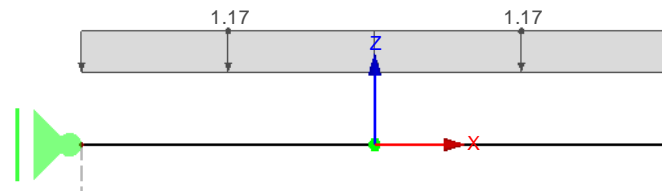


Abbildung 6.50: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht

⊕

Lastfall Versuchsdurchführung [kN]

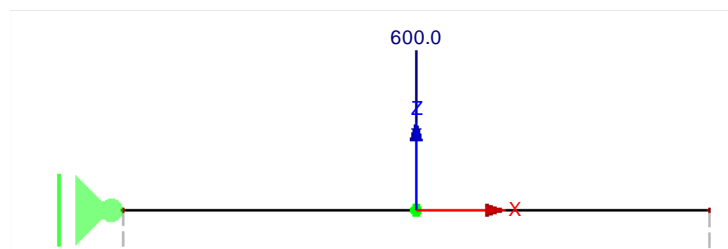


Abbildung 6.51: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Pressenkraft

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

Schnittgrößen

Querkraft $V_{z,Ed}$ [kN]

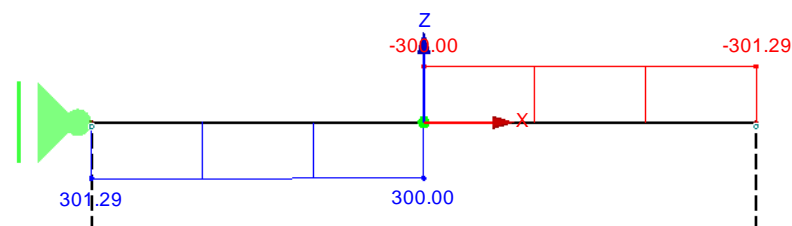


Abbildung 6.52: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$

Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]

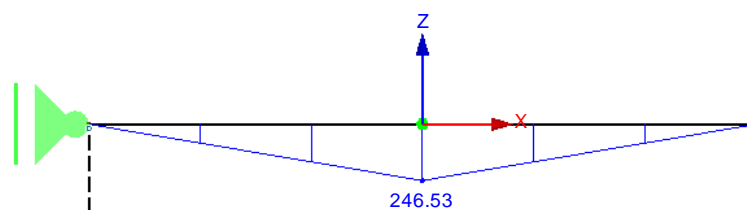


Abbildung 6.53: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.14 [WB2] Versuchsdurchführung

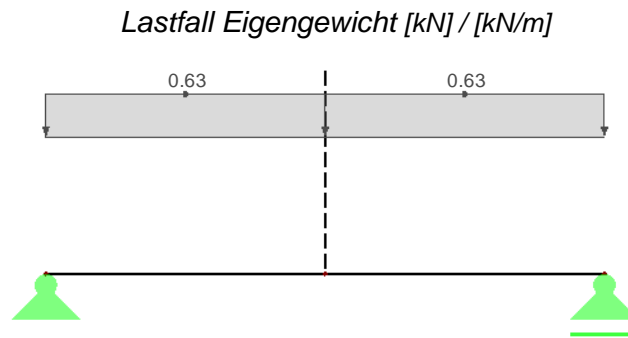
Lastfälle

Abbildung 6.54: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht

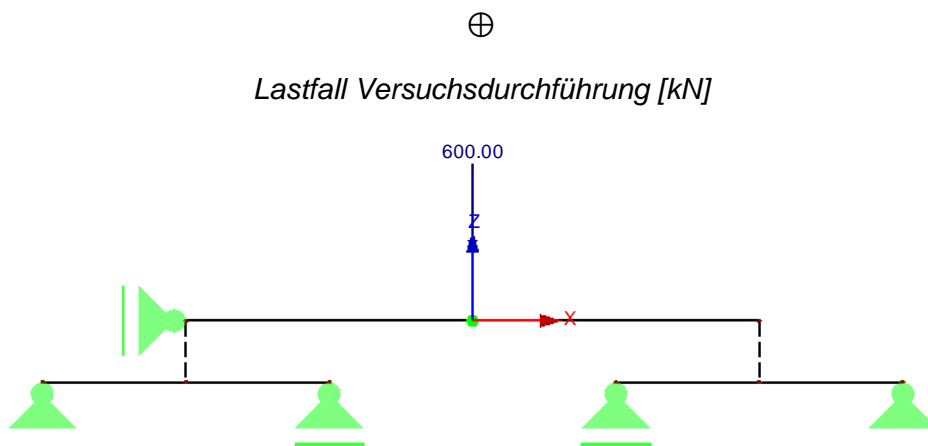
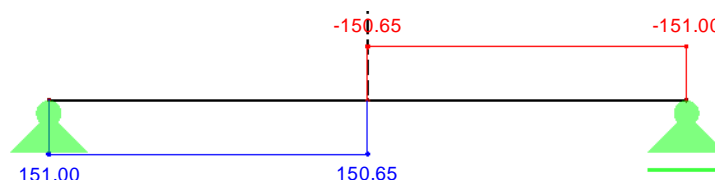
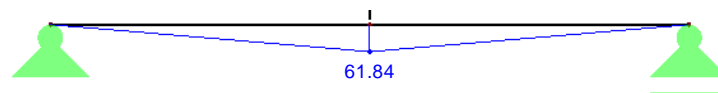


Abbildung 6.55: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Pressenkraft

Lastfallkombination*Versuchsdurchführung*

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

SchnittgrößenQuerkraft $V_{z,Ed}$ [kN]Abbildung 6.56: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Querkraft $V_{z,Ed}$ Biegemoment $M_{y,Ed}$ [kNm]Abbildung 6.57: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Biegemoment $M_{y,Ed}$

6.3.15 [ZS] Vorspannung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

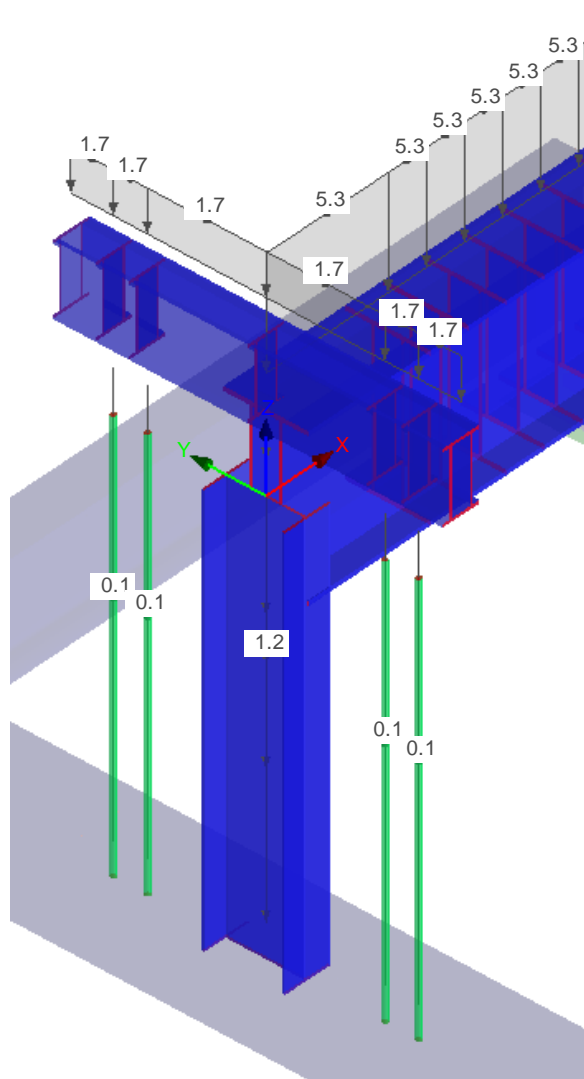


Abbildung 6.58: Zugstütze [ZS] – Vorspannung – Eigengewicht

Lastfall Vorspannung [kN]

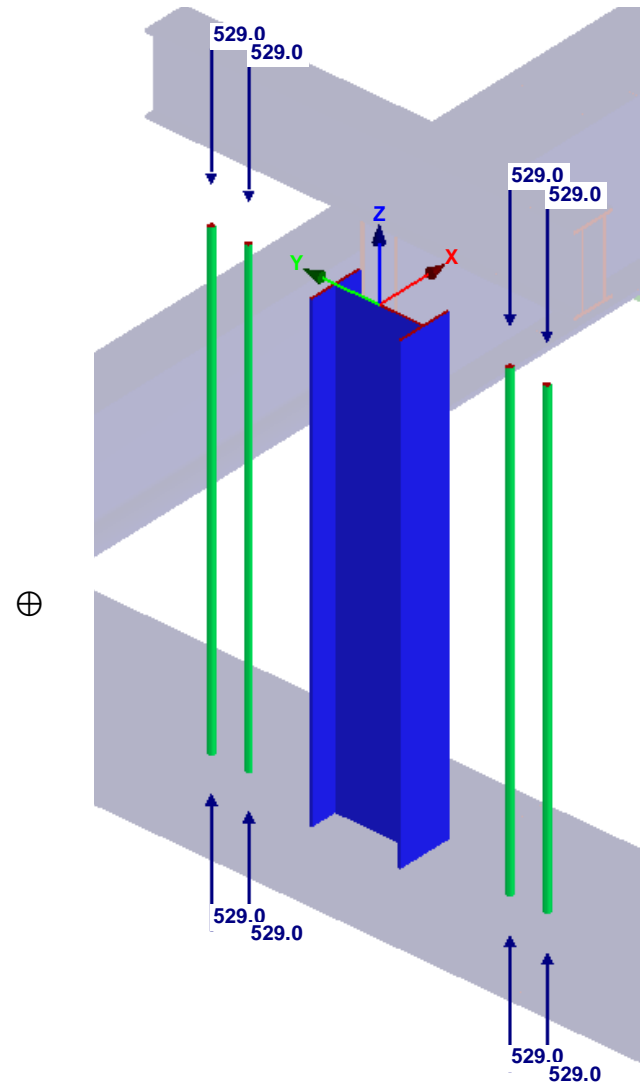
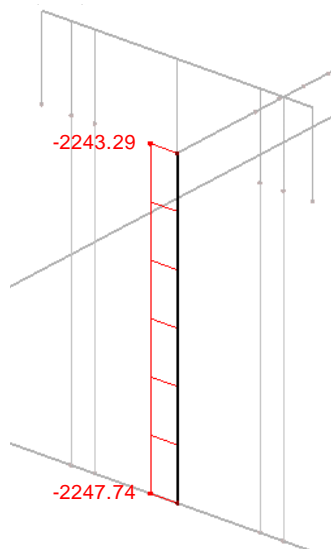
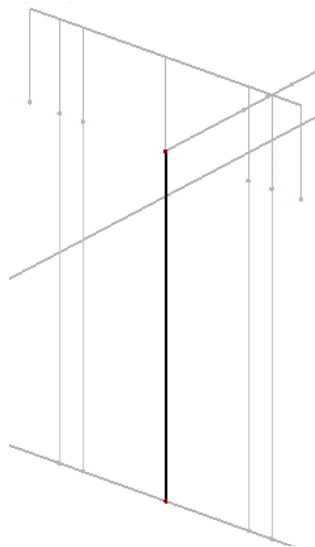
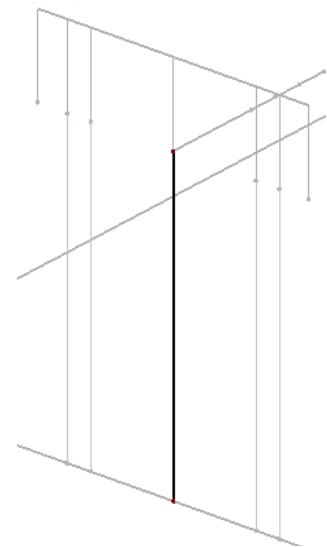


Abbildung 6.59: Zugstütze [ZS] – Vorspannung – Vorspannkräfte

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,35 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$$

SchnittgrößenNormalkraft N_{Ed} [kN]**Abbildung 6.60: Zugstütze [ZS]
– Vorspannung – Normalkraft
 N_{Ed}** Querkraft $V_{z,Ed} / V_{y,Ed}$ [kN]**Abbildung 6.61: Zugstütze [ZS] –
Vorspannung – Querkraft $V_{z,Ed} / V_{y,Ed}$** Biegemoment $M_{y,Ed} / M_{z,Ed}$ [kNm]**Abbildung 6.62: Zugstütze [ZS] –
Vorspannung – Biegemoment $M_{y,Ed} / M_{z,Ed}$**

6.3.16 [ZS] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

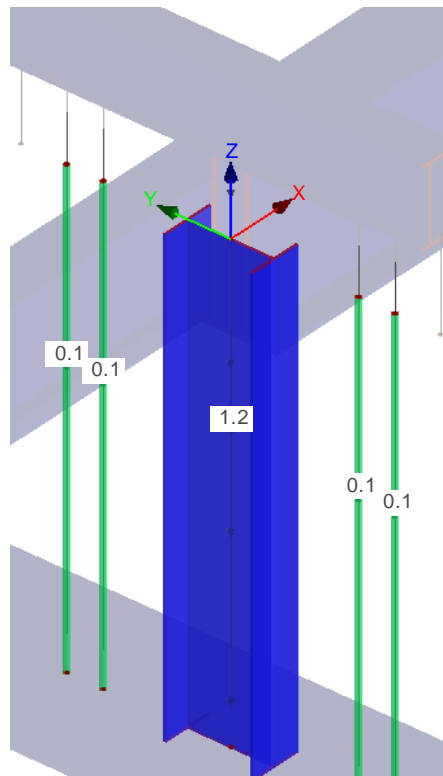


Abbildung 6.63: Zugstütze [ZS] – Versuchsdurchführung – Eigengewicht

Lastfall Versuchsdurchführung [kN]

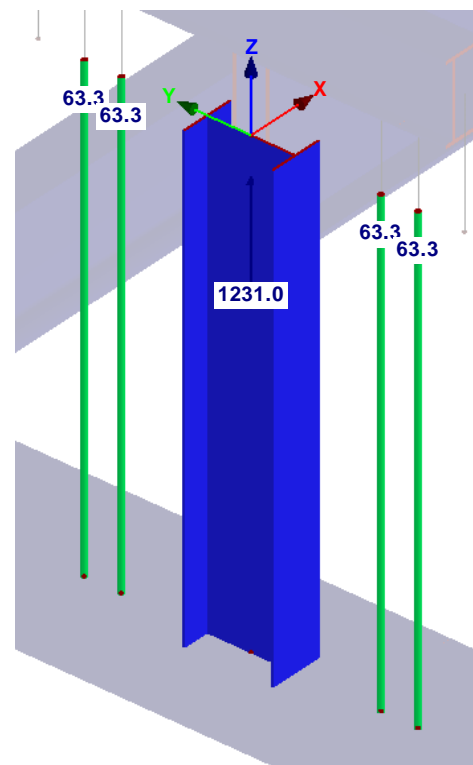


Abbildung 6.64: Zugstütze [ZS] – Versuchsdurchführung – Versuchskräfte

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

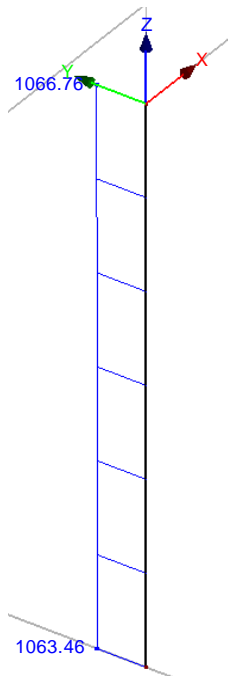
SchnittgrößenNormalkraft N_{Ed} [kN]

Abbildung 6.65: Zugstütze [ZS] –
Versuchsdurchführung –
Normalkraft N_{Ed}

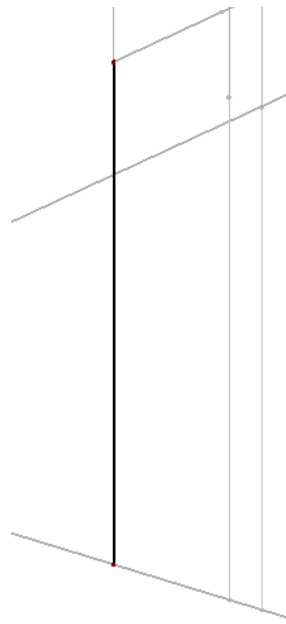
Querkraft $V_{z,Ed} / V_{y,Ed}$ [kN]

Abbildung 6.66: Zugstütze [ZS] –
Versuchsdurchführung –
Querkraft $V_{z,Ed} / V_{y,Ed}$

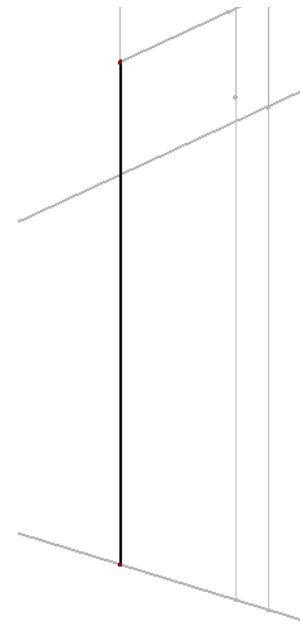
Biegemoment $M_{y,Ed} / M_{z,Ed}$ [kNm]

Abbildung 6.67: Zugstütze [ZS] –
Versuchsdurchführung –
Biegemoment $M_{y,Ed} / M_{z,Ed}$

6.4 Querschnittsnachweise

6.4.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Abschnitte beinhalten einen Auszug der maßgebenden Spannungsausnutzungen aller Bauteile.

Die einwirkenden Spannungen werden elastisch ermittelt. Aus den einwirkenden Biegemomenten sowie der Normalkraft und dem Wölbmoment werden die Biegenormalspannungen in Stablängsrichtung ermittelt. Die Stäbe der gegenständlichen Konstruktion weisen ausschließlich ein Biegemoment um die starke Querschnitts-Hauptachse auf bzw. sind durch eine zentrische Normalkraft beansprucht. Daher kann diese Formel vereinfacht werden. Weiters kann auch die Berechnung der Schubspannungen auf die Beanspruchung zufolge der in z-Richtung wirkenden Querkräfte vereinfacht werden.

Um die beiden Spannungskomponenten Normal- und Schubspannungen zu überlagern bedient man sich der Vergleichsspannung nach Huber-Mises-Henckey. Diese Hypothese ist zur Anwendung bei duktilen Werkstoffen geeignet.

Spannungsberechnung

- Normalspannungen (exakt)

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z_P - \frac{M_{z,Ed}}{I_z} \cdot y_P + \frac{M_{\omega,Ed}}{I_{\omega}} \cdot \omega_P$$

- Normalspannungen (vereinfacht)

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{y,Ed}}{I_y} \cdot z_P$$

- Schubspannungen (vereinfacht)

$$\tau_{Ed} = -\frac{V_{z,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t}$$

- Vergleichsspannungen

$$\sigma_{v,Ed} = \sqrt{\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2}$$

- Nachweisformat

$$\sigma_{v,Ed} \leq f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}}$$

Nachweis der Schweißnähte nach dem vereinfachten Verfahren – Kehlnähte

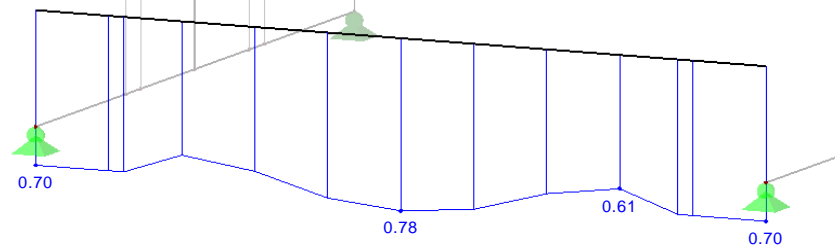
- Vergleichswert der Beanspruchungen in der Schweißnaht

$$\sigma_{w,Ed} = \sqrt{\sigma_{\perp,Ed}^2 + \tau_{\parallel,Ed}^2 + \tau_{\perp,Ed}^2}$$

- Nachweisformat

$$\sigma_{w,Ed} \leq f_{vw,Rd} = \frac{f_{u,k}}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 251,47 \text{ N/mm}^2$$

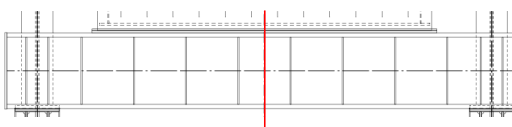
6.4.2 [AT] Versuchsdurchführung

Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)Abbildung 6.68: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ Lage $x = 2,175 \text{ m}$ – Feldmitte

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte

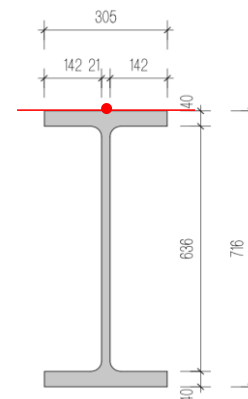
$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	2,175 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$

Einwirkungen (Feldmitte)

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	2.509,96 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft
 Querkraft in y-Richtung
 Querkraft in z-Richtung
 Biegemoment um die y-Achse
 Biegemoment um die z-Achse
 Torsionsmoment
 primäres Torsionsmoment
 sekundäres Torsionsmoment
 Wölbmoment



Querschnittskennwerte

$A =$	383,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	329.300 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	-35,80 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	18.800 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	1.590 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	21.400.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$t =$	305,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	-272,87 N/mm ²	
$\sigma_{z,Ed} =$	-11,68 N/mm ²	LD _{U5} 08 - Fläche A ₄
$\tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,75 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

6.4.3 [LT] Vorspannung

Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)

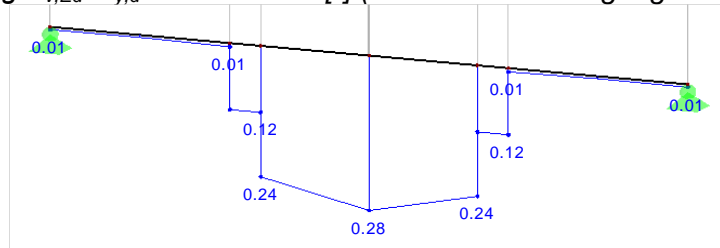


Abbildung 6.69: Längsträger [LT] – Vorspannung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$

Lage $x = 2,640 \text{ m}$ – Feldmitte

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²	
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	
$E =$	210.000 N/mm ²	
$\gamma_{M0} =$	1,00	
$x =$	2,640 m	

Einwirkungen (Feldmitte)

$N_{Ed} =$	0,00 kN	Normalkraft	
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN	Querkraft in y-Richtung	
$V_{z,Ed} =$	1.123,87 kN	Querkraft in z-Richtung	
$M_{y,Ed} =$	927,22 kNm	Biegemoment um die y-Achse	
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm	Biegemoment um die z-Achse	
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm	Torsionsmoment	
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm	primäres Torsionsmoment	
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm	sekundäres Torsionsmoment	
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²	Wölbmoment	

Querschnittskennwerte

$A =$	508,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	370.377 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	-35,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	65.353 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	98.840 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	29.030.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$b =$	420,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	-87,62 N/mm ²	LD _{U5} 05 - Fläche A_9 / A_{10}
$\sigma_{z,Ed} =$	-58,86 N/mm ²	
$\tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	

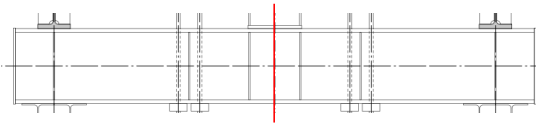
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,22 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Lage $x = 2,640 \text{ m}$ – Feldmitte

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung)

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	2,640 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ *Einwirkungen (Feldmitte)*

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	1.123,87 kN
$M_{y,Ed} =$	927,22 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

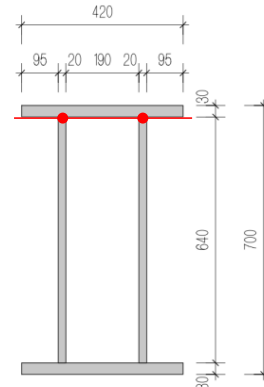
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

*Querschnittskennwerte*

$A =$	508,00 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-4.221,00 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	370.377 cm ⁴
$z_p =$	-32,00 cm
$A_{yy} = I_z =$	65.353 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	98.840 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	29.030.000 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$2 \cdot a =$	10,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)

statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Torsionsträgheitsmoment

Wölbwiderstand

Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes

Schweißnahtstärke (2 · Kehlnahtstärke)

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-180,83 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	128,08 N/mm ²

keine Berücksichtigung von Normalspannungen parallel zur Schweißnaht

LD_{us}05 - Fläche A_3 / A_7

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,88 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

6.4.4 [LT] Versuchsdurchführung

Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)

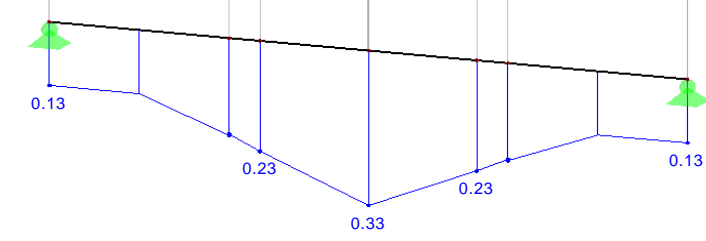


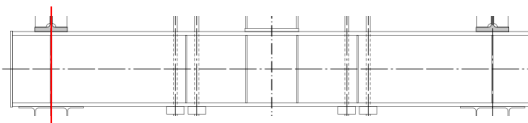
Abbildung 6.70: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$

Lage $x = 0,000 \text{ m}$ – Auflager

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,000 m

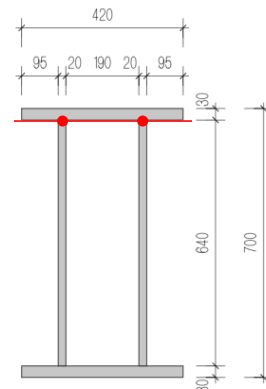


untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$

Einwirkungen (Auflager)

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-628,24 kN
$M_{y,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft
 Querkraft in y-Richtung
 Querkraft in z-Richtung
 Biegemoment um die y-Achse
 Biegemoment um die z-Achse
 Torsionsmoment
 primäres Torsionsmoment
 sekundäres Torsionsmoment
 Wölbmoment



Querschnittskennwerte

$A =$	508,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-4.221,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	370.377 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	-32,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	65.353 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	98.840 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	29.030.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$2 \cdot a =$	10,00 mm	Schweißnahtstärke (2 · Kehlnahtstärke)

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	keine Berücksichtigung von Normalspannungen parallel zur Schweißnaht
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-167,85 N/mm ²	LD _{us} 07 - Fläche A ₁
$\tau_{\parallel,Ed} =$	71,60 N/mm ²	

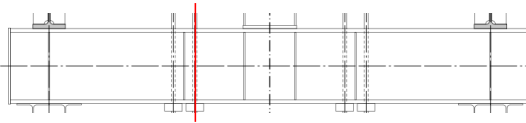
$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,73 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

Lage $x = 1,360 \text{ m}$ – Spannglieddurchführung

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung und der Spannungskonzentration zufolge Spannglieddurchführung)

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	1,360 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Durchführung Spannstrange)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-609,85 kN
$M_{y,Ed} =$	-733,75 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

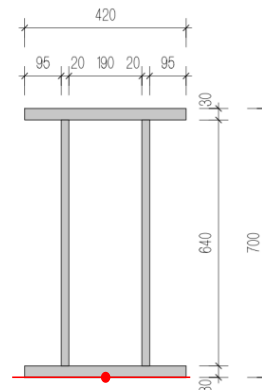
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	508,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	370.377 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	35,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	65.353 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	98.840 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	29.030.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$b =$	40,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$3 \cdot \sigma_{x,Ed} =$	-208,01 N/mm ²	
$\sigma_{z,Ed} =$	-17,21 N/mm ²	LD _{us} 04 - Fläche A ₁
$\tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	

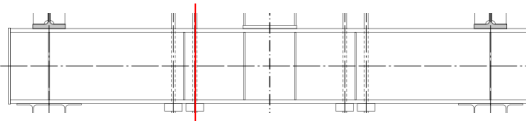
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,56 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Lage $x = 1,360 \text{ m}$ – Spannglieddurchführung

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung und der Querschnittsschwächung zufolge Spannglieddurchführung)

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	1,360 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Auflager)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-609,85 kN
$M_{y,Ed} =$	-733,75 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

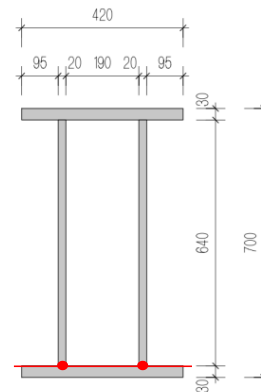
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

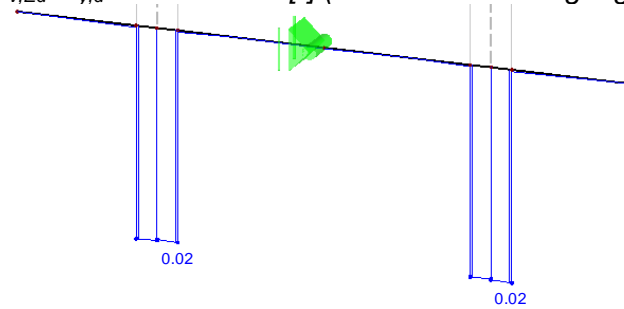
$A =$	508,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-4.221,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	343.443 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	32,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	65.353 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	98.840 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	29.030.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$2 \cdot a =$	10,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-137,00 N/mm ²	LD _{us} 04 - Fläche A ₂
$\tau_{\parallel,Ed} =$	74,95 N/mm ²	

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,62 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

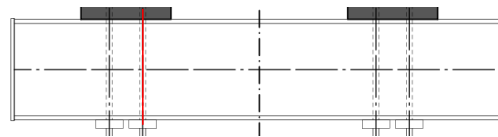
6.4.5 [LTu] FLS Vorspannung

Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)Abbildung 6.71: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ **Lage $x = 0,670$ m – Spannglieddurchführung**

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung und der Spannungskonzentration sowie Querschnittsschwächung zufolge Spannglieddurchführung)

Materialkennwerte

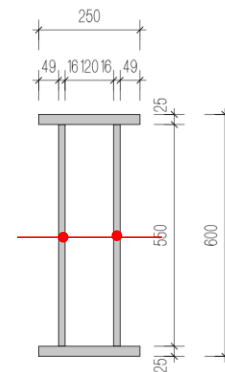
$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,670 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000$ m

Einwirkungen (Durchführung Spannstange)

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-68,75 kN
$M_{y,Ed} =$	6,48 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft
Querkraft in y-Richtung
Querkraft in z-Richtung
Biegemoment um die y-Achse
Biegemoment um die z-Achse
Torsionsmoment
primäres Torsionsmoment
sekundäres Torsionsmoment
Wölbmoment



Querschnittskennwerte

$A =$	301,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	3.006,88 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	131.221 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	0,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	14.686 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	29.959 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	4.784.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$2 \cdot t =$	6,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	0,00 N/mm ²	
$\sigma_{z,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$\tau_{Ed} =$	26,26 N/mm ²	

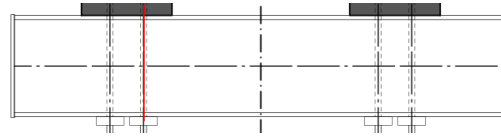
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,13 \leq 1,00
-----------------------------	------------------

Lage $x = 0,670 \text{ m}$ – Spannglieddurchführung

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung und der Querschnittsschwächung zufolge Spannglieddurchführung)

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,670 m

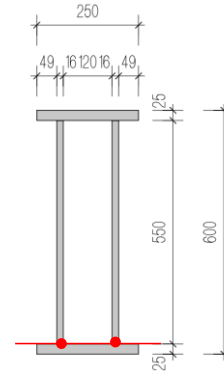


untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$

Einwirkungen (Durchführung Spannstange)

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-68,75 kN
$M_{y,Ed} =$	6,48 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft
 Querkraft in y-Richtung
 Querkraft in z-Richtung
 Biegemoment um die y-Achse
 Biegemoment um die z-Achse
 Torsionsmoment
 primäres Torsionsmoment
 sekundäres Torsionsmoment
 Wölbmoment



Querschnittskennwerte

$A =$	301,00 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	1.796,88 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	131.221 cm ⁴
$z_p =$	27,50 cm
$A_{yy} = I_z =$	14.686 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	29.959 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	4.784.000 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$2 \cdot a =$	6,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
 statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
 statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
 Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
 z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
 Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
 y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
 Torsionsträgheitsmoment
 Wölbwiderstand
 Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
 Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	15,69 N/mm ²

optional

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,06 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

6.4.6 [QT]_{geschlossen} Versuchsdurchführung

Aus dem Lastfall Vorspannung resultieren an den Auflagern des Querträgers lediglich Normalspannungen in z-Richtung. Im Lastfall Versuchsdurchführung werden zusätzlich zu den Normalspannungen an den Auflagern zufolge Vorspannung, Biegenormal- und Schubspannungen im Feldbereich induziert, diese werden zu einer Vergleichsspannung nach Huber-Mises-Hencky kombiniert. Diese Vergleichsspannung ist maßgeblich für die Spannungsnachweise. Daher wird für diesen Querschnitt nur der Lastfall „Versuchsdurchführung“ nachgewiesen.

Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)

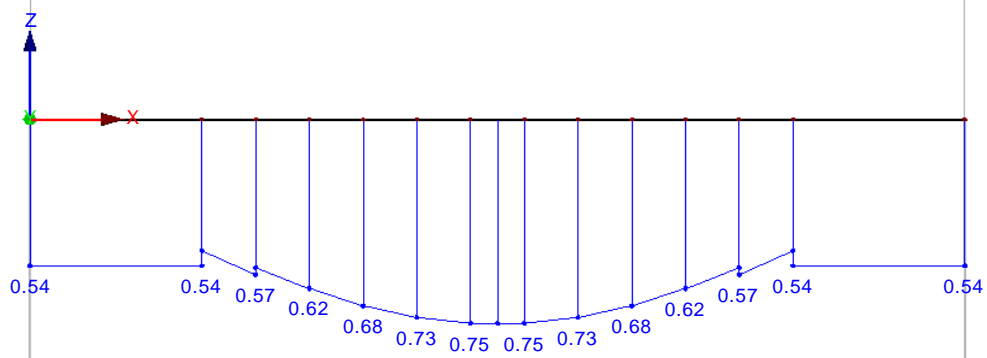


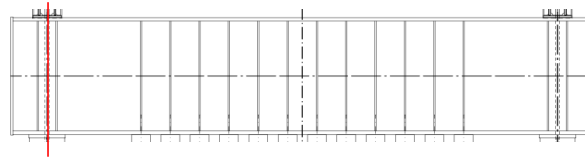
Abbildung 6.72: Querträger geschlossen [QT] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$

Lage $x = 0,000 \text{ m}$ – Auflager

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,000 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Auflager)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	3.588,46 kN
$M_{y,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

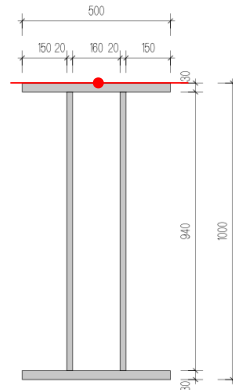
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	676,00 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	0,00 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	982.761 cm ⁴
$z_p =$	-50,00 cm
$A_{yy} = I_z =$	93.081 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	113.255 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	130.700.000 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$b =$	500,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)

statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Torsionsträgheitsmoment

Wölbwiderstand

Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes

Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{z,Ed} =$	-24,74 N/mm ²
$\tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²

LD_{ULS}02 [QT]_{geschlossen} - Fläche A_s

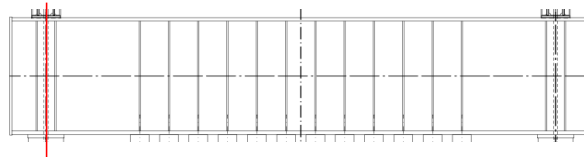
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,07 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Lage $x = 0,000 \text{ m}$ – Auflager

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung)

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,000 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ *Einwirkungen (Auflager)*

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	3.588,46 kN
$M_{y,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

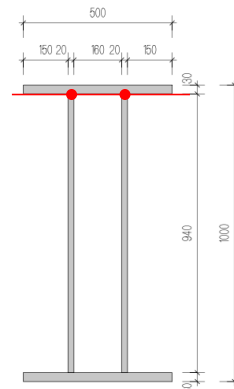
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

*Querschnittskennwerte*

$A =$	676,00 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-7.275,00 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	982.761 cm ⁴
$z_p =$	-47,00 cm
$A_{yy} = I_z =$	93.081 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	113.255 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	130.700.000 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$2 \cdot a =$	16,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)

statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Torsionsträgheitsmoment

Wölbwiderstand

Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes

Schweißnahtstärke (2 · Kehlnahtstärke)

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-166,33 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	166,02 N/mm ²

keine Berücksichtigung von Normalspannungen parallel zur Schweißnaht

LD_{U15}02 [QT]_{geschlossen} - Fläche A₃

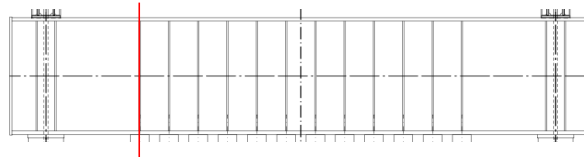
$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,93 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

Lage $x = 0,800 \text{ m}$ – Endpressen

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung)

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,800 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Feldmitte, Presse)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-3.592,70 kN
$M_{y,Ed} =$	-2.872,46 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

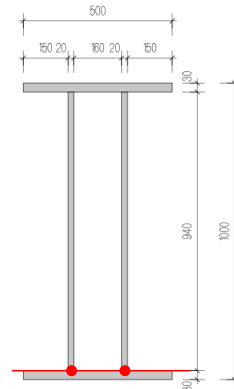
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	676,00 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	7.275,00 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	982.761 cm ⁴
$z_p =$	47,00 cm
$A_{yy} = I_z =$	93.081 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	113.255 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	130.700.000 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$2 \cdot a =$	16,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)

statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Torsionsträgheitsmoment

Wölbwiderstand

Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes

Schweißnahtstärke (2 · Kehlnahtstärke)

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	153,69 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	166,22 N/mm ²

keine Berücksichtigung von Normalspannungen parallel zur Schweißnaht

LD_{U15}01 [QT]_{geschlossen} - 2x Fläche $A_1 = A_w$

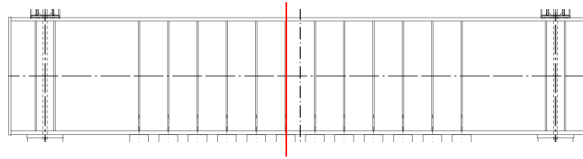
$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,90 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

Lage $x = 2,050 \text{ m}$ – Feldmitte

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung)

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	2,050 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Feldmitte, Presse)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-599,34 kN
$M_{y,Ed} =$	-5.117,49 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

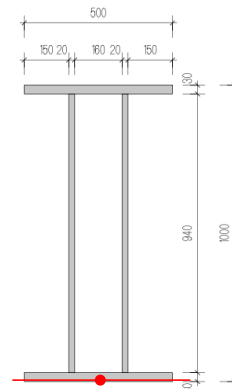
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wälbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	676,00 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	0,00 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	982.761 cm ⁴
$z_p =$	50,00 cm
$A_{yy} = I_z =$	93.081 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	113.255 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	130.700.000 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$b =$	500,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)

statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Torsionsträgheitsmoment

Wölbwiderstand

Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes

Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	-260,36 N/mm ²
$\sigma_{z,Ed} =$	22,58 N/mm ²
$\tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²

LD_{U15}01 [QT]_{geschlossen} - Fläche $A_{Lasteinleitungsplatte}$

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,77 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

6.4.7 [QT]_{offen} Versuchsdurchführung

Beim Lastfall „Vorspannung“ kommt es an den Auflagern des Querträgers lediglich zu Normalspannungen in z-Richtung. Im Lastfall „Versuchsdurchführung“ werden zusätzlich zu den Normalspannungen an den Auflagern zufolge Vorspannung, Biegenormal- und Schubspannungen im Feldbereich induziert, diese werden zu einer Vergleichsspannung nach Huber-Mises-Hencky kombiniert. Diese Vergleichsspannung ist maßgeblich für die Spannungsnachweise. Daher wird für diesen Querschnitt nur der Lastfall „Versuchsdurchführung“ nachgewiesen.

Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)

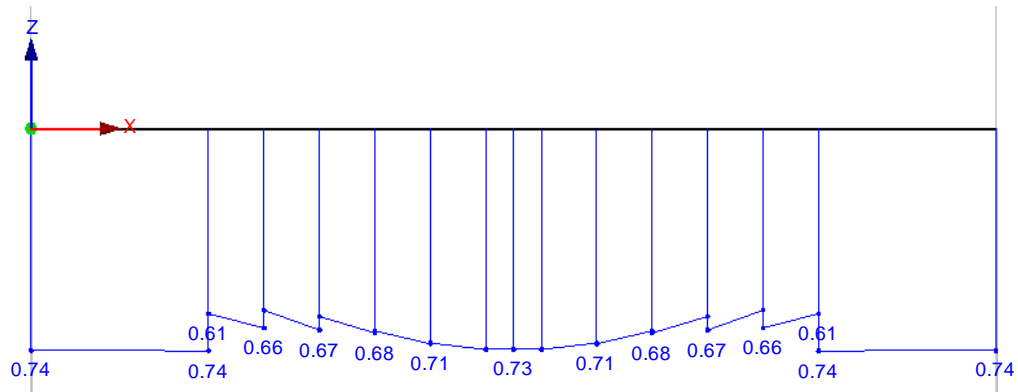


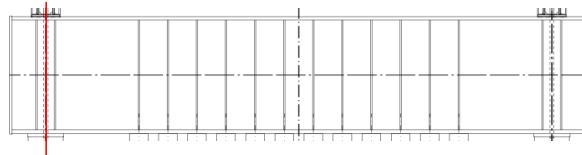
Abbildung 6.73: Querträger offen [QT] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$

Lage $x = 0,000 \text{ m}$ – Auflager

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,000 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Auflager)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	3.589,58 kN
$M_{y,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

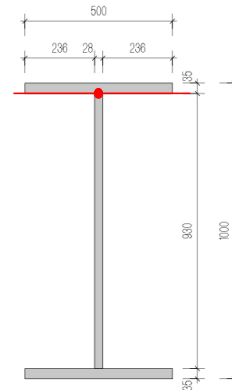
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	610,40 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-8.443,75 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	1.003.000 cm ⁴
$z_p =$	-46,50 cm
$A_{yy} = I_z =$	73.087 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	2.072 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	169.800.000 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$t =$	28,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)

statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Torsionsträgheitsmoment

Wölbwiderstand

Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes

Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{z,Ed} =$	-31,08 N/mm ²
$\tau_{Ed} =$	107,92 N/mm ²

LD_{U.S.02} [QT]_{offen} - Fläche A₄

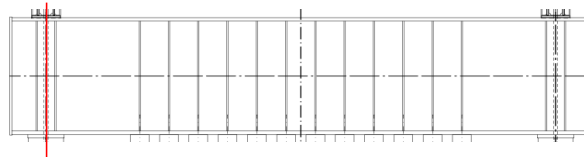
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,53 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Lage $x = 0,000$ m – Auflager

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung)

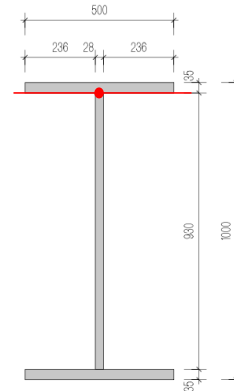
Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,000 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000$ m**Einwirkungen (Auflager)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	3.589,58 kN
$M_{y,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft
 Querkraft in y-Richtung
 Querkraft in z-Richtung
 Biegemoment um die y-Achse
 Biegemoment um die z-Achse
 Torsionsmoment
 primäres Torsionsmoment
 sekundäres Torsionsmoment
 Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	610,40 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-8.443,75 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	1.003.000 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	-46,50 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	73.087 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	2.072 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	169.800.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$2 \cdot a =$	16,00 mm	Schweißnahtstärke (2 · Kehlnahtstärke)

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	keine Berücksichtigung von Normalspannungen parallel zur Schweißnaht
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-54,38 N/mm ²	$LD_{U15}02 [QT]_{\text{offen}}$ - Fläche A_3
$\tau_{\parallel,Ed} =$	188,87 N/mm ²	

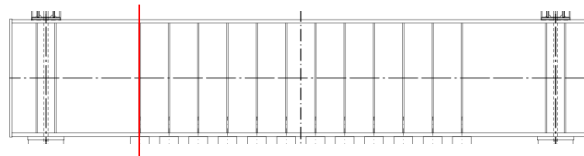
$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,78 \leq 1,00
-------------------------------	------------------

Lage $x = 0,800 \text{ m}$ – Endpressen

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung)

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,800 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ *Einwirkungen (Feldmitte, Presse)*

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-3.593,41 kN
$M_{y,Ed} =$	-2.873,20 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

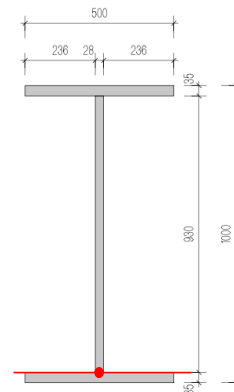
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

*Querschnittskennwerte*

$A =$	610,40 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	8.443,75 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	1.003.000 cm ⁴
$z_p =$	46,50 cm
$A_{yy} = I_z =$	73.087 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	2.072 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	169.800.000 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$2 \cdot a =$	16,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)

statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Torsionsträgheitsmoment

Wölbwiderstand

Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes

Schweißnahtstärke (2 · Kehlnahtstärke)

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	147,64 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	189,07 N/mm ²

keine Berücksichtigung von Normalspannungen parallel zur Schweißnaht

LD_{U15}01 [QT]_{geschlossen} - 2x Fläche $A_1 = A_w$

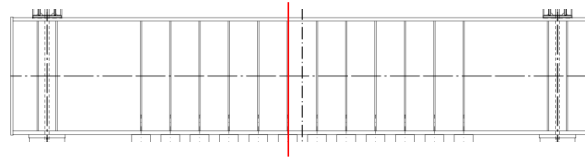
$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,95 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

Lage $x = 2,050 \text{ m}$ – Feldmitte

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

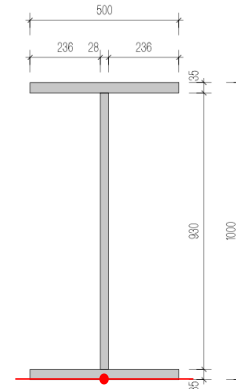
Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	2,050 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Feldmitte, Presse)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	-599,40 kN
$M_{y,Ed} =$	-5.118,70 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft
 Querkraft in y-Richtung
 Querkraft in z-Richtung
 Biegemoment um die y-Achse
 Biegemoment um die z-Achse
 Torsionsmoment
 primäres Torsionsmoment
 sekundäres Torsionsmoment
 Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	610,40 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	1.003.000 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	50,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	73.087 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	2.072 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	169.800.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$b =$	500,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	-255,17 N/mm ²	
$\sigma_{z,Ed} =$	22,58 N/mm ²	LD _{U15} 01 [QT] _{offen} - Fläche $A_{Lasteinleitungsplatte}$
$\tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,75 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

6.4.8 [QT] Torsionsabtragung Querträger

Eine Horizontalkraft quer zur [QT]-Stabachse kann am Untergurt nur dann angreifen wenn sich die Platte unsymmetrisch verformt. Dieses unerwünschte Verhalten wird durch einen sofortigen Versuchsabbruch abgewendet, da die Dichtungen der Pressen beschädigt würden und möglicherweise undicht werden bzw. zerstört werden könnten.

6.4.9 [VT] Versuchsdurchführung – [QT]_{geschlossen}

Aufgrund der großen lokalen Spannungen am Querträger [QT] im Versuch wird der Vorspannträger [VT] nur im Lastfall „Versuchsdurchführung“ betrachtet.

Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)

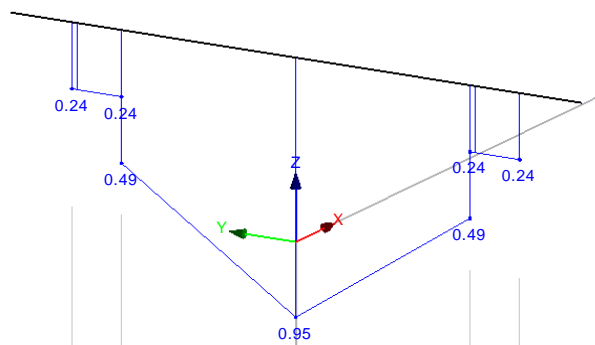
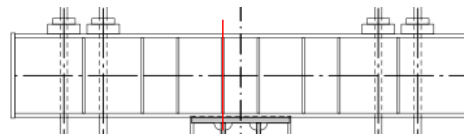


Abbildung 6.74: Vorspannträger [VT] – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$
Lage $x = 1,060$ m – Auflager [QT]

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialeigenschaften

$f_{yk,S355J2+N}(t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N}(t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	1,060 m

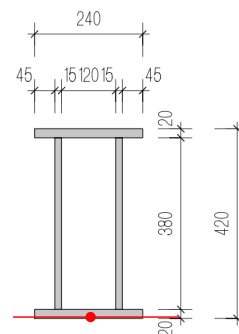


untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000$ m

Einwirkungen (Auflager)

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	1.240,15 kN
$M_{y,Ed} =$	-880,12 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft
 Querkraft in y-Richtung
 Querkraft in z-Richtung
 Biegemoment um die y-Achse
 Biegemoment um die z-Achse
 Torsionsmoment
 primäres Torsionsmoment
 sekundäres Torsionsmoment
 Wölbmoment



Querschnittskennwerte

$A =$	219,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	61.638 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	21,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	10.235 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	19.248 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	1.435.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$b =$	240,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	-299,85 N/mm ²
$\sigma_{z,Ed} =$	-35,16 N/mm ²
$\tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,80 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

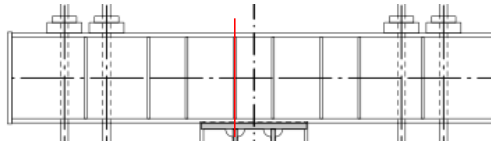
LD_U02 [QT]_{geschlossen} - Fläche A_s

Lage $x = 1,060 \text{ m}$ – Auflager [QT]

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung)

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	1,060 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Auflager)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	1.240,15 kN
$M_{y,Ed} =$	-880,12 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

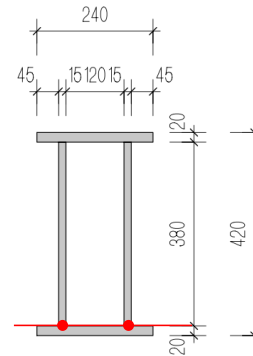
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	219,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-960,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	61.638 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	19,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	10.235 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	19.248 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	1.435.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$2 \cdot a =$	22,00 mm	Schweißnahtstärke (2 · Kehlnahtstärke)

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	keine Berücksichtigung von Normalspannungen parallel zur Schweißnaht
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-225,52 N/mm ²	$LD_{U1502} [QT]_{\text{geschlossen}} - \text{Fläche } A_6$
$\tau_{\parallel,Ed} =$	87,80 N/mm ²	

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,96 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

6.4.10 [VT] Versuchsdurchführung – [QT]_{offen}

Aufgrund der großen lokalen Spannungen am Querträger [QT] im Versuch wird der Vorspanträger [VT] nur im Lastfall „Versuchsdurchführung“ betrachtet.

Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)

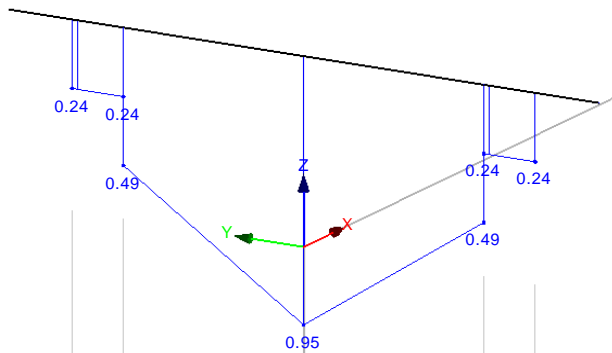


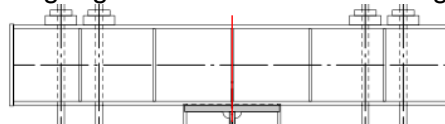
Abbildung 6.75: Vorspanträger [VT] – [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$

Lage $x = 1,150 \text{ m}$ – Auflager [QT]

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte

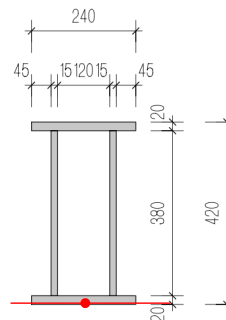
$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	1,150 m



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$

Einwirkungen (Auflager)

$N_{Ed} =$	0,00 kN	Normalkraft
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN	Querkraft in y-Richtung
$V_{z,Ed} =$	1.240,35 kN	Querkraft in z-Richtung
$M_{y,Ed} =$	-991,68 kNm	Biegemoment um die y-Achse
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm	Biegemoment um die z-Achse
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm	Torsionsmoment
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm	primäres Torsionsmoment
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm	sekundäres Torsionsmoment
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²	Wölbmoment



Querschnittskennwerte

$A =$	219,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	61.638 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	21,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	10.235 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	19.248 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	1.435.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\alpha_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$b =$	240,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	-337,86 N/mm ²	
$\sigma_{z,Ed} =$	-32,31 N/mm ²	LD _{ULS02} [QT] _{offen} - Fläche A ₅
$\tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	

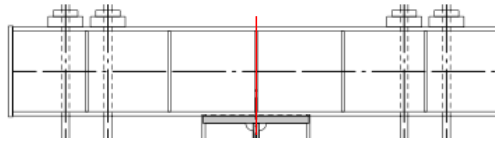
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,91 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Lage $x = 1,150 \text{ m}$ – Auflager [QT]

(Schweißnahtnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lastenleitung)

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	1,150 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Auflager)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	1.240,35 kN
$M_{y,Ed} =$	-991,68 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

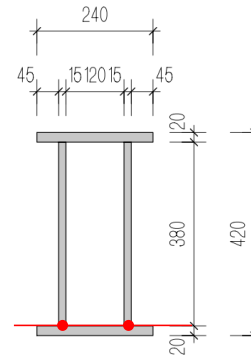
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	219,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-960,00 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	61.638 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	19,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	10.235 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	19.248 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	1.435.000 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$2 \cdot a =$	22,00 mm	Schweißnahtstärke (2 · Kehlnahtstärke)

Spannungen

$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	keine Berücksichtigung von Normalspannungen parallel zur Schweißnaht
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-198,04 N/mm ²	$LD_{U502} [QT]_{\text{offen}}$ - Fläche A_6
$\tau_{\parallel,Ed} =$	87,81 N/mm ²	

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,86 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

6.4.11 [WB1] Versuchsdurchführung

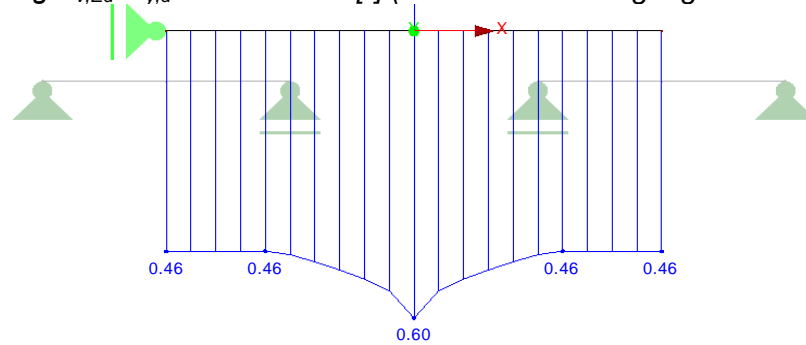
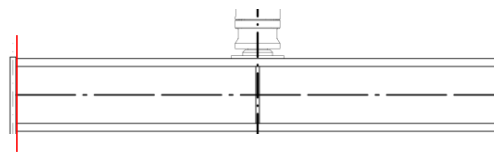
Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)

Abbildung 6.76: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$
Lage $x = 0,010 \text{ m}$ – Endplatte

(Querschnittsnachweis)

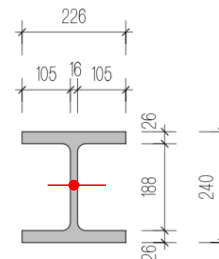
Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,010 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$

Einwirkungen (Auflager)

$N_{Ed} =$	0,00 kN	Normalkraft
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN	Querkraft in y-Richtung
$V_{z,Ed} =$	300,95 kN	Querkraft in z-Richtung
$M_{y,Ed} =$	3,01 kNm	Biegemoment um die y-Achse
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm	Biegemoment um die z-Achse
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm	Torsionsmoment
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm	primäres Torsionsmoment
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm	sekundäres Torsionsmoment
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²	Wölbmoment



Querschnittskennwerte

$A =$	149,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-709,70 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	14.600 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	0,00 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	5.010 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	316 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	572.700 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$t =$	16,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	0,00 N/mm ²	
$\sigma_{z,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$\tau_{Ed} =$	91,43 N/mm ²	

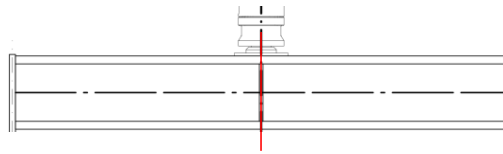
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,45 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Lage $x = 0,820$ m – Feldmitte

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,820 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000$ m**Einwirkungen (Presse)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	300,00 kN
$M_{y,Ed} =$	246,53 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

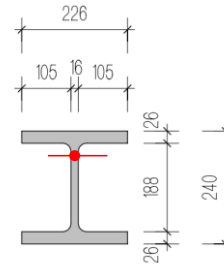
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	149,00 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-663,49 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	14.600 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	-7,60 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	5.010 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	316 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	572.700 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$t =$	16,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	-128,33 N/mm ²	
$\sigma_{z,Ed} =$	-123,97 N/mm ²	LD ₀₄₅ 11 - Fläche A ₄
$\tau_{Ed} =$	85,21 N/mm ²	

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,55 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

6.4.12 [WB2] Versuchsdurchführung

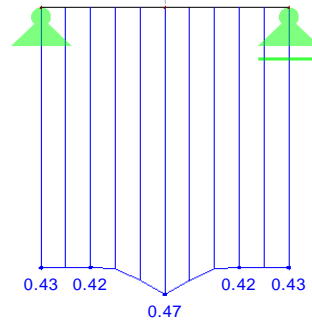
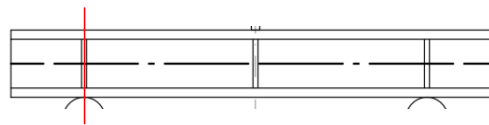
Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$ nach RSTAB [-] (ohne Berücksichtigung lokaler Lasteinleitung)

Abbildung 6.77: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Spannungsausnutzung $\sigma_{v,Ed} / f_{y,d}$
Lage $x = 0,175 \text{ m}$ – Rollenaufleger

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte

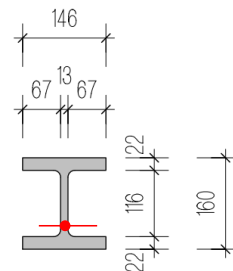
$f_{yk, S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk, S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,175 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$

Einwirkungen (Rolle)

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	151,00 kN
$M_{y,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft
 Querkraft in y-Richtung
 Querkraft in z-Richtung
 Biegemoment um die y-Achse
 Biegemoment um die z-Achse
 Torsionsmoment
 primäres Torsionsmoment
 sekundäres Torsionsmoment
 Wölbmoment



Querschnittskennwerte

$A =$	80,60 cm ²	Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	233,25 cm ³	statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³	statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)
$A_{zz} = I_y =$	3.290 cm ⁴	Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$z_p =$	4,60 cm	z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$A_{yy} = I_z =$	1.140 cm ⁴	Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)
$y_p =$	0,00 cm	y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes
$I_t =$	120 cm ⁴	Torsionsträgheitsmoment
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	54.330 cm ⁶	Wölbwiderstand
$\omega_p =$	0,00 cm ²	Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes
$t =$	13,00 mm	Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	0,00 N/mm ²	
$\sigma_{z,Ed} =$	-100,33 N/mm ²	LD _{ULS09} - Fläche A_s
$\tau_{Ed} =$	82,35 N/mm ²	

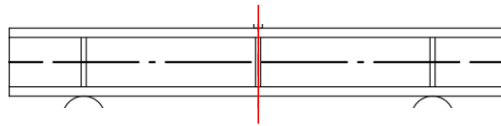
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,49 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Lage $x = 0,410 \text{ m}$ – Aufsetzpunkt [WB1]-Endplatte

(Querschnittsnachweis mit Berücksichtigung der lokalen Lasteinleitung)

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,410 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ **Einwirkungen (Feldmitte)**

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$V_{y,Ed} =$	0,00 kN
$V_{z,Ed} =$	150,65 kN
$M_{y,Ed} =$	61,84 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{x,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xp,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{xs,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{\omega,Ed} =$	0,00 kNm ²

Normalkraft

Querkraft in y-Richtung

Querkraft in z-Richtung

Biegemoment um die y-Achse

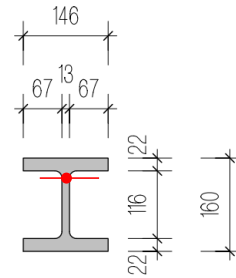
Biegemoment um die z-Achse

Torsionsmoment

primäres Torsionsmoment

sekundäres Torsionsmoment

Wölbmoment

**Querschnittskennwerte**

$A =$	80,60 cm ²
$A_{z,p} = S_{y,p} =$	-233,25 cm ³
$A_{y,p} = S_{z,p} =$	0,00 cm ³
$A_{zz} = I_y =$	3.290 cm ⁴
$z_p =$	-4,60 cm
$A_{yy} = I_z =$	1.140 cm ⁴
$y_p =$	0,00 cm
$I_t =$	120 cm ⁴
$A_{\omega\omega} = I_{\omega} =$	54.330 cm ⁶
$\omega_p =$	0,00 cm ²
$t =$	13,00 mm

Querschnittsfläche (Flächenmoment 0. Ordnung)

statisches Moment um die y-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

statisches Moment um die z-Achse (Flächenmoment 1. Ordnung)

Trägheitsmoment um die y-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

z-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Trägheitsmoment um die z-Achse (Flächenmoment 2. Ordnung)

y-Koordinate des untersuchten Spannungspunktes

Torsionsträgheitsmoment

Wölbwiderstand

Einheitsverwölbung des untersuchten Spannungspunktes

Blechstärke am betrachteten Querschnitt

Spannungen

$\sigma_{x,Ed} =$	-86,46 N/mm ²
$\sigma_{z,Ed} =$	-194,13 N/mm ²
$\tau_{Ed} =$	82,16 N/mm ²

LD₄₅10 - Fläche A_4

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,62 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

6.4.13 [ZS] Vorspannung

Einwirkungen siehe Punkt 6.3.15

Spannungsnachweis (Druck)

$N_{Ed} =$	-2.247,74 kN
$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$A_{[ZS]} =$	159,00 cm ²
$\sigma_{Ed} = N_{Ed} / A_{[ZS]} =$	141,37 N/mm ²
$N_{Rd} = N_{pl,Rd} =$	5.644,5 kN
$N_{Ed} / N_{Rd} =$	0,40 ≤ 1,00

Stauchung / Längenänderung

$E =$	210.000 N/mm ²
$\varepsilon =$	-0,067%
$l_0 =$	2.169,1 mm
$\Delta l =$	1,46 mm

6.4.14 [ZS] Versuchsdurchführung

Einwirkungen siehe Punkt 6.3.16

Spannungsnachweis (Zug)

$N_{Ed} =$	1.066,76 kN
$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$f_{yd,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$A_{[ZS]} =$	159,00 cm ²
$\sigma_{Ed} = N_{Ed} / A_{[ZS]} =$	67,09 N/mm ²
$N_{Rd} = N_{pl,Rd} =$	5.644,5 kN
$N_{Ed} / N_{Rd} =$	0,19 ≤ 1,00

Dehnung / Längenänderung

$E =$	210.000 N/mm ²
$\varepsilon =$	0,032%
$l_0 =$	2.169,1 mm
$\Delta l =$	0,69 mm

6.5 Stabilitätsnachweise

6.5.1 [AT] Versuchsdurchführung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.2

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	2.509,96 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.3

$$M_{Ed} = 2.509,96 \text{ kNm}$$

$C_1 =$	1,132
$C_2 =$	0,459
$z_g =$	35,80 cm
$L_{LT} =$	435,00 cm

Beiwert C_1

Beiwert C_2

Abstand Lastangriff

Biegedrillknicklänge

Einspannung an Stabenden

$k_{\omega} =$	1,00
$k_z =$	1,00

Verwölbungsbehinderung

Verdrehbehinderung aus Stegebene

Querschnitt

$h/b =$	2,36
$KSL_{LT} =$	b
$\alpha_{LT} =$	0,34
$W_{y,pl} =$	10.540,00 cm ³
$I_z =$	18.800 cm ⁴
$I_t =$	1.590 cm ⁴
$I_{\omega} =$	21.400.000 cm ⁶

Knickspannungslinie (LT) nach EN 1993-1

Imperfektionsbeiwert (LT)

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsmoment z-Achse

Torsionswiderstand

Wölbwiderstand

$$M_{cr} = 6.677,23 \text{ kNm}$$

Biegedrillknickmoment M_{cr}

$$\lambda_{LT} = 0,749$$

bezogene Schlankheit (LT)

$$\Phi_{LT} = 0,769$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,400$$

Höchstwert nach EN 1993-1-1

$$\beta = 0,750$$

Mindestwert nach EN 1993-1-1

$$\chi_{LT} = 0,845$$

Abminderungsfaktor

modifizierter Abminderungsbeiwert

$k_c =$	0,940
$f =$	0,970
$\chi_{LT,mod} =$	0,871
$M_{b,Rd} =$	3.258,28 kNm

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0,77 \leq 1,00$$

6.5.2 [LT] Vorspannung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.3

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	927,22 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.2

$$M_{Ed} = 927,22 \text{ kNm}$$

$C_1 =$	1,040
$C_2 =$	0,431
$z_g =$	35,00 cm
$L_{LT} =$	412,00 cm

Beiwert C_1

Beiwert C_2

Abstand Lastangriff

Biegedrillknicklänge

Einspannung an Stabenden

$k_{\omega} =$	1,00
$k_z =$	1,00

Verwölbungsbehinderung

Verdrehbehinderung aus Stegebene

Querschnitt

$KSL_{LT} =$	d
$\alpha_{LT} =$	0,76
$W_{y,pl} =$	12.538,00 cm ³
$I_z =$	65.353 cm ⁴
$I_t =$	98.840 cm ⁴
$I_{\omega} =$	29.030.000 cm ⁶

Knickspannungslinie (LT)

Imperfektionsbeiwert (LT)

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsmoment z-Achse

Torsionswiderstand

Wölbwiderstand

$$M_{cr} = 73.230,24 \text{ kNm}$$

Biegedrillknickmoment M_{cr}

$$\lambda_{LT} = 0,247$$

bezogene Schlankheit (LT)

$$\Phi_{LT} = 0,548$$

$$\chi_{LT} = 0,964$$

Abminderungsfaktor

$$M_{b,Rd} = 4.289,82 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0,22 \leq 1,00$$

6.5.3 [LT] Versuchsdurchführung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.4

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	-1.184,92 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.2

$$M_{Ed} = 1.184,92 \text{ kNm}$$

$C_1 =$	1,040
$C_2 =$	0,431
$z_B =$	35,00 cm
$L_{LT} =$	412,00 cm

Beiwert C_1 Beiwert C_2

Abstand Lastangriff

Biegedrillknicklänge

Einspannung an Stabenden

$k_{y0} =$	1,00
$k_z =$	1,00

Verwölbungsbehinderung

Verdrehbehinderung aus Stegebene

Querschnitt

$KSL_{LT} =$	d
$\alpha_{LT} =$	0,76
$W_{y,pl} =$	12.538,00 cm ³
$I_z =$	65.353 cm ⁴
$I_t =$	98.840 cm ⁴
$I_{\omega} =$	29.030.000 cm ⁶

Knickspannungslinie (LT)

Imperfektionsbeiwert (LT)

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsmoment z-Achse

Torsionswiderstand

Wölbwiderstand

$$M_{cr} = 73.230,24 \text{ kNm}$$

Biegedrillknickmoment M_{cr}

$$\lambda_{LT} = 0,247$$

bezogene Schlankheit (LT)

$$\Phi_{LT} = 0,548$$

$$\chi_{LT} = 0,964$$

Abminderungsfaktor

$$M_{b,Rd} = 4.289,82 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0,28 \leq 1,00$$

6.5.4 [QT]_{geschlossen} Versuchsdurchführung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.6

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	-5.051,26 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.2

$$M_{Ed} = 5.051,26 \text{ kNm}$$

$C_1 =$	1,132
$C_2 =$	0,459
$z_B =$	50,00 cm
$L_{LT} =$	435,00 cm

Beiwert C_1 Beiwert C_2

Abstand Lastangriff

Biegedrillknicklänge

Einspannung an Stabenden

$k_{y0} =$	1,00
$k_z =$	1,00

Verwölbungsbehinderung

Verdrehbehinderung aus Stegebene

Querschnitt

$KSL_{LT} =$	d
$\alpha_{LT} =$	0,76
$W_{y,pl} =$	23.386,00 cm ³
$I_z =$	93.081 cm ⁴
$I_t =$	113.255 cm ⁴
$I_{\omega} =$	130.700.000 cm ⁶

Knickspannungslinie (LT)

Imperfektionsbeiwert (LT)

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsmoment z-Achse

Torsionswiderstand

Wölbwiderstand

$$M_{cr} = 94.023,18 \text{ kNm}$$

Biegedrillknickmoment M_{cr}

$$\lambda_{LT} = 0,297$$

bezogene Schlankheit (LT)

$$\Phi_{LT} = 0,581$$

$$\chi_{LT} = 0,926$$

Abminderungsfaktor

$$M_{b,Rd} = 7.684,19 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0,66 \leq 1,00$$

6.5.5 [QT]_{offen} Versuchsdurchführung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.9

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	-5.051,26 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.3

$$M_{Ed} = 5.051,26 \text{ kNm}$$

$C_1 =$	1,132
$C_2 =$	0,459
$z_g =$	50,00 cm
$L_{LT} =$	435,00 cm

Beiwert C_1

Beiwert C_2

Abstand Lastangriff

Biegedrillknicklänge

Einspannung an Stabenden

$k_{\omega} =$	1,00
$k_z =$	1,00

Verwölbungsbehinderung

Verdrehbehinderung aus Stegebene

Querschnitt

$$h/b = 2,00$$

$$KSL_{LT} = c$$

$$\alpha_{LT} = 0,49$$

$W_{y,pl} =$	22.941,80 cm ³
$I_z =$	73.087 cm ⁴
$I_t =$	2.072 cm ⁴
$I_{\omega} =$	169.800.000 cm ⁶

Knickspannungslinie (LT) nach EN 1993-1

Imperfektionsbeiwert (LT)

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsmoment z-Achse

Torsionswiderstand

Wölbwiderstand

$$M_{cr} = 29.323,56 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = 0,527$$

$$\Phi_{LT} = 0,635$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,400$$

$$\beta = 0,750$$

$$\chi_{LT} = 0,928$$

Biegedrillknickmoment M_{cr}

bezogene Schlankheit (LT)

Höchstwert nach EN 1993-1-1

Mindestwert nach EN 1993-1-1

Abminderungsfaktor

modifizierter Abminderungsfaktor

$$k_c = 0,940$$

$$f = 0,974$$

$$\chi_{LT,mod} = 0,953$$

$$M_{b,Rd} = 7.759,42 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0,65 \leq 1,00$$

6.5.6 [VT] Vorspannung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.10

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	-890,48 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.2

$$M_{Ed} = 890,48 \text{ kNm}$$

$C_1 =$	1,040
$C_2 =$	0,431
$z_g =$	21,00 cm
$L_{LT} =$	230,00 cm

Beiwert C_1

Beiwert C_2

Abstand Lastangriff

Biegedrillknicklänge ($\beta = 2,0$)

Einspannung an Stabenden

$k_{\omega} =$	1,00
$k_z =$	1,00

Verwölbungsbehinderung

Verdrehbehinderung aus Stegebene

Querschnitt

$$KSL_{LT} = d$$

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

$W_{y,pl} =$	3.324,75 cm ³
$I_z =$	10.235 cm ⁴
$I_t =$	19.248 cm ⁴
$I_{\omega} =$	1.435.000 cm ⁶

Knickspannungslinie (LT)

Imperfektionsbeiwert (LT)

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsmoment z-Achse

Torsionswiderstand

Wölbwiderstand

$$M_{cr} = 22.925,89 \text{ kNm}$$

$$\lambda_{LT} = 0,227$$

$$\Phi_{LT} = 0,536$$

$$\chi_{LT} = 0,979$$

$$M_{b,Rd} = 1.155,41 \text{ kNm}$$

Biegedrillknickmoment M_{cr}

bezogene Schlankheit (LT)

Abminderungsfaktor

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} = 0,77 \leq 1,00$$

6.5.7 [VT] Versuchsdurchführung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.11

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	-991,68 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.2

$M_{Ed} =$	991,68 kNm
------------	------------

$C_1 =$	1,040
$C_2 =$	0,431
$z_B =$	21,00 cm
$L_{LT} =$	230,00 cm

Beiwert C_1 Beiwert C_2

Abstand Lastangriff

Biegedrillknicklänge ($\beta = 2,0$)

Einspannungswirkung an Stabenden

$k_{\omega} =$	1,00
$k_z =$	1,00

Verwölbungsbehinderung

Verdrehbehinderung aus Stegebenen

Querschnitt

$KSL_{LT} =$	d
--------------	----------

Knickspannungslinie (LT)

$\alpha_{LT} =$	0,76
-----------------	------

Imperfektionsbeiwert (LT)

$W_{y,pl} =$	3.324,75 cm ³
$I_z =$	10.235 cm ⁴
$I_t =$	19.248 cm ⁴
$I_{\omega} =$	1.435.000 cm ⁶

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsmoment z-Achse

Torsionswiderstand

Wölbwiderstand

$M_{cr} =$	22.925,89 kNm
------------	---------------

Biegedrillknickmoment M_{cr}

$\lambda_{LT} =$	0,227
------------------	-------

bezogene Schlankheit (LT)

$\Phi_{LT} =$	0,536
---------------	-------

$\chi_{LT} =$	0,979
---------------	-------

Abminderungsfaktor

$M_{b,Rd} =$	1.155,41 kNm
--------------	--------------

$M_{Ed} / M_{b,Rd} =$	0,86 \leq 1,00
-----------------------	------------------

6.5.8 [WB1] Versuchsdurchführung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.13

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	246,53 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.3

$M_{Ed} =$	246,53 kNm
------------	------------

$C_1 =$	1,363
$C_2 =$	0,553
$z_B =$	12,00 cm
$L_{LT} =$	164,00 cm

Beiwert C_1 Beiwert C_2

Abstand Lastangriff

Biegedrillknicklänge ($\beta = 1,0$)

Einspannungswirkung an Stabenden

$k_{\omega} =$	1,00
$k_z =$	1,00

Verwölbungsbehinderung

Verdrehbehinderung aus Stegebenen

Querschnitt

$h/b =$	1,06
---------	------

$KSL_{LT} =$	a
--------------	----------

Knickspannungslinie (LT) nach EN 1993-1-1 Tabelle 6.4

$\alpha_{LT} =$	0,21
-----------------	------

Imperfektionsbeiwert (LT)

$W_{y,pl} =$	1.420,00 cm ³
$I_z =$	5.010 cm ⁴
$I_t =$	316 cm ⁴
$I_{\omega} =$	572.700 cm ⁶

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsmoment z-Achse

Torsionswiderstand

Wölbwiderstand

$M_{cr} =$	4.391,76 kNm
------------	--------------

Biegedrillknickmoment M_{cr}

$\lambda_{LT} =$	0,339
------------------	-------

bezogene Schlankheit (LT)

$\Phi_{LT} =$	0,537
---------------	-------

$\lambda_{LT,0} =$	0,400
$\beta =$	0,750

Höchstwert nach EN 1993-1-1

Mindestwert nach EN 1993-1-1

$\chi_{LT} =$	1,000
---------------	-------

Abminderungsfaktor

modifizierter Abminderungsbeiwert

$k_c =$	0,857
---------	-------

$f =$	0,959
-------	-------

$\chi_{LT,mod} =$	1,000
-------------------	-------

$M_{b,Rd} =$	504,10 kNm
--------------	------------

$M_{Ed} / M_{b,Rd} =$	0,49 \leq 1,00
-----------------------	------------------

6.5.9 [WB2] Versuchsdurchführung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.14

Materialkennwerte

$f_{yk, S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk, S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	0,00 kN
$M_{y,Ed} =$	61,84 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Biegedrillknicken nach EN 1993-1-1 6.3.2.3

$M_{Ed} =$	61,84 kNm
------------	-----------

$C_1 =$	1,363	Beiwert C_1
$C_2 =$	0,553	Beiwert C_2
$z_g =$	8,00 cm	Abstand Lastangriff
$L_{LT} =$	82,00 cm	Biegedrillknicklänge ($\beta = 1,0$)

Einspannung an Stabenden

$k_{\omega} =$	1,00	Verwölbungsbehinderung
$k_z =$	1,00	Verdrehsbehinderung aus Stegebene

Querschnitt

$h/b =$	1,10	
$KSL_{LT} =$	a	Knickspannungslinie (LT) nach EN 1993-1-1 Tabelle 6.4
$\alpha_{LT} =$	0,21	Imperfektionsbeiwert (LT)
$W_{y,pl} =$	494,00 cm ³	plastisches Widerstandsmoment
$I_z =$	1.140 cm ⁴	Trägheitsmoment z-Achse
$I_t =$	120 cm ⁴	Torsionswiderstand
$I_{\omega} =$	54.330 cm ⁶	Wölbwiderstand
$M_{cr} =$	2.544,74 kNm	Biegedrillknickmoment M_{cr}
$\lambda_{LT} =$	0,263	bezogene Schlankheit (LT)
$\Phi_{LT} =$	0,511	
$\lambda_{LT,0} =$	0,400	Höchstwert nach EN 1993-1-1
$\beta =$	0,750	Mindestwert nach EN 1993-1-1
$\chi_{LT} =$	1,000	Abminderungsfaktor

modifizierter Abminderungsbeiwert

$k_c =$	0,857
$f =$	0,970
$\chi_{LT,mod} =$	1,000
$M_{b,Rd} =$	175,37 kNm
$M_{Ed} / M_{b,Rd} =$	0,35 ≤ 1,00

6.5.10 [ZS] Vorspannung

Schnittgrößen nach Punkt 6.3.15

Materialkennwerte

$f_{yk,S35Sj2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S35Sj2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M1} =$	1,00

Einwirkungen

$N_{Ed} =$	-2.247,74 kN
$M_{y,Ed} =$	0,00 kNm
$M_{z,Ed} =$	0,00 kNm

Knicken um die y-Achse

KSL =	b
$\alpha =$	0,34
A =	159,00 cm ²
$I_y =$	62.950 cm ⁴
$W_{y,el} =$	2.569,37 cm ³
$W_{y,pl} =$	2.931,00 cm ³
i =	19,90 cm
$S_{k,y} =$	224,91 cm
$\lambda_{k,y} =$	11,30
$\lambda_1 =$	76,41
$\lambda_{k,y} =$	0,15
$\Phi =$	0,502
$\chi =$	1,000
$N_{b,y,Rd} =$	5.645 kN
$N_{Ed} / N_{b,y,Rd} =$	0,40 ≤ 1,00

Knicken um die z-Achse

KSL =	c
$\alpha =$	0,49
A =	159,00 cm ²
$I_z =$	6.763 cm ⁴
$W_{z,el} =$	450,86 cm ³
$W_{z,pl} =$	700,88 cm ³
i =	6,52 cm
$S_{k,z} =$	224,91 cm
$\lambda_{k,z} =$	34,49
$\lambda_1 =$	76,41
$\lambda_{k,z} =$	0,45
$\Phi =$	0,663
$\chi =$	0,870
$N_{b,z,Rd} =$	4.910 kN
$N_{Ed} / N_{b,y,Rd} =$	0,46 ≤ 1,00

Knickspannungslinie

Imperfektionsbeiwert

Querschnittsfläche

Trägheitsmoment

elastisches Widerstandsmoment

plastisches Widerstandsmoment

Trägheitsradius

Knicklänge

Schlankheit

gezogene Schlankheit

Abminderungsfaktor

6.6 Globale Stabilitätsanalyse

In diesem Abschnitt wird die Stabilität des Versuchsrahmens untersucht. Ziel ist es einen, für die gegebenen Einwirkungen geltenden kritischen Lastverzweigungsfaktor zu finden.

6.6.1 Lastfall Vorspannung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

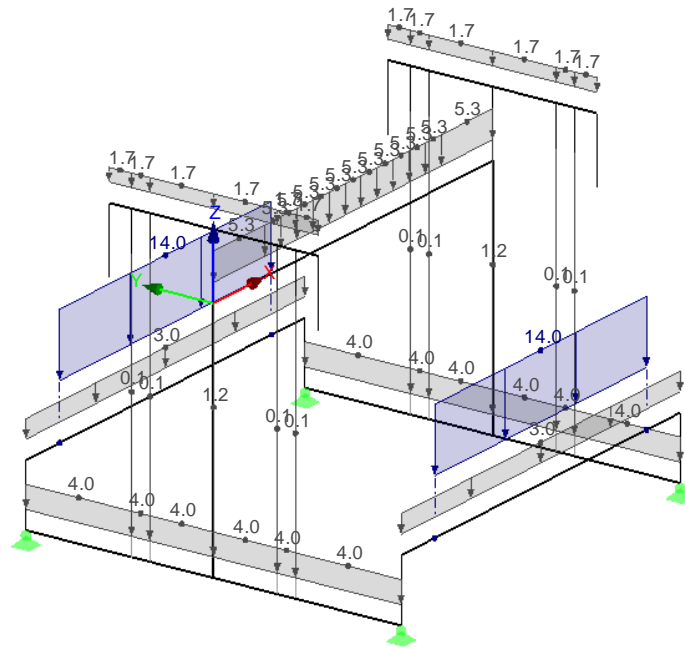


Abbildung 6.78: Globale Stabilitätsanalyse – Vorspannung – Eigengewicht



Lastfall Vorspannung [kN]

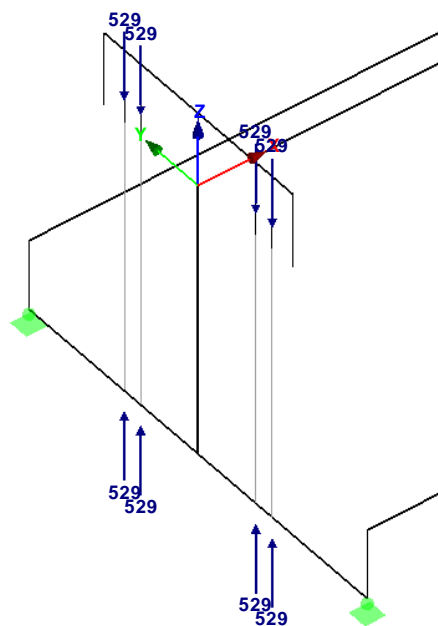
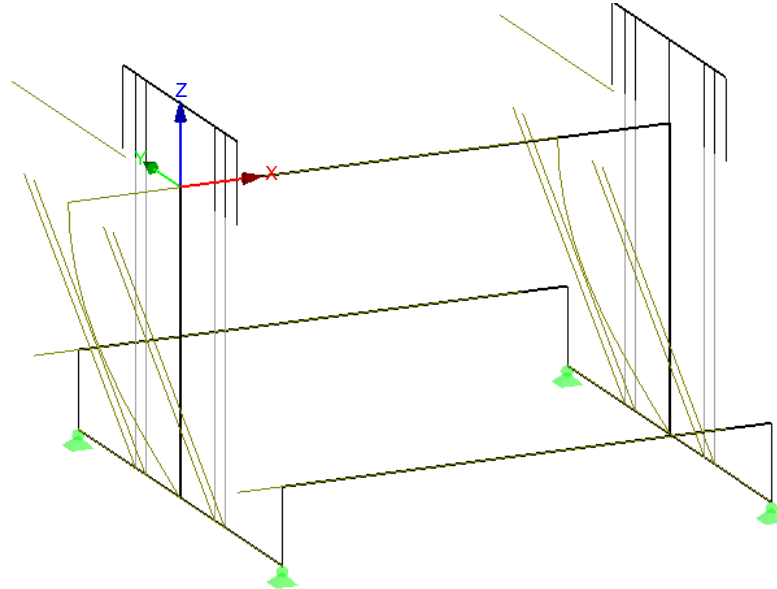


Abbildung 6.79: Globale Stabilitätsanalyse – Vorspannung – Vorspannkkräfte

Lastfallkombination*Vorspannung*

$$LK_{Vorspannung} = 1,00 \cdot LF_{Eigengewicht} \oplus 1,05 \cdot LF_{Vorspannung}$$

Kritischer Lastverzweigungsfaktor $\eta_{ki} = 2,20$ *Eigenform***Abbildung 6.80: Globale Stabilitätsanalyse – Vorspannung – Eigenform**

Die Stabilitätsanalyse ergibt für die Einwirkungen aus dem Lastfall Vorspannung einen kritischen Lastverzweigungsfaktor von $\eta_{ki} = 2,20$.

6.6.2 Lastfall Versuchsdurchführung

Lastfälle

Lastfall Eigengewicht [kN] / [kN/m]

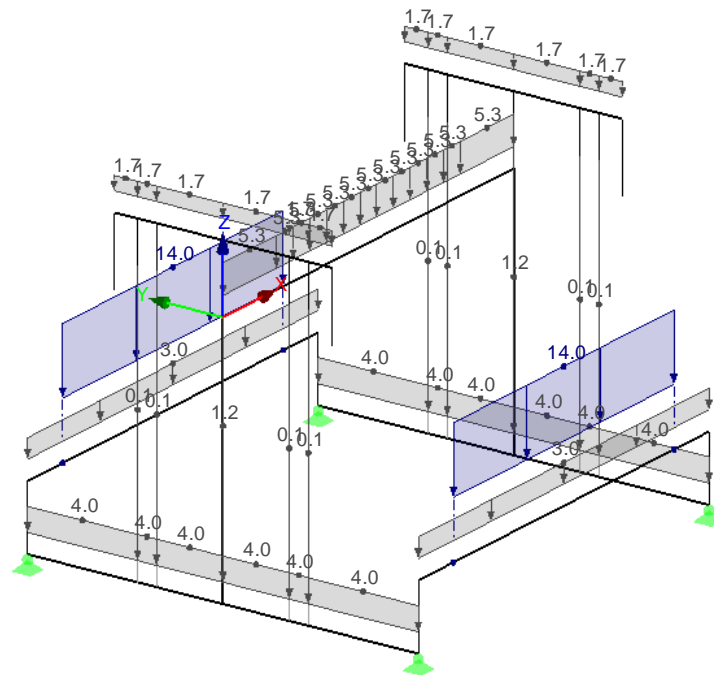


Abbildung 6.81: Globale Stabilitätsanalyse – Versuchsdurchführung – Eigengewicht

⊕

Lastfall Vorspannung [kN]

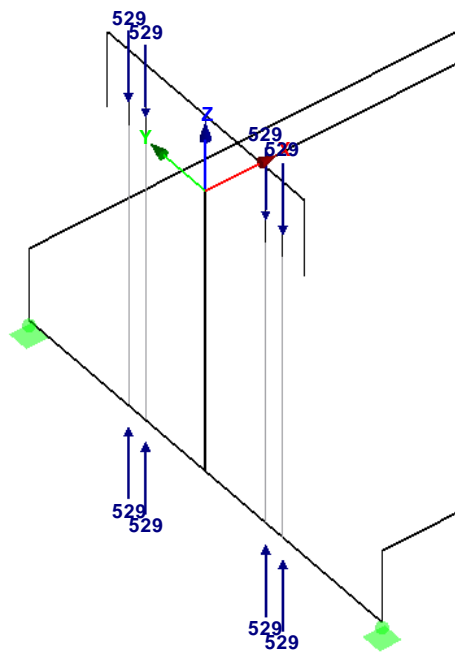


Abbildung 6.82: Globale Stabilitätsanalyse – Versuchsdurchführung – Vorspannkkräfte

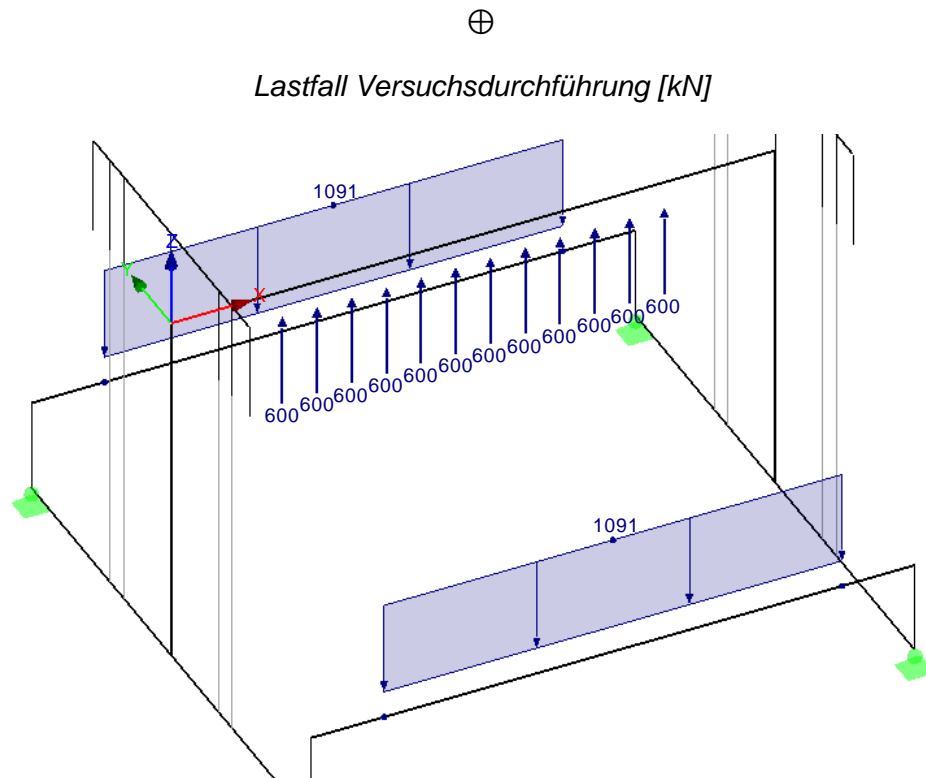


Abbildung 6.83: Globale Stabilitätsanalyse – Versuchsdurchführung – Versuchskräfte

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{Vorspannung} = 1,00 \cdot LF_{Eigengewicht} \oplus 1,05 \cdot LF_{Vorspannung} \oplus 1,00 \cdot LF_{Versuchsdurchführung}$$

Kritischer Lastverzweigungsfaktor $\eta_{ki} = 1.616,42$

Eigenform

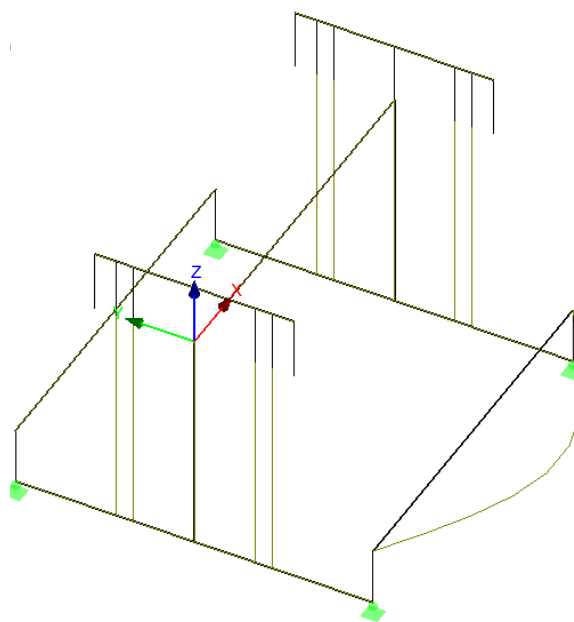


Abbildung 6.84: Globale Stabilitätsanalyse – Versuchsdurchführung – Eigenform

Die Stabilitätsanalyse ergibt für die Einwirkungen aus dem Lastfall Versuchsdurchführung einen kritischen Lastverzweigungsfaktor von $\eta_{ki} = 1.616,42$.

6.7 Anschlüsse und Verbindungen

6.7.1 Anschluss Zugstütze [ZS] – Querträger [QT]

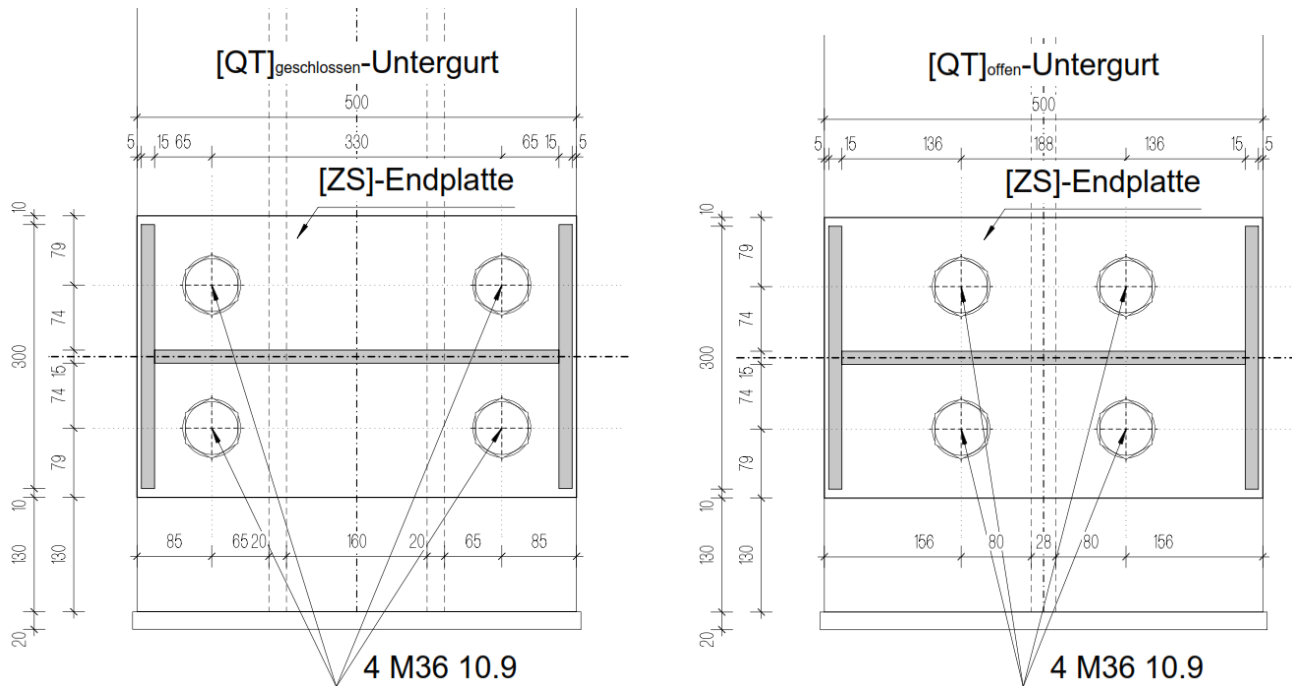


Abbildung 6.85: Anschluss Zugstütze [ZS]-Querträger [QT]_{geschlossen} / [QT]_{offen}

Die Verbindung zwischen der Zugstütze [ZS] und dem Querträger mit geschlossenem Profil [QT]_{geschlossen} ist links dargestellt, die Verbindung mit dem Querträger mit offenem Profil [QT]_{offen} ist im rechten Bild dargestellt.

Schraubenverbindung

Schraubenbeanspruchung auf Zug:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_{Sp} \cdot f_{ub,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 8,17 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 588,24 \text{ kN/Schraube}$$

Durchstanzen:

$$t_{p,[QT]\text{-Untergurt}} = 30 \text{ mm}, t_{p,[ZS]\text{-Endplatte}} = 30 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 6,262 \cdot 3,00 \cdot 49,0}{1,25} = 1.388,10 \text{ kN/Schraube}$$

Rechnerischer Durchmesser des Schraubenkopfes für Durchstanzen:

$$d_m = \frac{s + e}{2} = \frac{58,8 + 66,44}{2} = 62,62 \text{ mm}$$

Anzahl der Schrauben $n = 4$, Beanspruchbarkeit einer Schraube: $\min\{F_{t,Rd}, B_{p,Rd}\}$

$$N_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 588,24 = 2.352,90 \text{ kN} > N_{t,Ed,[ZS]} = 1.066,76 \text{ kN}$$

$N_{t,Ed,[ZS]}$ siehe 6.3.16

Äquivalenter T-Stummelnachweis [QT]_{geschlossen}

- Ermittlung ob Abstützkräfte an der Endplatte auftreten können

Nach ÖNORM EN 1993-1-8 Tabelle 6.2

$$L_b = \sum t_p + t_{\text{Unterlegscheibe}} + \frac{h_{\text{Schraubenkopf}}}{2} + \frac{h_{\text{Mutter}}}{2} = 2 \cdot 30 + 2 \cdot 6 + \frac{23}{2} + \frac{29}{2} = 98 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_S}{\sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 7,02^3 \cdot 8,17}{41,33 \cdot 3,0^3} = 22,29 \text{ cm} = 222,9 \text{ mm}$$

$L_b = 98 \text{ mm} \leq L_b^* = 222,9 \text{ mm}$, es können daher Abstützkräfte an der Endplatte auftreten!

- Ermittlung ob Abstützkräfte am Untergurt des [QT] auftreten können

nach ÖNORM EN 1993-1-8 Tabelle 6.2

$$L_b = \sum t_p + t_{\text{Unterlegscheibe}} + \frac{h_{\text{Schraubenkopf}}}{2} + \frac{h_{\text{Mutter}}}{2} = 2 \cdot 30 + 2 \cdot 6 + \frac{23}{2} + \frac{29}{2} = 98 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_S}{\sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 5,93^3 \cdot 8,17}{34,88 \cdot 3,0^3} = 15,92 \text{ cm} = 159,2 \text{ mm}$$

$L_b = 98 \text{ mm} \leq L_b^* = 159,2 \text{ mm}$, es können daher Abstützkräfte am Untergurt auftreten!

- Effektive Länge – Muster 1 – Fließen der Endplatte, Schraubengruppe

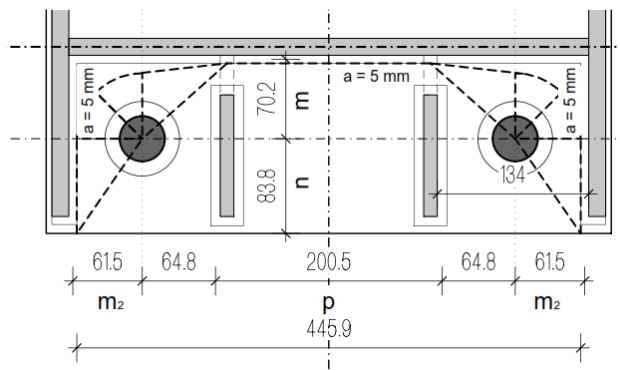


Abbildung 6.86: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT]_{geschlossen} – Fließmuster 1

Schraubenreihe Muster 1: $l_{\text{eff},1,cp} = \pi m_2 + p = \pi \cdot 61,5 + 330,0 = 523,2 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} l_{\text{eff},1,nc} &= 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625n) = \\ &= 0,5 \cdot 330,0 + 2\pi \cdot 70,2 - (2 \cdot 70,2 + 0,625 \cdot 83,8) = \\ &= 413,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{70,2}{70,2+83,8} = 0,456$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{61,5}{70,2+83,8} = 0,399$$

→ $\alpha \cong 2\pi$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 2 – Fließen der Endplatte, einzelne Schrauben

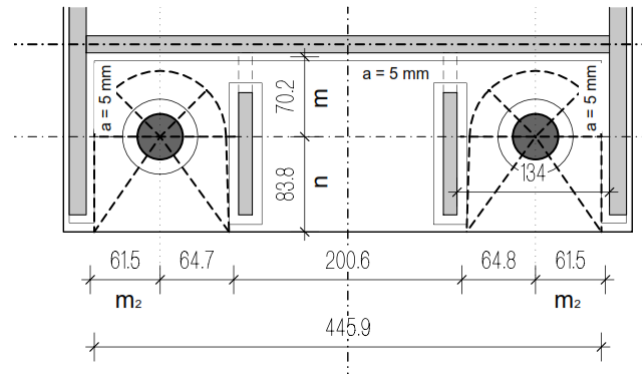


Abbildung 6.87: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT]_{geschlossen} – Fließmuster 2

Schraubenreihe Muster 2: $l_{eff,2,cp} = \pi \cdot m_2 + 2 \cdot n = \pi \cdot 61,5 + 2 \cdot 83,8 = 360,8 \text{ mm}$

$$l_{eff,2,nc} = \alpha \cdot m = 2\pi \cdot 70,2 = 441,1 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{70,2}{70,2+83,8} = 0,456$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{61,5}{70,2+83,8} = 0,399$$

→ $\alpha \cong 2\pi$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 3 – Fließen der Endplatte, einzelne Schrauben

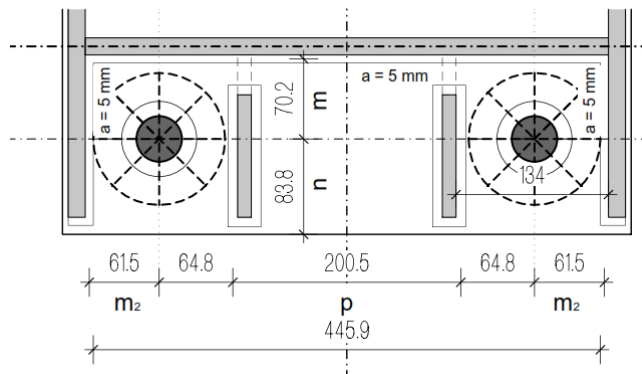


Abbildung 6.88: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT]_{geschlossen} – Fließmuster 3

Schraubenreihe Muster 3: $l_{eff,3,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_2 = 2 \cdot \pi \cdot 61,5 = 386,4 \text{ mm}$

- Effektive Länge – Muster 4 – Fließen des [QT]-Untergurtes, Schraubengruppe

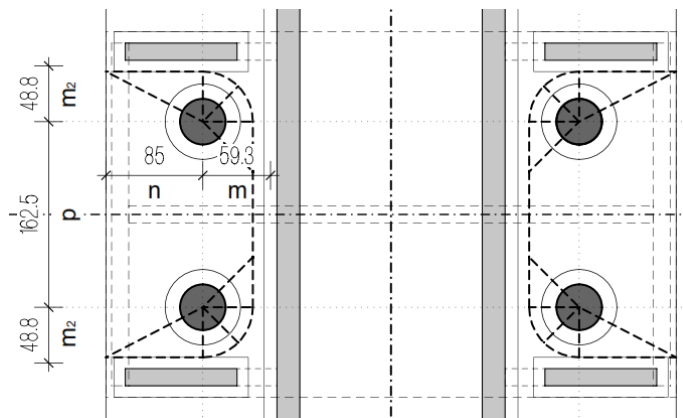


Abbildung 6.89: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT]_{geschlossen} – Fließmuster 4

Schraubenreihe Muster 4: $l_{eff,4,cp} = \pi m + p = \pi \cdot 59,3 + 162,5 = 348,8 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} l_{eff,4,nc} &= 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625n) = \\ &= 0,5 \cdot 162,5 + 6,8 \cdot 75,8 - (2 \cdot 59,3 + 0,625 \cdot 85) = \\ &= 425,0 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{59,3}{59,3+85} = 0,411$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{48,8}{59,3+85} = 0,338$$

→ $\alpha \cong 6,8$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 5 – Fließen des [QT]-Untergurtes, einzelne Schrauben

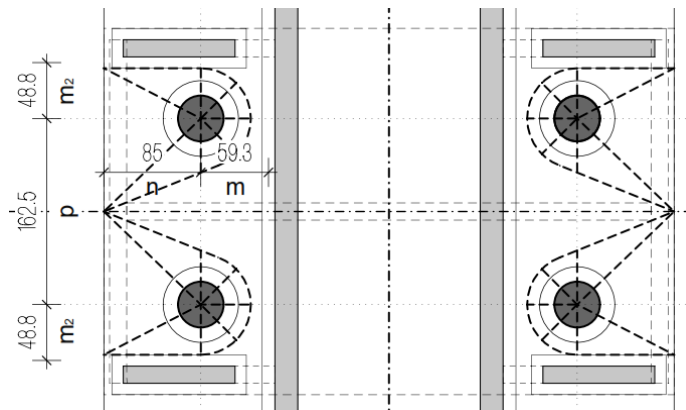


Abbildung 6.90: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT]geschloss – Fließmuster 5

Schraubenreihe Muster 5: $l_{eff,5,cp} = \pi m_2 + 2n = \pi \cdot 48,8 + 2 \cdot 85 = 323,3 \text{ mm}$

$$l_{eff,5,nc} = \alpha \cdot m = 6,8 \cdot 59,3 = 403,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{59,3}{59,3+85,0} = 0,411$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{48,8}{59,3+85,0} = 0,338$$

→ $\alpha \cong 6,8$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 6 – Fließen der Endplatte, einzelne Schrauben

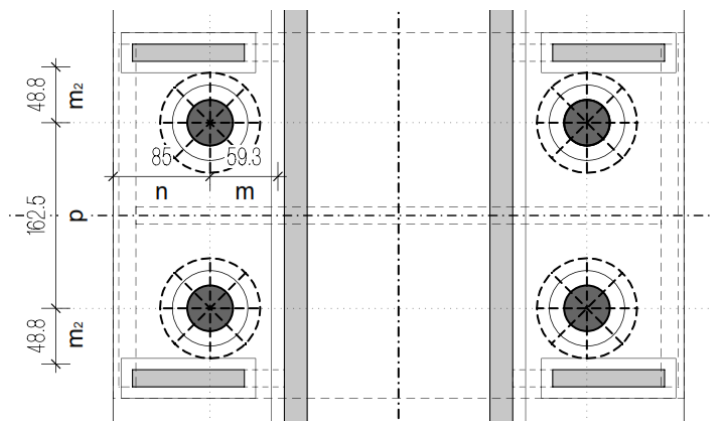


Abbildung 6.91: Zugstütze [ZS] – Querträger geschlossen [QT]geschloss – Fließmuster 6

Schraubenreihe Muster 6: $l_{eff,6,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_2 = 2 \cdot \pi \cdot 48,8 = 306,6 \text{ mm}$

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Modus 1	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ jedoch $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$	$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ jedoch $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$
Modus 2	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$

Modus 1

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Muster 1		$\sum l_{eff,1} = 413,3 \text{ mm} \leq 523,2 \text{ mm}$
Muster 2	$l_{eff,1} = 441,1 \text{ mm} \leq 360,8 \text{ mm}$	
Muster 3	$l_{eff,1} = 386,4 \text{ mm}$	
Muster 4		$\sum l_{eff,1} = 425,0 \text{ mm} \leq 348,8 \text{ mm}$
Muster 5	$l_{eff,1} = 403,2 \text{ mm} \leq 323,3 \text{ mm}$	
Muster 6	$l_{eff,1} = 306,6 \text{ mm}$	
	$l_{eff,1} = 306,6 \text{ mm}$	$\sum l_{eff,1} = 348,8 \text{ mm}$

Modus 2

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Muster 1		$\sum l_{eff,2} = 413,3 \text{ mm}$
Muster 2	$l_{eff,2} = 441,1 \text{ mm}$	
Muster 3	-	
Muster 4		$\sum l_{eff,2} = 425,0 \text{ mm}$
Muster 5	$l_{eff,2} = 403,2 \text{ mm}$	
Muster 6	-	
	$l_{eff,2} = 403,2 \text{ mm}$	$\sum l_{eff,2} = 413,3 \text{ mm}$

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00

Endplatte*Geometrie*

$t_{f,Platte} =$	30 mm
$m =$	70,2 mm
$m_2 =$	61,5 mm
$n =$	83,8 mm
$p =$	330,0 mm

Schrauben

$F_{t,Rd} =$	588,24 kN	<i>Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube</i>
--------------	-----------	---

Effektive Längen

$l_{eff,1} =$	360,8 mm	<i>Muster 3</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$l_{eff,2} =$	441,1 mm	<i>Muster 2</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$\Sigma l_{eff,1} =$	413,3 mm	<i>Muster 1</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			
$\Sigma l_{eff,2} =$	413,3 mm	<i>Muster 1</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			

Tragfähigkeit des T-Stummels nach EN 1993-1-1 Tabelle 6.2

$M_{pl,1,Rd} =$	2.881,89 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 3</i>
$M_{pl,2,Rd} =$	3.301,23 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 1</i>
$2 \cdot F_{T,1,Rd} =$	3.284,21 kN	<i>Modus 1</i>
$F_{T,2,Rd} =$	1.709,11 kN	<i>Modus 2</i>
$F_{T,3,Rd} =$	2.352,96 kN	<i>Modus 3</i>

$\geq F_{t,Ed} = 1.066,76 \text{ kN} = N_{t,Ed,[ZS]}$

Untergurt [QT]*Geometrie*

$t_{f,Gurt} =$	30 mm
$m =$	59,3 mm
$m_2 =$	48,8 mm
$n =$	85,0 mm
$p =$	162,5 mm

Schrauben

$F_{t,Rd} =$	588,24 kN	<i>Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube</i>
--------------	-----------	---

Effektive Längen

$l_{eff,1} =$	306,6 mm	<i>Muster 6</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$l_{eff,2} =$	403,2 mm	<i>Muster 5</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$\Sigma l_{eff,1} =$	348,8 mm	<i>Muster 4</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			
$\Sigma l_{eff,2} =$	425,0 mm	<i>Muster 4</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			

Tragfähigkeit des T-Stummels nach EN 1993-1-1 Tabelle 6.2

$M_{pl,1,Rd} =$	2.448,97 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 6</i>
$M_{pl,2,Rd} =$	3.220,56 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 5</i>
$2 \cdot F_{T,1,Rd} =$	3.303,83 kN	<i>Modus 1</i>
$2 \cdot F_{T,2,Rd} =$	2.278,75 kN	<i>Modus 2</i>
$F_{T,3,Rd} =$	2.352,96 kN	<i>Modus 3</i>

$\geq F_{t,Ed} = 1.066,76 \text{ kN} = N_{t,Ed,[ZS]}$

Äquivalenter T-Stummelnachweis [QT]_{offen}

- Ermittlung ob Abstützkräfte an der Endplatte auftreten können

nach ÖNORM EN 1993-1-8 Tabelle 6.2

$$L_b = \sum t_p + t_{\text{Unterlegscheibe}} + \frac{h_{\text{Schraubenkopf}}}{2} + \frac{h_{\text{Mutter}}}{2} = 2 \cdot 30 + 2 \cdot 6 + \frac{23}{2} + \frac{29}{2} = 98 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_S}{\sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 7,02^3 \cdot 8,17}{29,44 \cdot 3,0^3} = 31,29 \text{ cm} = 312,9 \text{ mm}$$

$L_b = 98 \text{ mm} \leq L_b^* = 312,9 \text{ mm}$, es können daher Abstützkräfte an der Endplatte auftreten!

- Ermittlung ob Abstützkräfte am Untergurt des [QT] auftreten können

nach ÖNORM EN 1993-1-8 Tabelle 6.2

$$L_b = \sum t_p + t_{\text{Unterlegscheibe}} + \frac{h_{\text{Schraubenkopf}}}{2} + \frac{h_{\text{Mutter}}}{2} = 2 \cdot 30 + 2 \cdot 6 + \frac{23}{2} + \frac{29}{2} = 98 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_S}{\sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 7,43^3 \cdot 8,17}{30,01 \cdot 3,5^3} = 22,92 \text{ cm} = 229,2 \text{ mm}$$

$L_b = 98 \text{ mm} \leq L_b^* = 229,2 \text{ mm}$, es können daher Abstützkräfte am Untergurt auftreten!

- Effektive Länge – Muster 1 – Fließen der Endplatte, Schraubengruppe

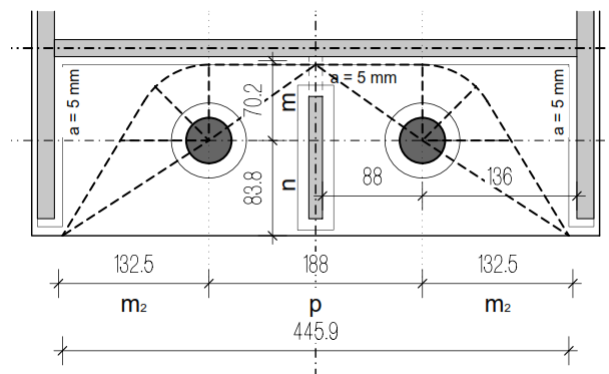


Abbildung 6.92: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT]_{offen} – Fließmuster 1

Schraubenreihe Muster 1: $l_{\text{eff},1,cp} = \pi m_2 + p = \pi \cdot 132,5 + 188,0 = 604,3 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} l_{\text{eff},1,nc} &= 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625n) = \\ &= 0,5 \cdot 188,0 + 5,6 \cdot 70,2 - (2 \cdot 70,2 + 0,625 \cdot 83,8) = \\ &= 294,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{70,2}{70,2+83,8} = 0,456$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{132,5}{70,2+83,8} = 0,860$$

$\rightarrow \alpha \cong 5,6$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 2 – Fließen der Endplatte, einzelne Schrauben

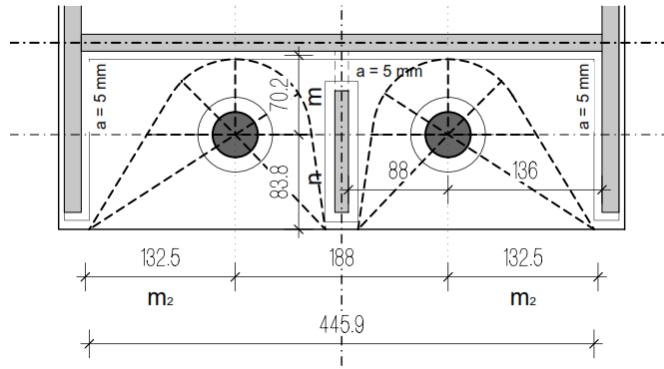


Abbildung 6.93: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT]_{offen} – Fließmuster 2

Schraubenreihe Muster 2: $l_{eff,2,cp} = \pi \cdot m_2 + 2 \cdot n = \pi \cdot 132,5 + 2 \cdot 83,8 = 583,9 \text{ mm}$

$$l_{eff,2,nc} = \alpha \cdot m = 5,6 \cdot 70,2 = 393,1 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{70,2}{70,2+83,8} = 0,456$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{132,5}{70,2+83,8} = 0,860$$

→ $\alpha \cong 5,6$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 3 – Fließen der Endplatte, einzelne Schrauben

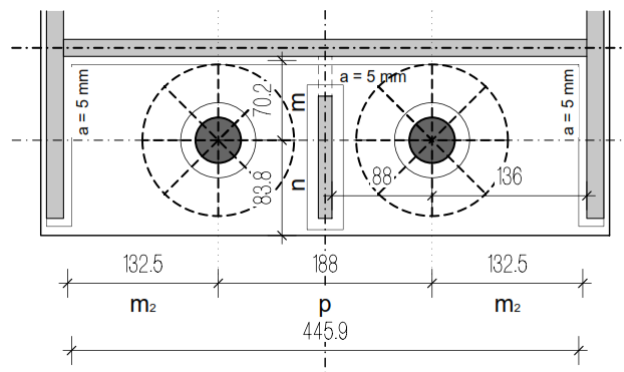


Abbildung 6.94: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT]_{offen} – Fließmuster 3

Schraubenreihe Muster 3: $l_{eff,3,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 70,2 = 441,1 \text{ mm}$

- Effektive Länge – Muster 4 – Fließen des [QT]-Untergurtes, Schraubengruppe

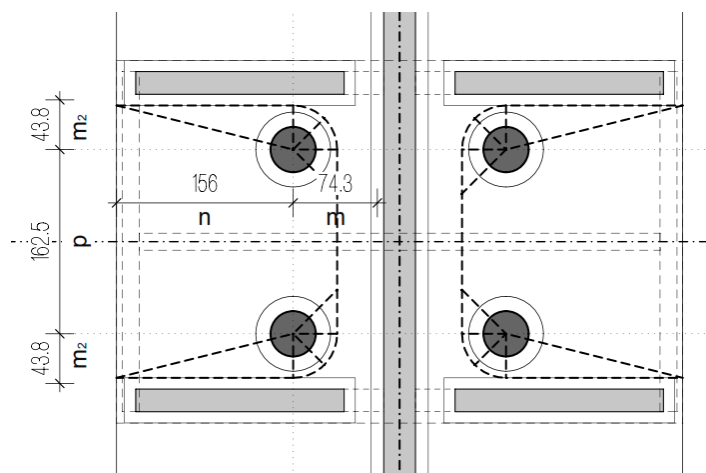


Abbildung 6.95: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT]_{offen} – Fließmuster 4

Schraubenreihe Muster 4: $l_{eff,4,cp} = \pi m_2 + p = \pi \cdot 43,8 + 162,5 = 300,1 \text{ mm}$

$$l_{eff,4,nc} = 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625n) =$$

$$= 0,5 \cdot 162,5 + 8,5 \cdot 74,3 - (2 \cdot 74,3 + 0,625 \cdot 156) =$$

$$= 466,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{74,3}{74,3+156,0} = 0,323$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{43,8}{74,3+156,0} = 0,190$$

→ $\alpha \cong 8,5$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 5 – Fließen des [QT]-Untergurtes, einzelne Schrauben

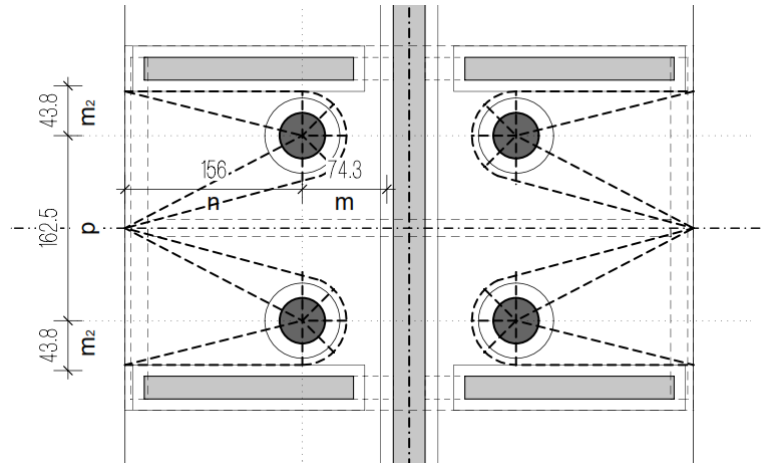


Abbildung 6.96: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT]_{offen} – Fließmuster 5

Schraubenreihe Muster 5: $l_{eff,5,cp} = \pi m_2 + 2n = \pi \cdot 43,8 + 2 \cdot 156 = 449,6 \text{ mm}$

$$l_{eff,4,nc} = \alpha \cdot m = 8,5 \cdot 74,3 = 631,6 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{74,3}{74,3+156,0} = 0,323$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{43,8}{74,3+156,0} = 0,190$$

→ $\alpha \cong 8,5$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 6 – Fließen der Endplatte, einzelne Schrauben

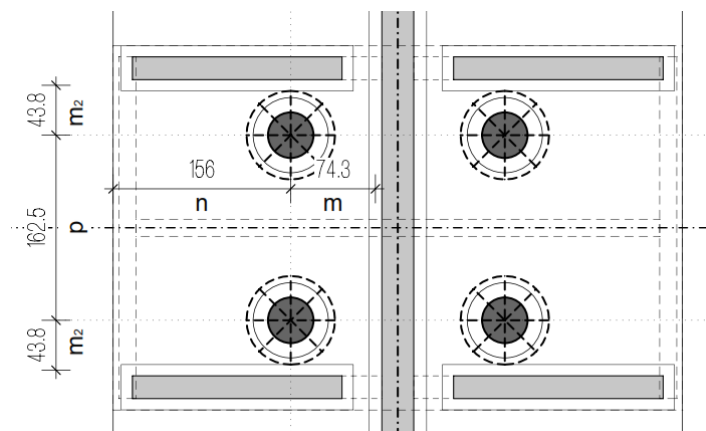


Abbildung 6.97: Zugstütze [ZS] – Querträger offen [QT]_{offen} – Fließmuster 6

Schraubenreihe Muster 6: $l_{eff,6,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m_2 = 2 \cdot \pi \cdot 43,8 = 275,2 \text{ mm}$

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Modus 1	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ jedoch $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$	$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ jedoch $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$
Modus 2	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$

Modus 1

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Muster 1		$\sum l_{eff,1} = 294,4 \text{ mm} \leq 604,3 \text{ mm}$
Muster 2	$l_{eff,1} = 393,1 \text{ mm} \leq 583,9 \text{ mm}$	
Muster 3	$l_{eff,1} = 441,1 \text{ mm}$	
Muster 4		$\sum l_{eff,1} = 466,7 \text{ mm} \leq 300,1 \text{ mm}$
Muster 5	$l_{eff,1} = 631,6 \text{ mm} \leq 449,6 \text{ mm}$	
Muster 6	$l_{eff,1} = 275,2 \text{ mm}$	
	$l_{eff,1} = 275,2 \text{ mm}$	$\sum l_{eff,1} = 294,4 \text{ mm}$

Modus 2

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Muster 1		$\sum l_{eff,2} = 294,4 \text{ mm}$
Muster 2	$l_{eff,2} = 393,1 \text{ mm}$	
Muster 3	-	
Muster 4		$\sum l_{eff,2} = 466,7 \text{ mm}$
Muster 5	$l_{eff,2} = 631,6 \text{ mm}$	
Muster 6	-	
	$l_{eff,2} = 393,1 \text{ mm}$	$\sum l_{eff,2} = 294,4 \text{ mm}$

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00

Endplatte*Geometrie*

$t_{f,Platte} =$	30 mm
$m =$	70,2 mm
$m_2 =$	132,5 mm
$n =$	83,8 mm
$p =$	188,0 mm

Schrauben

$F_{t,Rd} =$	588,24 kN	<i>Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube</i>
--------------	-----------	---

Effektive Längen

$l_{eff,1} =$	393,1 mm	<i>Muster 2</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$l_{eff,2} =$	393,1 mm	<i>Muster 2</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$\Sigma l_{eff,1} =$	294,4 mm	<i>Muster 1</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			
$\Sigma l_{eff,2} =$	294,4 mm	<i>Muster 1</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			

Tragfähigkeit des T-Stummels nach EN 1993-1-1 Tabelle 6.2

$M_{pl,1,Rd} =$	2.351,52 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 1</i>
$M_{pl,2,Rd} =$	2.351,52 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 1</i>
$F_{T,1,Rd} =$	1.339,90 kN	<i>Modus 1</i>
$F_{T,2,Rd} =$	1.585,77 kN	<i>Modus 2</i>
$F_{T,3,Rd} =$	2.352,96 kN	<i>Modus 3</i>

$\geq F_{t,Ed} = 1.066,76 \text{ kN} = N_{t,Ed,[ZS]}$

Untergurt [QT]*Geometrie*

$t_{f,Gurt} =$	35 mm
$m =$	74,3 mm
$m_2 =$	43,8 mm
$n =$	156,0 mm
$p =$	162,5 mm

Schrauben

$F_{t,Rd} =$	588,24 kN	<i>Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube</i>
--------------	-----------	---

Effektive Längen

$l_{eff,1} =$	275,2 mm	<i>Muster 5</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$l_{eff,2} =$	631,6 mm	<i>Muster 5</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$\Sigma l_{eff,1} =$	300,1 mm	<i>Muster 4</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			
$\Sigma l_{eff,2} =$	466,7 mm	<i>Muster 4</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			

Tragfähigkeit des T-Stummels nach EN 1993-1-1 Tabelle 6.2

$M_{pl,1,Rd} =$	2.991,94 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 5</i>
$M_{pl,2,Rd} =$	5.073,90 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 4</i>
$F_{T,1,Rd} =$	1.610,73 kN	<i>Modus 1</i> $\geq F_{t,Ed} = 1.066,76 \text{ kN} = N_{t,Ed,[ZS]}$
$F_{T,2,Rd} =$	2.034,48 kN	<i>Modus 2</i>
$F_{T,3,Rd} =$	2.352,96 kN	<i>Modus 3</i>

6.7.2 Anschluss Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT]

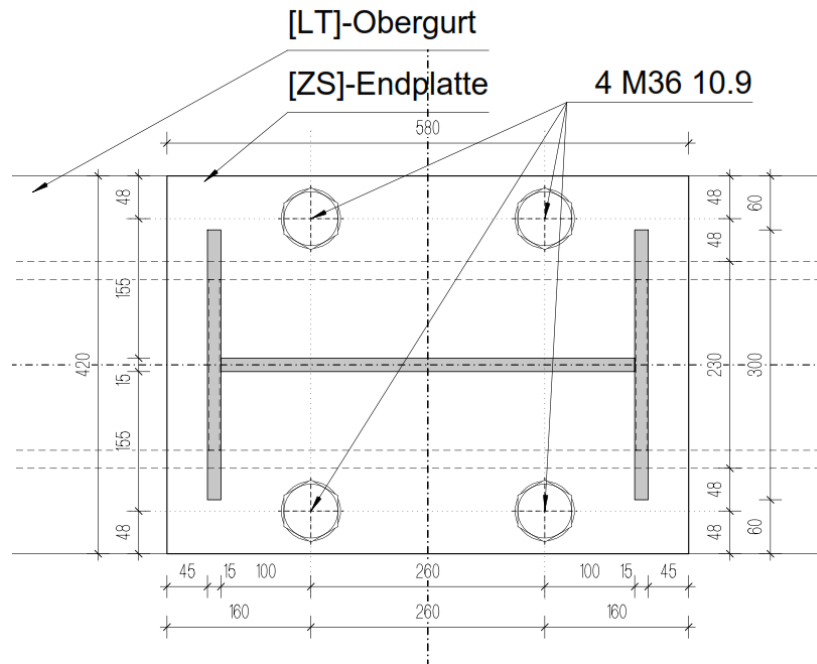


Abbildung 6.98: Anschluss Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT]

Schraubenverbindung

Schraubenbeanspruchung auf Zug:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot A_{Sp} \cdot f_{ub,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 8,17 \text{ cm}^2 \cdot 100 \text{ kN/cm}^2}{1,25} = 588,24 \text{ kN/Schraube}$$

Durchstanzen:

$$t_{p,[ZS]\text{-Endplatte}} = 50 \text{ mm}, t_{p,[LT]\text{-Obergurt}} = 30 \text{ mm} \rightarrow t_{p,min} = 30 \text{ mm}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 6,262 \cdot 3,00 \cdot 49,0}{1,25} = 1.388,10 \text{ kN/Schraube}$$

Rechnerischer Durchmesser des Schraubenkopfes für Durchstanzen:

$$d_m = \frac{s + e}{2} = \frac{58,8 + 66,44}{2} = 62,62 \text{ mm}$$

Anzahl der Schrauben $n = 4$, Beanspruchbarkeit einer Schraube: $\min\{F_{t,Rd}, B_{p,Rd}\}$

$$N_{t,Rd} = 4 \cdot F_{t,Rd} = 4 \cdot 588,24 = 2.352,90 \text{ kN} > N_{t,Ed,[ZS]} = 1.063,46 \text{ kN}$$

$N_{t,Ed,[ZS]}$ siehe 6.3.16

Äquivalenter T-Stummelnachweis

- Ermittlung ob Abstützkkräfte am Obergurt des [LT] auftreten können

nach ÖNORM EN 1993-1-8 Tabelle 6.2

$$L_b = \sum t_p + t_{\text{Unterlegscheibe}} + \frac{h_{\text{Schraubenkopf}}}{2} + \frac{h_{\text{Mutter}}}{2} = 2 \cdot 30 + 2 \cdot 6 + \frac{23}{2} + \frac{29}{2} = 98 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_S}{\sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 4,40^3 \cdot 8,17}{43,81 \cdot 3,0^3} = 5,18 \text{ cm} = 51,8 \text{ mm}$$

$L_b = 98 \text{ mm} > L_b^* = 51,8 \text{ mm}$, es können keine Abstützkkräfte am Obergurt auftreten!

- Ermittlung ob Abstützkkräfte an der Endplatte auftreten können

nach ÖNORM EN 1993-1-8 Tabelle 6.2

$$L_b = \sum t_p + t_{\text{Unterlegscheibe}} + \frac{h_{\text{Schraubenkopf}}}{2} + \frac{h_{\text{Mutter}}}{2} = 2 \cdot 30 + 2 \cdot 6 + \frac{23}{2} + \frac{29}{2} = 98 \text{ mm}$$

$$L_b^* = \frac{8,8 \cdot m^3 \cdot A_S}{\sum l_{\text{eff},1} \cdot t_f^3} = \frac{8,8 \cdot 15,15^3 \cdot 8,17}{35,12 \cdot 3,0^3} = 263,65 \text{ cm} = 2.636,5 \text{ mm}$$

$L_b = 98 \text{ mm} \leq L_b^* = 2.636,5 \text{ mm}$, es können daher Abstützkkräfte an der Endplatte auftreten!

- Effektive Länge – Muster 1 – Fließen des Obergurts [LT], Schraubengruppe

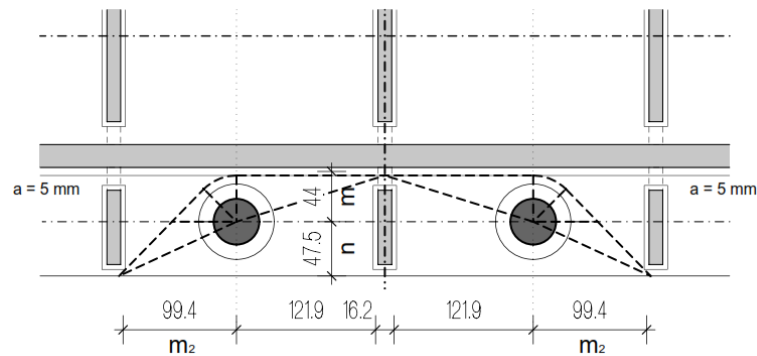


Abbildung 6.99: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 1

Schraubenreihe Muster 1: $l_{eff,1,cp} = \pi m_2 + p = \pi \cdot 99,4 + 260,0 = 572,3 \text{ mm}$

$$l_{eff,1,nc} = 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625n) =$$

$$= 0,5 \cdot 260,0 + 5,5 \cdot 96,5 - (2 \cdot 96,5 + 0,625 \cdot 47,5) =$$

$$= 438,1 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{44,0}{44,0+47,5} = 0,481$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{99,4}{44,0+47,5} = 1,086$$

→ $\alpha \cong 5,5$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 2 – Fließen des Obergurts [LT], Schrauben einzeln

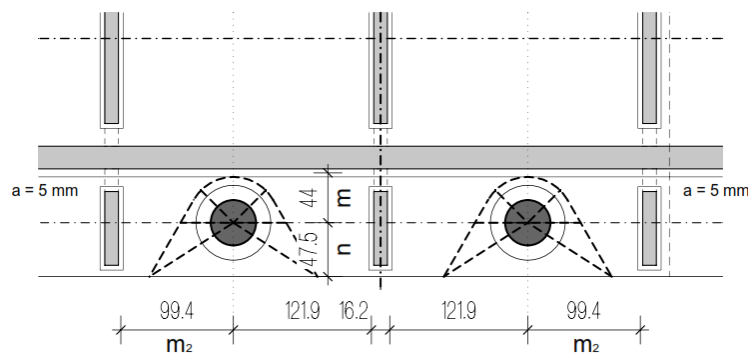


Abbildung 6.100: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 2

Schraubenreihe Muster 2: $l_{eff,2,cp} = \pi m_2 + 2n = \pi \cdot 99,4 + 2 \cdot 47,5 = 407,3 \text{ mm}$

$$l_{eff,2,nc} = \alpha \cdot m = 5,6 \cdot 44,0 = 246,4 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{44,0}{44,0+47,5} = 0,481$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{99,4}{44,0+47,5} = 1,086$$

→ $\alpha \cong 5,6$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 3 – Fließen des Obergurts [LT], Schrauben einzeln

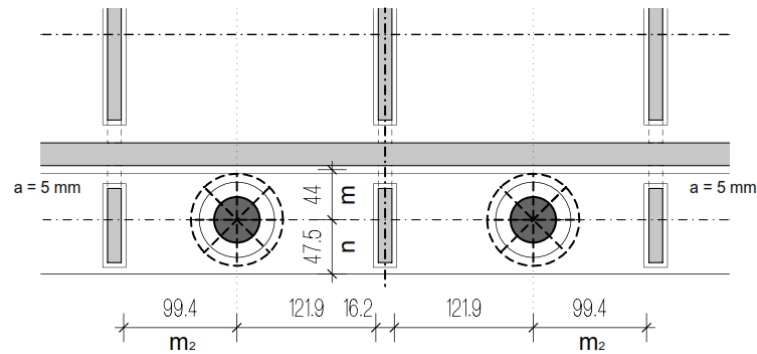


Abbildung 6.101: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 3

Schraubenreihe Muster 3: $l_{eff,3,cp} = 2\pi m = 2\pi \cdot 44,0 = 276,5 \text{ mm}$

- Effektive Länge – Muster 4 – Fließen der Endplatte, Schraubengruppe

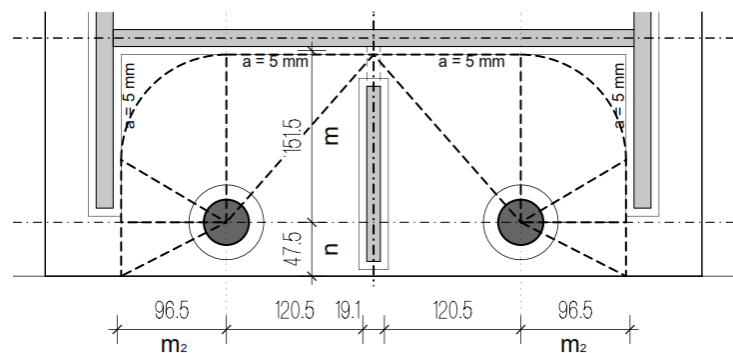


Abbildung 6.102: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 4

Schraubenreihe Muster 4: $l_{eff,4,cp} = \pi m_2 + p = \pi \cdot 96,5 + 260,0 = 563,2 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 l_{eff,4,nc} &= 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625n) = \\
 &= 0,5 \cdot 260,0 + 4,6 \cdot 96,5 - (2 \cdot 96,5 + 0,625 \cdot 47,5) = \\
 &= 351,2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(es wurde hier anstelle von m , m_2 verwendet, da der Abstand von m zu groß ist um die Fließlinien zu beeinflussen!)

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{151,5}{151,5+47,5} = 0,761$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{96,5}{151,5+47,5} = 0,485$$

→ $\alpha \cong 4,6$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 5 – Fließen der Endplatte, Schrauben einzeln

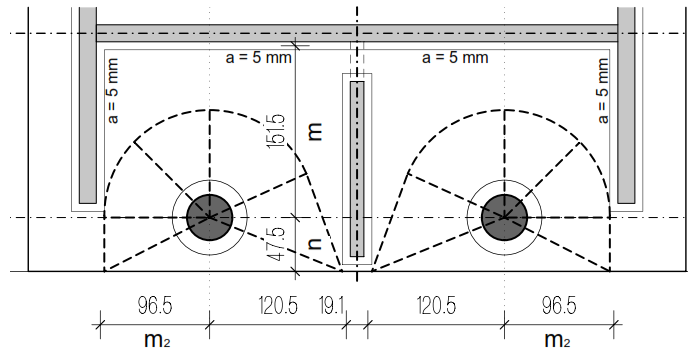


Abbildung 6.103: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 5

Schraubenreihe Muster 5: $l_{eff,5,cp} = \pi \cdot m_2 + 2 \cdot n = \pi \cdot 96,5 + 2 \cdot 47,5 = 398,2 \text{ mm}$

$$l_{eff,5,nc} = \alpha \cdot m = 4,65 \cdot 96,5 = 448,7 \text{ mm}$$

(es wurde hier anstelle von m , m_2 verwendet, da der Abstand von m zu groß ist um die Fließlinien zu beeinflussen!)

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+n} = \frac{151,5}{96,5+47,5} = 1,052$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+n} = \frac{96,5}{96,5+47,5} = 0,670$$

→ $\alpha \cong 4,65$ nach ÖNORM EN 1993-1-8 Bild 6.11

- Effektive Länge – Muster 6 – Fließen der Endplatte, Schrauben einzeln

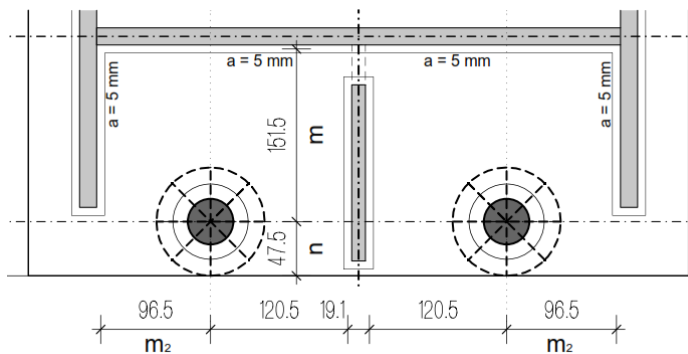


Abbildung 6.104: Zugstütze [ZS] – Längsträger [LT] – Fließmuster 6

Schraubenreihe Muster 6: $l_{eff,6,cp} = 2\pi m = 2\pi \cdot 47,5 = 298,5 \text{ mm}$

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Modus 1	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ jedoch $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$	$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ jedoch $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$
Modus 2	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$	$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$

Modus 1

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Muster 1		$\sum l_{eff,1} = 438,1 \text{ mm} \leq 572,3 \text{ mm}$
Muster 2	$l_{eff,1} = 246,4 \text{ mm} \leq 407,3 \text{ mm}$	
Muster 3	$l_{eff,1} = 276,5 \text{ mm}$	
Muster 4		$\sum l_{eff,1} = 351,2 \text{ mm} \leq 563,2 \text{ mm}$
Muster 5	$l_{eff,1} = 448,7 \text{ mm} \leq 398,2 \text{ mm}$	
Muster 6	$l_{eff,1} = 298,5 \text{ mm}$	
	$l_{eff,1} = 246,4 \text{ mm}$	$\sum l_{eff,1} = 351,2 \text{ mm}$

Modus 2

	Schraubenreihe einzeln	Schraubenreihe als Gruppe
Muster 1		$\sum l_{eff,2} = 438,1 \text{ mm}$
Muster 2	$l_{eff,2} = 246,4 \text{ mm}$	
Muster 3	-	
Muster 4		$\sum l_{eff,2} = 351,2 \text{ mm}$
Muster 5	$l_{eff,1} = 448,7 \text{ mm}$	
Muster 6	-	
	$l_{eff,2} = 246,4 \text{ mm}$	$\sum l_{eff,2} = 351,2 \text{ mm}$

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00

Endplatte*Geometrie*

$t_{r,Platte} =$	50 mm
$m =$	151,5 mm
$m_2 =$	96,5 mm
$n =$	47,5 mm
$p =$	260,0 mm

Schrauben

$F_{t,Rd} =$	588,24 kN	<i>Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube</i>
--------------	-----------	---

Effektive Längen

$l_{eff,1} =$	298,5 mm	<i>Muster 6</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$l_{eff,2} =$	448,7 mm	<i>Muster 5</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$\Sigma l_{eff,1} =$	351,2 mm	<i>Muster 4</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			
$\Sigma l_{eff,2} =$	351,2 mm	<i>Muster 4</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			

Tragfähigkeit des T-Stummels nach EN 1993-1-1 Tabelle 6.2

$M_{pl,1,Rd} =$	6.622,97 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 6</i>
$M_{pl,2,Rd} =$	7.792,25 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 4</i>
$2 \cdot F_{T,1,Rd} =$	3.497,28 kN	<i>Modus 1</i>
$F_{T,2,Rd} =$	1.344,78 kN	<i>Modus 2</i>
$F_{T,3,Rd} =$	2.352,96 kN	<i>Modus 3</i>

$\geq F_{t,Ed} = 1.063,46 \text{ kN} = N_{t,Ed,[ZS]}$

Obergurt [LT]*Geometrie*

$t_{f,Gurt} =$	30 mm
$m =$	44,0 mm
$n =$	47,5 mm
$p =$	260,0 mm

Schrauben

$F_{t,Rd} =$	588,24 kN	<i>Bemessungswert der Zugtragfähigkeit der Schraube</i>
--------------	-----------	---

Effektive Längen

$l_{eff,1} =$	246,2 mm	<i>Muster 2</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$l_{eff,2} =$	246,2 mm	<i>Muster 2</i>	$n_{Schrauben} =$	2
$\Sigma F_{t,Rd} =$	1.176,48 kN			
$\Sigma l_{eff,1} =$	438,1 mm	<i>Muster 1</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			
$\Sigma l_{eff,1} =$	438,1 mm	<i>Muster 1</i>	$n_{Schrauben} =$	4
$\Sigma F_{t,Rd} =$	2.352,96 kN			

Tragfähigkeit des T-Stummels nach EN 1993-1-1 Tabelle 6.2

$M_{pl,1,Rd} =$	1.966,52 kNcm	<i>maßgebend ist Muster 2</i>
$2 \cdot F_{T,1-2,Rd} =$	1.787,75 kN	<i>Modus 1/2</i> $\geq F_{t,Ed} = 1.063,46 \text{ kN} = N_{t,Ed,[ZS]}$
$F_{T,3,Rd} =$	2.352,96 kN	<i>Modus 3</i>

6.8 Detailnachweise – Lasteinleitungen/-durchleitungen

6.8.1 Grundlagen

Die Detailberechnung erfolgt unter Anwendung folgender Annahmen und Voraussetzungen:

- Linear elastisches Materialverhalten, duktiler Material
- Diese Bedingung impliziert die Anwendbarkeit des statischen Satzes:
 1. Die einwirkenden Spannungen und Schnittgrößen sind kleiner oder gleich der plastischen Grenzlast $S_{Ed} \leq S_{pl,Rd}$
 2. Die angewendete Modellbildung befindet sich im statischen Gleichgewicht
 3. Bei Erreichen der plastischen Grenzlast wird an den durchplastizierten Querschnitten positive Dissipationsarbeit geleistet
- Die Lastausbreitung erfolgt in der Regel nach dem Verfahren E-E, das daraus resultierende Lastausbreitungsverhältnis beträgt 1:1, nur in Sonderfällen wird eine plastische Lastausbreitung mit einem Verhältnis 1:2,5 angewendet.
- Betrachtet werden die zwei Lastfälle „Vorspannung“ und „Versuchsdurchführung“.
- Die Umschweißung der Steifenblechdicken wird bei der Lastabtragung mitberücksichtigt. Für die Nachweise der Steifen wird diese Umschweißung nicht herangezogen (siehe Punkt 6.8.2), diese Annahme liegt daher auf der sicheren Seite.
- Die Schweißnahtstärken der Lastdetails entstammen aus einer ersten Abschätzung, diese können sich aufgrund der geführten Nachweise geringfügig ändern.

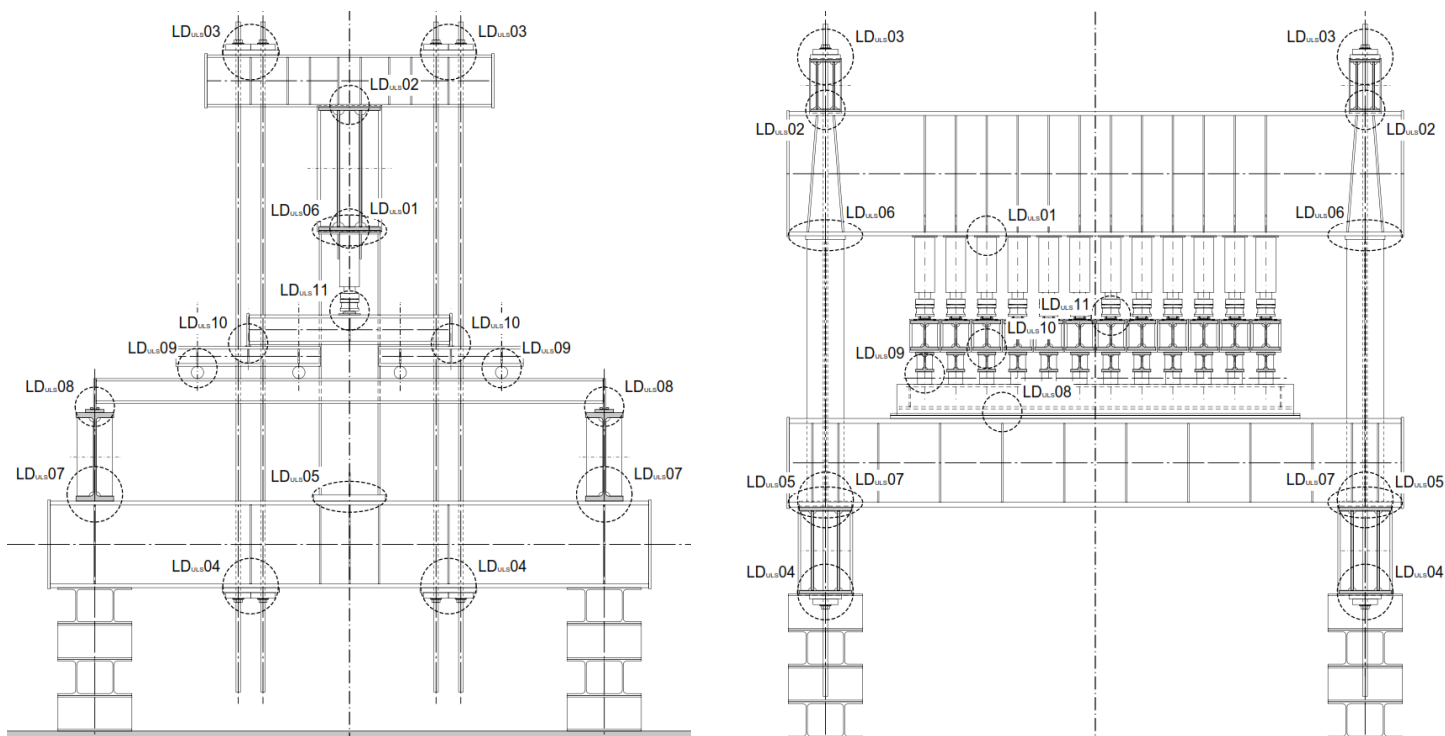


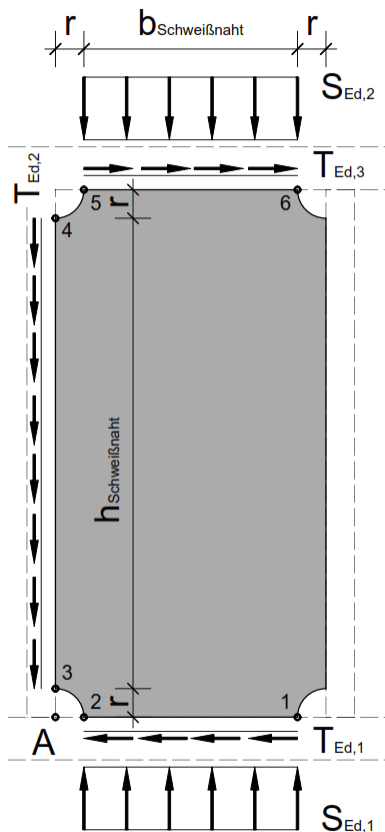
Abbildung 6.105: Einteilung der Lastdetails

6.8.2 Steifennachweise

Grundlagen

- Linear elastisches sowie duktiler Materialverhalten
- Konstante Schubspannungsverteilung
- Keine lokale Instabilität der Steife
- Die eingeleiteten Druckspannungen werden ausschließlich über die Schweißnaht in die Steife eingeleitet, es erfolgt keine Lasteinleitung über Kontakt des Steifenbleches
- Die Querschnittsklassifizierung der Steifen erfolgt anhand des Modells eines einseitig gestützten Gurtes, wobei der Nachweis mindestens die Querschnittsklasse 3 erreichen muss. Das bedeutet, dass die Beanspruchung der Steife durch eine elastische Berechnungsmethode ermittelt werden kann.
- Die Umschweißung der Bleche wird nicht berücksichtigt, es wird die Schweißnaht entlang der Längskante der Bleche zur Lastabtragung herangezogen.

Nachweisverfahren des Steifentyp 1



bekannt: $S_{1,Ed}$, $S_{Ed,2}$, h , b , r

Gleichgewichtsbedingungen:

$$\uparrow^+ \Sigma V = 0 = S_{Ed,1} \cdot b - S_{Ed,2} \cdot b - T_{Ed,2} \cdot h$$

$$\rightarrow T_{Ed,2} = \frac{b \cdot (S_{Ed,1} - S_{Ed,2})}{h}$$

$$\rightarrow^+ \Sigma H = 0 = T_{Ed,3} \cdot b - T_{Ed,1} \cdot b$$

$$\rightarrow T_{Ed,1} = \frac{(S_{Ed,1} - S_{Ed,2}) \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)}{b \cdot (h + 2 \cdot r)}$$

$$\curvearrow^+ \Sigma M_A = 0 =$$

$$= -S_{Ed,1} \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right) + T_{Ed,3} \cdot b \cdot (h + 2 \cdot r) + S_{Ed,2} \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)$$

$$\rightarrow T_{Ed,3} = \frac{(S_{Ed,1} - S_{Ed,2}) \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)}{b \cdot (h + 2 \cdot r)}$$

Abbildung 6.106: Nachweisverfahren Steifentyp 1

Nachweisverfahren des Steifentyp 2

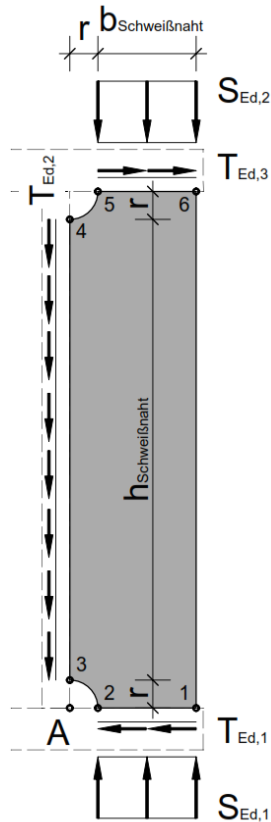


Abbildung 6.107: Nachweisverfahren Steifentyp 2

bekannt: $S_{1,Ed}$, $S_{Ed,2}$, h , b , r

Gleichgewichtsbedingungen:

$$\uparrow^+ \Sigma V = 0 = S_{Ed,1} \cdot b - S_{Ed,2} \cdot b - T_{Ed,2} \cdot h$$

$$\rightarrow T_{Ed,2} = \frac{b \cdot (S_{Ed,1} - S_{Ed,2})}{h}$$

$$\rightarrow^+ \Sigma H = 0 = T_{Ed,3} \cdot b - T_{Ed,1} \cdot b$$

$$\rightarrow T_{Ed,1} = T_{Ed,3} = \frac{(S_{Ed,1} - S_{Ed,2}) \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)}{b \cdot (h + 2 \cdot r)}$$

$$\curvearrow^+ \Sigma M_A = 0 =$$

$$= -S_{Ed,1} \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right) + T_{Ed,3} \cdot b \cdot (h + 2 \cdot r) + S_{Ed,2} \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)$$

$$\rightarrow T_{Ed,3} = \frac{(S_{Ed,1} - S_{Ed,2}) \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)}{b \cdot (h + 2 \cdot r)}$$

Nachweisverfahren des Steifentyp 3

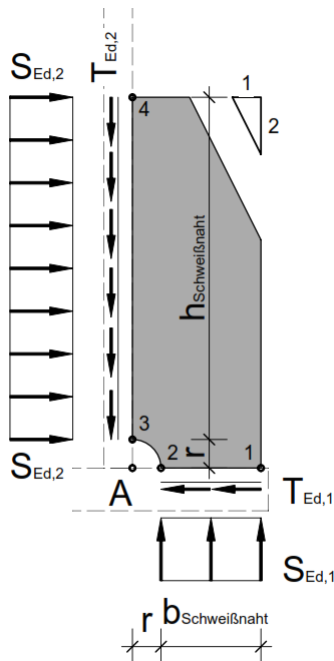


Abbildung 6.108: Nachweisverfahren Steifentyp 3

bekannt: $S_{Ed,1}$, h , b , r

Gleichgewichtsbedingungen:

$$\uparrow^+ \Sigma V = 0 = S_{Ed,1} \cdot b - T_{Ed,2} \cdot h$$

$$\rightarrow T_{Ed,2} = \frac{S_{Ed,1} \cdot b}{h}$$

$$\curvearrow^+ \Sigma M_A = 0 =$$

$$= S_{Ed,2} \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} + r\right) - S_{Ed,1} \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)$$

$$\rightarrow S_{Ed,2} = \frac{S_{Ed,1} \cdot \left(\frac{b^2}{2} + b \cdot r\right)}{\frac{h^2}{2} + h \cdot r}$$

$$\rightarrow^+ \Sigma H = 0 = S_{Ed,2} \cdot h - T_{Ed,1} \cdot b$$

$$\rightarrow T_{Ed,1} = \frac{S_{Ed,1} \cdot h \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)}{h \cdot b \cdot \left(\frac{h}{2} + r\right)} = \frac{S_{Ed,1} \cdot \left(\frac{b}{2} + r\right)}{\left(\frac{h}{2} + r\right)}$$

6.8.3 Lastdetail LD_{ULs01} – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed,Pressen} = 1,00 \cdot P_{k,Pressen} = 600,00 \text{ kN (siehe Punkt 2.2.2)}$$

- **[QT]:** Die Lasteinleitung der Pressenkraft erfolgt über eine 12 mm dicke Lasteinleitungsplatte. Diese dient einerseits der Verteilung der Pressenkraft und andererseits zur Montage der Pressen am Untergurt des Querträgers [QT]_{geschlossen}.
- **[QT]:** Die rechnerische Einleitung der Pressenkraft in die Stege des Querträgers [QT]_{geschlossen} erfolgt ausschließlich über die Schweißnähte. Es wird keine Kontaktspannung zwischen Untergurt und den Stegen angesetzt.
- **[QT]:** Die Aussteifung des [QT]_{geschlossen} dient der Gewährleistung der Formtreueheit des Querschnitts bei unplanmäßiger Torsionsbeanspruchung.

$$P_{k,Presse} = 600,00 \text{ kN}$$

Lasteinleitungsplatte / Unterkante [QT]-Untergurt

$A_{\text{Platte}} =$	265,73 cm ²
$\sigma_{\text{Platte}} =$	-22,58 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$

Schweißnähte / Halskehlnähte [QT]

$A_1 = A_w =$	39,04 cm ²
$\sigma_1 = \sigma_w =$	-153,69 N/mm ²
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$

Stegbleche [QT]

$A_2 =$	97,6 cm ²
$\sigma_2 =$	-61,48 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$

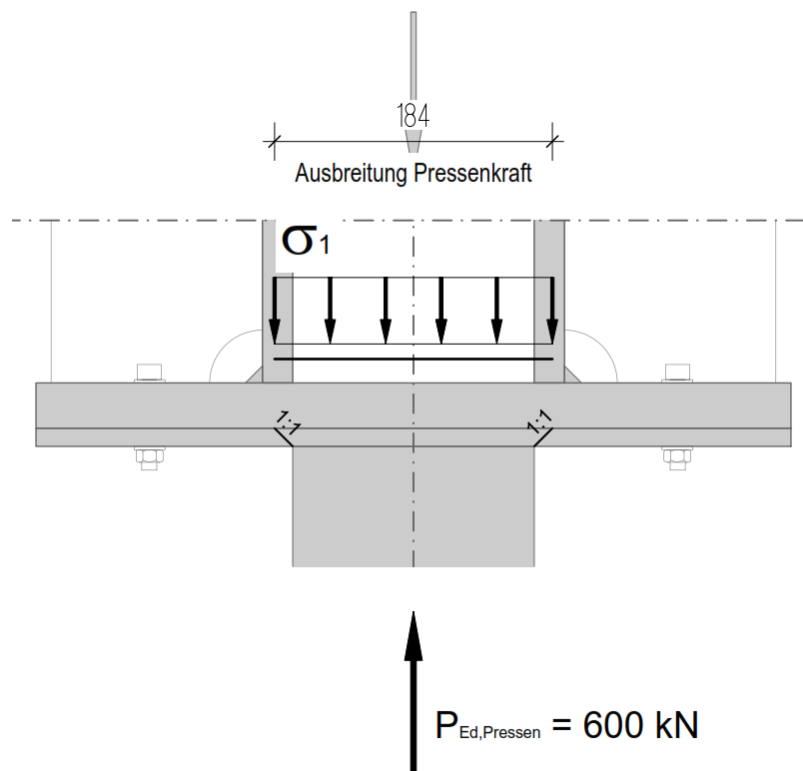


Abbildung 6.109: Lastdetail LD_{ULs01} – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung – Kräfte/Spannungen

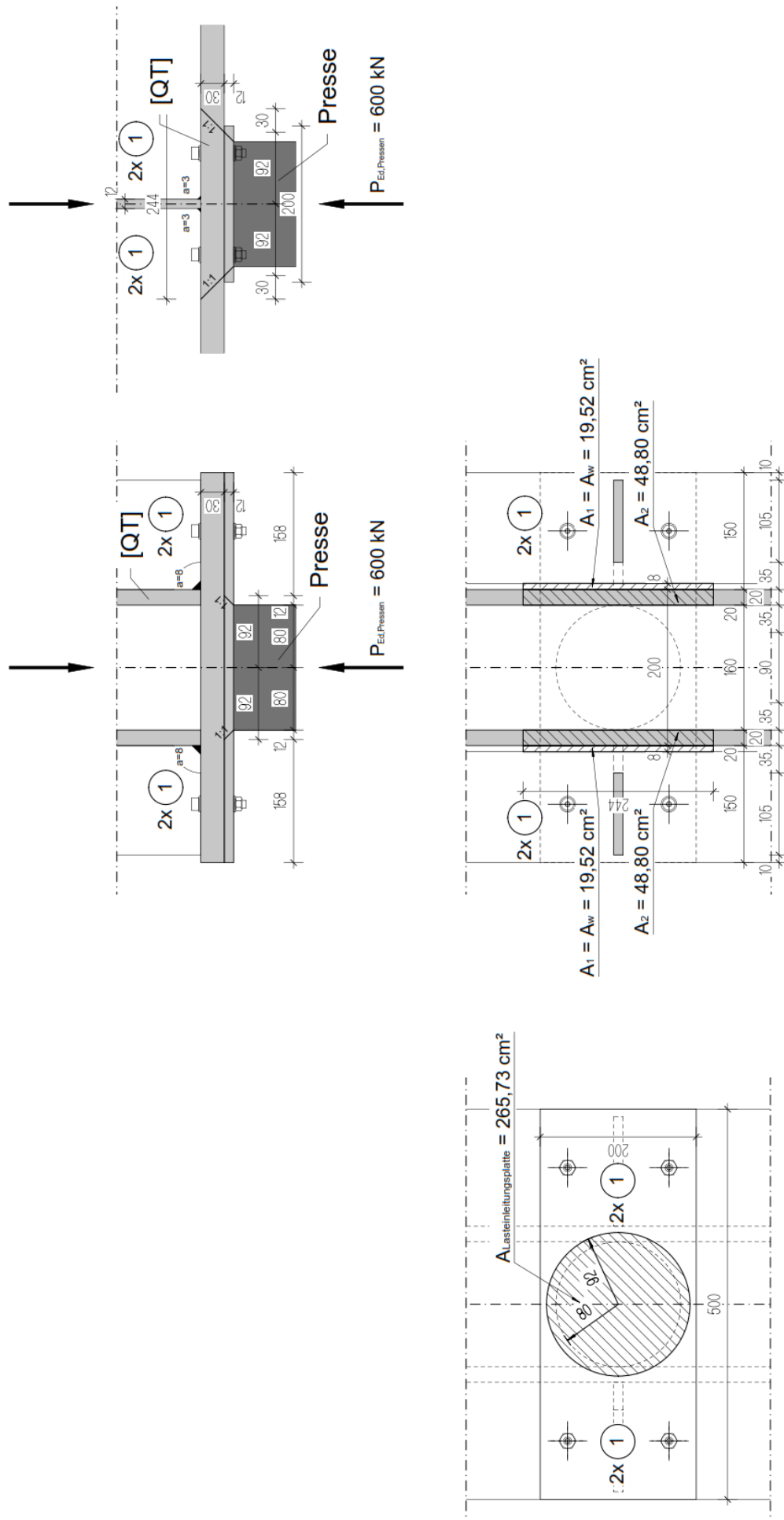


Abbildung 6.110: Lastdetail LD_{ULs01} – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung

6.8.4 Lastdetail LD_{ULS01} – [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed,Pressen} = 1,00 \cdot P_{k,Pressen} = 600,00 \text{ kN (siehe Punkt 2.2.2)}$$

- **[QT]:** Die Lasteinleitung der Pressenkraft erfolgt über eine 12 mm dicke Lasteinleitungsplatte. Diese dient einerseits der Verteilung der Pressenkraft und andererseits zur Montage der Pressen am Untergurt des Querträgers [QT]_{offen}.
- **[QT]:** Die rechnerische Einleitung der Pressenkraft in den Steg des Querträgers [QT]_{offen} erfolgt ausschließlich über die Schweißnähte. Es wird keine Kontaktspannung zwischen Untergurt und dem Steg angesetzt.
- **[QT]:** Die Aussteifung des [QT]_{offen} dient der Gewährleistung der Formtreueheit des Querschnitts bei unplanmäßiger Torsionsbeanspruchung.

$$P_{k,Presse} = 600,00 \text{ kN}$$

Lasteinleitungsplatte / Unterkante [QT]-Untergurt

$A_{\text{Platte}} =$	265,73 cm ²
$\sigma_{\text{Platte}} =$	-22,58 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$

Schweißnähte / Halskehlnähte [QT]

$A_1 = A_w =$	40,64 cm ²
$\sigma_1 = \sigma_w =$	-147,64 N/mm ²
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$

Stegblech [QT]

$A_2 =$	71,12 cm ²
$\sigma_2 =$	-84,36 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$

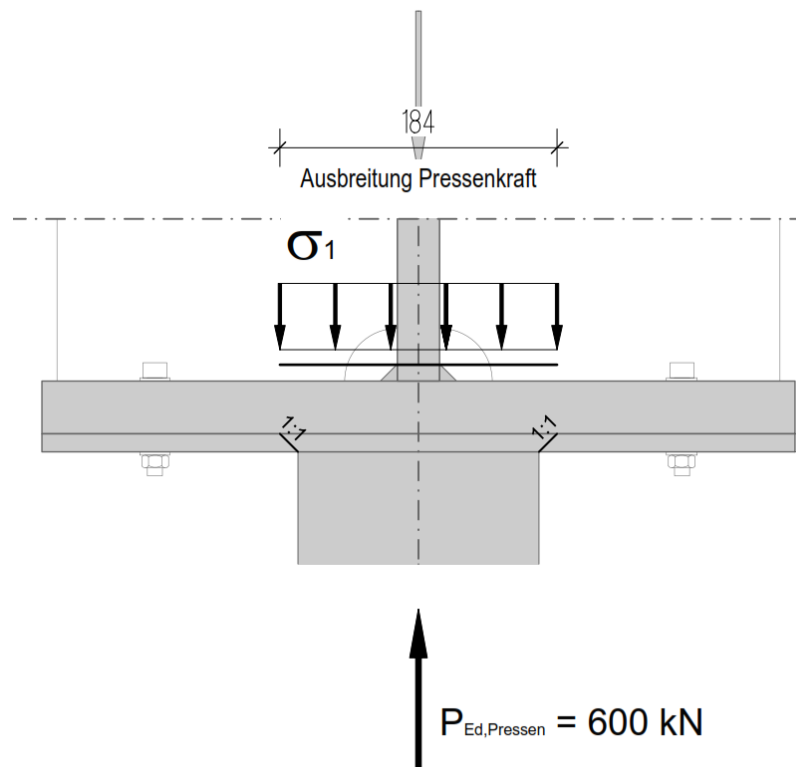


Abbildung 6.111: Lastdetail LD_{ULS01} – [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung – Kräfte/Spannungen

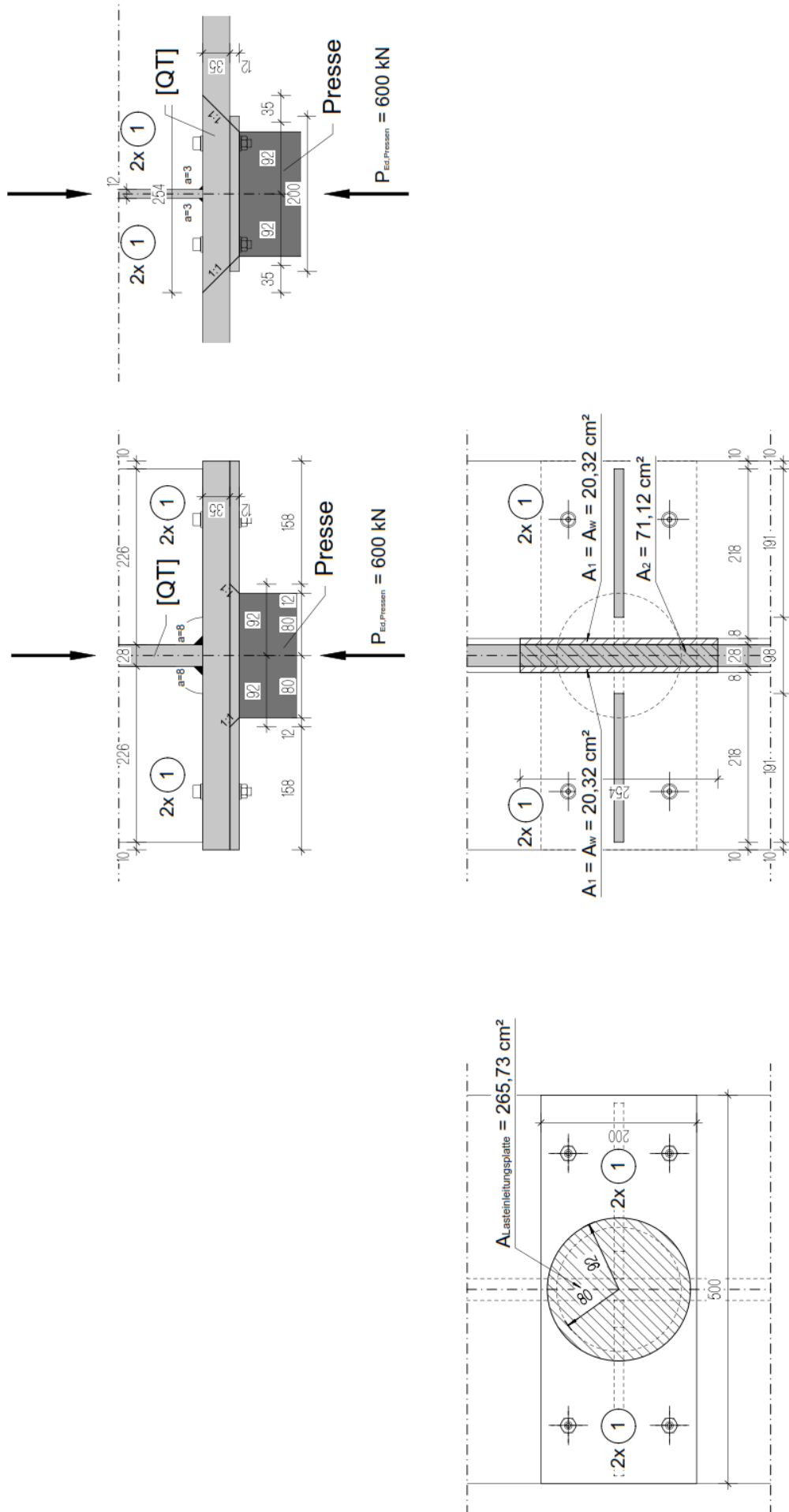


Abbildung 6.112: Lastdetail LD_{ULS01} – [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung

6.8.5 Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{geschlossen} – Vorspannung

$$P_{Ed,Vorspannung} = 1,35 \cdot G_{k,[VT]} \oplus 1,05 \cdot P_{k,Vorspannung} = 1,35 \cdot 4,38 + 1,05 \cdot 2.116,00 = 2.227,70 \text{ kN}$$

(siehe Punkt 6.3.10 Auflagerkraft des Vorspannträgers [VT] am Querträger [QT])

Dieser Fall liefert zwar keine bemessungsrelevanten Ergebnisse, allerdings wird er für die Spannungsüberlagerung im Lastfall Vorspannung benötigt.

- **[VT]:** Die Lastabtragung vom Vorspannträger [VT] auf den Obergurt des Querträgers [QT] erfolgt ausschließlich über die Stege des [VT].
- **[VT]:** Die Aussteifung des [VT] dient der Gewährleistung der Formtreueheit des Querschnitts bei Torsionsbeanspruchung.
- **[QT]:** Die Last wird rechnerisch über die außenliegenden Steifen in die Stege des [QT] und über die Kreuzungspunkte zwischen den Stegen des [VT]/[QT] über die Kehlnähte des [QT] in die Stege eingeleitet.

Dabei wird die [VT]-Stegkraft in eine längenbezogene Kraft umgerechnet. Über die elastische Lastausbreitung der [QT]-Steifen vom [QT]-Obergurt bis zum [VT]-Untergurt wird so eine Einflussbreite der [QT]-Steifen ermittelt. Daraus ergibt sich die auf die [QT]-Außensteifen einwirkende Kraft.

Es müssen daher die Steifen und deren Anschlussnähte nach einem geeigneten Berechnungsmodell mit dem Verfahren E-E nachgewiesen werden.

- **[QT]:** Die Differenzkraft, welche nicht von den [QT]-Außensteifen aufgenommen wird, wird über die elastische Lastausbreitung der [VT]-Stege auf die [QT]-Stegnähte verteilt.
- **[QT]:** Die Lasteinleitung in den [QT] erfolgt ausschließlich über die Schweißnähte, die einzuleitende Kraft wird über die Schweißnähte der Steifen bzw. der Halskehlnaht eingeleitet.

$$P_{z,Ed,[VT],Vorspannung} = 2.227,70 \text{ kN}$$

[VT]-Untergurt Oberkante

$A_{w,ges} =$	110,00 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-202,52 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_6 = A_w =$	55,00 cm ²	Halskehlnähte [VT]-Stege
$\sigma_6 = \sigma_w =$	-202,52 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_6 = F_w = 1.113,85 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des Steges}$$

$A_7 =$	75,00 cm ²	[VT]-Stegbleche
$\sigma_7 =$	-148,51 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Druckung [VT]_{Untergurt} / [QT]_{Obergurt}

$4 \cdot A_5 =$	501,32 cm ²	Kontaktspannung zwischen den Gurten
$\sigma_5 =$	-22,22 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[QT]-Obergurt Unterkante

Außensteifen

$f_{w,[VT]\text{-Steg}} =$	-20,25 kN/cm	Schweißnahtkraft je cm des [VT]-Steg = Konsistenzbedingung
$e_{\text{Steife}} =$	198,0 mm	Einflussbreite der Steife
$A_1 = A_w =$	23,25 cm ²	Schweißnahtfläche pro Steife
$F_1 = F_w =$	400,99 kN	Gesamtkraft pro Steife
$\sigma_1 = \sigma_w =$	-172,47 N/mm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_2 =$	14,70 cm ²	Steifenblech
$\sigma_2 =$	-272,78 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$$F_{\text{Steifen,ges}} = 1.603,94 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft aller Steifen}$$

$$\Delta F = 623,76 \text{ kN} \quad \text{Differenzkraft = Kraft der Steganteile}$$

Stege

$$F_{\text{Stege,ges}} = \Delta F = 623,76 \text{ kN} \quad \text{Kraft der Steganteile}$$

$A_3 = A_w =$	10,44 cm ²	Schweißnaht der Stege
$\sigma_3 = \sigma_w =$	-149,37 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_4 =$	26,11 cm ²	Stegblech
$\sigma_4 =$	-59,72 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

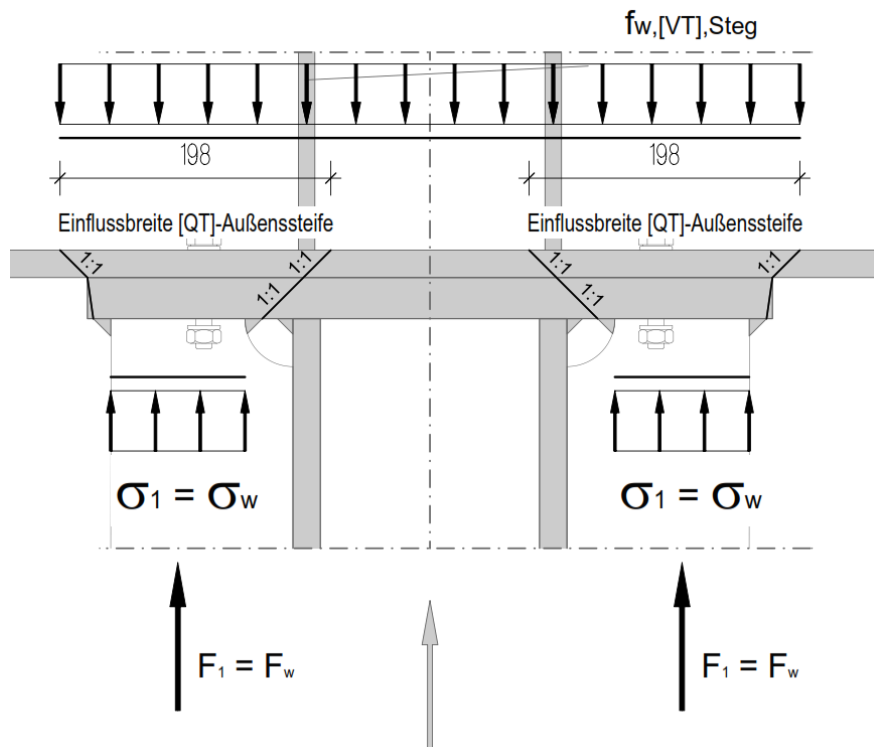


Abbildung 6.113: Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{geschlossen} – Vorspannung – Kräfte/Spannungen

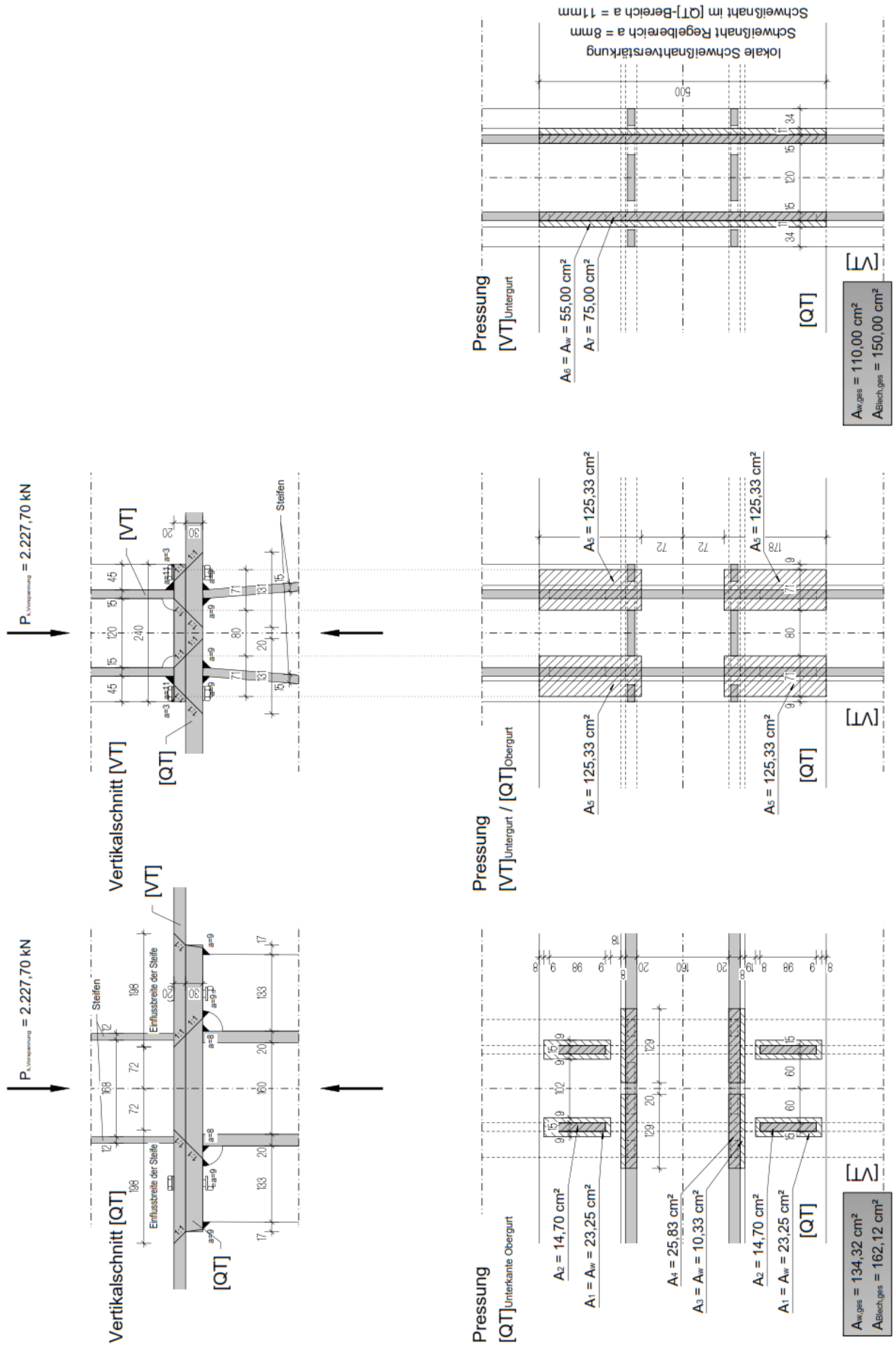


Abbildung 6.114: Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{geschlossen} – Vorspannung

Steifennachweis Außensteife [QT]_{geschlossen}

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

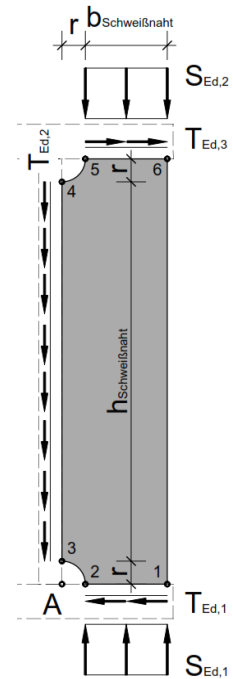
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	942 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	98 mm
$r =$	35 mm
$t =$	15 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	32,84 kN/cm	LD _{ULS,06} [QT] _{geschlossen} - Fläche $A_8 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	40,92 kN/cm	LD _{ULS,02} [QT] _{geschlossen} - Fläche $A_1 = A_w$

$T_{Ed,1} =$	-0,67 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-0,84 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-0,67 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

Punkt 3 = Punkt 4

Punkt 5 = Punkt 6

$a_1 =$	7 mm	$a_2 =$	3 mm	$a_3 =$	10 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	234,60 N/mm ²	$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\sigma_{\perp,Ed} =$	204,58 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-4,79 N/mm ²	$\tau_{\parallel,Ed} =$	-14,00 N/mm ²	$\tau_{\parallel,Ed} =$	-3,35 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,93 ≤ 1,00	$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,06 ≤ 1,00	$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,81 ≤ 1,00
$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,62 ≤ 1,00	$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	0,03 ≤ 1,00	$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,77 ≤ 1,00

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+r)/t =$	8,9	≤ 14ε = 11,39	Querschnittsklasse 3
		ε = 0,81	

6.8.6 Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung

$$\begin{aligned}
 P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} &= 1,35 \cdot G_{k, [VT]} \oplus 1,05 \cdot P_{k, \text{Vorspannung}} \oplus 1,00 \cdot P_{k, \text{Spannstangen, Versuchsdurchführung}} \\
 &= 1,35 \cdot 4,38 + 1,05 \cdot 2.116,00 + 1,00 \cdot 253,00 = 2.480,70 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

(siehe Punkt 6.3.11 Auflagerkraft des Vorspannträgers [VT] am Querträger [QT])

Beschreibung siehe Seite 142.

$$P_{z, Ed, [VT], \text{Vorspannung}} = 2.480,70 \text{ kN}$$

[VT]-Untergurt Oberkante

$A_{w, ges} =$	110,00 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-225,52 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_6 = A_w =$	55,00 cm ²	Halskehlnähte [VT]-Stege
$\sigma_6 = \sigma_w =$	-225,52 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_6 = F_w = 1.240,35 \text{ kN}$ Gesamtkraft des Steges

$A_7 =$	75,00 cm ²	[VT]-Stegbleche
$\sigma_7 =$	-165,38 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Pressung [VT]_{Untergurt} / [QT]_{Obergurt}

$4 \cdot A_5 =$	501,32 cm ²	Kontaktspannung zwischen den Gurten
$\sigma_5 =$	-24,74 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[QT]-Obergurt Unterkante

Außensteifen

$f_{w, [VT]-Steg} =$	-22,55 kN/cm	Schweißnahtkraft je cm des [VT]-Steg = Konsistenzbedingung
$e_{Steife} =$	198,0 mm	Einflussbreite der Steife

$A_1 = A_w =$	23,25 cm ²	Schweißnahtfläche pro Steife
$F_1 = F_w =$	446,53 kN	Gesamtkraft pro Steife
$\sigma_1 = \sigma_w =$	-192,05 N/mm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_2 =$	14,70 cm ²	Steifenblech
$\sigma_2 =$	-303,76 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$F_{\text{Steifen, ges}} = 1.786,10 \text{ kN}$ Gesamtkraft aller Steifen

$\Delta F = 694,60 \text{ kN}$ Differenzkraft = Kraft der Steganteile

Stege

$F_{\text{steg, ges}} = \Delta F = 694,60 \text{ kN}$ Kraft der Steganteile

$A_3 = A_w =$	10,44 cm ²	Schweißnaht der Stege
$\sigma_3 = \sigma_w =$	-166,33 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_4 =$	26,11 cm ²	Stegblech
$\sigma_4 =$	-66,51 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

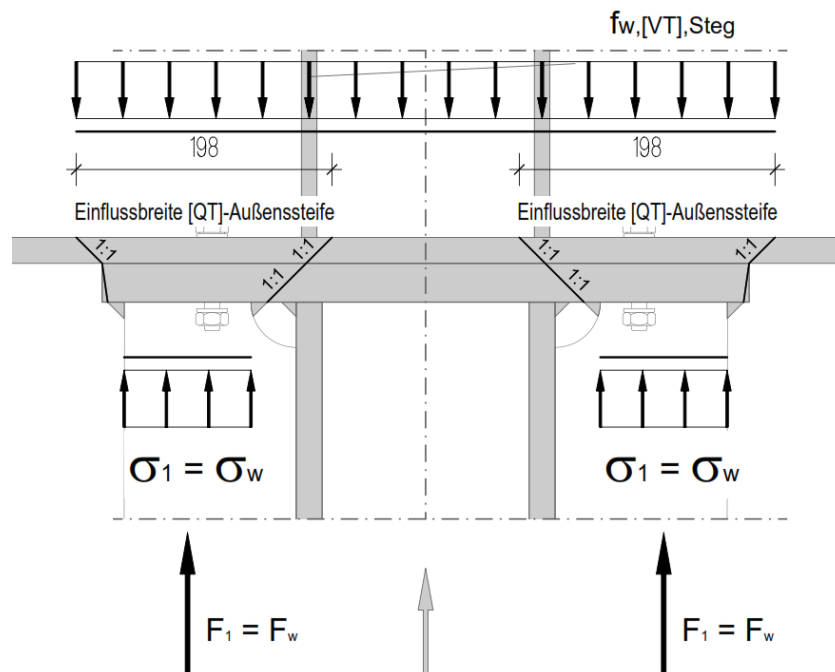


Abbildung 6.115: Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung – Kräfte/Spannungen

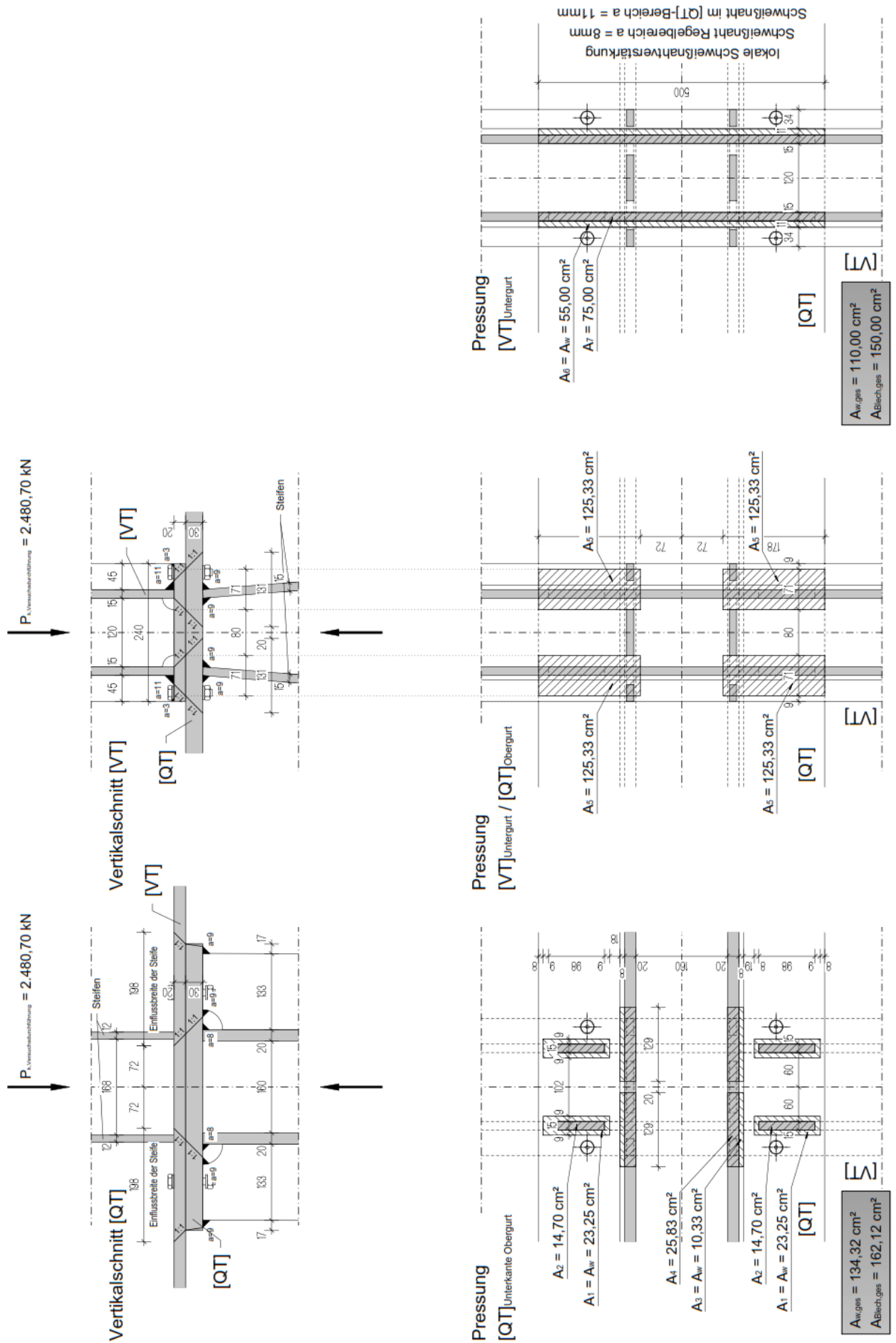


Abbildung 6.116: Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung

Steifennachweis Außensteife [QT]_{geschlossen}

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

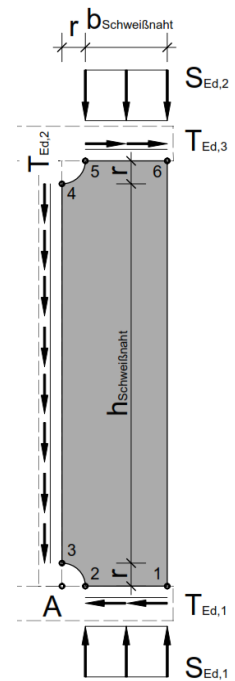
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	942 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	98 mm
$r =$	35 mm
$t =$	15 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	-6,90 kN/cm	LD _{ULS,06} [QT] _{geschlossen} - Fläche $A_y = A_w$
$S_{Ed,2} =$	45,56 kN/cm	LD _{ULS,02} [QT] _{geschlossen} - Fläche $A_1 = A_w$

$T_{Ed,1} =$	-4,35 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-5,46 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-4,35 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	7 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-49,27 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-31,10 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,23 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,19 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-90,96 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,36 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	0,18 ≤ 1,00
---------------------------	-------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	10 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	227,82 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-21,77 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,91 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,87 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+r)/t = 8,9 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

6.8.7 Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{offen} – Vorspannung

$$P_{Ed,Vorspannung} = 1,35 \cdot G_{k,[VT]} \oplus 1,05 \cdot P_{k,Vorspannung} = 1,35 \cdot 4,38 + 1,05 \cdot 2.116,00 = 2.227,70 \text{ kN}$$

(siehe Punkt 6.3.10 Auflagerkraft des Vorspannträgers [VT] am Querträger [QT])

Dieser Fall liefert zwar keine bemessungsrelevanten Ergebnisse, allerdings wird er für die Spannungsüberlagerung im Lastfall Vorspannung benötigt.

- **[VT]:** Die Lastabtragung vom Vorspannträger [VT] auf den Obergurt des Querträgers [QT] erfolgt einerseits über die Stege des [VT] und andererseits über die innenliegende Steife.
- **[VT]:** Die Aussteifung des [VT] dient der Gewährleistung der Formtreueheit des Querschnitts bei Torsionsbeanspruchung.
- **[QT]:** Die Last wird rechnerisch über die außenliegenden Steifen in den Steg des [QT] und über die Kreuzungspunkte zwischen den Stegen des [VT]/[QT] über die Kehlnähte des [QT] in den Steg eingeleitet.

Dabei wird die [VT]-Stegkraft in eine längenbezogene Kraft umgerechnet. Über die elastische Lastausbreitung der [QT]-Steifen vom [QT]-Obergurt bis zum [VT]-Untergurt wird so eine Einflussbreite der [QT]-Steifen ermittelt. Daraus ergibt sich die auf die [QT]-Außensteifen einwirkende Kraft.

Es müssen daher die Steifen und deren Anschlussnähte nach einem geeigneten Berechnungsmodell mit dem Verfahren E-E nachgewiesen werden.

- **[QT]:** Die Differenzkraft, welche nicht von den [QT]-Außensteifen aufgenommen wird, wird über die elastische Lastausbreitung der [VT]-Stege auf die [QT]-Stegnähte verteilt.
- **[QT]:** Die Lasteinleitung in den [QT] erfolgt ausschließlich über die Schweißnähte, die einzuleitende Kraft wird über die Schweißnähte der Steifen bzw. der Halskehlnaht eingeleitet.

$$P_{z,Ed,[VT],Vorspannung} = 2.227,70 \text{ kN}$$

[VT]-Untergurt Oberkante

$A_{w,ges} =$	125,26 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-177,85 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Innensteifen

$A_8 = A_w =$	15,26 cm ²	Schweißnahtfläche der Steife
$\sigma_8 = \sigma_w =$	-177,85 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_8 = F_w = 271,39 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft der Steife}$$

Stege

$A_6 = A_w =$	55,00 cm ²	Halskehlnähte [VT]-Stege
$\sigma_6 = \sigma_w =$	-177,85 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_6 = F_w = 978,15 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des Steges}$$

$A_7 =$	75,00 cm ²	[VT]-Stegblech
$\sigma_7 =$	-130,42 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Pressung [VT]_{Untergurt} / [QT]_{Obergurt}

$A_5 =$	767,80 cm ²	Kontaktspannung zwischen den Gurten
$\sigma_5 =$	-29,01 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[QT]-Obergurt Unterkante

Außensteifen

$$f_{w,[VT]\text{-Steg}} = -14,23 \text{ kN/cm} \quad \text{Schweißnahtkraft je cm des [VT]-Steg = Konsistenzbedingung}$$

$$e_{\text{Steife}} = 270,0 \text{ mm} \quad \text{Einflussbreite der Steife}$$

$$A_1 = A_w = 29,40 \text{ cm}^2 \quad \text{Schweißnahtfläche pro Steife}$$

$$F_1 = F_w = 384,15 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft pro Steife}$$

$$\sigma_1 = \sigma_w = -130,66 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Schweißnahtspannung pro Steife}$$

$$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$$

$$A_2 = 22,08 \text{ cm}^2 \quad \text{Steifenblech}$$

$$\sigma_2 = -173,98 \text{ N/mm}^2$$

$$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{\text{Steifen,ges}} = 1.536,59 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft aller Steifen}$$

$$\Delta F = F_8 = 691,11 \text{ kN} \quad \text{Differenzkraft = Kraft des Steganteils}$$

Steg

$$F_{\text{steg,ges}} = \Delta F = 691,11 \text{ kN} \quad \text{Kraft des Steganteils}$$

$$A_3 = A_w = 35,38 \text{ cm}^2 \quad \text{Schweißnaht des Steges}$$

$$\sigma_3 = \sigma_w = -48,83 \text{ N/mm}^2$$

$$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$$

$$A_4 = 61,91 \text{ cm}^2 \quad \text{Stegblech}$$

$$\sigma_4 = -27,91 \text{ N/mm}^2$$

$$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$$

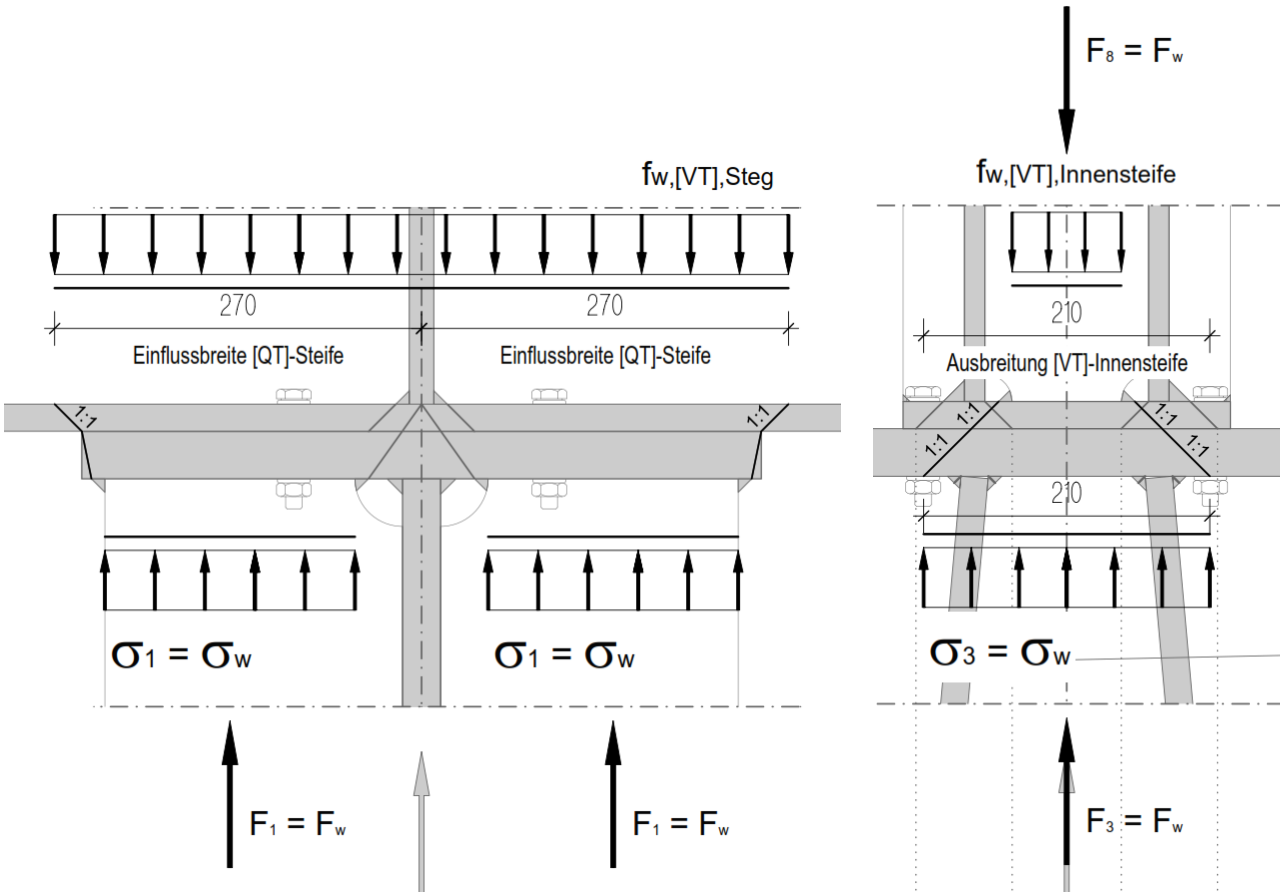


Abbildung 6.117: Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{offen} – Vorspannung – Kräfte/Spannungen

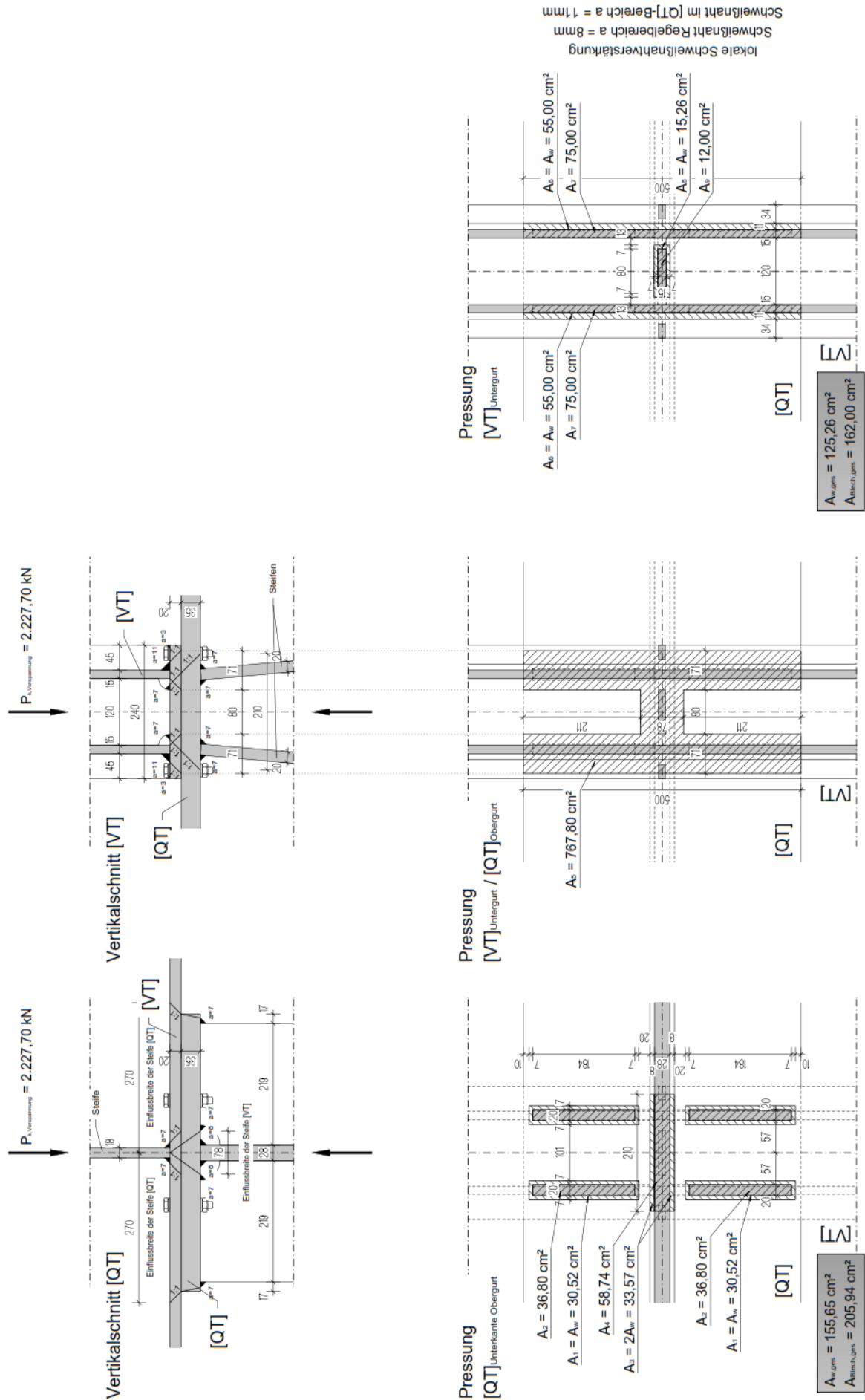


Abbildung 6.118: Lastdetail LD_{ULs02} – [QT]_{offen} – Vorspannung

Steifennachweis Außensteife [QT]_{offen}

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

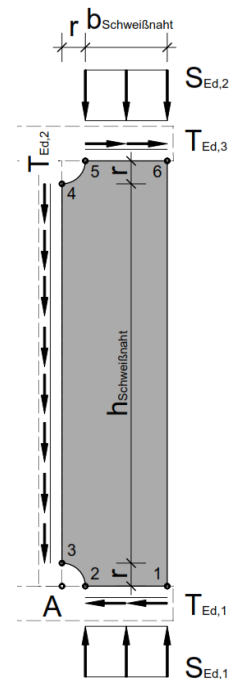
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	933 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	184 mm
$r =$	35 mm
$t =$	20 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	16,80 kN/cm	LD _{ULS,06} [QT] _{offen} - Fläche $A_8 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	20,88 kN/cm	LD _{ULS,02} [QT] _{offen} - Fläche $A_1 = A_w$

$T_{Ed,1} =$	-0,52 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-0,80 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-0,52 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	5 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	167,97 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-5,17 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,67 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,24 \leq 1,00$$

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-13,41 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,05 \leq 1,00$$

$$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} = 0,02 \leq 1,00$$

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	5 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	208,78 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-5,17 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,83 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,29 \leq 1,00$$

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$$c/t = (b+r)/t = 11,0 \leq 14\epsilon = 11,39$$

$$\epsilon = 0,81$$

Querschnittsklasse 3

Steifennachweis Innensteife [VT]

Steifentyp 1

Materialkennwerte

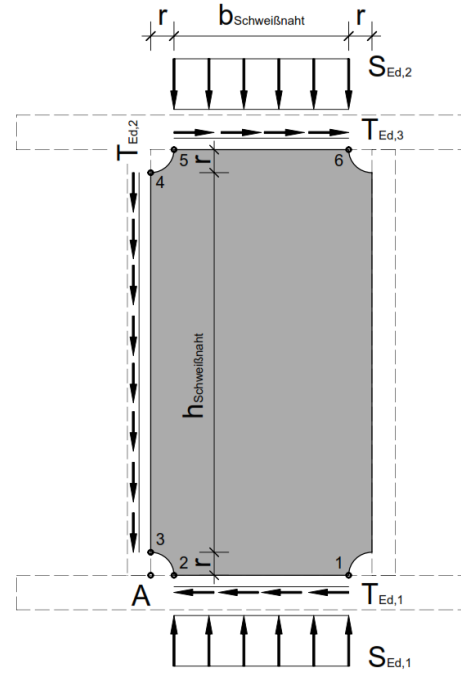
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	340 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	80 mm
$r =$	20 mm
$t =$	15 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	28,27 kN/cm	LD _{ULS,02} [QT] _{offen} - Fläche $A_0 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	0,00 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	4,46 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	6,65 kN/cm	
$T_{Ed,3} =$	4,46 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	8 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	176,69 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	27,90 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,71 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,55 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	110,86 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,44 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	$0,22 \leq 1,00$
---------------------------	------------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	74,40 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,30 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,15 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+2r)/t =$	8,0	$\leq 14\epsilon = 11,39$
		$\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

6.8.8 Lastdetail LD_{ULS02} – [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung

$P_{Ed, Versuchsdurchführung}$

$$= 1,35 \cdot G_{k, [VT]} \oplus 1,05 \cdot P_{k, Vorspannung} \oplus 1,00 \cdot P_{k, Spannstangen, Versuchsdurchführung}$$

$$= 1,35 \cdot 4,38 + 1,05 \cdot 2.116,00 + 1,00 \cdot 253,00 = 2.480,70 \text{ kN}$$

(siehe Punkt 6.3.11 Auflagerkraft des Vorspannträgers [VT] am Querträger [QT])

Beschreibung siehe Seite 149.

$$P_{z, Ed, [VT], Vorspannung} = 2.480,70 \text{ kN}$$

[VT]-Untergurt Oberkante

$A_{w, ges} =$	125,26 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-198,04 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Innensteifen

$A_8 = A_w =$	15,26 cm ²	Schweißnahtfläche der Steife
$\sigma_8 = \sigma_w =$	-198,04 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	
$F_8 = F_w =$	302,22 kN	Gesamtkraft der Steife

Stege

$A_6 = A_w =$	55,00 cm ²	Halskehlnähte [VT]-Stege
$\sigma_6 = \sigma_w =$	-198,04 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_6 = F_w = \mathbf{1.089,24 \text{ kN}}$$
 Gesamtkraft des Steges

$A_7 =$	75,00 cm ²	[VT]-Stegblech
$\sigma_7 =$	-145,23 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Pressung [VT]_{Untergurt} / [QT]_{Obergurt}

$A_5 =$	767,80 cm ²	Kontaktspannung zwischen den Gurten
$\sigma_5 =$	-32,31 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[QT]-Obergurt Unterkante

Außensteifen

$f_{w, [VT]-Steg} =$	-15,84 kN/cm	Schweißnahtkraft je cm des [VT]-Steg = Konsistenzbedingung
$e_{Steife} =$	270,0 mm	Einflussbreite der Steife
$A_1 = A_w =$	29,40 cm ²	Schweißnahtfläche pro Steife
$F_1 = F_w =$	427,78 kN	Gesamtkraft pro Steife
$\sigma_1 = \sigma_w =$	-145,50 N/mm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_2 =$	22,08 cm ²	Steifenblech
$\sigma_2 =$	-193,74 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$$F_{Steifen, ges} = \mathbf{1.711,10 \text{ kN}}$$
 Gesamtkraft aller Steifen

$$\Delta F = F_8 = 769,60 \text{ kN}$$
 Differenzkraft = Kraft des Steganteils

Steg

$$F_{steg, ges} = \Delta F = \mathbf{769,60 \text{ kN}}$$
 Kraft des Steganteils

$A_3 = A_w =$	35,38 cm ²	Schweißnaht des Steges
$\sigma_3 = \sigma_w =$	-54,38 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_4 =$	61,91 cm ²	Stegblech
$\sigma_4 =$	-31,08 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

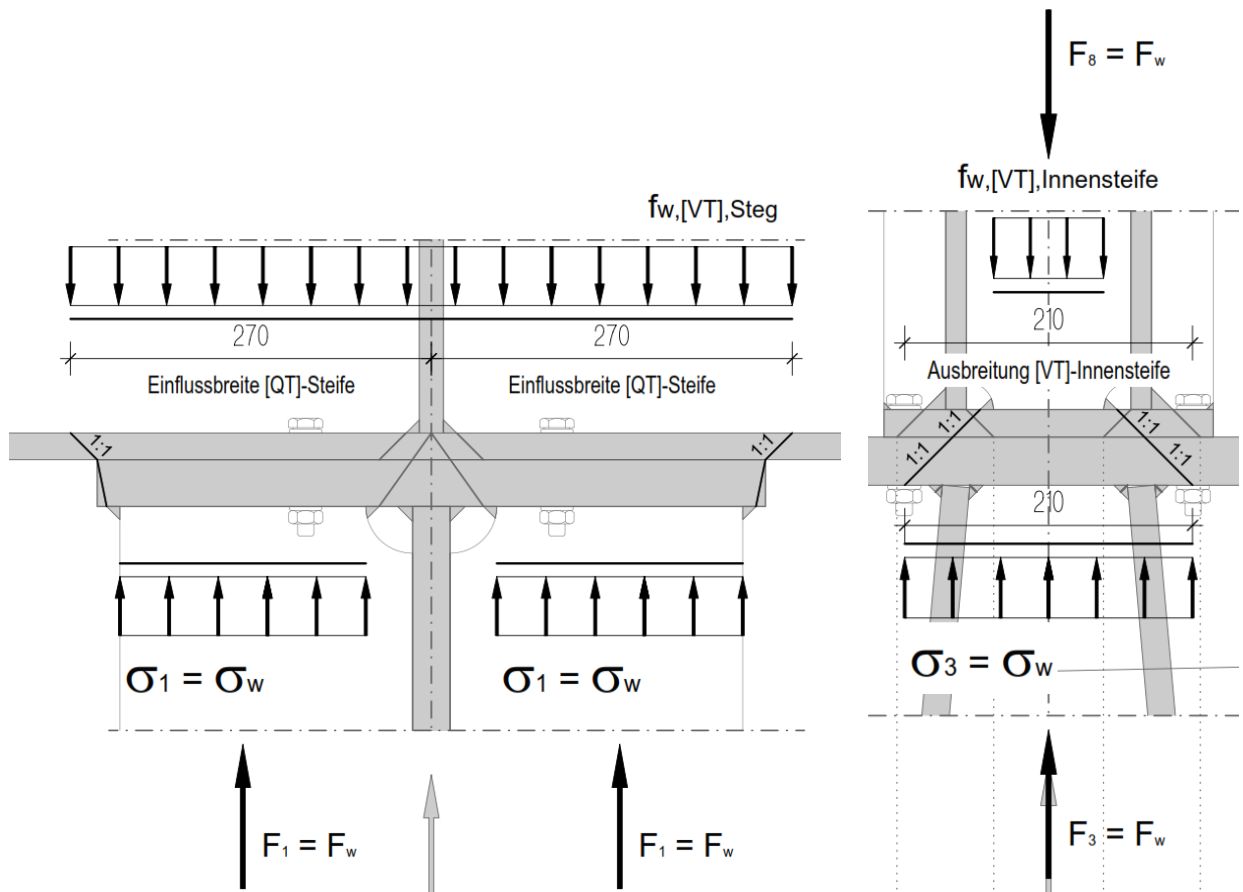


Abbildung 6.119: Lastdetail LD_{ULS02} - [QT]_{offen} - Versuchsdurchführung - Kräfte/Spannungen

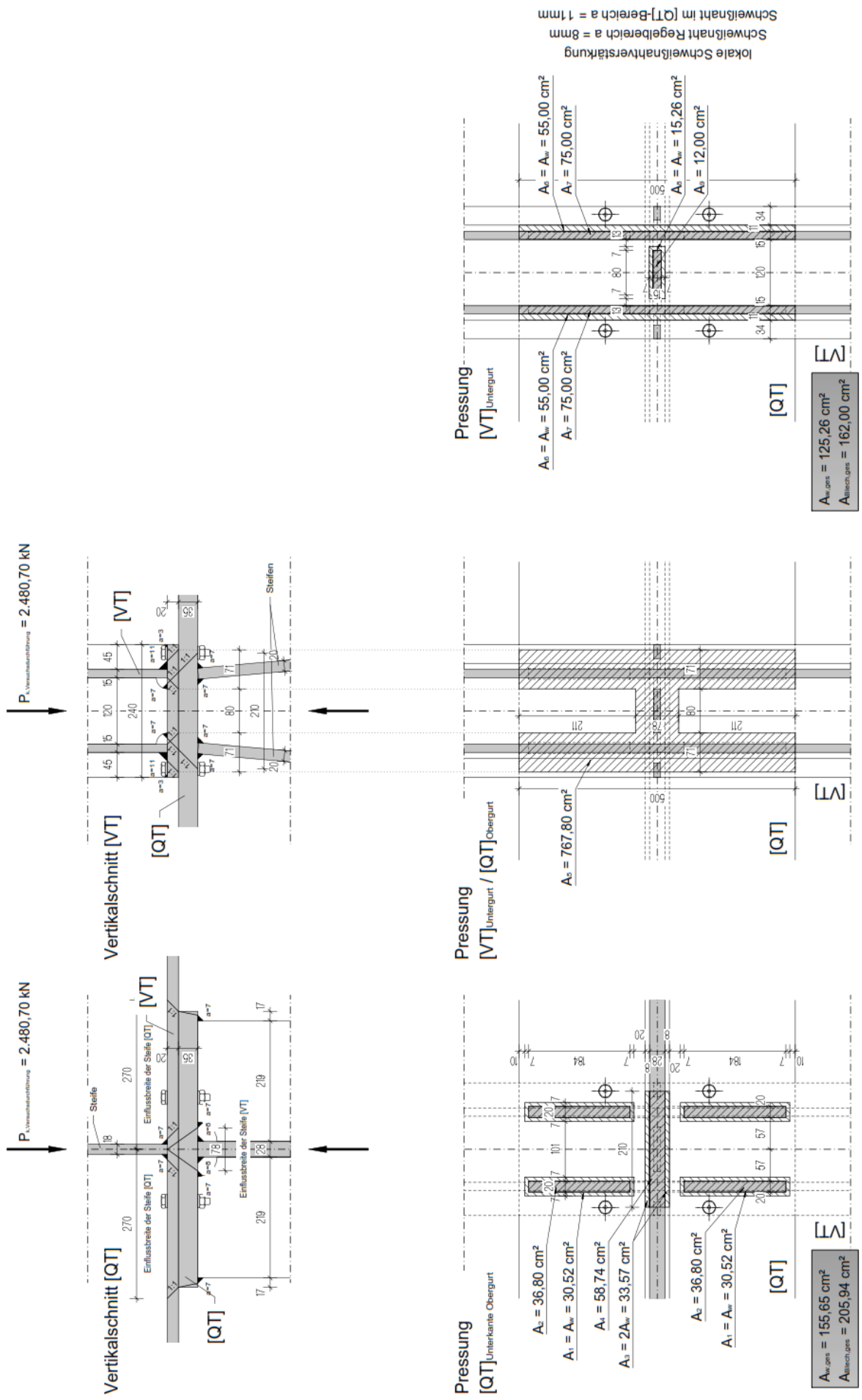


Abbildung 6.120: Lastdetail LD_{ULs02} – [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung

Steifennachweis Außensteife [QT]_{offen}

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

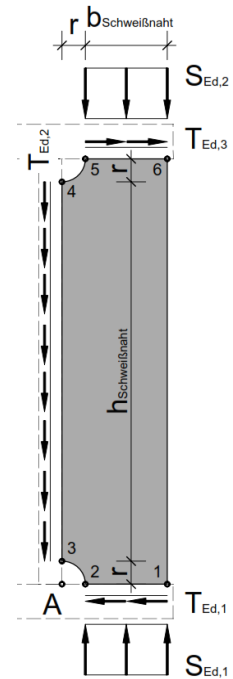
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	933 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	184 mm
$r =$	35 mm
$t =$	20 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	-4,25 kN/cm	LD _{ULS,06} [QT] _{offen} - Fläche $A_y = A_w$
$S_{Ed,2} =$	23,25 kN/cm	LD _{ULS,02} [QT] _{offen} - Fläche $A_1 = A_w$

$T_{Ed,1} =$	-3,48 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-5,42 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-3,48 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	5 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-42,45 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-34,81 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,22 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,10 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-90,37 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,36 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	0,13 ≤ 1,00
---------------------------	-------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	5 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	232,49 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-34,81 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,93 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,34 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+r)/t = 11,0 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

Steifennachweis Innensteife [VT]

Steifentyp 1

Materialkennwerte

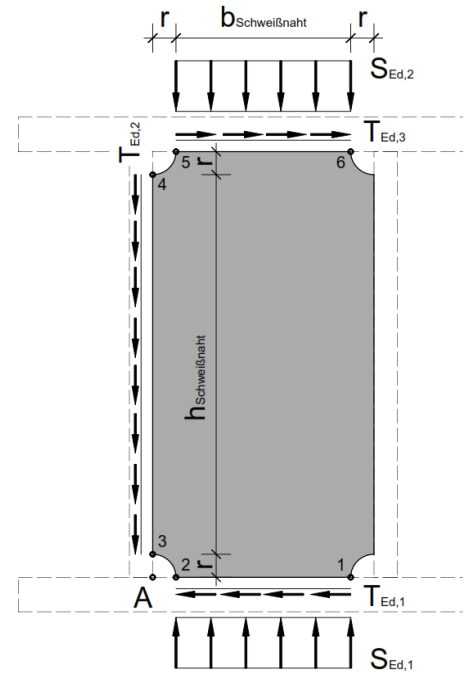
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	340 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	80 mm
$r =$	20 mm
$t =$	15 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	37,78 kN/cm	LD _{ULS,02} [QT] _{offen} - Fläche $A_8 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	0,00 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	5,96 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	8,89 kN/cm	
$T_{Ed,3} =$	5,96 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	8 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	236,11 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	37,28 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,95 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,74 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	148,14 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,59 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	$0,29 \leq 1,00$
---------------------------	------------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	99,41 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,40 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,19 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+2r)/t =$	8,0	$\leq 14\epsilon = 11,39$
		$\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

6.8.9 Lastdetail LD_{ULs03} – Vorspannung

$$P_{Ed,Vorspannung} = 1,05 \cdot LF_{Vorspannung} = 1,05 \cdot 529,00 = 555,45 \text{ kN}$$

Dieser Fall liefert zwar keine bemessungsrelevanten Ergebnisse, allerdings wird er für die Spannungsüberlagerung im Lastfall Vorspannung benötigt.

- **[VT]:** Die Einleitung der Vorspannkraft wird über Lastverteilplatten mit einer Stärke von 45 mm und 40 mm erzielt. Der daraus resultierende Druckkegel liefert Kontaktspannungen an der Oberseite des [VT]-Obergurts.
- **[VT]:** Die Einleitung dieser Kraft in den Vorspannträger [VT] erfolgt über die Schweißnähte. Die Einflusslänge, auf welche sich die Druckspannung auf die Schweißnähte auswirkt wird über den erweiterten Druckkegel ermittelt.

Beide Lasteinleitungsplatten liegen über den [VT]-Stegen auf, es kann somit angenommen werden, dass die Kräfte aus den Spanngliedern direkt in die Stege, ohne Zwischenbiegung des [VT]-Obergurtbleches abgeleitet werden können.

- **[VT]:** Zusätzlich zu den Halskehlnähten des [VT] wird auch die Innensteife zur Lastabtragung herangezogen. Die Innensteifen liegen im Überlagerungsbereich beider Druckkegel, deren Anschlussnähte werden daher nach einem geeigneten Berechnungsmodell mit dem Verfahren E-E nachgewiesen.

$$P_{Ed,Vorspannung} = -555,45 \text{ kN}$$

[VT]-Obergurt Oberkante

$A_1 =$	359,53 cm ²	Pressungsfläche
$\sigma_1 =$	-15,45 N/mm ²	Kontaktspannung
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[VT]-Obergurt Unterkante

$A_{w,ges} =$	70,22 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-79,10 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Innensteifen

$A_4 = A_w =$	5,88 cm ²	Schweißnahtfläche der Steife
$\sigma_4 = \sigma_w =$	-79,10 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_4 = F_w = 46,51 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft der Steife}$$

$A_5 =$	75,00 cm ²	Innensteife
$\sigma_5 =$	-6,20 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_2 = A_w =$	32,17 cm ²	Halskehlnähte [VT]-Stege
$\sigma_2 = \sigma_w =$	-79,10 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_2 = F_w = 254,47 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des Steges}$$

$A_3 =$	60,32 cm ²	[VT]-Stegblech
$\sigma_3 =$	-42,19 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

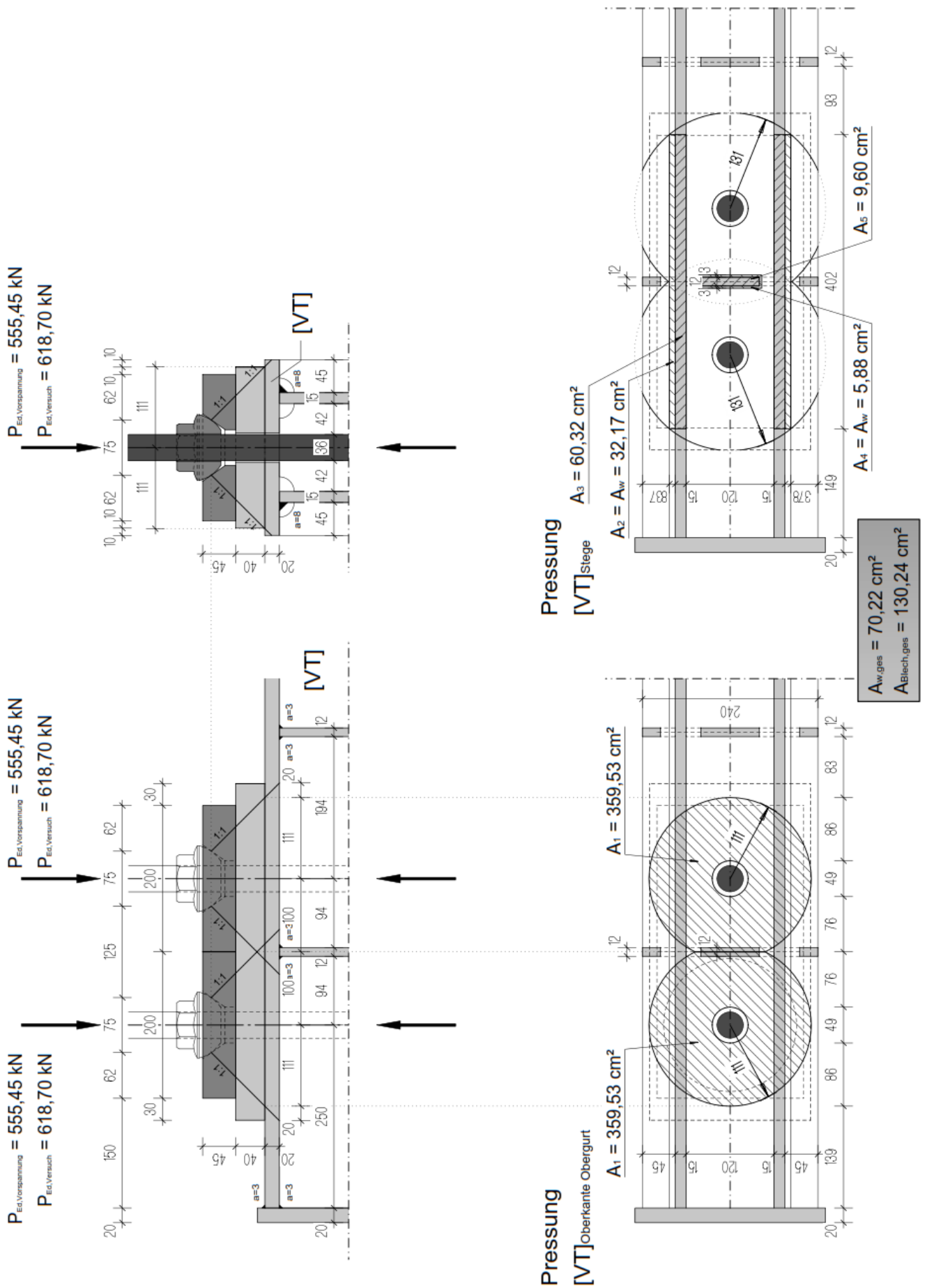


Abbildung 6.121: Lastdetail LD_{ULS03} – Versuchsdurchführung/Vorspannung

Steifennachweis Innensteife [VT]

Steifentyp 1

Materialkennwerte

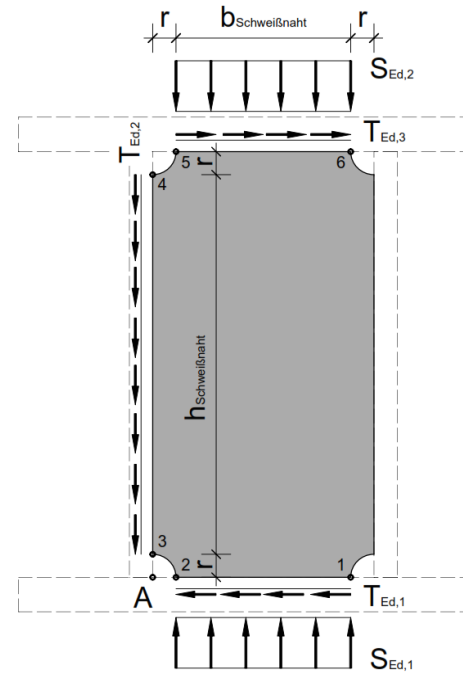
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	340 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	80 mm
$r =$	20 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	LD _{uk,03} - Fläche $A_q = A_w$
$S_{Ed,2} =$	5,81 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	-0,92 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	-1,37 kN/cm	
$T_{Ed,3} =$	-0,92 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-15,30 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,06 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,04 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-22,80 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,09 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	$0,06 \leq 1,00$
---------------------------	------------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	96,90 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-15,30 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,39 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,14 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+2r)/t = 10,0 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

6.8.10 Lastdetail LD_{ULS03} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot P_{k, \text{Spannstangen}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}} = 1,00 \cdot 63,25 + 1,05 \cdot 529,00 = 618,70 \text{ kN}$$

Siehe Punkt 6.8.9 und Abbildung 6.121.

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = -618,70 \text{ kN}$$

[VT]-Obergurt Oberkante

$A_1 =$	359,53 cm ²	Pressungsfläche
$\sigma_1 =$	-17,21 N/mm ²	Kontaktspannung
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[VT]-Obergurt Unterkante

$A_{w, \text{ges}} =$	70,22 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-88,11 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Innensteifen

$A_4 = A_w =$	5,88 cm ²	Schweißnahtfläche der Steife
$\sigma_4 = \sigma_w =$	-88,11 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_4 = F_w = 51,81 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft der Steife}$$

$A_5 =$	75,00 cm ²	Innensteife
$\sigma_5 =$	-6,91 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_2 = A_w =$	32,17 cm ²	Halskehlnähte [VT]-Stege
$\sigma_2 = \sigma_w =$	-88,11 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_2 = F_w = 283,45 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des Steges}$$

$A_3 =$	60,32 cm ²	[VT]-Stegblech
$\sigma_3 =$	-46,99 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Steifennachweis Innensteife [VT]

Steifentyp 1

Materialkennwerte

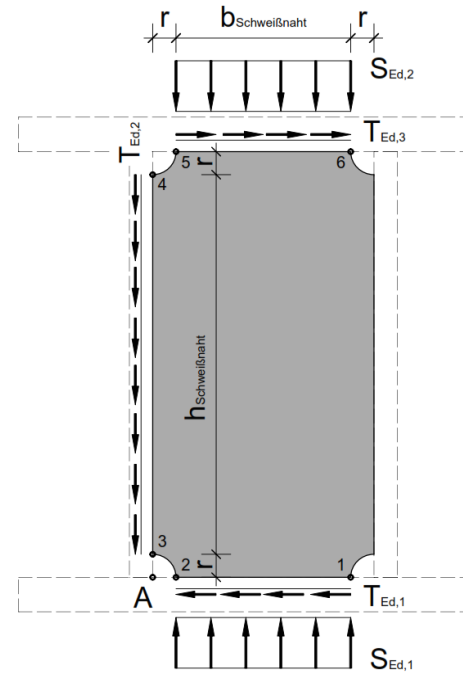
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	340 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	80 mm
$r =$	20 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	
$S_{Ed,2} =$	6,48 kN/cm	LD _{uk,03} - Fläche $A_q = A_w$
$T_{Ed,1} =$	-1,02 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	-1,52 kN/cm	
$T_{Ed,3} =$	-1,02 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-17,04 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,07 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,04 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-25,40 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,10 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	0,06 ≤ 1,00
---------------------------	-------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	107,93 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-17,04 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,43 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,16 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+2r)/t = 10,0 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

6.8.11 Lastdetail LD_{ULs04} – Vorspannung

$$P_{Ed,Vorspannung} = 1,05 \cdot LF_{Vorspannung} = 1,05 \cdot 529,00 = 555,45 \text{ kN}$$

(dieser Fall wird nicht weiter untersucht, da er keine bemessungsrelevanten Ergebnisse liefert, maßgebende Spannungen werden im Versuchszustand erzielt.)

- **[LT]:** Die Einleitung der Vorspannkraft wird über Lastverteilplatten mit einer Stärke von 45 mm und 40 mm erzielt. Der daraus resultierende Druckkegel liefert Kontaktspannungen an der Unterseite des [LT]-Untergurts.
- **[LT]:** Die Einleitung dieser Kraft in den Längsträger [LT] erfolgt über die Schweißnähte. Die Einflusslänge, auf welche sich die Druckspannung auf die Schweißnähte auswirkt, wird über den erweiterten Druckkegel ermittelt.

Die 40 mm dicke Lasteinleitungsplatte liegt über die gesamte Länge auf den [LT]-Stegen auf, es kann somit angenommen werden, dass die Kräfte aus den Spanngliedern direkt in die Stege, ohne Zwischenbiegung des [LT]-Untergurtbleches abgeleitet werden kann.

- **[LT]:** Zusätzlich zu den Halskehlnähten des [LT] wird auch die Innensteife zur Lastabtragung herangezogen. Die Innensteifen liegen im Überlagerungsbereich beider Druckkegel, deren Anschlussnähte werden daher nach einem geeigneten Berechnungsmodell mit dem Verfahren E-E nachgewiesen.

$$P_{Ed,Vorspannung} = -555,45 \text{ kN}$$

[LT]-Untergurt Unterkante

$A_1 =$	359,53 cm ²	Pressungsfläche
$\sigma_1 =$	-15,45 N/mm ²	Kontaktspannung
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[LT]-Untergurt Oberkante

$A_{w,ges} =$	45,16 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-123,00 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Innensteifen

$A_4 = A_w =$	10,44 cm ²	Schweißnahtfläche der Steife
$\sigma_4 = \sigma_w =$	-123,00 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_4 = F_w = 128,41 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft der Steife}$$

$A_5 =$	27,00 cm ²	Innensteife
$\sigma_5 =$	-47,56 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_2 = A_w =$	17,36 cm ²	Halskehlnähte [VT]-Stege
$\sigma_2 = \sigma_w =$	-123,00 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_2 = F_w = 213,52 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des Steges}$$

$A_3 =$	69,44 cm ²	[VT]-Stegblech
$\sigma_3 =$	-30,75 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

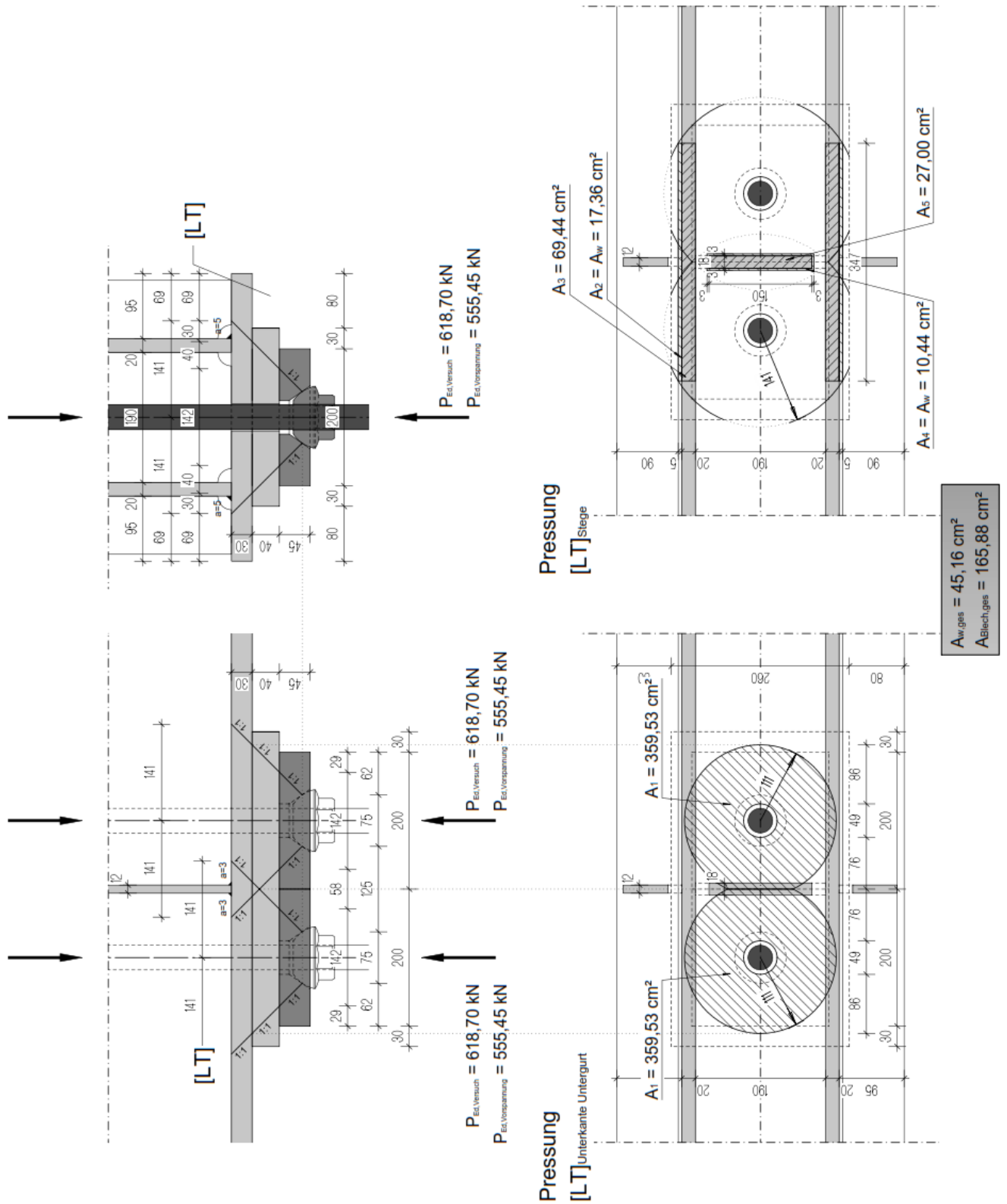


Abbildung 6.122: Lastdetail LD_{ULS04} – Versuchsdurchführung/Vorspannung

Steifennachweis Innensteife [VT]

Steifentyp 1

Materialkennwerte

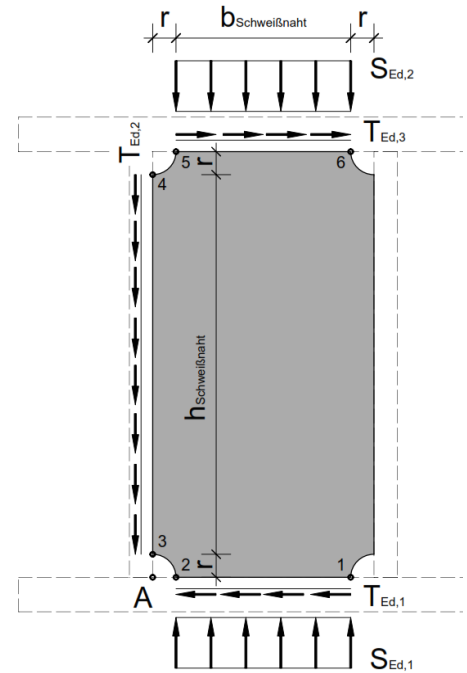
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	600 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	150 mm
$r =$	20 mm
$t =$	18 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	8,56 kN/cm	LD _{ULS,04} - Fläche $A_t = A_w$
$S_{Ed,2} =$	0,00 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	1,27 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	2,14 kN/cm	
$T_{Ed,3} =$	1,27 kN/cm	

**Punkt 1 = Punkt 2**

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	142,68 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	21,18 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,57 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,14 \leq 1,00$$

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	35,67 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,14 \leq 1,00$$

$$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} = 0,06 \leq 1,00$$

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	21,18 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,08 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,03 \leq 1,00$$

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$$c/t = (b+2r)/t = 10,6 \leq 14\epsilon = 11,39$$

$$\epsilon = 0,81$$

Querschnittsklasse 3

6.8.12 Lastdetail LD_{ULS04} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot P_{k, \text{Spannstangen}} \oplus 1,05 \cdot LF_{\text{Vorspannung}}$$

$$= 1,00 \cdot 63,25 + 1,05 \cdot 529,00 = 618,70 \text{ kN}$$

Siehe Punkt 6.8.11 und Abbildung 6.122.

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = -618,70 \text{ kN}$$

[LT]-Untergurt Unterkante

$A_1 =$	359,53 cm ²	Pressungsfläche
$\sigma_1 =$	-17,21 N/mm ²	Kontaktspannung
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[LT]-Untergurt Oberkante

$A_{w, \text{ges}} =$	45,16 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-137,00 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Innensteifen

$A_4 = A_w =$	10,44 cm ²	Schweißnahtfläche der Steife
$\sigma_4 = \sigma_w =$	-137,00 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_4 = F_w = 143,03 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft der Steife}$$

$A_5 =$	27,00 cm ²	Innensteife
$\sigma_5 =$	-52,97 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_2 = A_w =$	17,36 cm ²	Halskehlnähte [VT]-Stege
$\sigma_2 = \sigma_w =$	-137,00 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_2 = F_w = 237,84 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des Steges}$$

$A_3 =$	69,44 cm ²	[VT]-Stegblech
$\sigma_3 =$	-34,25 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Steifennachweis Innensteife [VT]

Steifentyp 1

Materialkennwerte

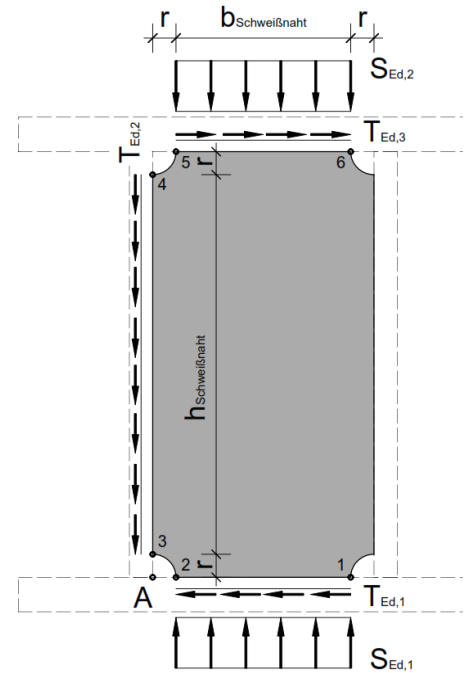
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	600 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	150 mm
$r =$	20 mm
$t =$	18 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	9,54 kN/cm	LD _{ULS,04} - Fläche $A_t = A_w$
$S_{Ed,2} =$	0,00 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	1,42 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	2,38 kN/cm	
$T_{Ed,3} =$	1,42 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	158,92 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	23,59 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,64 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,15 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	39,73 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,16 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	0,06 ≤ 1,00
---------------------------	-------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	23,59 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,09 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,04 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+2r)/t =$	10,6	≤ 14ε = 11,39
		ε = 0,81

Querschnittsklasse 3

6.8.13 Lastdetail LD_{ULS05} – Vorspannung

$$P_{Ed,Vorspannung} = N_{Ed,[ZS],Vorspannung} = -2.247,74 \text{ kN (siehe Punkt 6.3.15)}$$

- **[ZS]:** Die Vorspannkraft wird von der Zugstütze [ZS] über deren Anschlussnähte sowie die Lasteinleitungssteife an die Endplatte weitergeleitet. Hierbei wird sowohl für die [ZS]-Gurte als auch für die Lasteinleitungssteifen ein Lastausbreitungsverhältnis von 1:1 verwendet.
- **[ZS]:** Die Abtragung der Kräfte in den darunterliegenden Längsträger [LT] erfolgt über die Kontaktspannung zwischen Zugstütze [ZS] und Längsträger [LT].
- **[LT]:** Die Lasteinleitung in den Längsträger [LT] erfolgt zum einen über die Halskehlnähte und zum anderen über die Anschlussnähte der Außen- bzw. Innensteifen des [LT].

$$P_{Ed,Vorspannung} = -2.247,74 \text{ kN}$$

[ZS] Endplatte Oberkante

$A_{w,ges} =$	92,80 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-242,21 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Außensteifen

$A_{13} = A_w =$	17,65 cm ²	Schweißnahtfläche der Steife
$\sigma_{13} = \sigma_w =$	-198,04 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_{13} = F_w = 349,55 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft der Steife}$$

$A_{14} =$	18,54 cm ²	Außensteifen Blech
$\sigma_{14} =$	-188,54 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Gurte

$A_{11} = A_w =$	28,75 cm ²	Schweißnähte [ZS]-Gurte
$\sigma_{11} = \sigma_w =$	-198,04 N/mm ²	
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_{11} = F_w = 569,38 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft eines [ZS]-Gurtes}$$

$A_{12} =$	45,00 cm ²	[ZS]-Gurte Blech
$\sigma_{12} =$	-126,53 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Pressung [ZS]_{Endplatte} / [LT]_{Obergurt}

$F_{Gurt} = F_{11} =$	569,38 kN	Gesamtkraft eines [ZS]-Gurtes
$A_9 =$	421,46 cm ²	Kontaktspannung
$\sigma_9 =$	-58,86 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$F_{Steifen} = F_{13} =$	699,10 kN	Gesamtkraft beider Außensteifen
$A_{10} =$	781,80 cm ²	Kontaktspannung
$\sigma_{10} =$	-31,73 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[LT] Obergurt Unterkante

Lastableitung [ZS]-Gurt

$$F_{Gurt} = F_{11} = 569,38 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft eines [ZS]-Gurtes}$$

$$A_1 = A_w = 10,08 \text{ cm}^2$$

$$A_3 = A_w = 8,85 \text{ cm}^2$$

$$A_5 = A_w = 4,98 \text{ cm}^2$$

$$A_{w,Gurt,ges} = 37,74 \text{ cm}^2 \quad \text{Gesamtfläche [ZS]-Gurtkraft}$$

$\sigma_w =$	-150,87 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_2 = 152,08 \text{ kN}$$

$$A_2 = 18,00 \text{ cm}^2 \quad \text{Anteil [LT]-Innensteife}$$

$$\sigma_2 = -84,49 \text{ N/mm}^2$$

$$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$$

$$F_4 = 133,52 \text{ kN}$$

$$A_4 = 35,41 \text{ cm}^2 \quad \text{Anteil [LT]-Stegblech}$$

$$\sigma_4 = -37,71 \text{ N/mm}^2$$

$$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$$

$$F_6 = 75,13 \text{ kN}$$

$$A_6 = 7,80 \text{ cm}^2 \quad \text{Anteil [LT]-Außensteife}$$

$$\sigma_6 = -96,32 \text{ N/mm}^2$$

$$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$$

Lastableitung [ZS]-Außensteifen

$F_{\text{Steifen}} = F_{13} =$	699,10 kN	Gesamtkraft beider Außensteifen
$A_1 =$	10,08 cm ²	
$A_7 =$	9,31 cm ²	
$A_5 =$	4,98 cm ²	
$A_{w,\text{Gurt,ges}} =$	38,66 cm ²	Gesamtfläche [ZS]-Gurtkraft

$\sigma_5 = \sigma_w =$	-180,83 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47$ N/mm ²	

$F_2 =$	182,28 kN	Anteil [LT]-Innensteife
$A_2 =$	18,00 cm ²	

$\sigma_2 =$	-101,27 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00$ N/mm ²

$F_8 =$	168,35 kN	Anteil [LT]-Stegblech
$A_8 =$	37,23 cm ²	

$\sigma_8 =$	-45,22 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00$ N/mm ²

$F_6 =$	90,05 kN	Anteil [LT]-Außensteife
$A_6 =$	7,80 cm ²	

$\sigma_6 =$	-115,45 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00$ N/mm ²

Maximalspannungen Innen- / Außensteifen

$\sigma_{2,\text{max}} =$	-101,27 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00$ N/mm ²

$F_{2,\text{max}} =$	182,28 kN
----------------------	------------------

$\sigma_{6,\text{max}} =$	-115,45 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00$ N/mm ²

$F_{6,\text{max}} =$	90,05 kN
----------------------	-----------------

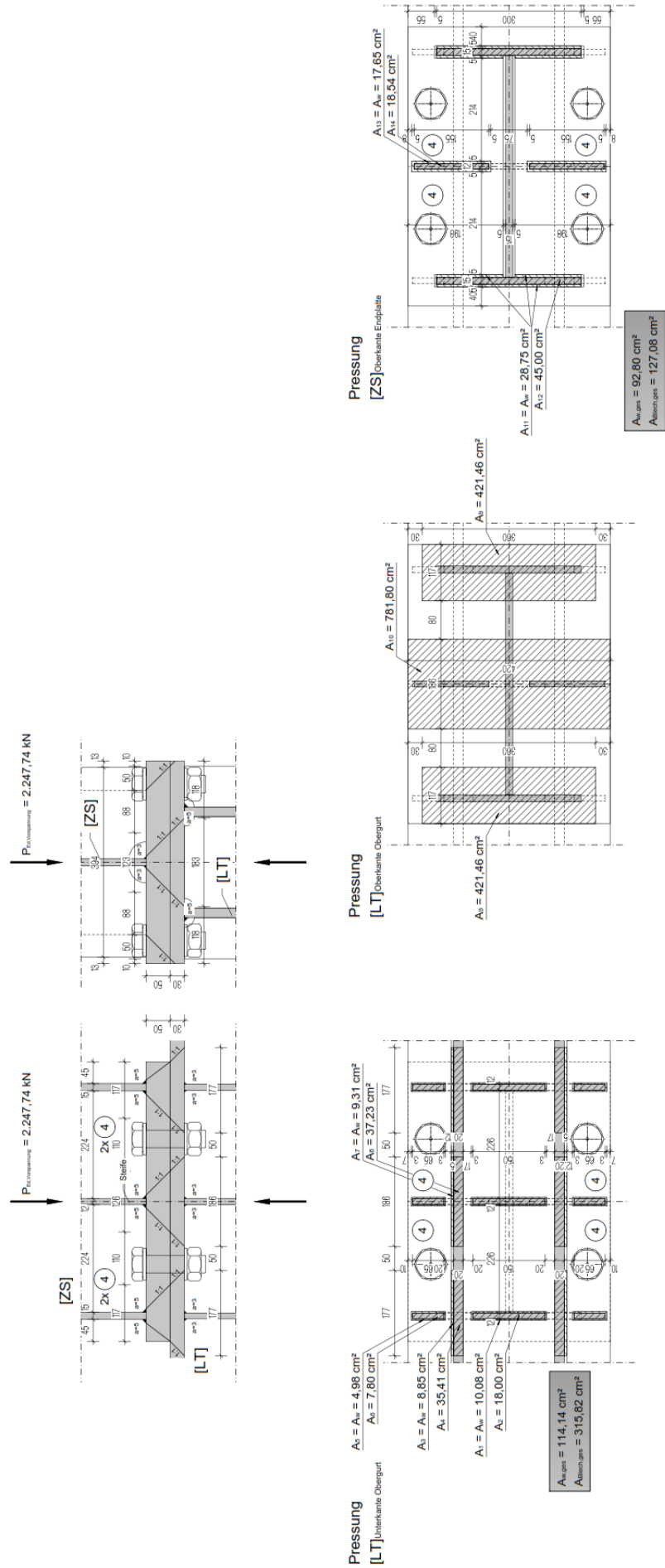


Abbildung 6.123: Lastdetail LD_{uls}05 – Vorspannung

Steifennachweis Außensteife [LT] unter Lasteinleitungssteife [ZS]

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

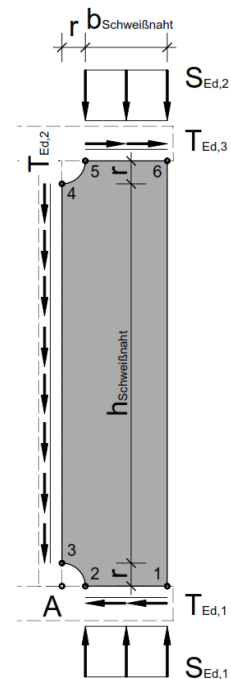
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	600 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	65 mm
$r =$	20 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	
$S_{Ed,2} =$	13,85 kN/cm	LD _{uk,05} - Fläche $A_s = A_w$

$T_{Ed,1} =$	-1,14 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-1,50 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-1,14 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-18,94 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,08 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,05 \leq 1,00$$

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-25,02 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,10 \leq 1,00$$

$$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} = 0,06 \leq 1,00$$

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	230,91 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-18,94 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,92 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,33 \leq 1,00$$

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$$c/t = (b+r)/t = 7,1 \leq 14\epsilon = 11,39$$

$$\epsilon = 0,81$$

Querschnittsklasse 3

Steifennachweis Innensteife [LT] unter Lasteinleitungssteife [ZS]

Steifentyp 1

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N (t \le 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \le 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \le 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

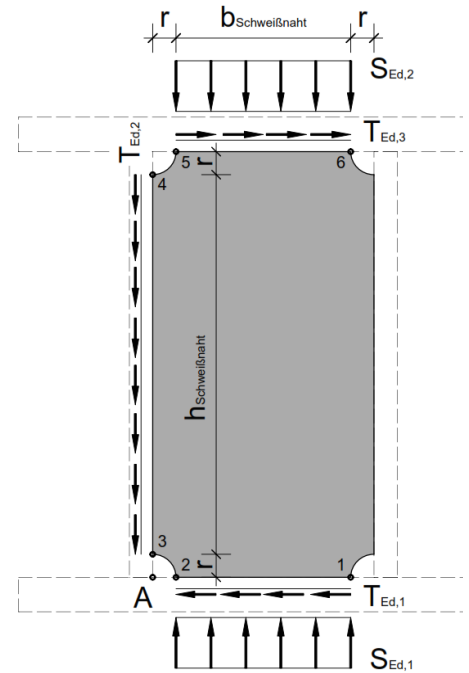
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	600 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	150 mm
$r =$	20 mm
$t =$	18 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	12,15 kN/cm	LD _{ULS,05} - Fläche $A_1 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	0,00 kN/cm	

$T_{Ed,1} =$	1,80 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	3,04 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	1,80 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	202,53 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	30,06 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,81 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,20 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	50,63 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,20 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	$0,08 \leq 1,00$
---------------------------	------------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	30,06 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,12 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,05 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+2r)/t = 10,6 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

Steifennachweis Lasteinleitungssteife [ZS]-[LT]

Steifentyp 3

Materialkennwerte

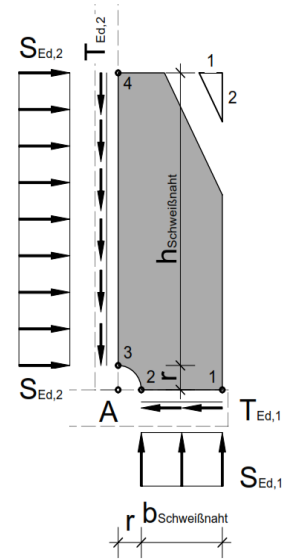
$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	315 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	155 mm
$r =$	35 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	12,82 kN/cm	LD _{ULS,05} - Fläche $A_{13} = A_w$
$S_{Ed,2} =$	3,67 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	7,47 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	6,29 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	5 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	128,18 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	74,75 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,59 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,43 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	61,10 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	104,79 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,48 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,27 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

6.8.14 Lastdetail LD_{ULS05} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = N_{Ed, [ZS], \text{Versuchsdurchführung}} = 1.063,46 \text{ kN (siehe Punkt 6.3.16)}$$

- Basierend auf dem maßgebenden Fließmuster (Muster 2 für [LT]-Obergurt, Muster 4 für [ZS]-Endplatte) aus Punkt 6.7.2 werden die von der Zugkraft beeinflussten Schweißnahtflächen festgelegt.
- **[ZS]:** Das maßgebende Fließmuster der [ZS]-Endplatte wird durch den [ZS]-Steg nicht beeinflusst. Aus diesem Grund wird der [ZS]-Steg für die Kraftübertragung nicht berücksichtigt.
- **[ZS]:** Die Zugkraft wird sowohl durch die [ZS]-Gurte als auch durch die [ZS]-Lasteinleitungssteifen in die Endplatte weitergeleitet.
- **[ZS]:** Die Zugkraft wird durch die [ZS]-Endplatte in die Schrauben eingeleitet.
- **[LT]:** Das maßgebende Fließmuster des [LT]-Obergurtes wird durch die [LT]-Außensteifen und die [LT]-Stege beeinflusst. Daher werden die Schweißnähte diese Stahlbleche für die Kraftübertragung herangezogen.

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = 1.063,46 \text{ kN}$$

[ZS] Endplatte Oberkante

$A_{w, \text{ges}} =$	92,80 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	114,60 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Außensteifen

$A_7 = A_w =$	17,65 cm ²	Schweißnahtfläche der Steife
$\sigma_7 = \sigma_w =$	114,60 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_7 = F_w = 202,26 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft der Steife}$$

$A_8 =$	18,54 cm ²	Außensteifen Blech
$\sigma_8 =$	109,10 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Gurte

$A_5 = A_w =$	28,75 cm ²	Schweißnähte [ZS]-Gurte
$\sigma_5 = \sigma_w =$	114,60 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_5 = F_w = 329,47 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft eines [ZS]-Gurtes}$$

$A_6 =$	45,00 cm ²	[ZS]-Gurte Blech
$\sigma_6 =$	73,21 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[LT] Obergurt Unterkante

$A_1 = A_w =$	23,75 cm ²	
$A_3 = A_w =$	4,98 cm ²	
$A_{w, \text{ges}} =$	77,38 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	137,43 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_2 = 326,40 \text{ kN} \quad \text{Anteil [LT]-Stegblech}$$

$A_2 =$	95,00 cm ²	
$\sigma_2 =$	34,36 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$$F_4 = 68,44 \text{ kN} \quad \text{Anteil [LT]-Außensteifen}$$

$A_4 =$	7,80 cm ²	
$\sigma_4 =$	87,75 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Vergleichsspannung [ZS]-Steg-Lasteinleitungssteife

$$f_{yk, S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$N_{Ed} = 1.066,76 \text{ kN}$$

$$A_{[ZS]} = 159,00 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{x, Ed} = N_{Ed} / A_{[ZS]} = 67,09 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{z, Ed} = 35,36 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Lasteinleitungssteife [ZS]-[LT] Punkt 3-4}$$

$$\tau_{Ed} = 60,63 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Lasteinleitungssteife [ZS]-[LT] Punkt 3-5}$$

$$\sigma_{v, Ed} / f_{v, d} = 0,34 \leq 1,00$$

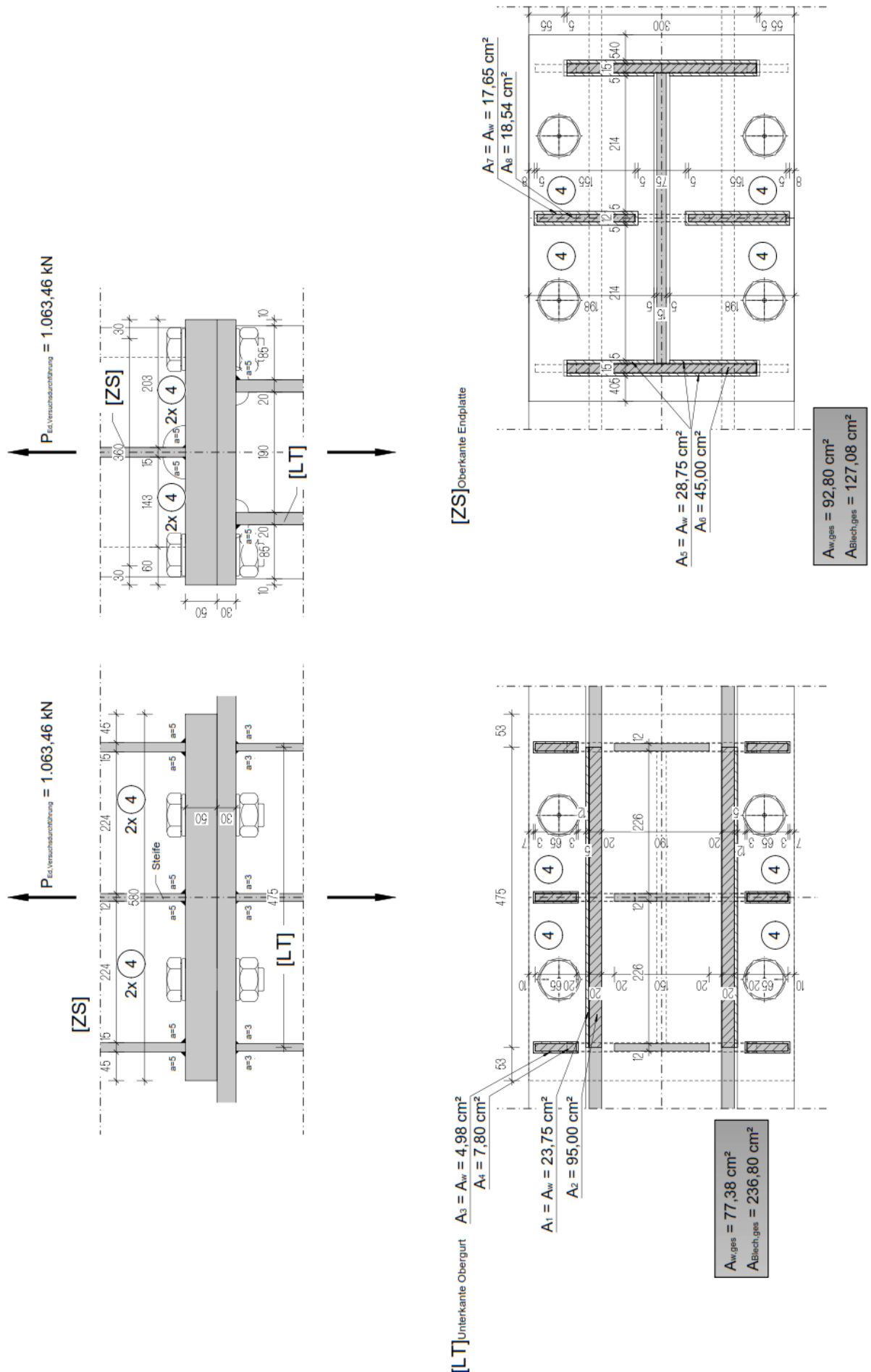


Abbildung 6.124: Lastdetail LD_{ULS05} – Versuchsdurchführung

Steifennachweis Außensteife [LT] unter Lasteinleitungssteife [ZS]

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

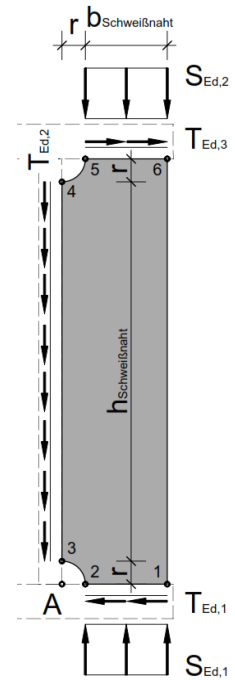
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	600 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	65 mm
$r =$	20 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	LD _{uk,05} - Fläche $A_3 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	-10,53 kN/cm	

$T_{Ed,1} =$	0,86 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	1,14 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	0,86 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	14,40 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,06 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,04 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	19,01 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,08 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	$0,05 \leq 1,00$
---------------------------	------------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-175,49 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	14,40 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,70 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,25 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+r)/t = 7,1 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

Steifennachweis Lasteinleitungssteife [ZS]-[LT]

Steifentyp 3

Materialkennwerte

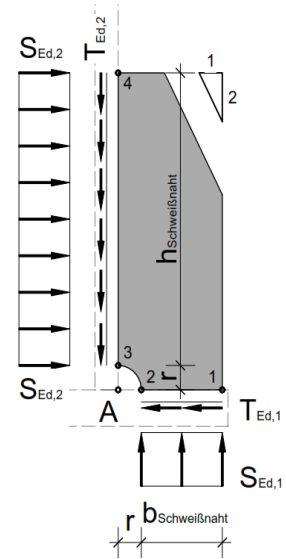
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	315 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	155 mm
$r =$	35 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	-7,42 kN/cm	LD _{ULS05} - Fläche $A_7 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	-2,12 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	-4,33 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	-3,64 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	5 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-74,17 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-43,25 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,34 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,25 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	-35,36 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-60,63 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,28 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,16 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

6.8.15 Lastdetail LD_{ULs06} – [QT]_{geschlossen} – Vorspannung

$$P_{Ed,Vorspannung} = N_{Ed,[ZS],Vorspannung} = -2.243,29 \text{ kN (siehe Punkt 6.3.15)}$$

- **[QT]:** Die Vorspannkraft wird vom [VT] in den [QT] eingeleitet, wo die Kraft sowohl durch die Stege als auch durch die Außensteifen weitergeleitet wird.
- **[QT]:** Sowohl von den Außensteifen als auch von den Halskehlnähten des [QT] wird die Kraft in die Zugstütze [ZS] eingeleitet. Die Einflusslänge der Halskehlnähte wird dabei auf die darunterliegende Endplatte der [ZS] begrenzt.
- **[QT]:** Über Kontakt zwischen der [ZS]-Endplatte und dem [QT]- Untergurt wird die Vorspannkraft in die Zugstütze [ZS] geführt.
- **[ZS]:** Ausgehend von den [ZS]-Gurten wird über einen plastischen Lastausbreitungswinkel von 1:2,5 die gesamte Kraft der [QT]-Steifen auf die Außenkanten der [ZS]-Gurte verteilt. Die verwendete Verteilungslänge auf die [ZS]-Gurte wird hierbei über eine elastische Lastausbreitung ausgehend von den [QT]-Steifen ermittelt.
- **[ZS]:** Die [QT]-Stegkraft wird in eine längenbezogene Kraft übergeführt, diese kann somit über eine Einflussbreite des [ZS]-Steges sowie einer Lastausbreitung von 1:1 auf den [ZS]-Steg und dessen Anschlussnähte verteilt werden.
- **[ZS]:** Die Differenzkraft, welche sich aus den oben beschriebenen Modellen und der gesamten einwirkenden Kraft ergibt, wird gleichmäßig über die vier Anschlussnähte der [ZS]-Lasteinleitungssteifen verteilt.
- **[ZS]:** Die Kräfte werden ausschließlich über die Schweißnähte der Steifen und der teilweise beeinflussten [ZS]-Stege und [ZS]-Gurte in die genannten Bleche eingeleitet.

$P_{Ed, \text{Vorspannung}} = -2.243,29 \text{ kN}$

[QT]-Untergurt Oberkante

$A_{w, \text{ges}} =$	123,92 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-181,03 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Außensteifen

$A_8 = A_w =$	17,78 cm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
$\sigma_8 = \sigma_w =$	-181,03 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_8 = F_w = 321,87 \text{ kN}$ Gesamtkraft pro Steife

$A_9 =$	14,70 cm ²	Steifenblech
$\sigma_9 =$	-218,96 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_{10} = A_w =$	26,40 cm ²	Halskehlnaht [QT]-Steg
$\sigma_{10} = \sigma_w =$	-181,03 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_{10} = F_w = 477,91 \text{ kN}$ Gesamtkraft des Steges

$A_{11} =$	66,00 cm ²	[QT]-Stegblech
$\sigma_{11} =$	-72,41 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Pressung [QT]_{Untergurt} / [ZS]_{Endplatte}

$A_7 =$	414,58 cm ²	Kontaktspannung zwischen den Gurten
$\sigma_7 =$	27,05 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Endplatte Unterkante

[ZS]-Gurt

$F_8 = F_w =$	321,87 kN	Gesamtkraft pro Steife = Konsistenzbedingung
$A_5 = A_w =$	16,93 cm ²	Schweißnahtfläche des [ZS]-Gurt
$F_5 = F_w =$	321,87 kN	Gesamtkraft Anteil [ZS]-Gurt
$\sigma_5 = \sigma_w =$	-190,12 N/mm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_6 =$	12,70 cm ²	[ZS]-Gurtanteil Blech
$\sigma_6 =$	-253,44 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$F_{[ZS]\text{-Gurt, ges}} = 1.287,47 \text{ kN}$ Gesamtkraft aller [ZS]-Gurtanteile

$\Delta F = 955,82 \text{ kN}$ Differenzkraft = Kraft

[ZS]-Steg

$f_{w, [QT]\text{-Steg}} =$	-14,48 kN/cm	Schweißnahtkraft je cm des [QT]-Steg = Konsistenzbedingung
$e_{[ZS]\text{-Steg}} =$	149,0 mm	Einflussbreite der Steife
$A_1 = A_w =$	15,14 cm ²	Schweißnahtfläche pro Steife
$F_1 = F_w =$	215,78 kN	Gesamtkraft pro Steife
$\sigma_1 = \sigma_w =$	-142,53 N/mm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_2 =$	22,70 cm ²	Steifenblech
$\sigma_2 =$	-95,06 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$F_{[ZS]\text{-Steg, ges}} = 431,57 \text{ kN}$ Gesamtkraft aller Steifen

$\Delta F = 524,25 \text{ kN}$ Differenzkraft = Kraft der Lasteinleitungssteifen

Lasteinleitungssteifen

$F_{\text{Steifen, ges}} =$	524,25 kN	
$A_3 = A_w =$	12,90 cm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
$\sigma_3 = \sigma_w =$	-101,60 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_3 = F_w = 131,06 \text{ kN}$ Gesamtkraft pro Steife

$A_4 =$	15,78 cm ²	Steifenblech
$\sigma_4 =$	-83,06 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

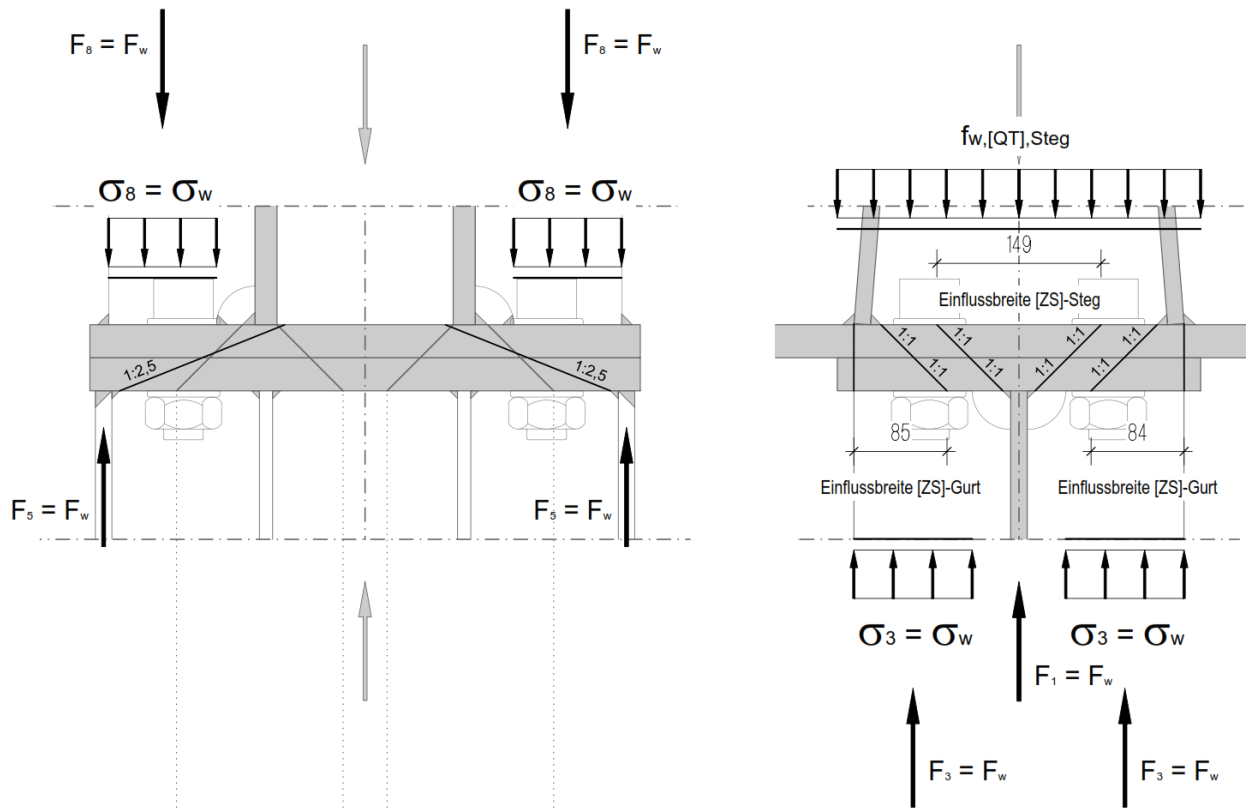


Abbildung 6.125: Lastdetail LD_{ULS06} – [QT]_{geschlossen} – Vorspannung – Kräfte/Spannungen

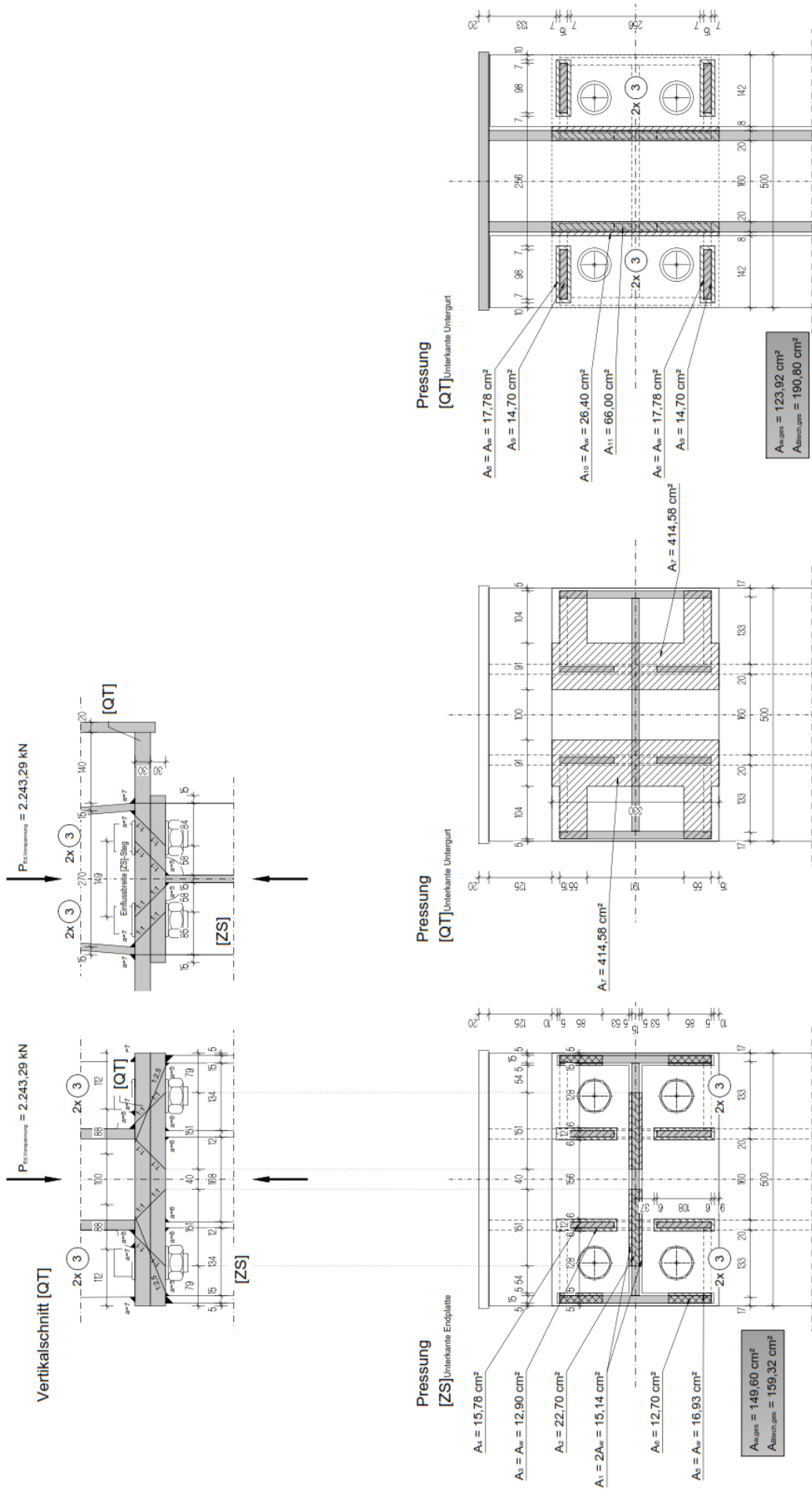


Abbildung 6.126: Lastdetail LD_{uls06} – [QT]_{geschlossen} – Vorspannung

Steifennachweis Außensteife [QT]_{geschlossen}

Siehe Punkt 6.8.5

Steifennachweis Lasteinleitungssteife [ZS]-[QT]

Steifentyp 3

Materialkennwerte

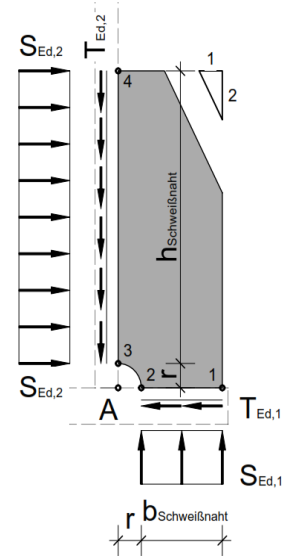
$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	115 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	108 mm
$r =$	35 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	12,19 kN/cm	LD _{ULS,06} [QT] _{geschlossen} - Fläche $A_3 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	10,93 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	11,70 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	11,40 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	4 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	152,40 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	146,22 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,84 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,56 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	4 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	136,69 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	142,46 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,79 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,53 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

6.8.16 Lastdetail LD_{ULS06} – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, Versuchsdurchführung} = 1,00 \cdot P_{k, Pressen} \oplus 1,00 \cdot P_{k, Vorspannung} \oplus 1,00 \cdot G_{k, [QT]} \\ \oplus 1,00 \cdot G_{k, [VT]} \oplus 1,00 \cdot N_{k, [ZS], Versuchsdurchführung} = \\ = 1,00 \cdot 3.600,00 - 1,00 \cdot 2.116,00 - 1,00 \cdot 11,54 - 1,00 \cdot 4,38 - 1,00 \cdot 1.066,76 = 401,32 \text{ kN}$$

- Basierend auf dem maßgebenden Fließmuster (Muster 5 für [QT]-Untergurt, Muster 1 für [ZS]-Endplatte) aus Punkt 6.7.1 werden die von der Zugkraft beeinflussten Schweißnahtflächen festgelegt.
- **[QT]**: Die Zugkraft wird sowohl durch die [QT]-Stege als auch durch die [QT]-Außensteifen weitergeleitet.
- **[ZS]**: Die Zugkraft wird durch die Schrauben in die [ZS]-Endplatte eingeleitet.
- **[ZS]**: Das maßgebende Fließmuster der [ZS]-Endplatte wird durch die Lasteinleitungssteife nicht beeinflusst. Aus diesem Grund wird die Lasteinleitungssteife für die Kraftübertragung nicht berücksichtigt.
- **[ZS]**: Die Zugkraft wird sowohl durch den [ZS]-Steg als auch durch die [ZS]-Gurte weitergeleitet.

$$P_{Ed, Versuchsdurchführung} = 401,32 \text{ kN}$$

[QT]-Untergurt Oberkante

$A_{w, ges} =$	105,56 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	38,02 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Außensteifen

$A_7 = A_w =$	17,78 cm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
$\sigma_7 = \sigma_w =$	38,02 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_7 = F_w = 67,60 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft pro Steife}$$

$A_8 =$	14,70 cm ²	Steifenblech
$\sigma_8 =$	45,98 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_5 = A_w =$	8,67 cm ²	Halskehlnaht [QT]-Steg
$\sigma_5 = \sigma_w =$	38,02 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_5 = F_w = 32,96 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des Steges}$$

$A_6 =$	21,69 cm ²	[QT]-Stegblech
$\sigma_6 =$	15,20 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Endplatte Unterkante

$A_{w, ges} =$	155,00 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	25,89 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Gurt

$A_3 = A_w =$	27,50 cm ²	Schweißnahtfläche des [ZS]-Gurtanteils
$\sigma_3 = \sigma_w =$	25,89 N/mm ²	Schweißnahtspannung des Gurtes
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_3 = F_w = 104,55 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des [ZS]-Gurtanteils}$$

$A_4 =$	20,63 cm ²	[ZS]-Gurtanteil Blech
$\sigma_4 =$	50,68 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Steg

$A_1 = A_w =$	45,00 cm ²	Schweißnahtfläche pro Steife
$\sigma_1 = \sigma_w =$	25,89 N/mm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_1 = F_w = 116,51 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des [ZS]-Steges}$$

$A_2 =$	67,50 cm ²	Steifenblech
$\sigma_2 =$	17,26 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

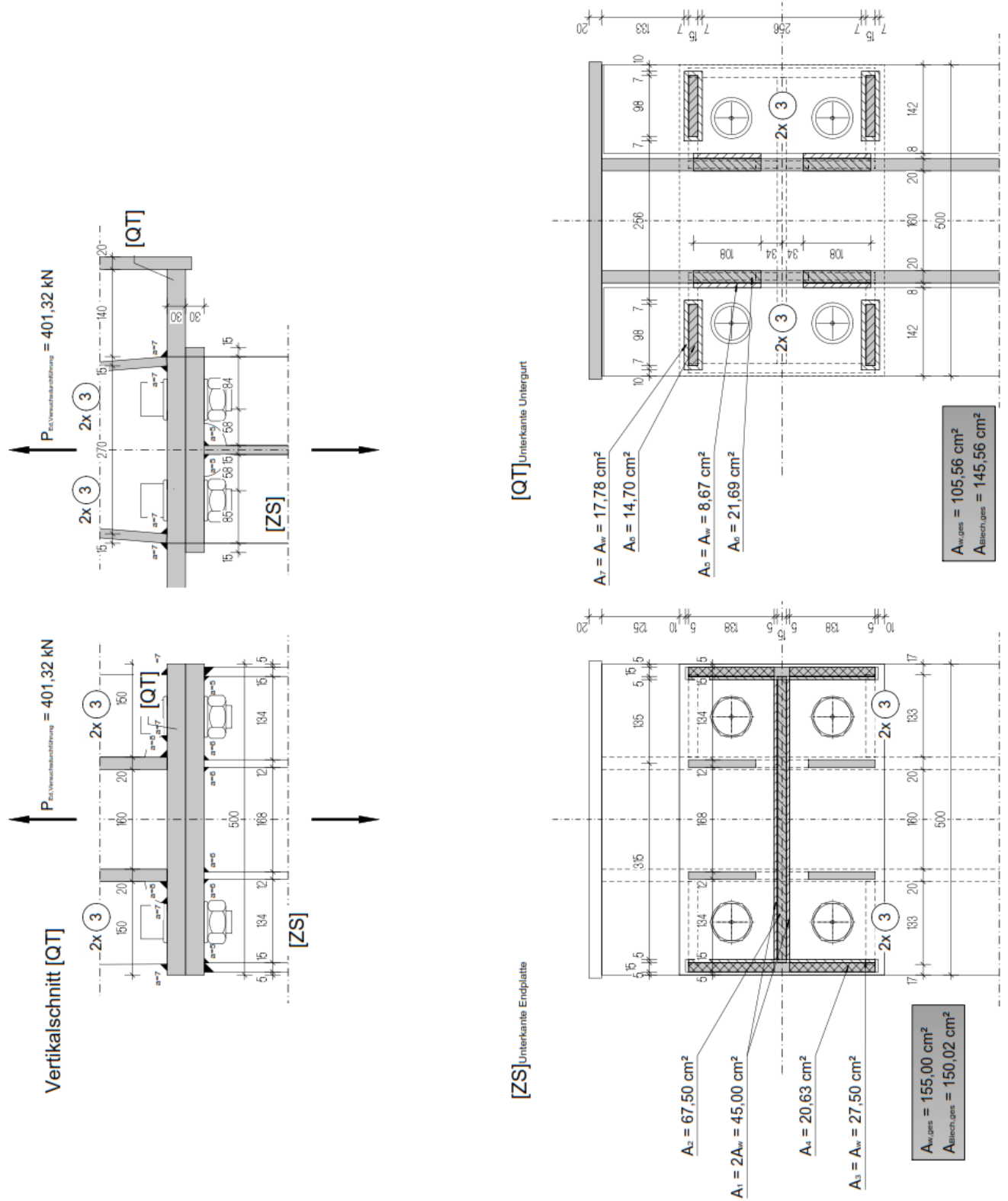


Abbildung 6.127: Lastdetail LD_{ULs}06 – [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung

Steifennachweis Außensteife [QT]_{geschlossen}

Siehe Punkt 6.8.6

6.8.17 Lastdetail LD_{ULs06} – [QT]_{offen} – Vorspannung

$$P_{Ed,Vorspannung} = N_{Ed,[ZS],Vorspannung} = -2.243,29 \text{ kN (siehe Punkt 6.3.15)}$$

- **[QT]:** Die Vorspannkraft wird vom [VT] in den [QT] eingeleitet, wo die Kraft sowohl durch den Steg als auch durch die Außensteifen weitergeführt wird.
- **[QT]:** Sowohl von den Außensteifen als auch von den Halskehlnähten des [QT] wird die Kraft in die Zugstütze [ZS] eingeleitet. Die Einflusslänge der Halskehlnähte wird dabei auf die darunterliegende Endplatte der [ZS] begrenzt.
- **[QT]:** Über Kontakt zwischen der [ZS]-Endplatte und dem [QT]-Untergurt wird die Vorspannkraft in die Zugstütze [ZS] geführt.
- **[ZS]:** Ausgehend von den [ZS]-Gurten wird über den elastischen Lastausbreitungswinkel im Verhältnis 1:1 die anteilige Kraft der [QT]-Steifen auf die Außenkanten der [ZS]-Gurte verteilt. Die verwendete Verteilungslänge auf die [ZS]-Gurte wird hierbei wiederum über eine elastische Lastausbreitung ausgehend von den [QT]-Steifen ermittelt.
- **[ZS]:** Die [QT]-Stegkraft wird in eine längenbezogene Kraft übergeführt, diese kann somit über eine Einflussbreite des [ZS]-Steges sowie einer Lastausbreitung von 1:1 auf den [ZS]-Steg und dessen Anschlussnähte verteilt werden.
- **[ZS]:** Die Differenzkraft, welche sich aus den oben beschriebenen Modellen und der gesamten einwirkenden Kraft ergibt, wird gleichmäßig über die zwei Anschlussnähte der [ZS]-Lasteinleitungssteifen verteilt.
- **[ZS]:** Die Kräfte werden ausschließlich über die Schweißnähte der Steifen und der teilweise beeinflussten [ZS]-Stege und [ZS]-Gurte in die genannten Bleche eingeleitet.

$P_{Ed, \text{Vorspannung}} = -2.243,29 \text{ kN}$

[QT]-Untergurt Oberkante

$A_{w, \text{ges}} =$	174,88 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-128,28 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Außensteifen

$A_8 = A_w =$	30,52 cm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
$\sigma_8 = \sigma_w =$	-101,27 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_8 = F_w = 309,06 \text{ kN}$ Gesamtkraft pro Steife

$A_9 =$	36,80 cm ²	Steifenblech
$\sigma_9 =$	-83,98 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Stege

$A_{10} = A_w =$	52,80 cm ²	Halskehlnaht [QT]-Steg
$\sigma_{10} = \sigma_w =$	-101,27 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_{10} = F_w = 534,68 \text{ kN}$ Gesamtkraft des Steges

$A_{11} =$	92,40 cm ²	[QT]-Stegblech
$\sigma_{11} =$	-57,87 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Pressung [QT]_{Untergurt} / [ZS]_{Endplatte}

$A_7 =$	875,23 cm ²	Kontaktspannung zwischen den Gurten
$\sigma_7 =$	-12,82 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Endplatte Unterkante

[ZS]-Gurt

$f_{w, [QT]\text{-Steife}} =$	43,27 kN/cm	Schweißnahtkraft je cm der [QT]-Steife = Konsistenzbedingung
$e_{[ZS]\text{-Gurt}} =$	75,0 mm	Einflussbreite des Gurtes
$A_5 = A_w =$	18,91 cm ²	Schweißnahtfläche des [ZS]-Gurtanteils
$F_5 = F_w =$	324,52 kN	Gesamtkraft des Gurtes
$\sigma_5 = \sigma_w =$	-171,61 N/mm ²	Schweißnahtspannung des Gurtes
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_6 =$	14,19 cm ²	[ZS]-Gurtblech
$\sigma_6 = \sigma_w =$	228,69 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Steg

$f_{w, [QT]\text{-Steg}} =$	-16,20 kN/cm	Schweißnahtkraft je cm des [QT]-Steg = Konsistenzbedingung
$e_{[ZS]\text{-Steg}} =$	168,0 mm	Einflussbreite des [ZS]-Steges
$A_1 = A_w =$	18,06 cm ²	Schweißnahtfläche des [ZS]-Steges
$F_1 = F_w =$	272,20 kN	Gesamtkraft pro Steife
$\sigma_1 = \sigma_w =$	-150,72 N/mm ²	Schweißnahtspannung des [ZS]-Steganteils
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_2 =$	27,10 cm ²	Steifenblech
$\sigma_2 =$	-200,89 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$F_{[ZS]\text{-Steg, ges}} = 272,20 \text{ kN}$ Gesamtkraft aller Steifen

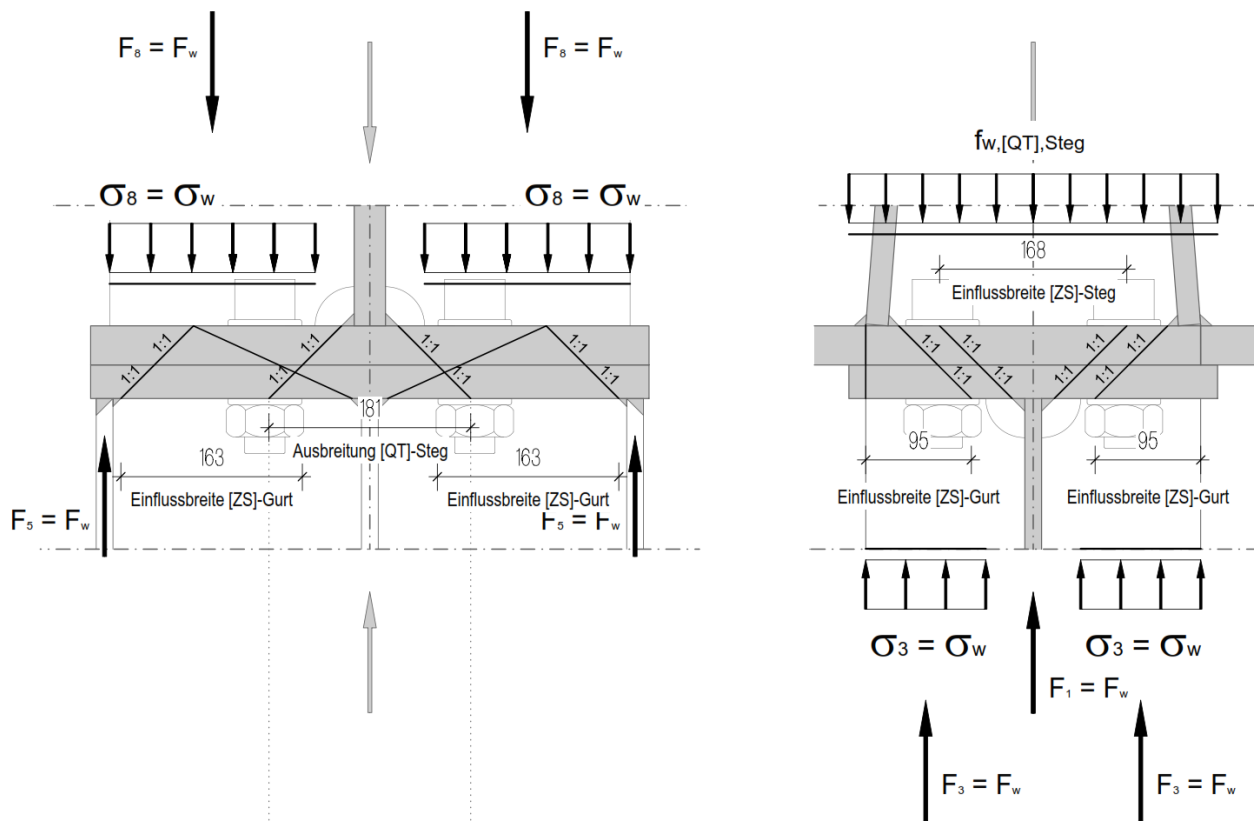
$\Delta F = 673,02 \text{ kN}$ Differenzkraft = Kraft der Lasteinleitungssteifen

Lasteinleitungssteifen

$F_{\text{Steifen, ges}} =$	673,02 kN	
$A_3 = A_w =$	19,11 cm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
$\sigma_3 = \sigma_w =$	-176,09 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_3 = F_w = 336,51 \text{ kN}$ Gesamtkraft pro Steife

$A_4 =$	16,13 cm ²	Steifenblech
$\sigma_4 =$	-208,62 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Abbildung 6.128: Lastdetail LD_{ULS06} – [QT]_{offen} – Vorspannung – Kräfte/Spannungen

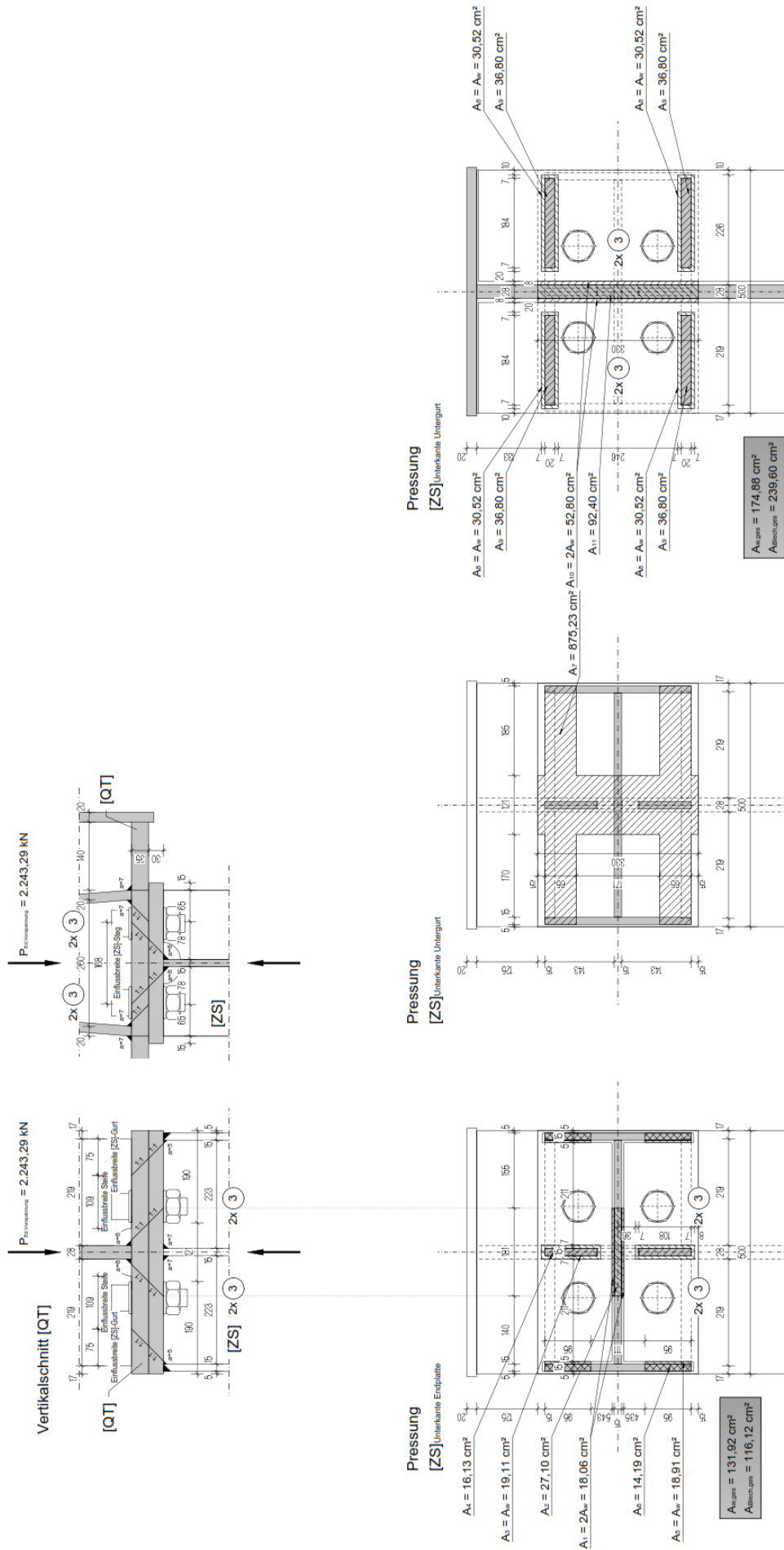


Abbildung 6.129: Lastdetail LD_{ULS06} – [QT]_{offen} – Vorspannung

Steifennachweis Außensteife [QT]_{offen}

Siehe Punkt 6.8.7

Steifennachweis Lasteinleitungssteife [ZS]-[QT]

Steifentyp 3

Materialkennwerte

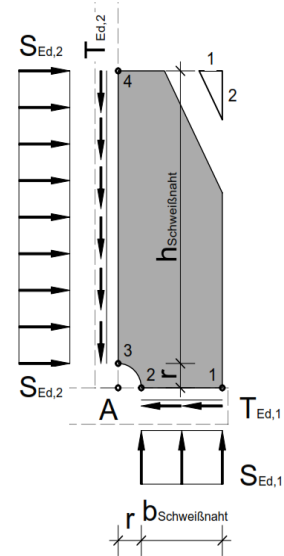
$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	340 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	99 mm
$r =$	35 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	34,16 kN/cm	LD _{ULS06} [QT] _{offen} - Fläche $A_3 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	4,07 kN/cm	
$T_{Ed,1} =$	14,04 kN/cm	
$T_{Ed,2} =$	9,90 kN/cm	



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	8 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	213,52 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	87,75 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,92 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,98 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	67,79 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	164,96 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,71 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,41 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

6.8.18 Lastdetail LD_{ULS06} – [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, Versuchsdurchführung} = 1,00 \cdot P_{k, Pressen} \oplus 1,00 \cdot P_{k, Vorspannung} \oplus 1,00 \cdot G_{k, [QT]} \\ \oplus 1,00 \cdot G_{k, [VT]} \oplus 1,00 \cdot N_{k, [ZS], Versuchsdurchführung} = \\ = 1,00 \cdot 3.600,00 - 1,00 \cdot 2.116,00 - 1,00 \cdot 11,54 - 1,00 \cdot 4,38 - 1,00 \cdot 1.066,76 = 401,32 \text{ kN}$$

- Basierend auf dem maßgebenden Fließmuster (Muster 5 für [QT]-Untergurt, Muster 1 für [ZS]-Endplatte) aus Punkt 6.7.1 werden die von der Zugkraft beeinflussten Schweißnahtflächen festgelegt.
- **[QT]**: Die Zugkraft wird sowohl durch den [QT]-Steg als auch durch die [QT]-Außensteifen weitergeleitet.
- **[ZS]**: Die Zugkraft wird durch die Schrauben in die [ZS]-Endplatte eingeleitet.
- **[ZS]**: Das maßgebende Fließmuster der [ZS]-Endplatte wird durch die Lasteinleitungssteife nicht beeinflusst. Aus diesem Grund wird die Lasteinleitungssteife für die Kraftübertragung nicht berücksichtigt.
- **[ZS]**: Die Zugkraft wird sowohl durch den [ZS]-Steg als auch durch die [ZS]-Gurte weitergeleitet.

$$P_{Ed, Versuchsdurchführung} = 401,32 \text{ kN}$$

[QT]-Untergurt Oberkante

$A_{w, ges} =$	156,80 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	25,59 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Außensteifen

$A_7 = A_w =$	30,52 cm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
$\sigma_7 = \sigma_w =$	25,59 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_7 = F_w = 78,11 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft pro Steife}$$

$A_8 =$	36,80 cm ²	Steifenblech
$\sigma_8 =$	21,23 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Steg

$A_5 = A_w =$	17,36 cm ²	Halskehlnaht [QT]-Steg
$\sigma_5 = \sigma_w =$	25,59 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_5 = F_w = 44,43 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des Steges}$$

$A_6 =$	30,37 cm ²	[QT]-Stegblech
$\sigma_6 =$	14,63 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Endplatte Unterkante

$A_{w, ges} =$	155,00 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	25,89 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Gurt

$A_3 = A_w =$	27,50 cm ²	Schweißnahtfläche des [ZS]-Gurtanteils
$\sigma_3 = \sigma_w =$	25,89 N/mm ²	Schweißnahtspannung des Gurtes
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_3 = F_w = 70,38 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des [ZS]-Gurtanteils}$$

$A_4 =$	20,63 cm ²	[ZS]-Gurtanteil Blech
$\sigma_4 = \sigma_w =$	34,12 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

[ZS]-Steg

$A_1 = A_w =$	67,50 cm ²	Schweißnahtfläche [ZS]-Steg
$\sigma_1 = \sigma_w =$	25,89 N/mm ²	Schweißnahtspannung [ZS]-Steg
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$$F_1 = F_w = 174,77 \text{ kN} \quad \text{Gesamtkraft des [ZS]-Steges}$$

$A_2 =$	67,50 cm ²	[ZS]-Stegblech
$\sigma_2 =$	25,89 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

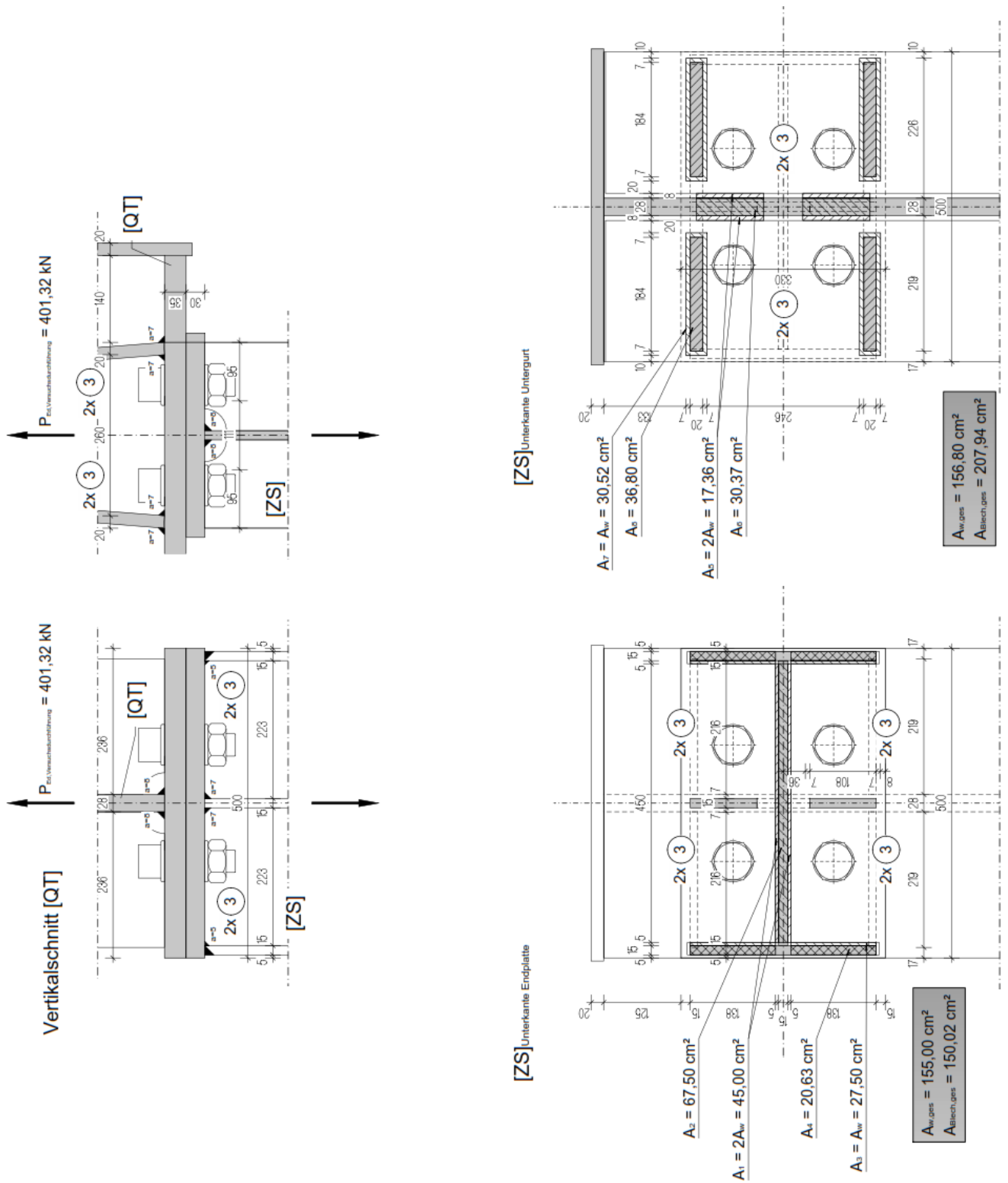


Abbildung 6.130: Lastdetail LD_{ULs06} – [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung

Steiffennachweis Außensteife [QT]_{offen}

Siehe Punkt 6.8.8

6.8.19 Lastdetail LD_{ULs07} – Versuchsdurchführung

$P_{Ed, Versuchsdurchführung} = V_{z, Ed, [AT]} = 1.840,21 \text{ kN}$ (siehe Punkt 6.3.2)

- **[AT]:** Die Auflagerkraft des [AT] im Lastfall Versuchsdurchführung wird sowohl über die Steifen als auch über den [AT]-Steg abgetragen.
- **[AT]:** Die Kraftableitung über die Steifen erfolgt ausschließlich über die Schweißnähte, die Kontaktspannung zwischen Steifenblech und [AT]-Untergurt wird vernachlässigt.
- **[AT]:** Der Kraftfluss über den Steg des [AT] wird über die Stegdicke und die Auflagerlänge des [AT] am [LT] gebildet.
- **[AT]:** Die anzusetzende Einflussbreite für Oberflächenpressung zwischen [AT]-Untergurt und [LT]-Obergurt wird über den elastischen Lastausbreitungswinkel von 45° tangential an die Steg-Gurt-Ausrundung des [AT]-Profils ermittelt.
- **[LT]:** Die Kraftanteile in den Halskehlnähten des Längsträgers [LT] wird zum einen über die Schnittflächen zwischen [AT]-Steg und [LT]-Stege und zum anderen über die [AT]-Steifen gebildet. Hierbei wurde für die Schnittfläche der Stege aber keine Lastausbreitung bzw. Einflussbreite angenommen sondern lediglich der Kraftanteil aus dem [AT]-Steg über eine verteilte Streckenlast ermittelt. Die Differenzkraft aus der Gesamtkraft und dem zuvor errechneten Kraftanteil wurde flächenproportional auf die [LT]-Steifen verteilt.
- **[LT]:** Die einwirkenden Kräfte werden ausschließlich über die Schweißnähte in den Querschnitt eingeleitet bzw. durchgeleitet.
- **[LT]:** Die den Steifen zugeordnete Kraft wird über Schub- und Normalspannungen in die Stege- bzw. Gurte des [LT] eingeleitet, es wird hierzu der geeignete Nachweis geführt.

$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = 1.860,95 \text{ kN}$

[AT]-Untergurt Oberkante

$A_{\text{min, ges}} =$	115,68 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_w =$	-160,87 N/mm ²	mittlere Schweißnahtspannung
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

Außensteifen

$A_8 = A_w =$	6,87 cm ²	Schweißnahtspannung pro Steife
$\sigma_8 = \sigma_w =$	160,87 N/mm ²	
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_8 = F_w = 110,52 \text{ kN}$ Gesamtkraft pro Steife

$A_9 =$	11,58 cm ²	Steifenblech
$\sigma_9 =$	-95,44 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Steg

$A_{10} =$	88,20 cm ²	[AT]-Steg
$\sigma_{10} =$	-160,87 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$F_{10} = 1.418,88 \text{ kN}$ Gesamtkraft des Steges

Pressung [AT] Untergurt / [LT] Obergurt

$A_7 =$	901,45 cm ²	Kontaktspannung zwischen den Gurten
$\sigma_7 =$	-20,64 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[LT]-Obergurt Unterkante

$F_{[AT]\text{-Steg}} = F_{10} =$	1.418,88 kN	Gesamtkraft des [AT]-Steges
$l_{[AT]\text{-Steg}} =$	420 mm	
$f_{[AT]\text{-Steg}} =$	33,78 kN/cm	Stegkraft je cm des [AT]-Steg = Konsistenzbedingung

[LT]-Steg

$e_{[LT]\text{-Steg}} =$	25 mm	Einflussbreite des [LT]-Steges
$F_{[AT]\text{-Steg}} =$	84,46 kN	Anteil des [LT]-Steges an der [AT]-Stegkraft
$F_{[AT]\text{-Steifen}} =$	221,04 kN	Gesamtkraft beider Außensteifen
$F_{[LT]\text{-Steg, ges}} =$	305,49 kN	Gesamtkraft des [LT]-Steges = $F_{[AT]\text{-Steg}} + F_{[AT]\text{-Steifen}}$
$A_1 = A_w =$	18,20 cm ²	Schweißnahtfläche [LT]-Halskehlnaht
$\sigma_1 = \sigma_w =$	-167,85 N/mm ²	Schweißnahtspannung [LT]-Halskehlnaht
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_1 = 305,49 \text{ kN}$

$A_2 =$	72,80 cm ²	[LT]-Stegblech
$\sigma_2 =$	-41,96 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$\Delta F = 1.249,96 \text{ kN}$ Differenzkraft = Kraft der [LT]-Steifen

[LT]-Auflagersteifen

$F_{\text{Steifen}} =$	1.249,96 kN	Gesamtkraft des [AT]-Steges
$A_3 = A_w =$	11,16 cm ²	Schweißnahtfläche der Außensteife
$A_5 = A_w =$	29,44 cm ²	Schweißnahtfläche der Innensteife
$A_{w, \text{ges}} =$	51,76 cm ²	gesamte Schweißnahtfläche
$\sigma_{w, \text{Steifen}} =$	-241,49 N/mm ²	Schweißnahtspannung der Steifen
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$F_3 = F_w = 269,51 \text{ kN}$

$A_4 =$	9,00 cm ²	[LT]-Außensteifen
$\sigma_4 =$	-299,45 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$F_5 = F_w = 710,95 \text{ kN}$

$A_6 =$	27,00 cm ²	[LT]-Innensteife
$\sigma_6 =$	263,32 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

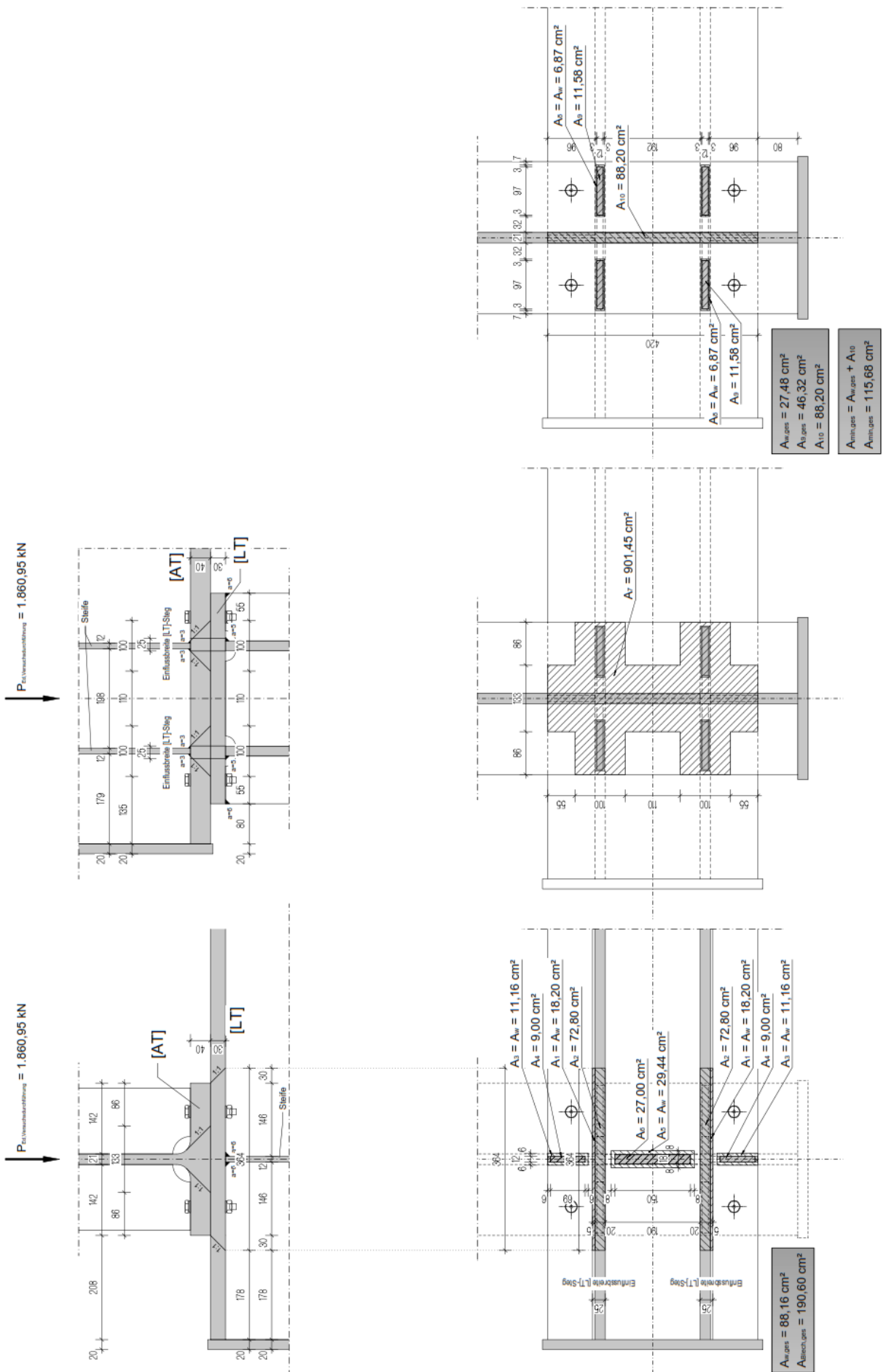


Abbildung 6.131: Lastdetail LD_{ULS07} – Versuchsdurchführung

Steifennachweis Außensteife [LT] unter Auflager [AT]

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N}(t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N}(t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N}(t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

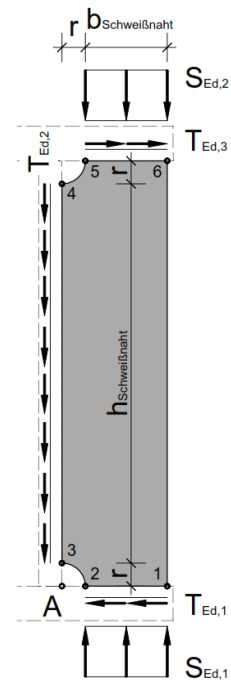
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	600 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	75 mm
$r =$	20 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	LD _{uk,07} - Fläche $A_3 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	35,93 kN/cm	

$T_{Ed,1} =$	-3,23 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-4,49 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-3,23 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-53,81 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,21 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,13 \leq 1,00$$

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-74,86 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,30 \leq 1,00$$

$$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} = 0,18 \leq 1,00$$

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	8 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	224,59 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-20,18 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,90 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,85 \leq 1,00$$

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$$c/t = (b+r)/t = 7,9 \leq 14\epsilon = 11,39$$

$$\epsilon = 0,81$$

Querschnittsklasse 3

Steifennachweis Innensteife [LT] unter Auflager [AT]

Steifentyp 1

Materialeigenschaften

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

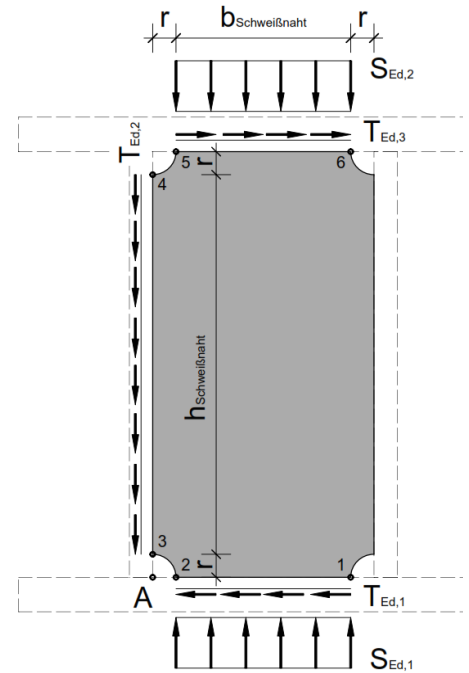
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	600 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	150 mm
$r =$	20 mm
$t =$	18 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	LD _{uk,07} - Fläche $A_s = A_w$
$S_{Ed,2} =$	47,40 kN/cm	

$T_{Ed,1} =$	-7,04 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-11,85 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-7,04 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-117,26 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,47 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,19 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-197,49 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,79 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	0,32 ≤ 1,00
---------------------------	-------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	10 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	236,98 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-35,18 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,95 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,77 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+2r)/t = 10,6 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

Steifennachweis Außensteife [AT]

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N}(t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N}(t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N}(t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

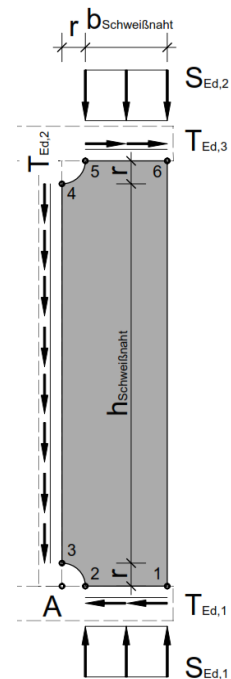
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	566 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	97 mm
$r =$	35 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	11,45 kN/cm	LD _{ULS,07} - Fläche $A_8 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	0,00 kN/cm	

$T_{Ed,1} =$	1,50 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	1,95 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	1,50 kN/cm

**Punkt 1 = Punkt 2**

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	190,88 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	24,99 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,77 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,28 \leq 1,00$$

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	32,54 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,13 \leq 1,00$$

$$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} = 0,08 \leq 1,00$$

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	24,99 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,10 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,06 \leq 1,00$$

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$$c/t = (b+r)/t = 11,0 \leq 14\epsilon = 11,39$$

$$\epsilon = 0,81$$

Querschnittsklasse 3

6.8.20 Lastdetail LD_{ULs08} – Versuchsdurchführung

$$p_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = 1,35 \cdot g_{k, \text{SCSC-Platte}} \oplus 1,00 \cdot p_{k, \text{Pressenkraft}} = 1,35 \cdot 14,02 \oplus 1,00 \cdot 1.091,00 \\ = 1.109,93 \text{ kN/m}$$

(siehe Punkt 6.3.2)

- **[AT]:** Die Auflagerpressung der SCSC-Platte wird über einen Lasteinleitungsstreifen, sowie einer Schicht aus Teflon in den darunterliegenden Auflagerträger abgetragen.
- **[AT]:** Die Lastausbreitung in der Auflagerkonstruktion der SCSC-Platte wird über den elastischen Ausbreitungswinkel von 45° beschrieben. Für die weitere Ausbreitung im [AT]-Obergurt wird ein Lastausbreitungsverhältnis von 1:2,5 angenommen. Der Grund dafür ist, dass somit die [AT]-Steifen vollflächig belastet werden.
- **[AT]:** Da die einwirkende Belastung der SCSC-Platte gleichförmig über den [AT] verteilt ist, werden sowohl die Kraftgrößen als auch die Flächen in eine längenbezogene Einheit umgerechnet.
- **[AT]:** Die eingeleitete Kraft wird einerseits über die Anschlussnähte der [AT]-Steifen als auch über den [AT]-Steg abgeleitet.
- **[AT]:** Die den Steifen zugeordnete Kraft wird über Schub- und Normalspannungen in die Stege bzw. Gurte des [AT] eingeleitet, es wird hierzu der geeignete Nachweis geführt.

$$p_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = 1.109,93 \text{ kN/m}$$

[AT]-Steg

$A_{\text{min, ges}} =$	237,48 cm ² /m	gesamte Fläche
$\sigma_1 =$	-46,74 N/mm ²	[AT]-Stegspannung
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	
$A_2 =$	6,87 cm ²	Schweißnahtfläche je Steife
$\sigma_2 = \sigma_w =$	-46,74 N/mm ²	Schweißnahtspannung der Steife
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	
$F_2 = F_w =$	32,11 kN	Gesamtkraft der Steife
$A_3 =$	11,58 cm ²	Fläche der Steife
$\sigma_3 =$	-27,73 N/mm ²	Stahlspannung der Steife
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[AT]-Obergurt Oberkante

$A_4 =$	950,00 cm ² /m	gesamte Kontaktfläche
$\sigma_4 =$	-11,68 N/mm ²	[AT]-Obergurtspannung
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

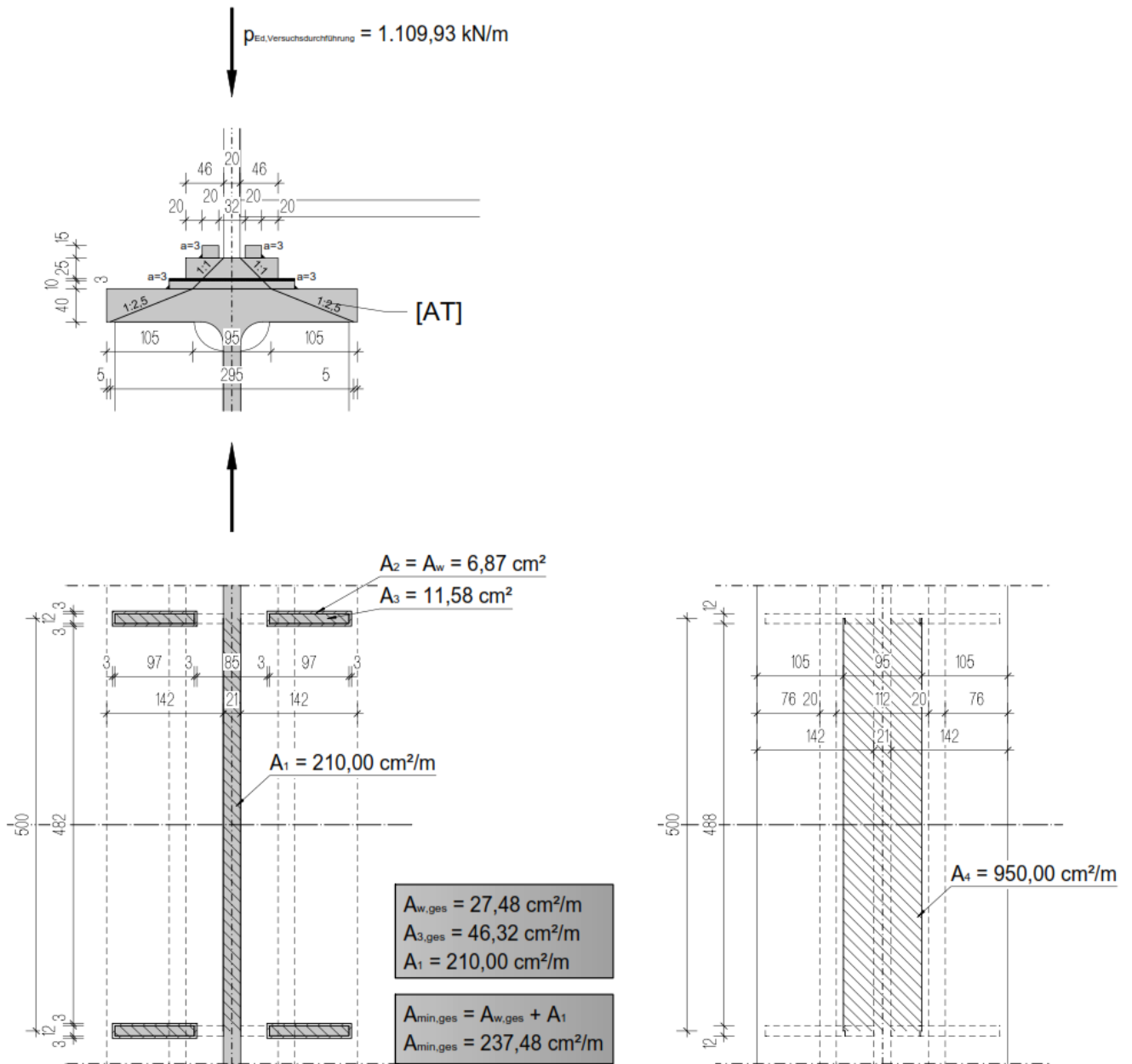


Abbildung 6.132: Lastdetail LD_{ULS08} – Versuchsdurchführung

Steifennachweis Außensteife [AT]

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

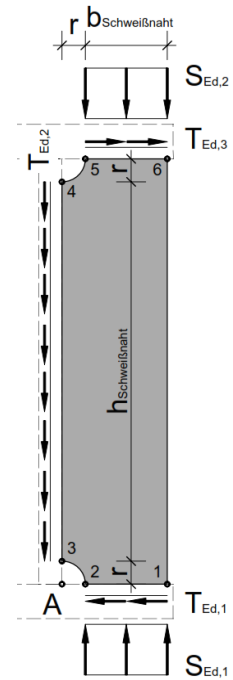
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	566 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	97 mm
$r =$	35 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	LD _{uk,08} - Fläche $A_2 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	3,33 kN/cm	

$T_{Ed,1} =$	-0,44 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-0,57 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-0,44 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-7,26 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,03 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,02 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-9,45 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,04 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	$0,02 \leq 1,00$
---------------------------	------------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	55,46 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-7,26 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,22 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,08 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

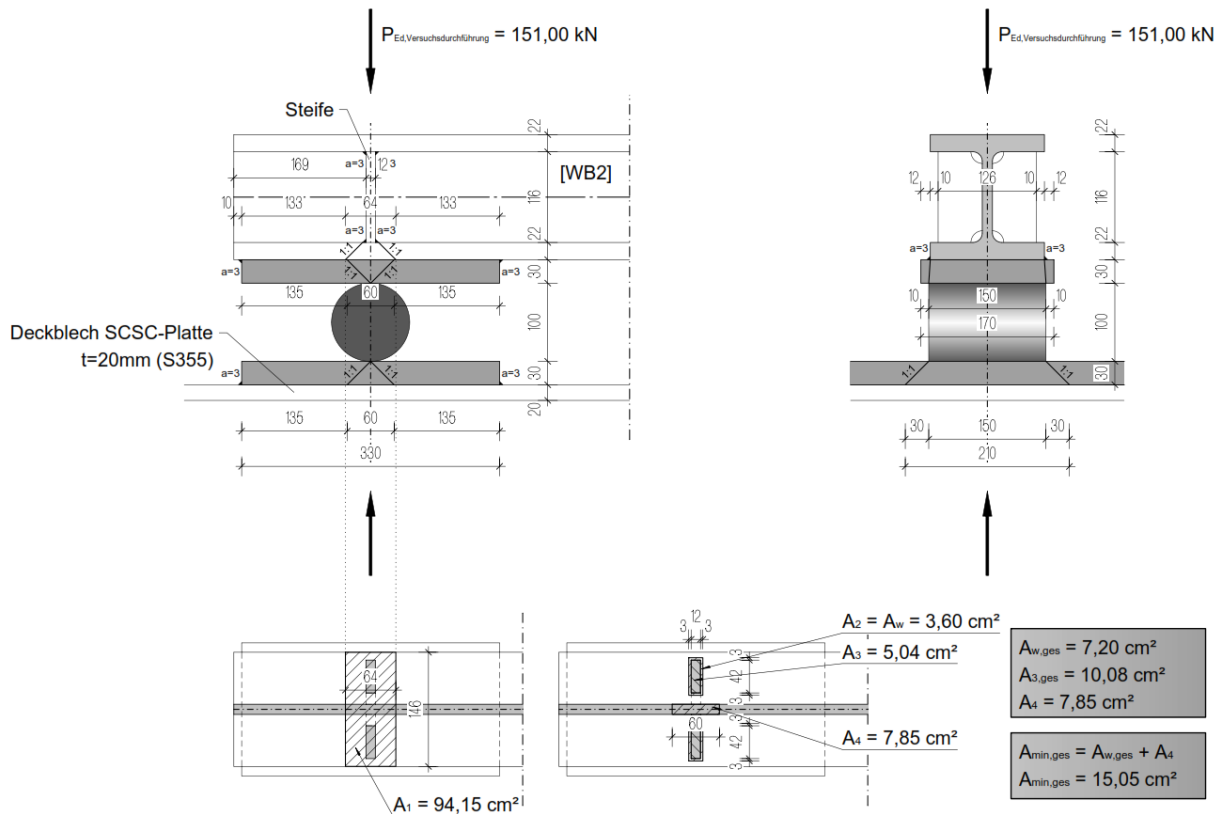
$c/t = (b+r)/t = 11,0 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

6.8.21 Lastdetail LD_{ULs09} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = V_{z, Ed, [WB2]} = 151,00 \text{ kN} \text{ (siehe Punkt 6.3.14)}$$

- **[WB2]:** Die Oberflächenpressung des Untergurtes wird über die Hertz'sche Pressung berechnet.
- **[WB2]:** Die einwirkende Kraft auf die Steifen und den anteiligen [WB2]-Steg wird über die Auflagerkraft des [WB2] ermittelt.
- **[WB2]:** Die den Steifen zugeordnete Kraft wird über Schub- und Normalspannungen in die Stege- bzw. Gurte des [WB2] eingeleitet, es wird hierzu der geeignete Nachweis geführt.

Abbildung 6.133: Lastdetail LD_{ULs09} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = 151,00 \text{ kN}$$

Pressung Lasteinleitungsplatte

$A_1 =$	94,15 cm ²	Pressungsfläche
$\sigma_1 =$	-16,04 N/mm ²	Kontaktspannung
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[WB2]-Untergurt Oberkante

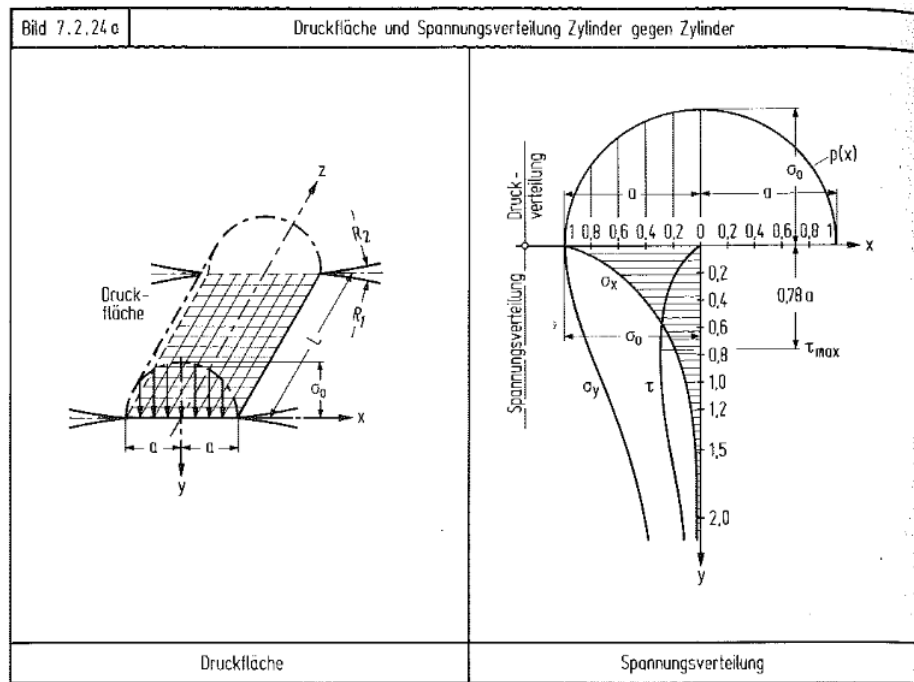
$A_{\text{min, ges}} =$	15,05 cm ²	gesamte Fläche
$\sigma_2 = \sigma_w = \sigma_4 =$	-100,33 N/mm ²	Spannung der minimalen Fläche
	$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_2 = A_w =$	3,60 cm ²	Schweißnahtfläche je Steife
$F_2 =$	36,12 kN	Schweißnahtspannung der Steife
$A_3 =$	5,04 cm ²	Fläche der Steife
$\sigma_3 =$	-71,67 N/mm ²	Stahlspannung der Steife
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Voraussetzungen für die Berechnung nach Hertz [2]:

- Die Berührungskörper sind aus homogenem, isotropem und elastischem Material

- Die unbeschränkte Gültigkeit des Hooke'schen Gesetzes
 Um diese Voraussetzung zu gewährleisten ist die Konstruktion so zu gestalten, dass die maximale Spannung σ_0 unter der Streckgrenze $f_{y,d}$ ist.
- Die Abplattung (Abmessung der Druckfläche) ist im Vergleich zu den Körperabmessungen und Krümmungsradien klein.
- In den Berührungsflächen treten keine Schubspannungen, sondern nur Normalspannungen auf (Voraussetzung: keine Reibung)
- Die Berührungsfläche zwischen beliebig gewölbten Körpern hat immer die Form einer Ellipse mit den Grenzfällen Rechteck und Kreis



Tafel 7.8		Berührungspressung nach Hertz					
Hilfsgrößen: $u = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2}$; $v = \frac{R_1 - R_2}{R_1 \cdot R_2}$; $w = \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2}$		$\mu = \text{Querdehnungszahl}$					
Nr.	Belastungsfall	Ver-schiedene Metalle $E_1 + E_2$	Gleiche Metalle: $E_1 = E_2 = E$; $\mu_1 = \mu_2 \approx 0,3$				
			Größte Normal-spannung σ_0	Größte Normal-spannung σ_0	Radius a der Berührungs-fläche	Schub-span-nung τ_{max}	Ab-stand y_m
	F = Gesamtkraft						
4	Zylinder – Ebene 	$\sigma_0 = -0,564 \sqrt{\frac{F}{R \cdot w \cdot L}}$	$\sigma_0 = -0,418 \sqrt{\frac{F \cdot E}{L \cdot R}}$	$a = 1,52 \sqrt{\frac{F \cdot R}{L \cdot E}}$	$\tau_{max} = 0,30 \sigma_0$	$y_m = 0,79 a$	$w_0 = \frac{1,159 F}{L \cdot E} \left(\frac{1}{3} + \ln \frac{2R}{a} \right)$

Abbildung 6.134: Berührungspressung nach Hertz [2]

**Lasteinleitung Waagbalken 2 - Rolle - SCSC-Platte oberes Deckblech
Zylinder - Ebene**

$F =$	151,00 kN	
$R =$	50 mm	
$L =$	150 mm	
$E_1 =$	210.000 N/mm ²	
$\mu_1 =$	0,30	
$f_{yk,1} =$	355 N/mm ²	
$E_2 =$	210.000 N/mm ²	
$\mu_2 =$	0,30	
$f_{yk,2} =$	355 N/mm ²	
$w =$	---	
$\sigma_0 =$	-859,50 N/mm ²	größte Normalspannung
	$\leq f_{yk} = 890,00$ N/mm ²	
$a =$	0,74 mm	Radius der Berührungsfläche
$\tau_{max} =$	257,85 N/mm ²	Schubspannung
$y_m =$	0,59 mm	Abstand
$w_0 =$	0,03 mm	Abplattung

Ausleitung aus WB2 (WB2 - Einleitungsplatte)

$f_{yk,WB2} =$	355 N/mm ²
$b_{WB2} =$	106 mm
$b_{\text{Einleitungsfläche, oben}} =$	52 mm
$\sigma_{WB2} =$	-27,39 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00$ N/mm ²

Einleitung in SCSC-Platte (Einleitungsplatte - Deckblech SCSC-Platte)

$f_{yk,DB\ SCSC\text{-Platte}} =$	355 N/mm ²
$b_{\text{Zylinder}} =$	150 mm
$t_{\text{Einleitungsplatte, unten}} =$	60 mm
$\sigma_{DB\ SCSC\text{-Platte}} =$	-4,66 N/mm ²
	$\leq f_{yk} = 355,00$ N/mm ²

Steifennachweis Außensteife [WB2]

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

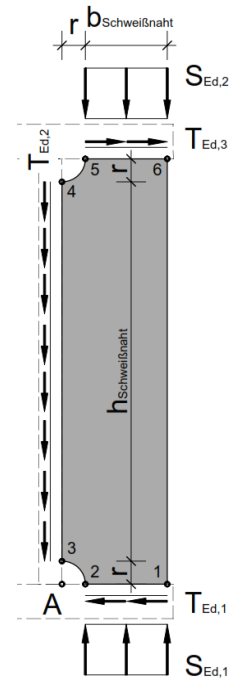
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	86 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	42 mm
$r =$	15 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	8,60 kN/cm	LD _{UKS09} - Fläche $A_2 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	0,00 kN/cm	

$T_{Ed,1} =$	2,67 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	4,20 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	2,67 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	143,33 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	44,48 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,60 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,23 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	70,00 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,28 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	$0,17 \leq 1,00$
---------------------------	------------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	44,48 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	$0,18 \leq 1,00$
-------------------------------	------------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	$0,11 \leq 1,00$
-----------------------------	------------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+r)/t = 4,8 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

6.8.22 Lastdetail LD_{ULS10} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = V_{z, Ed, [WB1]} = 301,29 \text{ kN} \text{ (siehe Punkt 6.3.13)}$$

- **[WB1]:** Der Kraftfluss wird über die Endplatte des [WB1] in den Obergurt des [WB2] geführt.
- **[WB2]:** Die Pressung zwischen [WB1]-Endplatte und [WB2]-Obergurt berechnet sich aus der überschrittenen Fläche beider Bauteile.
- **[WB2]:** Abgetragen wird die Kraft einerseits über die Steifen-Anschlussnähte an der Lasteinleitungsstelle sowie der anteiligen [WB2]-Stegfläche
- **[WB2]:** Diese Stegfläche wird über das Lastausbreitungsverhältnis von 1:1 von der Endplatte über den [WB2]-Obergurt und der Stegbreite errechnet.
- **[WB2]:** Die abzutragende Kraft bzw. Spannung des Steges, wird über die Gesamtfläche der Steifen-Anschlussnähte und der Stegfläche gebildet ($A_{w, ges} + A_4$).
- **[WB2]:** Die den Steifen zugeordnete Kraft wird über Schub- und Normalspannungen in die Stege- bzw. Gurte des [WB2] eingeleitet, es wird hierzu der geeignete Nachweis geführt.

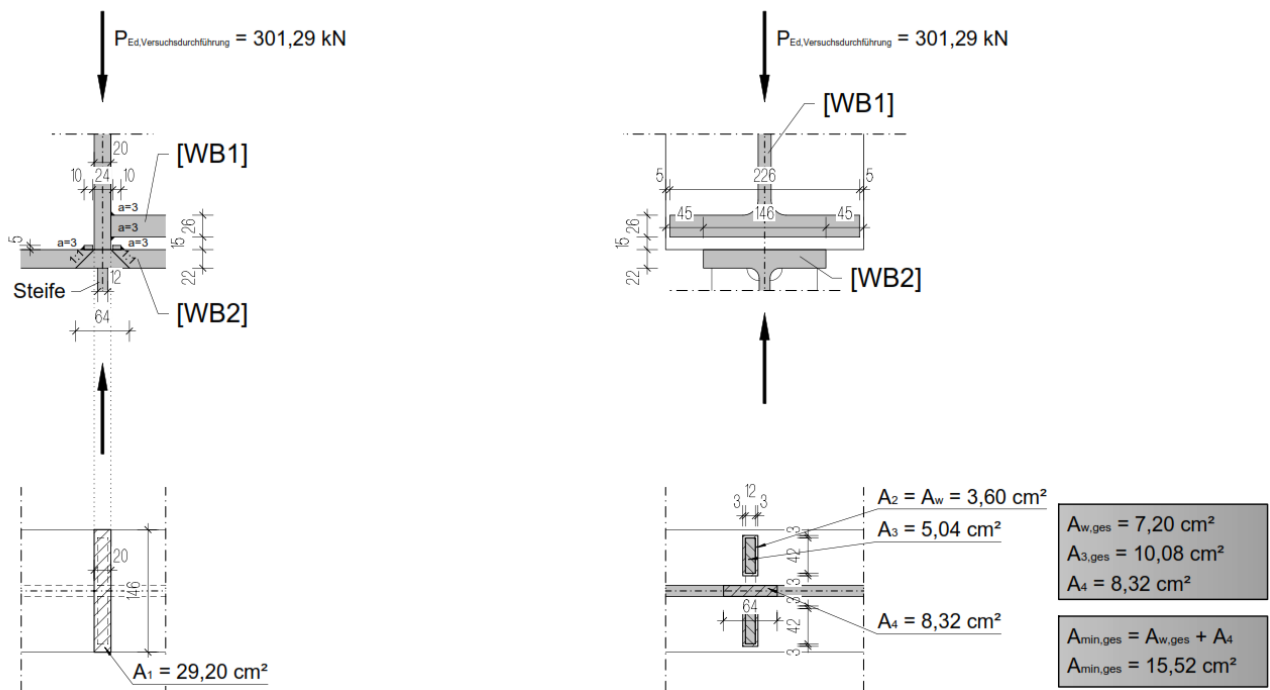


Abbildung 6.135: Lastdetail LD_{ULS10} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed, \text{Versuchsdurchführung}} = 301,29 \text{ kN}$$

[WB1]-Verbindung an Endplatte

$$a_{\text{Stegnaht, [WB1]}} = 5 \text{ mm}$$

$$l_{\text{Stegnaht, [WB1]}} = 138 \text{ mm}$$

$$A_{\text{Schub}} = 13,80 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{\parallel, Ed} = 218,33 \text{ N/mm}^2$$

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$$f_{uk, S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vw, Rd, S355J2+N} = 251,47 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\sigma_{w, Ed} / f_{vw, Rd} = 0,868 \leq 1,000$$

Pressung [WB2]-Obergurt Oberkante

$$A_1 = 29,20 \text{ cm}^2 \quad \text{Pressungsfläche}$$

$$\sigma_1 = -103,18 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Kontaktspannung}$$

$$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$$

[WB2]-Obergurt Unterkante

$$A_{\text{min, ges}} = 15,52 \text{ cm}^2 \quad \text{gesamte Fläche}$$

$$\sigma_2 = \sigma_w = \sigma_4 = -194,13 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Spannung der minimalen Fläche}$$

$$\leq f_{vw, Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$$

$$A_2 = A_w = 3,60 \text{ cm}^2 \quad \text{Schweißnahtfläche je Steife}$$

$$F_2 = 69,89 \text{ kN} \quad \text{Schweißnahtspannung der Steife}$$

$$A_3 = 5,04 \text{ cm}^2 \quad \text{Fläche der Steife}$$

$$\sigma_3 = -138,66 \text{ N/mm}^2 \quad \text{Stahlspannung der Steife}$$

$$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$$

Steifennachweis Außensteife [WB2]

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

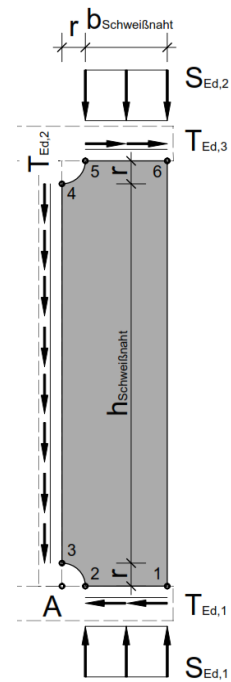
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	86 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	42 mm
$r =$	15 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	
$S_{Ed,2} =$	16,64 kN/cm	LD _{uk≤10} - Fläche $A_2 = A_w$

$T_{Ed,1} =$	-5,16 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-8,13 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-5,16 kN/cm

**Punkt 1 = Punkt 2**

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-86,07 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,34 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,21 \leq 1,00$$

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-135,44 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,54 \leq 1,00$$

$$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} = 0,33 \leq 1,00$$

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	4 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	208,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-64,55 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} = 0,87 \leq 1,00$$

$$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} = 0,44 \leq 1,00$$

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$$c/t = (b+r)/t = 4,8 \leq 14\epsilon = 11,39$$

$$\epsilon = 0,81$$

Querschnittsklasse 3

6.8.23 Lastdetail LD_{ULS11} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed,Presse} = 1,00 \cdot P_{k,Presse} = 600,00 \text{ kN (siehe Punkt 2.2.2)}$$

- **[WB1]:** Die Pressenkraft wird über die Kraftmessdose und der Teflonschicht auf den [WB1]-Obergurt in einem Lastausbreitungsverhältnis von 1:1 verteilt.
- **[WB1]:** Für die weitere Ausbreitung im [WB1]-Obergurt wird ein Lastausbreitungsverhältnis von 1:2,5 angenommen. Der Grund dafür ist, dass somit die [WB1]-Steifen vollflächig angesetzt werden können.

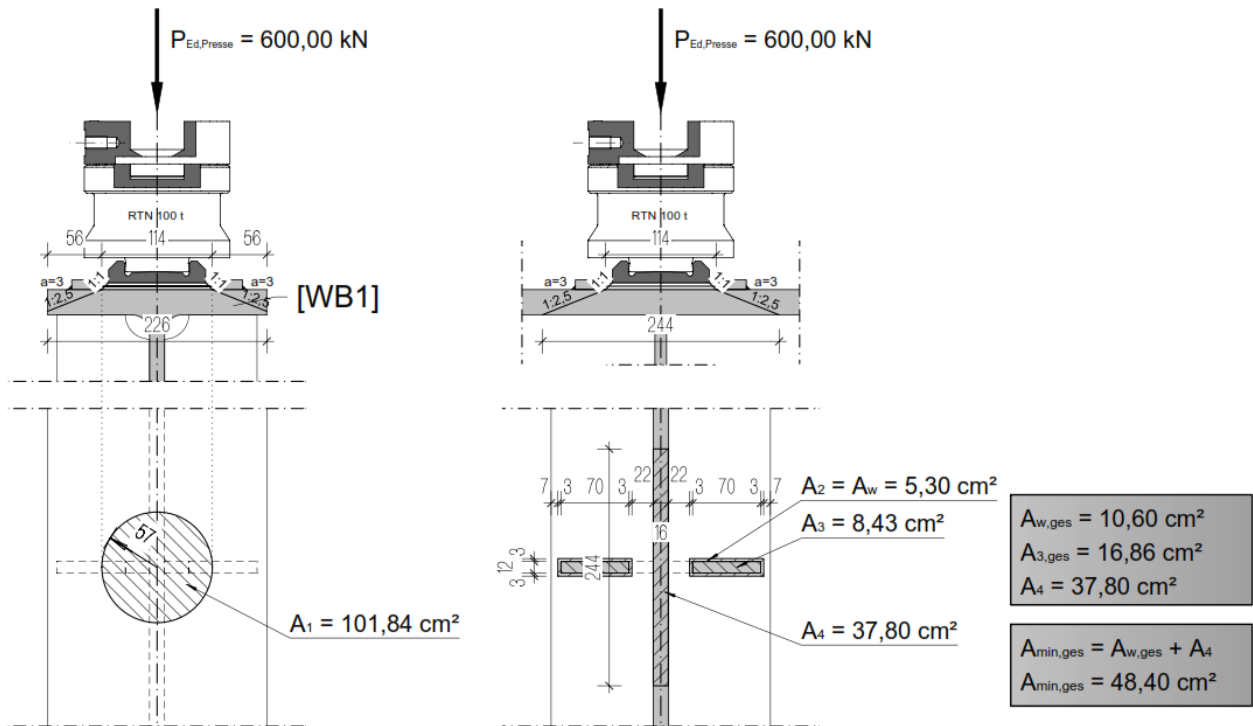


Abbildung 6.136: Lastdetail LD_{ULS11} – Versuchsdurchführung

$$P_{Ed,Presse} = 600,00 \text{ kN}$$

Pressung [WB1]-Obergurt Oberkante

$A_1 =$	101,84 cm ²	Pressungsfläche
$\sigma_1 =$	-58,92 N/mm ²	Kontaktspannung
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

[WB1]-Obergurt Unterkante

$A_{min,ges} =$	48,40 cm ²	gesamte Fläche
$\sigma_2 = \sigma_w = \sigma_4 =$	-123,97 N/mm ²	Spannung der minimalen Fläche
	$\leq f_{vw,Rd} = 251,47 \text{ N/mm}^2$	

$A_2 = A_w =$	5,30 cm ²	Schweißnahtfläche je Steife
$F_2 =$	65,70 kN	Schweißnahtspannung der Steife
$A_3 =$	8,43 cm ²	Fläche der Steife
$\sigma_3 =$	-77,94 N/mm ²	Stahlspannung der Steife
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

$\Delta F =$	468,60 kN	Differenzkraft
$A_4 =$	37,80 cm ²	[WB1]-Steg
$\sigma_4 =$	-123,97 N/mm ²	
	$\leq f_{yk} = 355,00 \text{ N/mm}^2$	

Steifennachweis Außensteife [WB1]

Steifentyp 2

Materialkennwerte

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²	$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²	$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25	$\gamma_{M0} =$	1,00

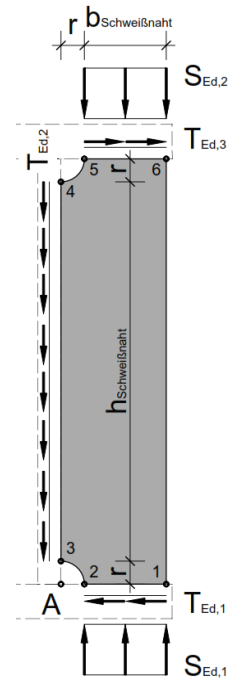
geometrische Daten

$h_{\text{Schweißnaht}} =$	138 mm
$b_{\text{Schweißnaht}} =$	70 mm
$r =$	25 mm
$t =$	12 mm

Kraftflüsse

$S_{Ed,1} =$	0,00 kN/cm	LD _{uk,11} - Fläche $A_2 = A_w$
$S_{Ed,2} =$	9,35 kN/cm	

$T_{Ed,1} =$	-2,99 kN/cm
$T_{Ed,2} =$	-4,76 kN/cm
$T_{Ed,3} =$	-2,99 kN/cm



Punkt 1 = Punkt 2

$a_1 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-49,85 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,20 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,12 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Punkt 3 = Punkt 4

$a_2 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-79,35 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,32 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\tau_{Ed} / \tau_{Rd} =$	0,19 ≤ 1,00
---------------------------	-------------

Punkt 5 = Punkt 6

$a_3 =$	3 mm
$\sigma_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²
$\sigma_{\perp,Ed} =$	155,88 N/mm ²
$\tau_{\parallel,Ed} =$	-49,85 N/mm ²
$\tau_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²

$\sigma_{w,Ed} / f_{vw,Rd} =$	0,65 ≤ 1,00
-------------------------------	-------------

$\sigma_{v,Ed} / f_{y,d} =$	0,25 ≤ 1,00
-----------------------------	-------------

Beulnachweis nach EN 1993-1-1 bzw. EN 1993-1-5

$c/t = (b+r)/t = 7,9 \leq 14\epsilon = 11,39$
 $\epsilon = 0,81$

Querschnittsklasse 3

7. Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

7.1 Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden nach Punkt 2.3.1 angesetzt.

7.2 [AT] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.2

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

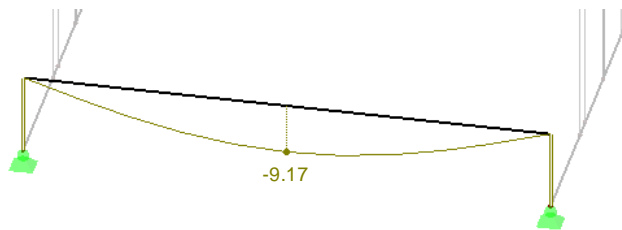


Abbildung 7.1: Auflagerträger [AT] – Versuchsdurchführung – Verformung

$$w_{z,max} = 9,17 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{4.350}{300} = 14,50 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 5,055 \text{ mrad}$$

7.3 [LT] Vorspannung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.3

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{Vorspannung} = 1,00 \cdot LF_{Eigengewicht} \oplus 1,00 \cdot LF_{Vorspannung}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

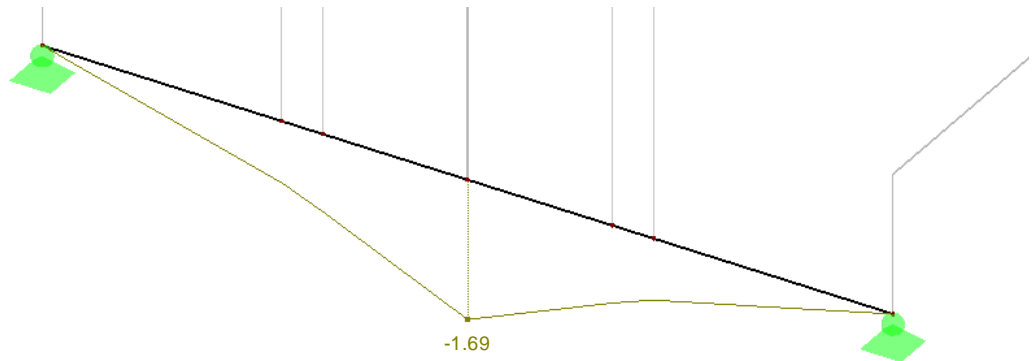


Abbildung 7.2: Längsträger [LT] – Vorspannung – Verformung

$$w_{z,max} = 1,69 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{4.120}{300} = 13,73 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 0,638 \text{ mrad}$$

7.4 [LT] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.4

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot P_{k,[ZS]}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

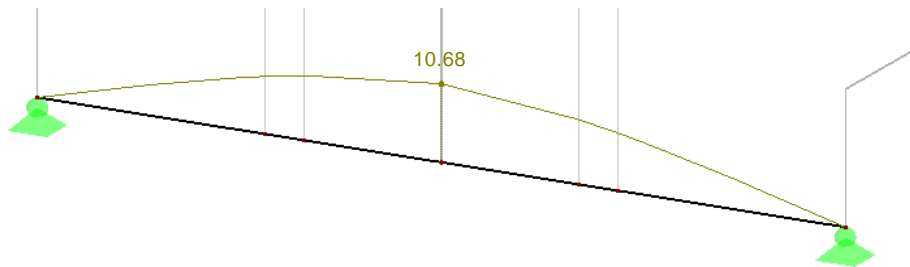


Abbildung 7.3: Längsträger [LT] – Versuchsdurchführung – Verformung

$$w_{z,max} = 10,68 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{4.120}{300} = 13,73 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 6,289 \text{ mrad}$$

7.5 [LTu] FLS Vorspannung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.5

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{FLS,Vorspannung} = 1,00 \cdot LF_{Eigengewicht} \oplus 1,00 \cdot P_{FLS,Vorspannung,Platte}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

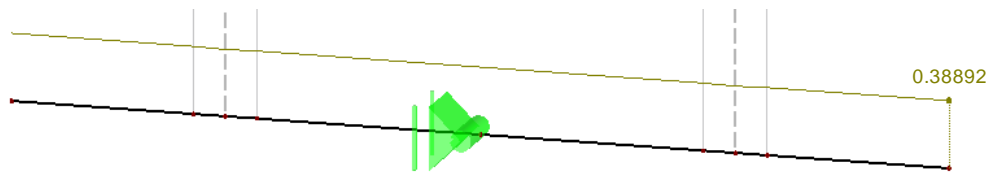


Abbildung 7.4: Längsträger unten [LTu] – FLS Vorspannung – Verformung

$$w_{z,max} = 0,00 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{2.940}{300} = 9,8 \text{ mm}$$

Die translatorische Verschiebung beträgt 0,39 mm.

$$\varphi_{y,max} = 0,006 \text{ mrad}$$

7.6 [QT]_{geschlossen} Versuchsdurchführung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.7

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

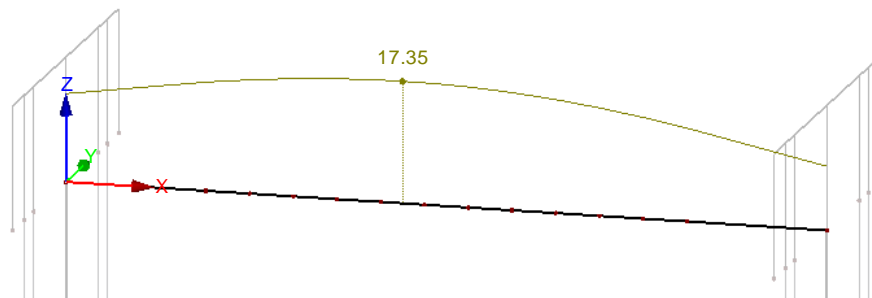


Abbildung 7.5: Querträger geschlossen [QT]_{geschlossen} – Versuchsdurchführung – Verformung

$$w_{z,max} = 17,35 \text{ mm}$$

$$w_{z,min} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\Delta w_z = w_{z,max} - w_{z,min} = 8,24 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{4.350}{300} = 14,50 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 4,188 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,max\text{Presse}} = 3,658 \text{ mrad}$$

7.7 [QT]_{offen} Versuchsdurchführung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.9

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

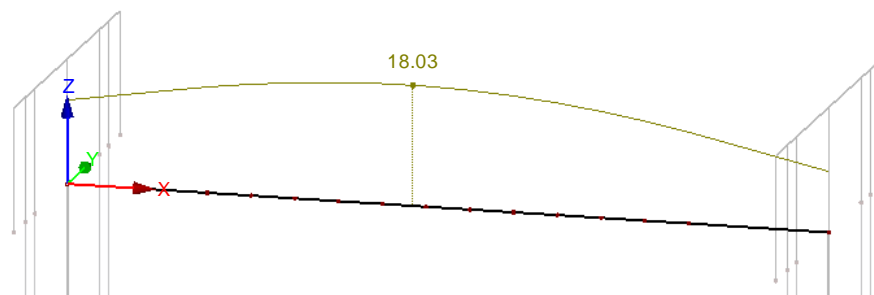


Abbildung 7.6: Querträger offen [QT]_{offen} – Versuchsdurchführung – Verformung

$$w_{z,max} = 18,03 \text{ mm}$$

$$w_{z,min} = 9,11 \text{ mm}$$

$$\Delta w_z = w_{z,max} - w_{z,min} = 8,92 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{4.350}{300} = 14,50 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 4,123 \text{ mrad}$$

$$\varphi_{y,max\text{Presse}} = 3,602 \text{ mrad}$$

7.8 [QT] Versuchsdurchführung – Nachweis der Horizontalverschiebung

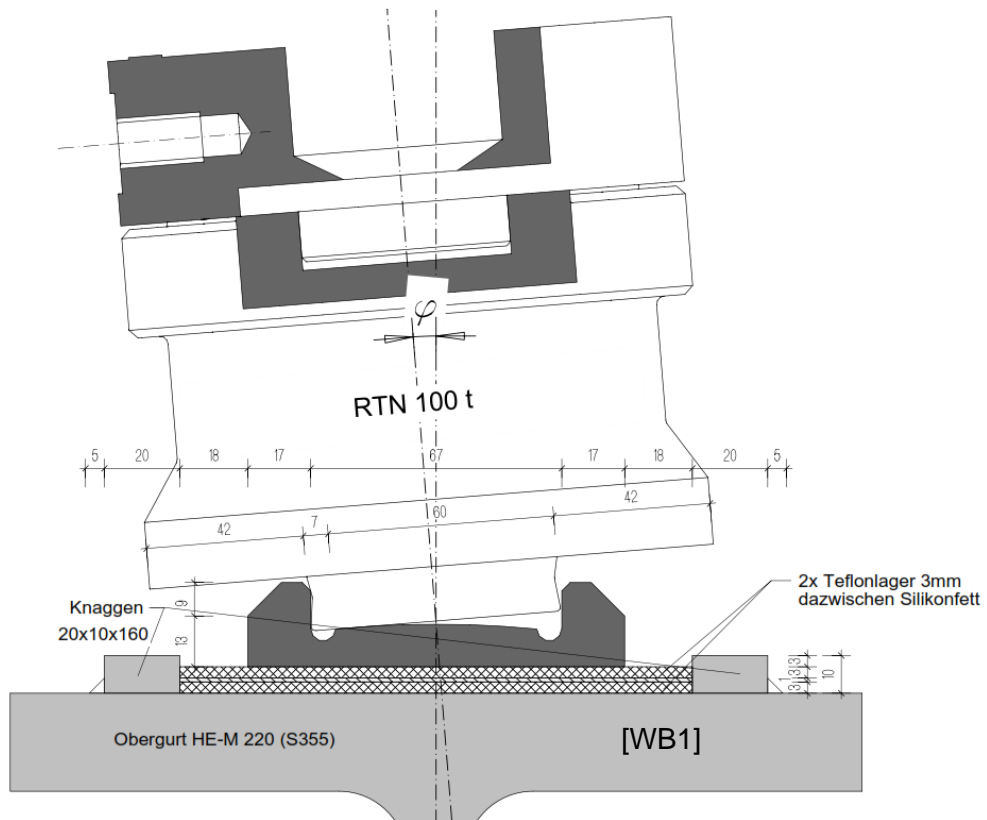


Abbildung 7.7: Pressenverdrehung [WB1] – Obergurt

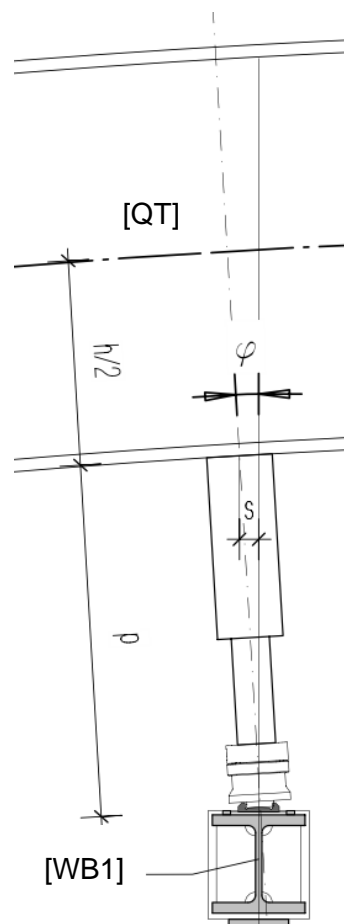


Abbildung 7.8: Pressenverdrehung Querträger [QT]

Geschlossener Querträger (siehe Punkt 7.6) $\varphi_{y,maxPresse} = 3,658 \text{ mrad}$

$$s_{geschlossener QT} = \sin \varphi_{y,maxPresse} \cdot p$$

$$= \sin(3,658 \cdot 10^{-3}) \cdot 860 = 3,15 \text{ mm}$$

Offener Querträger (siehe Punkt 7.7) $\varphi_{y,maxPresse} = 3,602 \text{ mrad}$

$$s_{geschlossener QT} = \sin \varphi_{y,maxPresse} \cdot p$$

$$= \sin(3,602 \cdot 10^{-3}) \cdot 860 = 3,10 \text{ mm}$$

7.9 [VT] Vorspannung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.10

Lastfallkombination

Vorspannung

$$LK_{Vorspannung} = 1,00 \cdot LF_{Eigengewicht} \oplus 1,00 \cdot LF_{Vorspannung}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

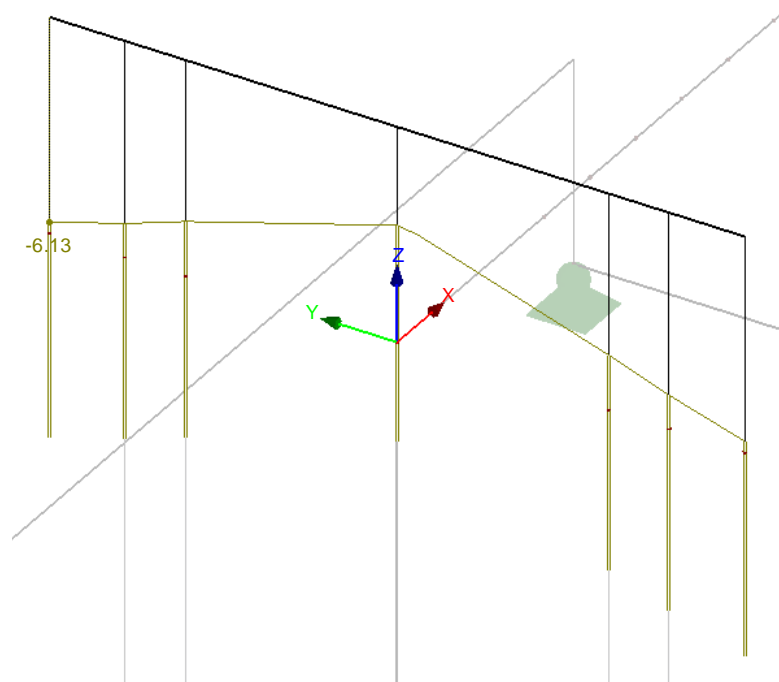


Abbildung 7.9: Vorspannträger [VT] – Vorspannung – Verformung

$$w_{z,max} = 6,13 \text{ mm}, w_{z,min} = 2,95 \text{ mm}$$

$$\Delta w_z = w_{z,max} - w_{z,min} = 3,18 \text{ mm} \leq \frac{l}{150} = \frac{1.150}{150} = 7,67 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 2,660 \text{ mrad}$$

7.10 [VT] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.11

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Vorspannung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

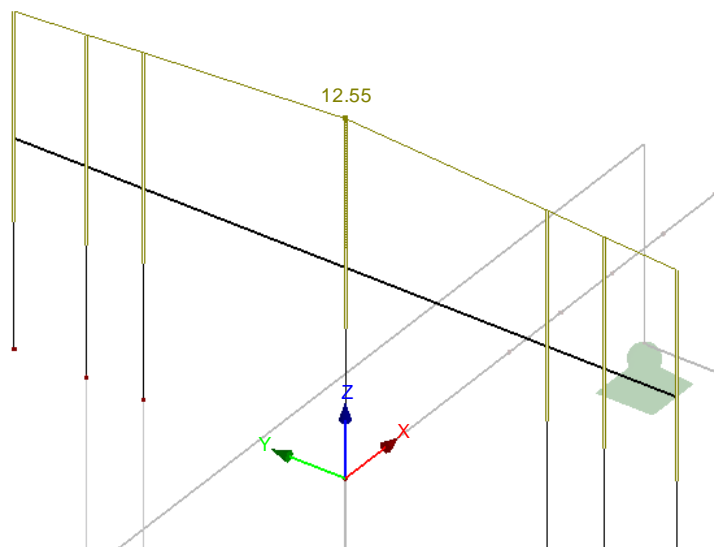


Abbildung 7.10: Vorspannträger [VT] – Versuchsdurchführung – Verformung

$$w_{z,max} = 12,55 \text{ mm}, w_{z,min} = 10,69 \text{ mm}$$

$$\Delta w_z = w_{z,max} - w_{z,min} = 1,86 \text{ mm} \leq \frac{l}{150} = \frac{1.150}{150} = 7,67 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 1,557 \text{ mrad}$$

7.11 [VTB] FLS Vorspannung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.12

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{FLS,Vorspannung} = 1,00 \cdot LF_{Eigengewicht} \oplus 1,00 \cdot P_{FLS,Vorspannung,Platte}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

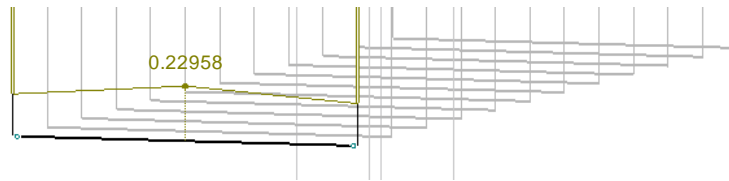


Abbildung 7.11: Verteilbalken [VTB] – FLS Vorspannung – Verformung

$$w_{z,max} = 0,23 \text{ mm}, w_{z,min} = 0,18 \text{ mm}$$

$$\Delta w_z = w_{z,max} - w_{z,min} = 0,05 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{820}{300} = 2,73 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 0,060 \text{ mrad}$$

7.12 [WB1] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.13

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

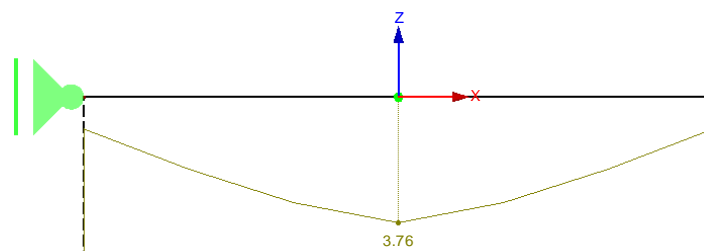


Abbildung 7.12: Waagbalken 1 [WB1] – Versuchsdurchführung – Verformung

$$w_{z,max} = 3,76 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{1.640}{300} = 5,47 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 3,300 \text{ mrad}$$

7.13 [WB2] Versuchsdurchführung

Lastfälle

Siehe Punkt 6.3.14

Lastfallkombination

Versuchsdurchführung

$$LK_{\text{Versuchsdurchführung}} = 1,00 \cdot LF_{\text{Eigengewicht}} \oplus 1,00 \cdot LF_{\text{Versuchsdurchführung}}$$

Verschiebungen / Verdrehungen

Biegelinie w_y [mm]

Querschnittsdrehwinkel φ_y [mrad]

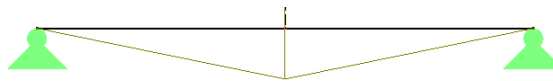


Abbildung 7.13: Waagbalken 2 [WB2] – Versuchsdurchführung – Verformung

$$w_{z,max} = 0,96 \text{ mm} \leq \frac{l}{300} = \frac{820}{300} = 2,73 \text{ mm}$$

$$\varphi_{y,max} = 1,833 \text{ mrad}$$

8. Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit

Die Versuchsanlage wird zusätzlich zu den statischen Traglastversuchen auch für dynamische Versuche verwendet. Hierbei werden die untersuchten SCSC-Platten einer definierten Lastschwingbreite (siehe Punkt 2.2.4) ausgesetzt, welche zwei Millionen mal aufgebracht wird. Da mehrere SCSC-Platten dynamisch untersucht werden ist der Versuchsrahmen auf eine weitaus höhere Anzahl an Lastspielen zu bemessen. Der Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit wird daher in Form eines Dauerfestigkeitsnachweises geführt. Die Dauerfestigkeit ist über eine Spannungsschwingbreite definiert, welche fünf Millionen mal aufgebracht werden kann. Ist die einwirkende Spannungsschwingbreite kleiner als die Dauerfestigkeit, so zieht diese Beanspruchung keine nennenswerte Schädigung nach sich.

Nachweisformate:

- Begrenzung der Nennspannung nach ÖNORM EN 1993-1-9 8(1):

$$\Delta\sigma \leq 1,5 \cdot f_y \quad \text{für Normalspannungen}$$

$$\Delta\tau \leq 1,5 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \quad \text{für Schubspannungen}$$

- Dauerfestigkeitsnachweis für Normalspannungen

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma}{\Delta\sigma_D / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

- Dauerfestigkeitsnachweis für Schubspannungen

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau}{\Delta\tau_D / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

- Nachweis für kombinierte Beanspruchung aus Normal- und Schubspannungen

(Für eine kombinierte Beanspruchung aus Normal- und Schubspannungen gibt es keine Nachweisform im Sinne einer Dauerfestigkeit. Es wird daher die Interaktionsformel nach DS 804 angewendet.)

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_x}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^2 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^2 - 0,8 \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_x}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right) \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right) + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^2 \leq 1,00$$

Im vorliegenden Projekt wird die lokale Lasteinleitung im Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit nicht behandelt. Daher ist die Normalspannungskomponente $\Delta\sigma_z = 0$ zu setzen. Der oben angeführte Nachweis bei kombinierter Beanspruchung reduziert sich somit zu:

$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_x}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right)^2 - 0,8 \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_x}{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}} \right) + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau}{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}} \right)^2 \leq 1,00$$

Die Spannungswerte der Dauerfestigkeit $\Delta\sigma_D$, $\Delta\tau_D$ bzw. der Kerbfestigkeit $\Delta\sigma_C$, $\Delta\tau_C$ werden in Abhängigkeit des Konstruktionsdetails und der Kerbfallklassifizierung über die Wöhlerkennlinie bestimmt (siehe Abbildung 8.1).

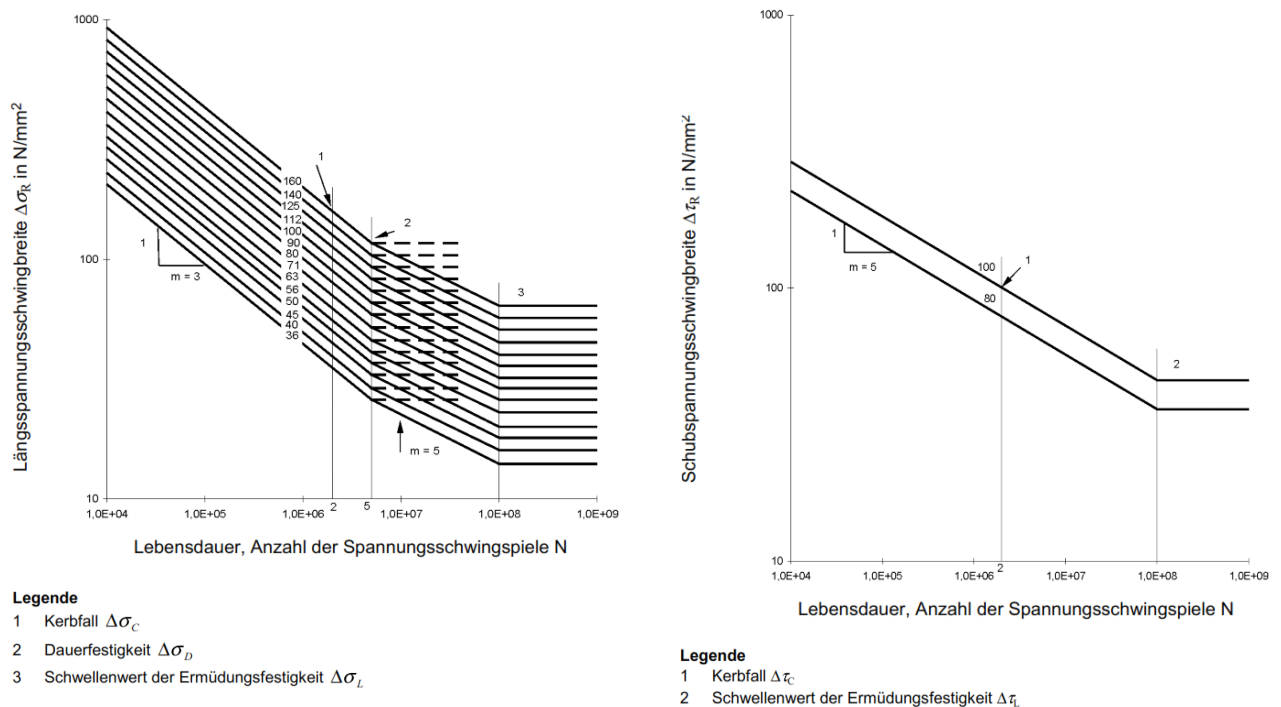


Abbildung 8.1: Ermüdungsfestigkeitskurven für Längsspannungen und Schubspannungen [14]

8.1 Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit werden nach Punkt 2.3.1 bzw. Punkt 2.3.3 angesetzt.

8.2 Modellbildung

Für die Ermittlung der ermüdungswirksamen Spannungsschwingbreite wird die unter Punkt 2.2.4 ermittelte Lastschwingbreite auf die relevanten Bauteile angesetzt. Durch die elastische Tragwerksanalyse werden über die Schnittgrößen die einwirkenden Spannungsdifferenzen ermittelt.

Durch die strukturelle Entkopplung des Berechnungsmodells wurden die einwirkenden Kräfte in vier Schritten auf die betroffenen Bauteile angesetzt (siehe Abbildung 8.2 bis Abbildung 8.5).

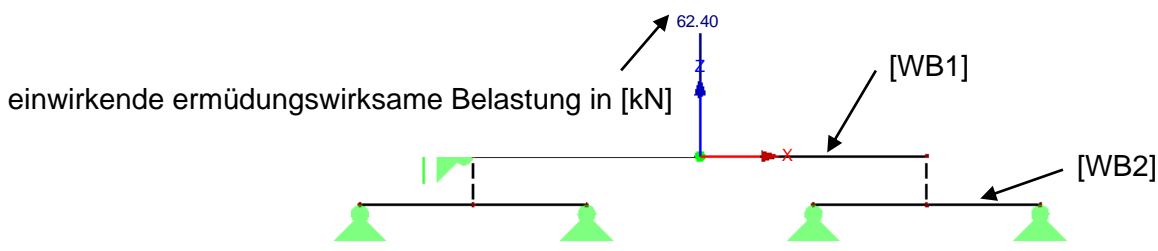


Abbildung 8.2: Einwirkende Lastschwingbreite [WB1], [WB2] (nach Punkt 2.2.4)

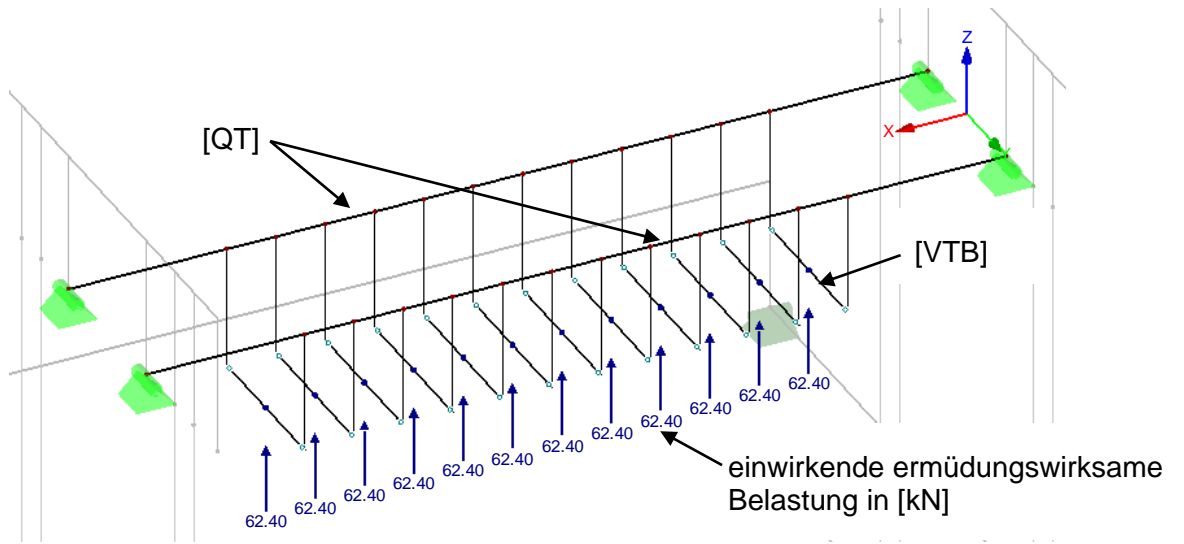


Abbildung 8.3: Einwirkende Lastschwingbreite [VTB], [QT] (nach Punkt 2.2.4)

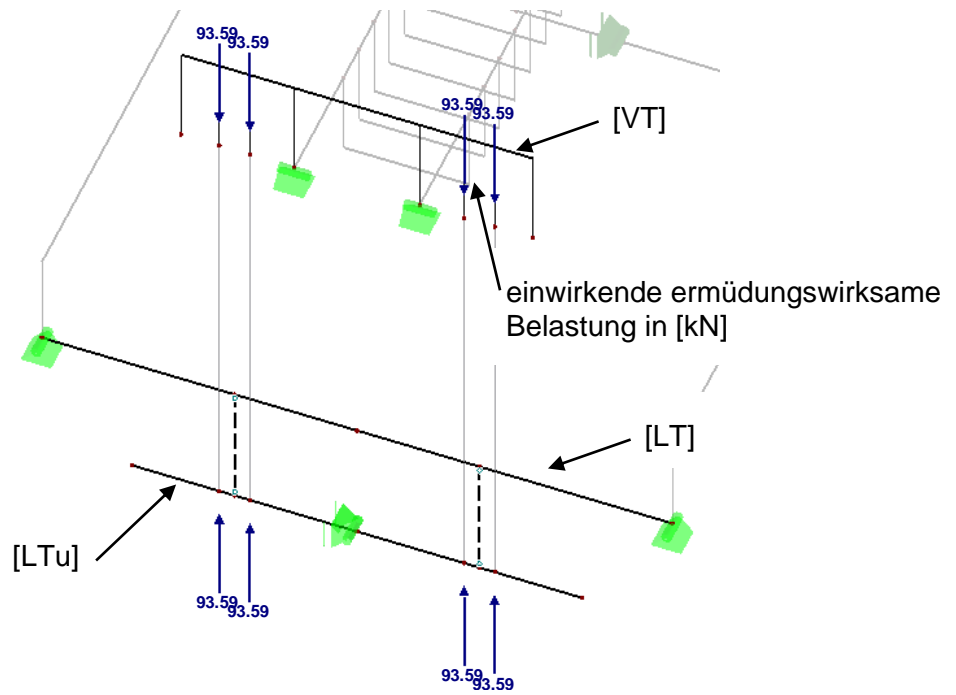


Abbildung 8.4: Einwirkende Lastschwingbreite [VT], [LT], [LTu] (nach Punkt 2.2.4)

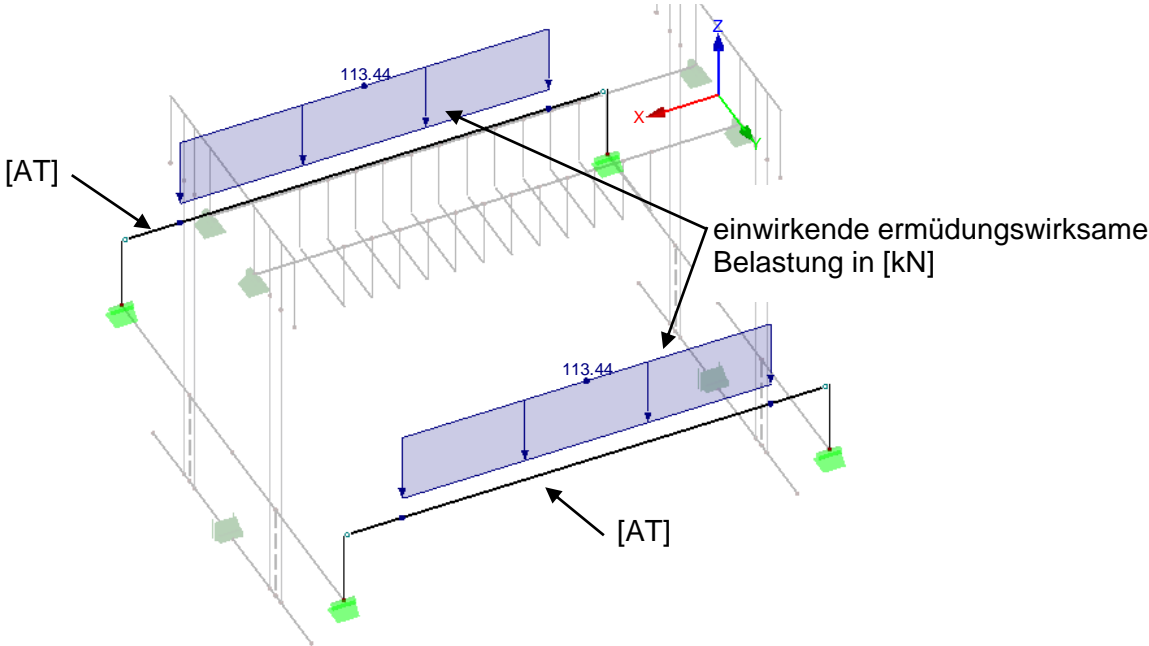


Abbildung 8.5: Einwirkende Lastschwingbreite [AT] (nach Punkt 2.2.4)

8.3 Ermittlung der Beanspruchungen / Nachweisführung im Grenzzustand der Ermüdungsfestigkeit

8.3.1 [AT] Auflagerträger

Schnittgrößen FLS

Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]

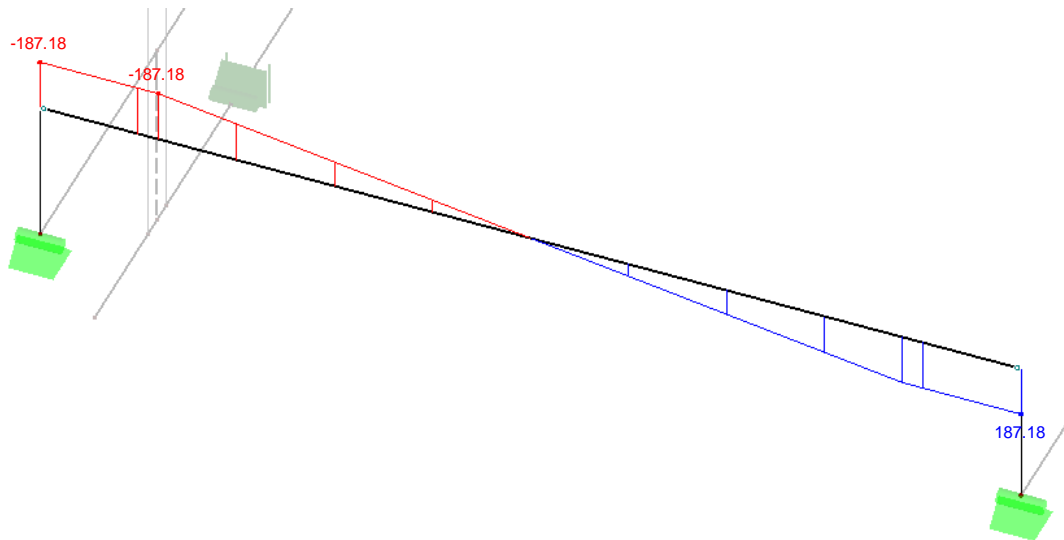


Abbildung 8.6: Auflagerträger [AT] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$

Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]

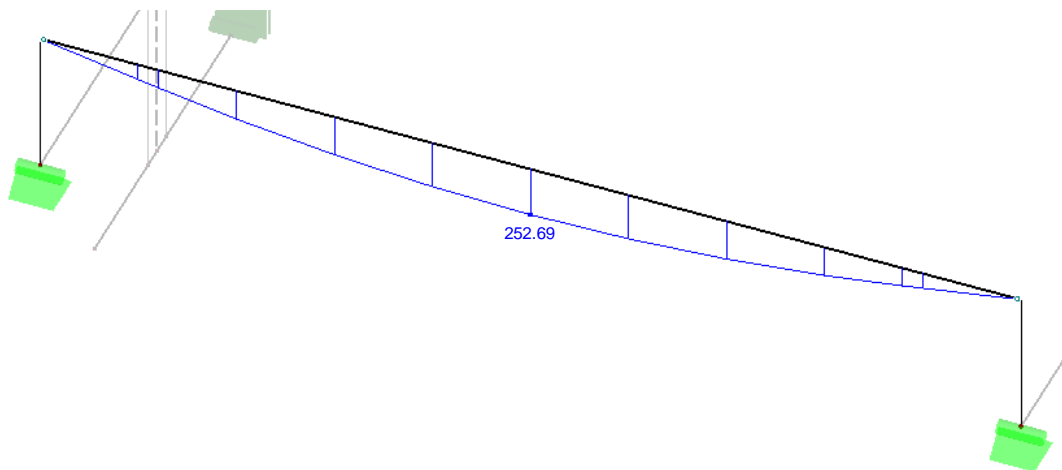


Abbildung 8.7: Auflagerträger [AT] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

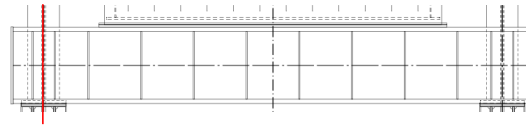
$$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

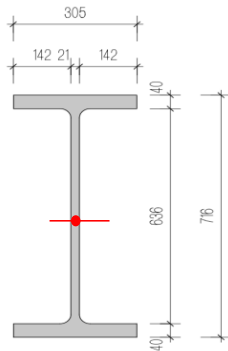
$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$x = 0,000 \text{ m}$$



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Auflager)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Normalkraft}$$

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 187,18 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung}$$

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 0,00 \text{ kNm} \quad \text{Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse}$$

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 50,59 \text{ (KF125)}$$

$$|\Delta \sigma_{z,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{Ed}| = 14,26 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} $	$0,10 \leq 1,00$	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	------------------	--

Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

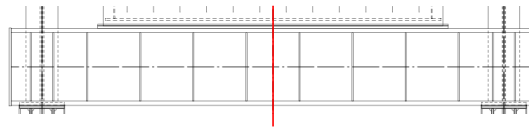
$$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

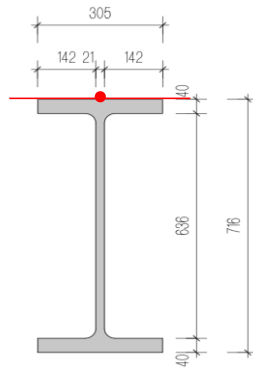
$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$x = 2,175 \text{ m}$$



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Feldmitte)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Normalkraft}$$

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung}$$

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 252,69 \text{ kNm} \quad \text{Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse}$$

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| = 27,47 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 50,59 \text{ (KF125)}$$

$$|\Delta \sigma_{z,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| \oplus |\Delta \sigma_{z,Ed}| \oplus |\Delta \tau_{Ed}| : 0,29 \leq 1,00 \quad \text{Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit}$$

8.3.2 [LT] Längsträger

Schnittgrößen FLS

Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]

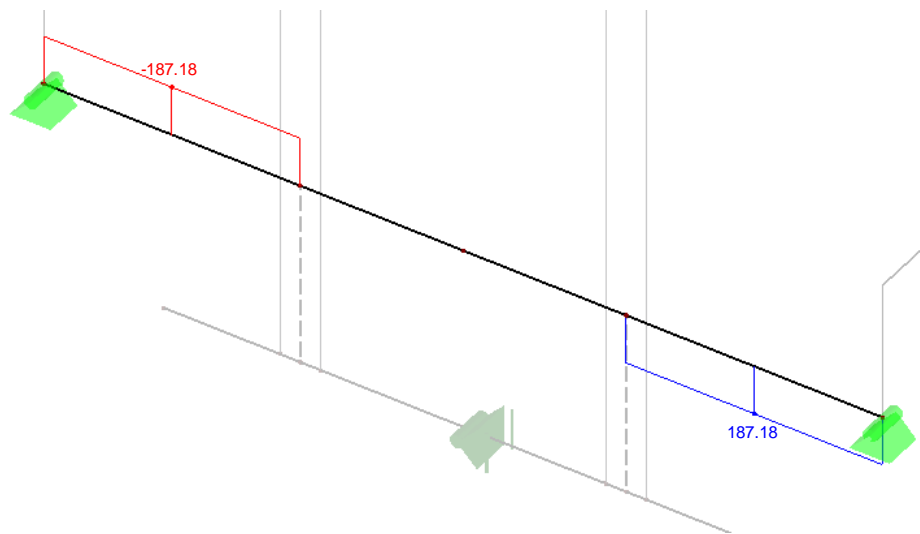


Abbildung 8.8: Längsträger [LT] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$

Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]

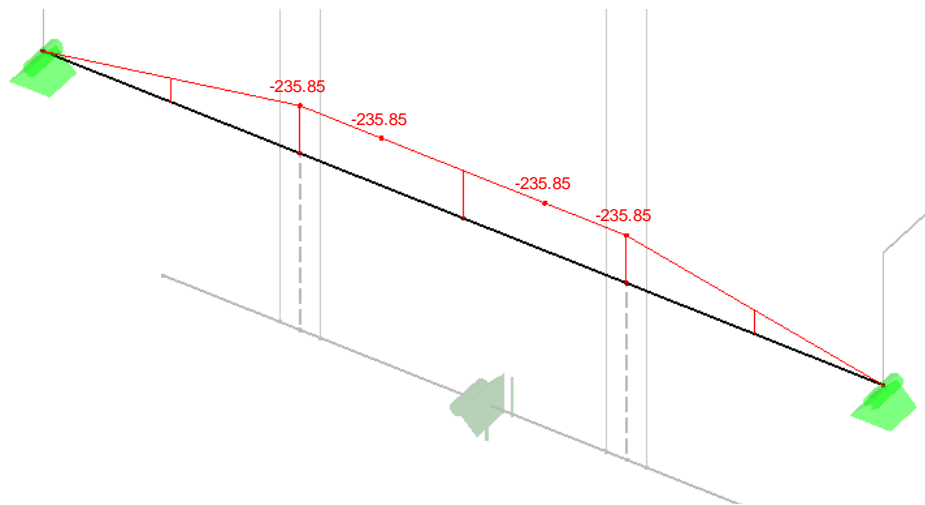


Abbildung 8.9: Längsträger [LT] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

Nachweis der Schweißnähte

Materialkennwerte (Schweißnaht)

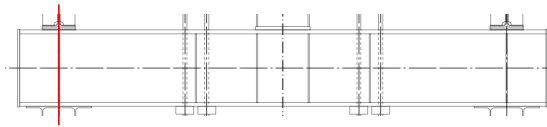
$$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vw,Rd,S355J2+N} = 251,47 \text{ N/mm}^2$$

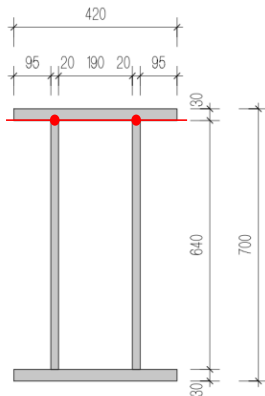
$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$x = 0,000 \text{ m}$$



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Auflager)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Normalkraft}$$

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 187,18 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung}$$

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 0,00 \text{ kNm} \quad \text{Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse}$$

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 40,47 \text{ (KF100)}$$

$$|\Delta \sigma_{z,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{Ed}| = 21,33 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} $	$0,22 \leq 1,00$	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	------------------	--

Nachweis des Grundmaterials unter Berücksichtigung der Spannungskonzentration zufolge der Spannglieddurchführung

Materialkennwerte

$$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 355 \text{ N/mm}^2$$

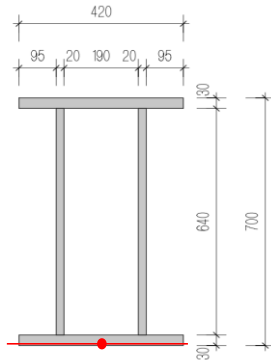
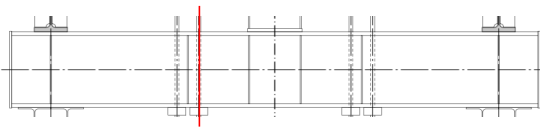
$$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$x = 1,360 \text{ m}$$

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Durchführung Spannstange)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN}$$

Betrag der Schwingbreite der Normalkraft

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 187,18 \text{ kN}$$

Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 235,85 \text{ kNm}$$

Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$$|3 \cdot \Delta \sigma_{x,Ed}| = 66,86 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_D = 92,10 \text{ (KF125)}$$

$$|\Delta \sigma_{z,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_D = 83,26 \text{ (KF100)}$$

$$|3 \cdot \Delta \sigma_{x,Ed}| \oplus |\Delta \sigma_{z,Ed}| \oplus |\Delta \tau_{Ed}| = 0,53 \leq 1,00$$

Nachweis die Dauerfestigkeit

Nachweis der Schweißnähte unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung zufolge der Spannglieddurchführung

Materialkennwerte

$$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$$

$$490 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$$

$$251,47 \text{ N/mm}^2$$

$$E =$$

$$210.000 \text{ N/mm}^2$$

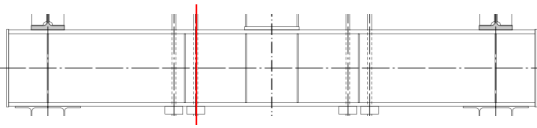
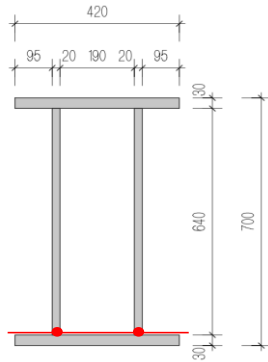
$$\gamma_{M2} =$$

$$1,25$$

$$x =$$

$$1,360 \text{ m}$$

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Durchführung Spannstange)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN}$$

Betrag der Schwingbreite der Normalkraft

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 187,18 \text{ kN}$$

Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 235,85 \text{ kNm}$$

Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{\parallel,Ed}| = 20,38 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 40,47 \text{ (KF100)}$$

$$|\Delta \sigma_{\perp,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{\parallel,Ed}| = 21,33 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

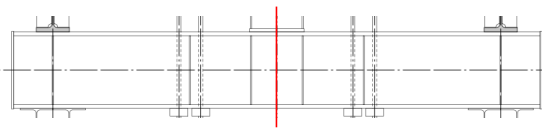
$$|\Delta \sigma_{\parallel,Ed}| \oplus |\Delta \sigma_{\perp,Ed}| \oplus |\Delta \tau_{\parallel,Ed}| = 0,47 \leq 1,00$$

Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit

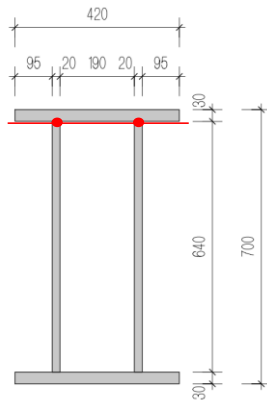
Nachweis der Schweißnähte

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	2,640 m



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Feldmitte)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	235,85 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} =$	20,38 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 40,47$ (KF100)
$ \Delta \sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{\parallel,Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)
$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} \oplus \Delta \sigma_{\perp,Ed} \oplus \Delta \tau_{\parallel,Ed} $		0,25 \leq 1,00
Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit		

8.3.3 [LTu] Längsträger unten

Schnittgrößen FLS

Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]

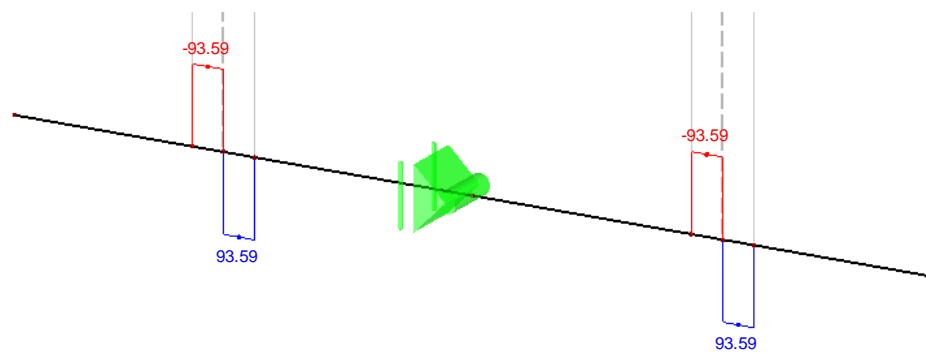


Abbildung 8.10: Längsträger unten [LTu] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$

Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]

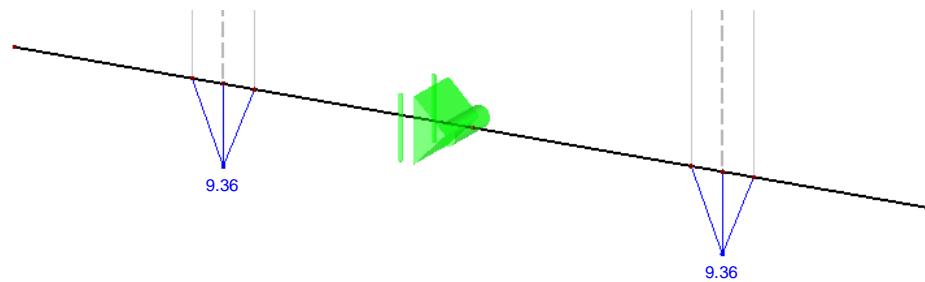


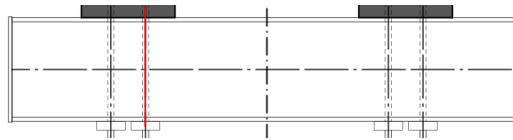
Abbildung 8.11: Längsträger unten [LTu] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

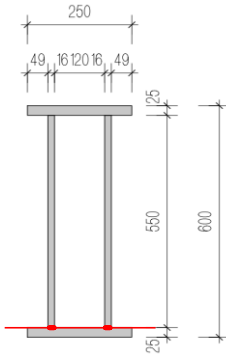
Nachweis der Schweißnähte unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung zufolge der Spannglieddurchführung

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,670 m



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Durchführung Spannstange)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	93,59 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	9,36 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} =$	1,74 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 40,47 \text{ (KF100)}$
$ \Delta \sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{\parallel,Ed} =$	18,97 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} \oplus \Delta \sigma_{\perp,Ed} \oplus \Delta \tau_{\parallel,Ed} $	0,17 \leq 1,00	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	------------------	--

Nachweis des Grundmaterials unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung zufolge der Spannglieddurchführung

Materialkennwerte

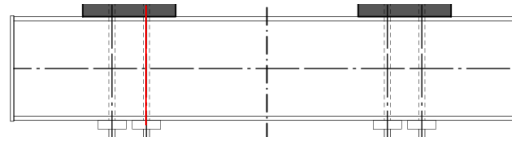
$$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

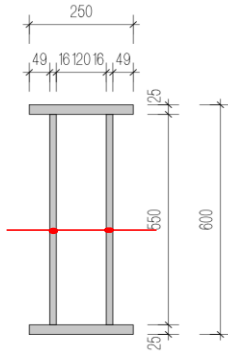
$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$x = 0,670 \text{ m}$$



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Durchführung Spannstange)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Normalkraft}$$

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 93,59 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung}$$

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 9,36 \text{ kNm} \quad \text{Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse}$$

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 50,59 \text{ (KF125)}$$

$$|\Delta \sigma_{z,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{Ed}| = 31,74 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} :$	0,48 ≤ 1,00	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	-------------	--

8.3.4 [QT]_{geschlossen} Querträger geschlossen

Schnittgrößen FLS

Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]

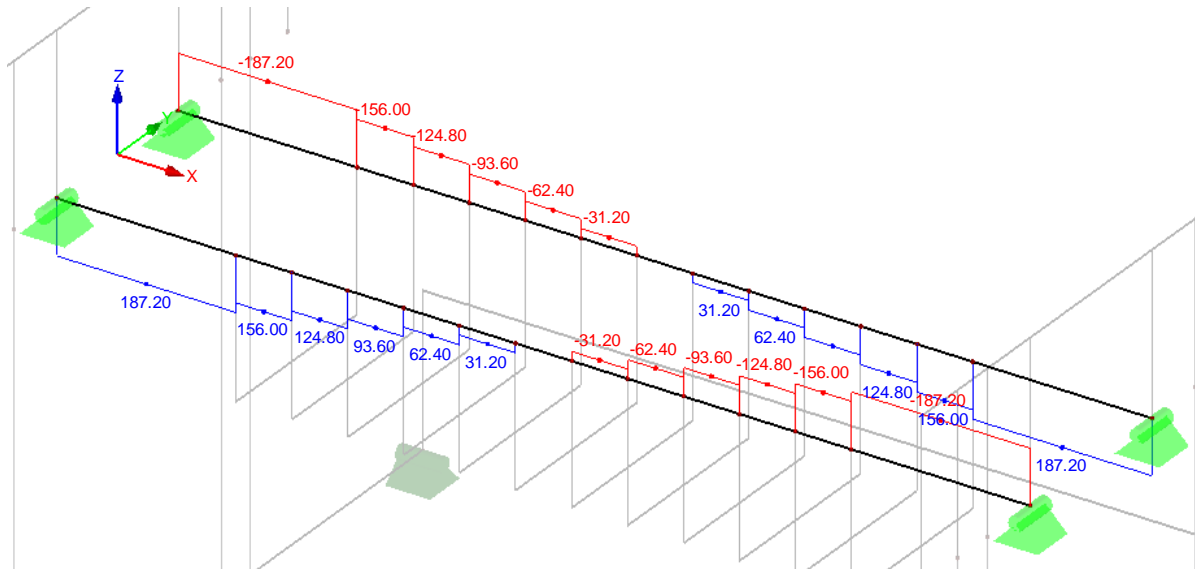


Abbildung 8.12: Querträger geschlossen [QT]_{geschlossen} – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$

Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]

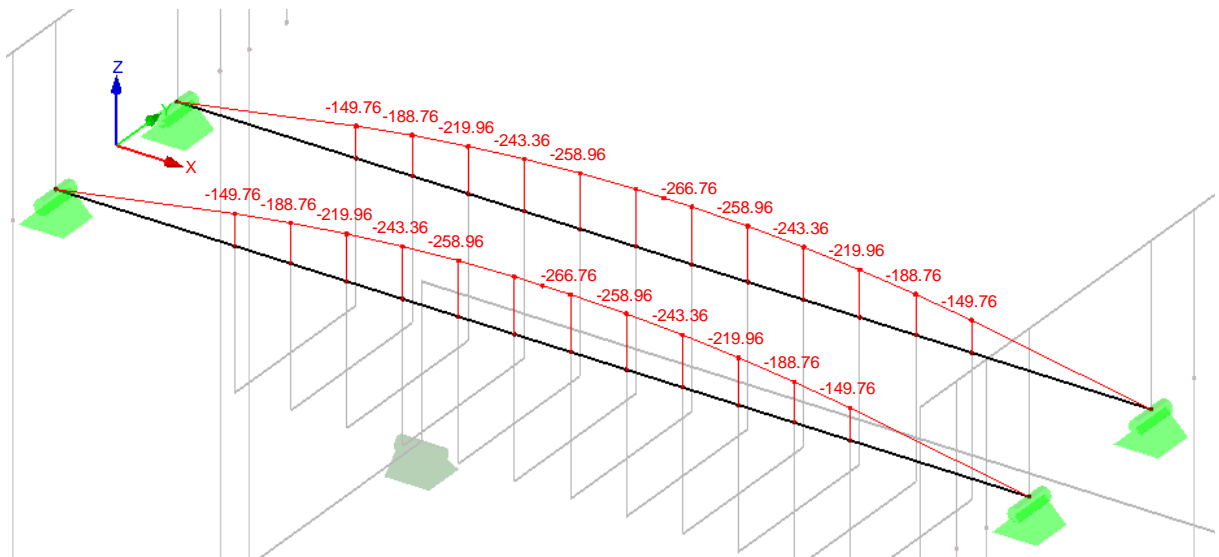


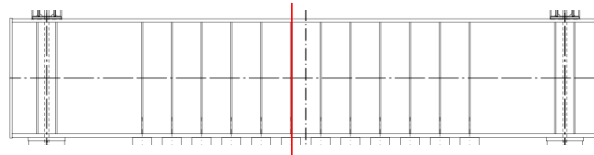
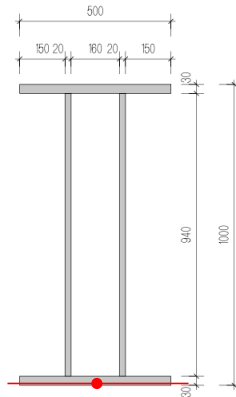
Abbildung 8.13: Querträger geschlossen [QT]_{geschlossen} – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	2,050 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ 

Einwirkungen FLS (Feldmitte, Presse)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	31,20 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	266,76 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

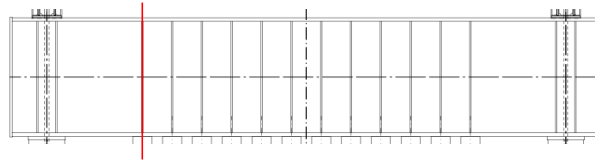
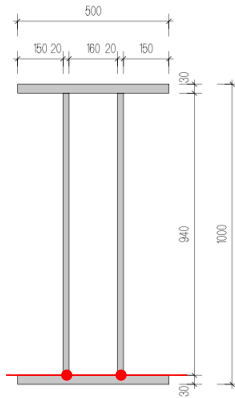
$ \Delta \sigma_{x,Ed} =$	13,57 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 50,59$ (KF125)
$ \Delta \sigma_{z,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} :$	0,07 \leq 1,00	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	------------------	--

Nachweis der Schweißnähte

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,800 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ 

Einwirkungen FLS (Feldmitte, Presse)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	187,20 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	149,76 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} =$	7,16 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 40,47$ (KF100)
$ \Delta \sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{\parallel,Ed} =$	8,66 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} \oplus \Delta \sigma_{\perp,Ed} \oplus \Delta \tau_{\parallel,Ed} $	0,07 \leq 1,00	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	------------------	--

8.3.5 [QT]_{offen} Querträger offen

Schnittgrößen FLS

Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]

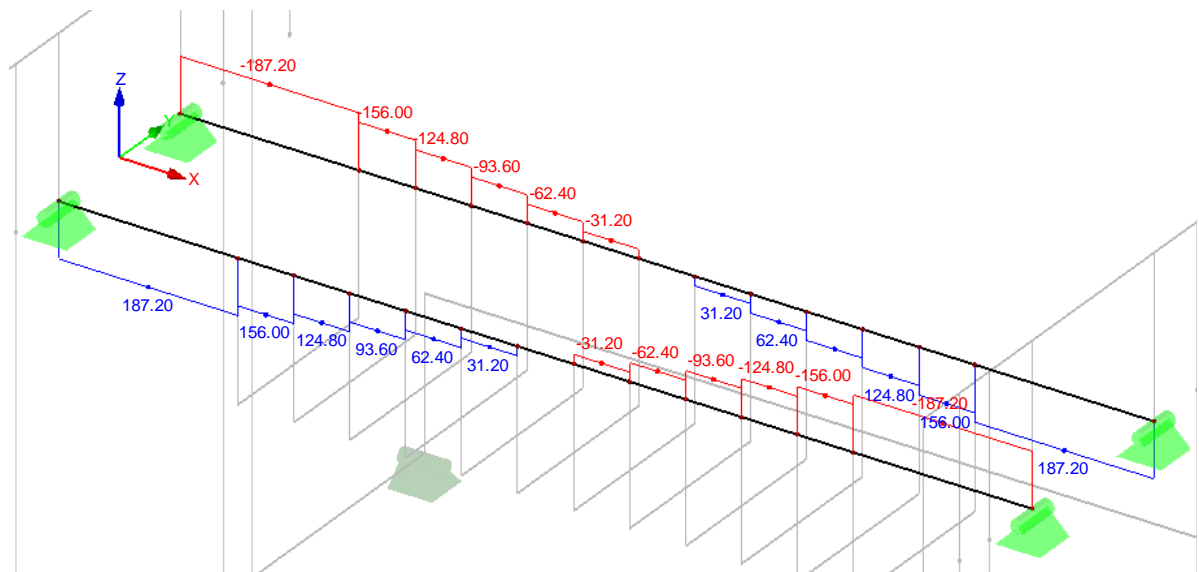


Abbildung 8.14: Querträger offen [QT]_{offen} – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$

Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]

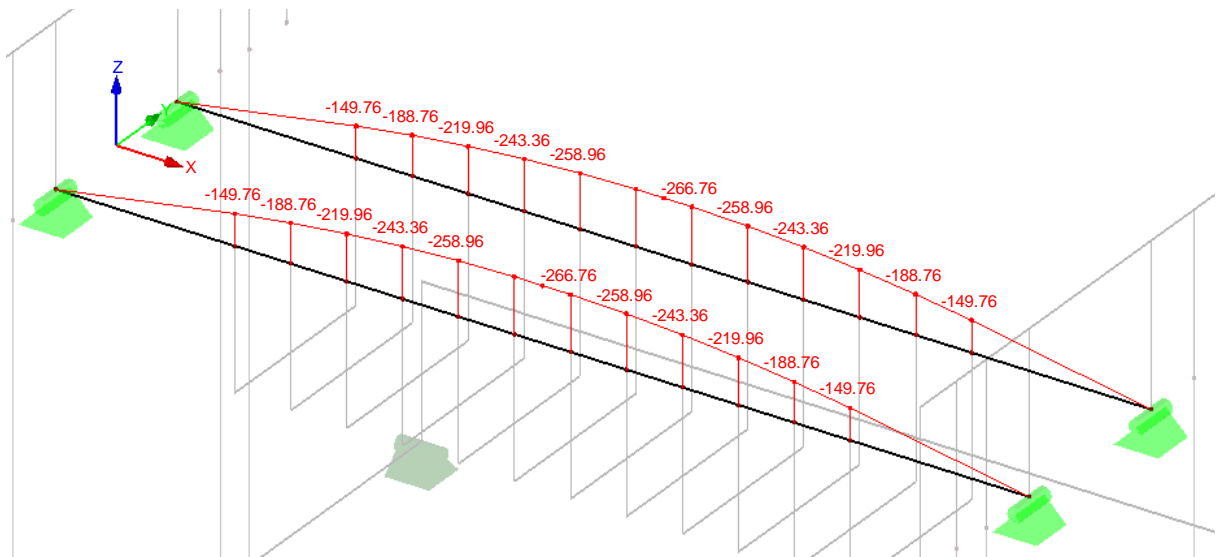


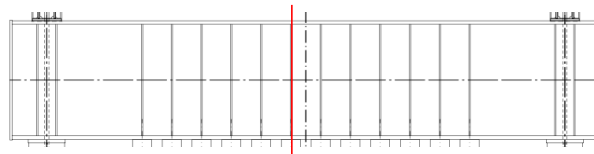
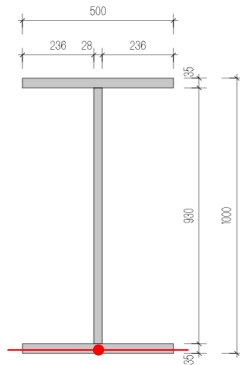
Abbildung 8.15: Querträger offen [QT]_{offen} – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	2,050 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ 

Einwirkungen FLS (Feldmitte, Presse)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	31,20 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	266,76 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

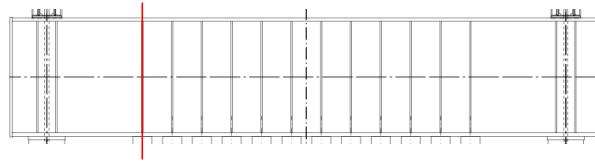
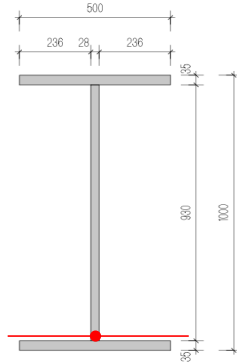
$ \Delta \sigma_{x,Ed} =$	13,30 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 50,59$ (KF125)
$ \Delta \sigma_{z,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} :$	0,07 \leq 1,00	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	------------------	--

Nachweis der Schweißnähte

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,800 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ 

Einwirkungen FLS (Feldmitte, Presse)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	187,20 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	149,76 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} =$	6,94 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 40,47$ (KF100)
$ \Delta \sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{\parallel,Ed} =$	9,85 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} \oplus \Delta \sigma_{\perp,Ed} \oplus \Delta \tau_{\parallel,Ed} $	0,08 \leq 1,00	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	------------------	--

8.3.6 [VT] Vorspanträger – [QT]_{geschlossen}

Schnittgrößen FLS

Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]

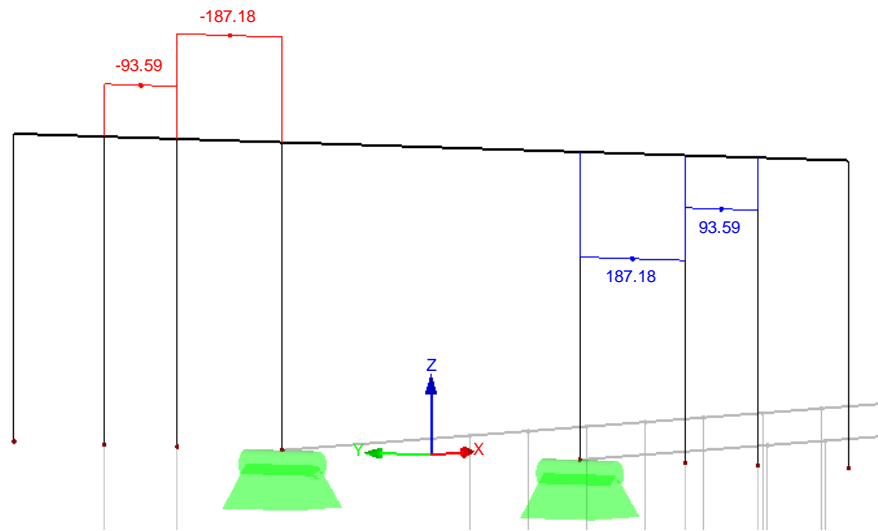


Abbildung 8.16: Vorspanträger [VT] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$

Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]

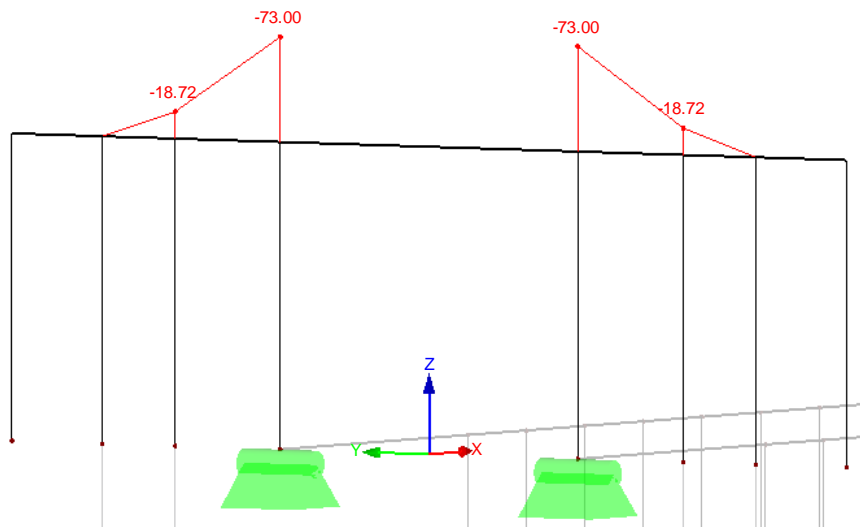


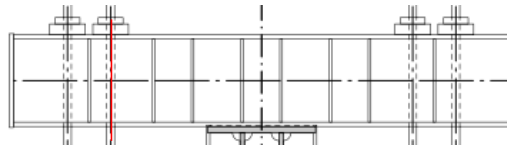
Abbildung 8.17: Vorspanträger [VT] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

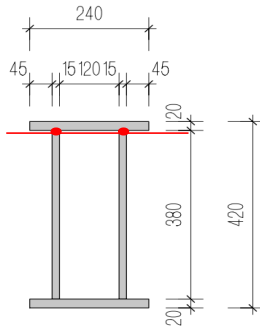
Nachweis der Schweißnähte unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung zufolge der Spannglieddurchführung

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,450 m



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Durchführung Spannstange)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	187,18 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	18,72 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} =$	5,77 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 40,47$ (KF100)
$ \Delta \sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{\parallel,Ed} =$	18,22 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

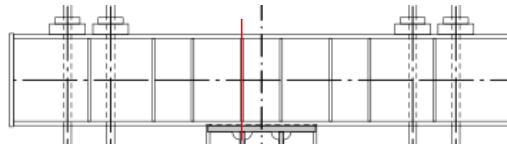
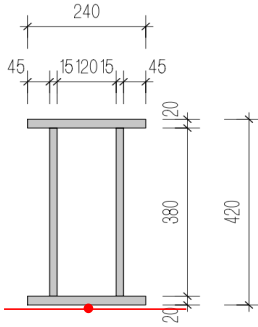
$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} \oplus \Delta \sigma_{\perp,Ed} \oplus \Delta \tau_{\parallel,Ed} $	0,18 \leq 1,00
--	------------------

Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit

Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	1,060 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ 

Einwirkungen FLS (Auflager)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	187,18 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	73,00 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{x,Ed} =$	24,87 N/mm ² $\leq \Delta \sigma_L = 50,59$ (KF125)
$ \Delta \sigma_{z,Ed} =$	0,00 N/mm ² optional
$ \Delta \tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ² $\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

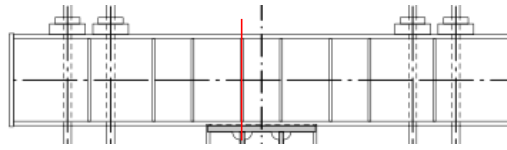
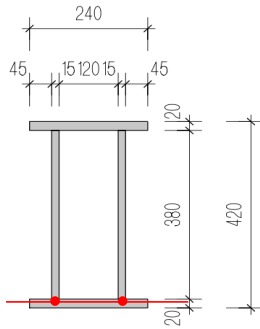
$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} :$	0,24 \leq 1,00
--	------------------

Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit

Nachweis der Schweißnähte

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	1,060 m

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ 

Einwirkungen FLS (Auflager)

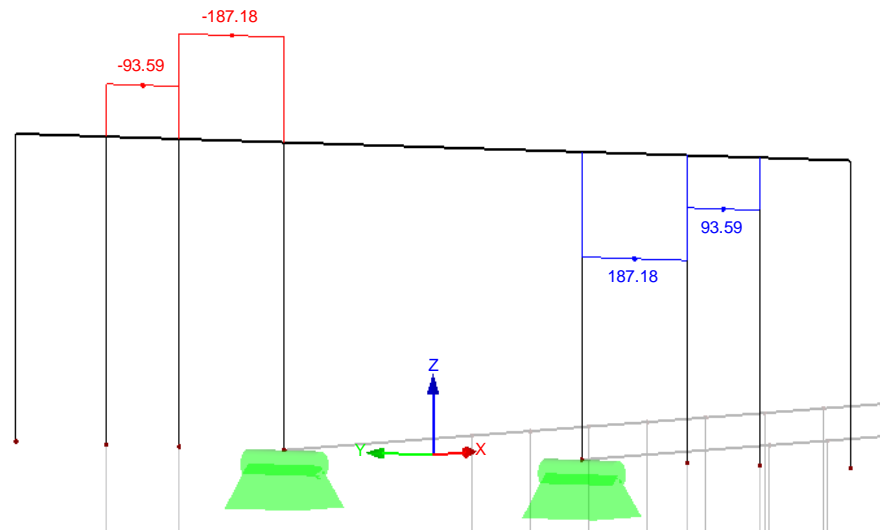
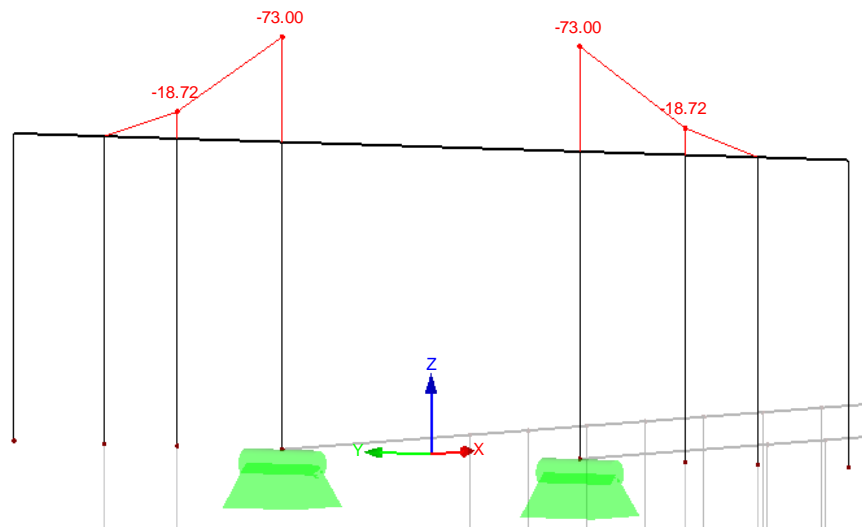
$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	187,18 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	73,00 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} =$	22,50 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 40,47$ (KF100)
$ \Delta \sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{\parallel,Ed} =$	13,25 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} \oplus \Delta \sigma_{\perp,Ed} \oplus \Delta \tau_{\parallel,Ed} $	0,39 \leq 1,00
--	------------------

Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit

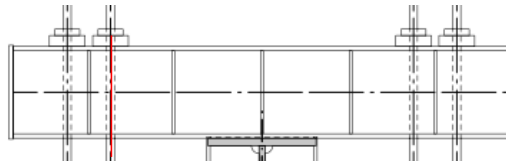
8.3.7 [VT] Vorspanträger – [QT]_{offen}**Schnittgrößen FLS**Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]Abbildung 8.18: Vorspanträger [VT] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]Abbildung 8.19: Vorspanträger [VT] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

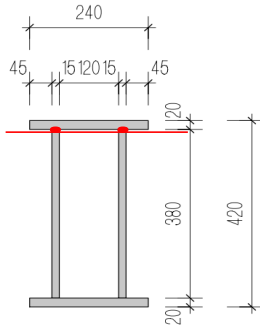
Nachweis der Schweißnähte unter Berücksichtigung der Querschnittsschwächung zufolge der Spannglieddurchführung

Materialkennwerte (Schweißnaht)

$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) =$	490 N/mm ²
$f_{vw,Rd,S355J2+N} =$	251,47 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M2} =$	1,25
$x =$	0,450 m



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Durchführung Spannstange)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	187,18 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	18,72 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} =$	5,77 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 40,47$ (KF100)
$ \Delta \sigma_{\perp,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{\parallel,Ed} =$	18,22 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

$ \Delta \sigma_{\parallel,Ed} \oplus \Delta \sigma_{\perp,Ed} \oplus \Delta \tau_{\parallel,Ed} $	0,18 \leq 1,00
--	------------------

Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit

Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

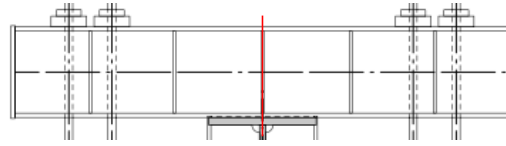
$$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

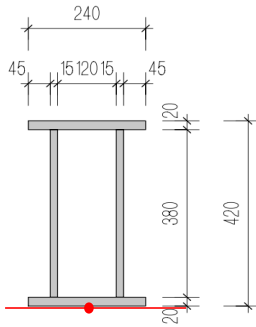
$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$x = 1,150 \text{ m}$$



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Auflager)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Normalkraft}$$

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 187,18 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung}$$

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 73,00 \text{ kNm} \quad \text{Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse}$$

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| = 24,87 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 50,59 \text{ (KF125)}$$

$$|\Delta \sigma_{z,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| \oplus |\Delta \sigma_{z,Ed}| \oplus |\Delta \tau_{Ed}| : 0,24 \leq 1,00 \quad \text{Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit}$$

Nachweis der Schweißnähte

Materialkennwerte (Schweißnaht)

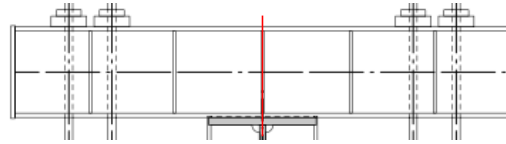
$$f_{uk,S355J2+N} (t \leq 40 \text{ mm}) = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vw,Rd,S355J2+N} = 251,47 \text{ N/mm}^2$$

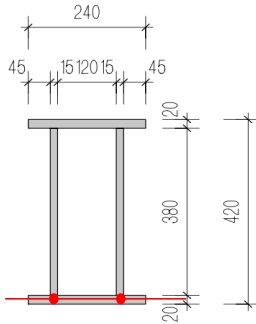
$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$x = 1,150 \text{ m}$$



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Auflager)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Normalkraft}$$

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 187,18 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung}$$

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 73,00 \text{ kNm} \quad \text{Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse}$$

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{\parallel,Ed}| = 22,50 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 40,47 \text{ (KF100)}$$

$$|\Delta \sigma_{\perp,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{\parallel,Ed}| = 13,25 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} $	$0,39 \leq 1,00$	Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit
--	------------------	--

8.3.8 [VTB] Verteilbalken – [QT]_{geschlossen}

Schnittgrößen FLS

Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]

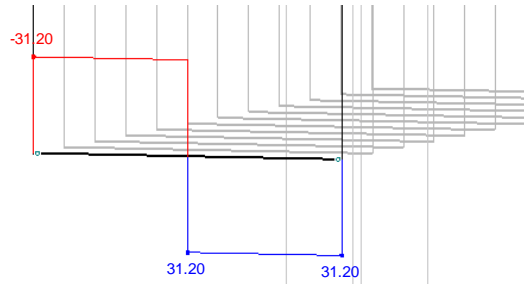


Abbildung 8.20: Verteilbalken [VTB] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$

Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]

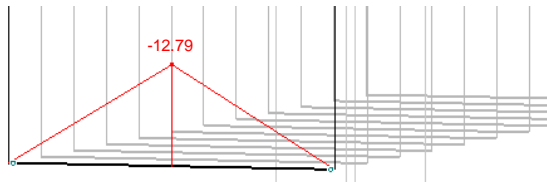


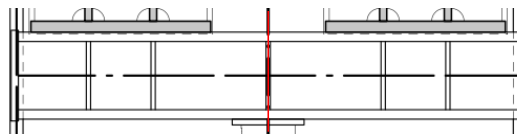
Abbildung 8.21: Verteilbalken [VTB] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

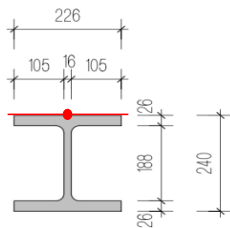
Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,695 m



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS

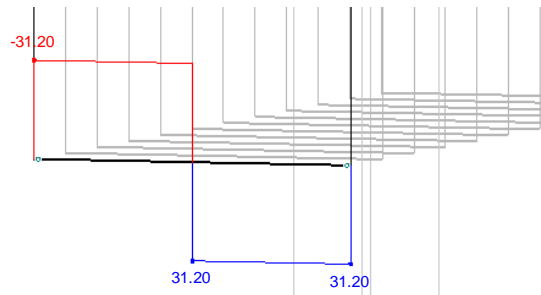
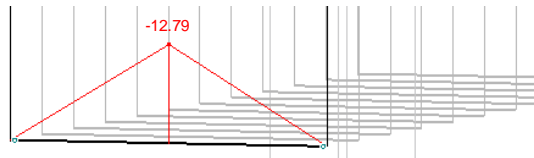
$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	12,79 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	31,20 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{x,Ed} =$	25,64 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 50,59$ (KF125)
$ \Delta \sigma_{z,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} :$	0,26 \leq 1,00
--	------------------

Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit

8.3.9 [VTB] Verteilbalken – [QT]_{geschlossen}**Schnittgrößen FLS**Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]Abbildung 8.22: Verteilbalken [VTB] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]Abbildung 8.23: Verteilbalken [VTB] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ **Nachweis der Ermüdungsfestigkeit**

Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

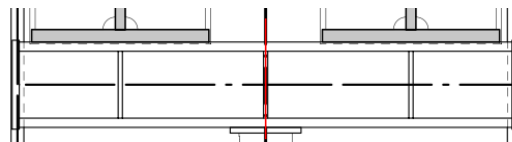
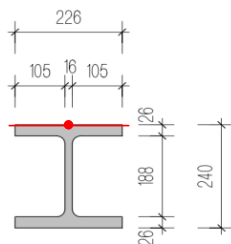
$$f_{yk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{uk,S355J2+N (t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$x = 0,695 \text{ m}$$

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ 

Einwirkungen FLS

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Normalkraft}$$

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 12,79 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung}$$

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 31,20 \text{ kNm} \quad \text{Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse}$$

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| = 25,64 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 50,59 \text{ (KF125)}$$

$$|\Delta \sigma_{z,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| \oplus |\Delta \sigma_{z,Ed}| \oplus |\Delta \tau_{Ed}| : 0,26 \leq 1,00$$

Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit

8.3.10 [WB1] Waagbalken 1

Schnittgrößen FLS

Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]

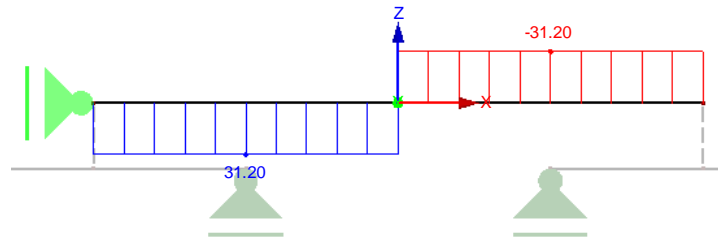


Abbildung 8.24: Waagbalken 1 [WB1] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$

Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]

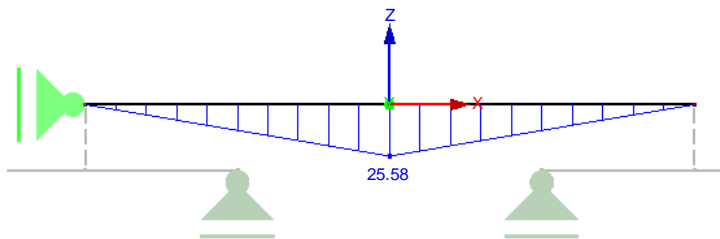


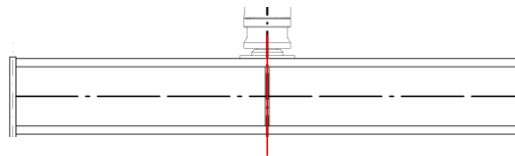
Abbildung 8.25: Waagbalken 1 [WB1] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$

Nachweis der Ermüdungsfestigkeit

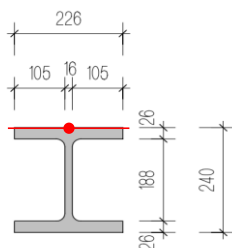
Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	355 N/mm ²
$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} =$	490 N/mm ²
$E =$	210.000 N/mm ²
$\gamma_{M0} =$	1,00
$x =$	0,820 m



untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$



Einwirkungen FLS (Presse)

$ \Delta N_{Ed} =$	0,00 kN	Betrag der Schwingbreite der Normalkraft
$ \Delta V_{z,Ed} =$	31,20 kN	Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung
$ \Delta M_{y,Ed} =$	25,58 kNm	Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse

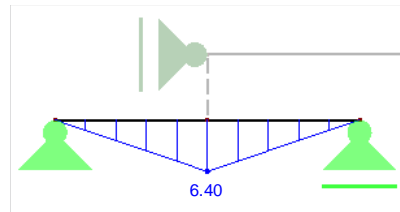
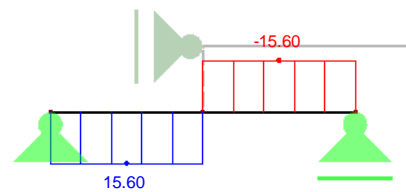
Spannungsschwingbreiten

$ \Delta \sigma_{x,Ed} =$	21,02 N/mm ²	$\leq \Delta \sigma_L = 50,59$ (KF125)
$ \Delta \sigma_{z,Ed} =$	0,00 N/mm ²	optional
$ \Delta \tau_{Ed} =$	0,00 N/mm ²	$\leq \Delta \tau_L = 45,73$ (KF100)

$ \Delta \sigma_{x,Ed} \oplus \Delta \sigma_{z,Ed} \oplus \Delta \tau_{Ed} $	$0,17 \leq 1,00$
--	------------------

Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit

8.3.11 [WB2] Waagbalken 2

Schnittgrößen FLSQuerkraft $V_{z,Ed,FLS}$ [kN]Abbildung 8.26: Waagbalken 2 [WB2] – FLS-Schnittgrößen – Querkraft $V_{z,Ed,FLS}$ Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ [kNm]Abbildung 8.27: Waagbalken 2 [WB2] – FLS-Schnittgrößen – Biegemoment $M_{y,Ed,FLS}$ **Nachweis der Ermüdungsfestigkeit**

Nachweis des Grundmaterials

Materialkennwerte

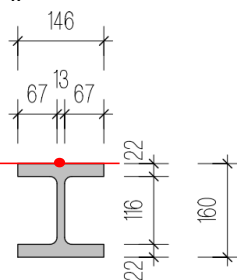
$$f_{yk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{uk,S355J2+N(t \leq 40 \text{ mm})} = 490 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$x = 0,410 \text{ m}$$

untersuchte Stelle, gemessen vom Auflager $x = 0,000 \text{ m}$ 

Einwirkungen FLS (Feldmitte)

$$|\Delta N_{Ed}| = 0,00 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Normalkraft}$$

$$|\Delta V_{z,Ed}| = 15,60 \text{ kN} \quad \text{Betrag der Schwingbreite der Querkraft in z-Richtung}$$

$$|\Delta M_{y,Ed}| = 6,40 \text{ kNm} \quad \text{Betrag der Schwingbreite des Biegemomentes um die y-Achse}$$

Spannungsschwingbreiten

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| = 15,56 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \sigma_L = 50,59 \text{ (KF125)}$$

$$|\Delta \sigma_{z,Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \quad \text{optional}$$

$$|\Delta \tau_{Ed}| = 0,00 \text{ N/mm}^2 \leq \Delta \tau_L = 45,73 \text{ (KF100)}$$

$$|\Delta \sigma_{x,Ed}| \oplus |\Delta \sigma_{z,Ed}| \oplus |\Delta \tau_{Ed}| : 0,09 \leq 1,00 \quad \text{Nachweis Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit}$$

8.4 Vorspannsystem

Die gesamte ermüdungswirksame Lastschwingbreite die auf die Querträger einwirkt, beträgt nach Punkt 2.2.4, Tabelle 2.2:

$$\Delta P_{Ed,ges} = 748,70 \text{ kN}$$

Diese Kraft muss vom gewählten Vorspannsystem aufgenommen werden. In den folgenden Abschnitten werden zwei Vorspannsysteme auf die Eignung zum Einsatz bei den dynamischen Ermüdungsversuchen untersucht.

8.4.1 Vorspannsystem mit Gewindestangen

In der nachfolgenden Abbildung ist die für Gewindestangen anzuwendende Kerbfalltabelle nach ÖNORM EN 1993-1-9 dargestellt.

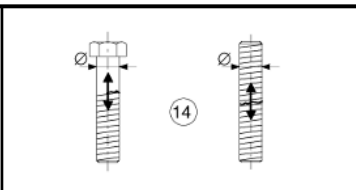
50	Größenabhängigkeit für $\varnothing > 30 \text{ mm}$: $k_s = (30/\varnothing)^{0,25}$		<p>14) Schrauben und Gewindestangen mit gerolltem oder geschnittenem Gewinde unter Zug. Bei großen Durchmessern (Ankerschrauben) muss der Größeneffekt mit k_s berücksichtigt werden.</p>	<p>14) $\Delta\sigma$ ist am Spannungsquerschnitt der Schraube zu ermitteln. Biegung und Zug infolge Abstützkräften sowie weitere Biegespannungen (z. B. sekundäre Biegespannungen) sind zu berücksichtigen. Bei vorgespannten Schrauben darf die reduzierte Spannungsschwingbreite berücksichtigt werden.</p>
----	---	---	--	---

Abbildung 8.28: Kerbfallklasse für Schrauben und Gewindestangen [14]

$$k_s = 0,955$$

$2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^8$
$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
47,77 N/mm ²	35,20 N/mm ²	19,33 N/mm ²

Die untersuchten Gewindestangen sind M36 mit einer Materialgüte von 10.9.

Die erforderliche Anzahl an Gewindestangen zur Einhaltung des Dauerfestigkeitsnachweises wird wie folgt berechnet:

$$n_{\text{Gewindestangen}} = \frac{\Delta P_{Ed,ges}}{\Delta\sigma_D \cdot A_{Sp}} = \frac{748,70}{3,52 \cdot 8,17} = 26 \text{ Stück}$$

Die Konstruktion verlangt eine symmetrische Anordnung der Spannstrangen um beide Achsen. Aus diesem Grund müssen somit 28 Stück angebracht werden.

8.4.2 Vorspannsystem mit DYWIDAG Glattstäben 36 WS

Dieses System hat lt. ETA Zulassung 05/0123 (siehe Anhang Punkt 11.4) eine Kerbfestigkeit $\Delta\sigma_C$ von 80 N/mm² bei $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel.

Nach Rücksprache mit Fa. DYWIDAG über die Dauerfestigkeitskennwerte dieses Systems konnte lediglich eine Aussage über den glatten Stahlquerschnitt ohne den kritischen Verankerungsbereichen getroffen werden. Maßgebend für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit sind jene Verankerungsbereiche der Stäbe an denen es zu Kerbwirkungen und somit zu Spannungskonzentrationen kommt. Dies ist beim gewählten Vorspannsystem ausschließlich an den Verankerungsstellen gegeben, diese sind durch ein kaltaufgerolltes Gewinde zwar kerbmilder als ein geschnittenes Gewinde, allerdings für die Bemessung des Systems dennoch ausschlaggebend. Die weitere Berechnung bezieht sich daher auf den ungeschwächten Glattstab DYWIDAG 36 WS.

Durch die fehlende Information des Verlaufes der Wöhlerkurve dieses Vorspannsystems wird der Kurvenverlauf nach ÖNORM EN 1993-1-9 verwendet. Dieser gewählte Verlauf sieht eine Steigung der Geraden bis zur Dauerfestigkeit ($5 \cdot 10^6$ Lastwechsel) mit $k_1 = 3$ vor, bis zum Schwellwert der Ermüdungsfestigkeit ($1 \cdot 10^8$ Lastwechsel) mit $k_2 = 5$.

$2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^8$
$\Delta\sigma_C$	$\Delta\sigma_D$	$\Delta\sigma_L$
80,00 N/mm ²	58,94 N/mm ²	32,38 N/mm ²

Um die Spannungsschwingbreite für einen Nachweis der Dauerfestigkeit einzuhalten wird im Folgenden die Anzahl der erforderlichen Spannstangen errechnet.

$$n_{DYWIDAG \text{ Glattstäbe}} = \frac{\Delta P_{Ed,ges}}{\Delta \sigma_D \cdot A} = \frac{748,70}{58,94 \cdot 10,18} = 13 \text{ Stück}$$

Um eine doppelsymmetrische Anordnung am Versuchsaufbau zu erzielen, müssen mindestens 16 Stück DYWIDAG Glattstäbe 36 WS angebracht werden.

8.4.3 Schlussfolgerung

Aus der berechneten Anzahl an Spannstangen geht hervor, dass entweder 28 Stück Gewindestangen M36 mit der Güte 10.9 bzw. 16 Stück DYWIDAG Glattstäbe 36 WS verwendet werden müssen. In der vorab abgeschätzten ermüdungswirksamen Einwirkung war eine Anzahl von 8 Spannstangen möglich, die genauere Berechnung hat jedoch eine Erhöhung an Spannstangen zur Folge. Durch diesen Umstand müssen somit die Vorspannträger [VT] sowie die Längsträger [LT] angepasst werden. Die Vorspannträger [VT] müssen erweitert werden um die zusätzliche Anzahl an Spannstangen aufnehmen zu können. Die Längsträger [LT] müssen zusätzliche Bohrungen für die Durchführung der Spannglieder aufweisen.

Da diese Problematik zum aktuellen Zeitpunkt nicht restlos geklärt ist, wird die Konstruktion vorerst für insgesamt 8 Spannstangen ausgelegt.

8.4.4 Ausführungshinweis

Es wird darauf hingewiesen, dass unabhängig vom gewählten Vorspannsystem die Aufbringung der Vorspannung gleichmäßig zu erfolgen hat. Das bedeutet, dass die Kraft aller 4 Spannstangen je Vorspannträger [VT] in gleichmäßigen Schritten erhöht werden muss.

9. Konstruktive Details

9.1 Querschnittsaussteifungen – Steifen

Um den nicht planmäßigen Torsionseinwirkungen Rechnung zu tragen, werden sämtliche Querschnittsaussteifungen als Vollsteifen ausgebildet. Diese Art der Aussteifung gewährleistet die Formtreueheit des Querschnitts.

Die Nachweise der Steifen erfolgen anhand eines elastischen Spannungsmodells, welche auf Grundlage des statischen Satzes ermittelt wurden (siehe Punkt 6.8.2).

9.2 Längsverschieblichkeit der SCSC-Platte

Die SCSC-Platte wird an beiden Enden auf dem Auflagerträger [AT] gelagert, hierbei kann die Platte in Querrichtung, in Richtung des Auflagerträgers, nicht verschoben werden da sie über die Pressen daran gehindert wird. In Längsrichtung könnte sich die Platte bei asymmetrischer Verformung der Platte in eine Richtung translatorisch bewegen. Um diese Bewegung zu verhindern wird jeweils am äußeren Ende des [AT]-Obergurtes eine Reihe von fünf Zylinderkopfschrauben angebracht.

9.3 Auswahl der Stahlsorte im Hinblick auf Eigenschaften in Dickenrichtung

Die Verbindung der Zugstütze [ZS] mit dem Längsträger [LT] bzw. mit dem Querträger [QT] erfolgt über einen Kopfplattenstoß. Bei der Durchführung der Versuche wird die Stütze auf Zug beansprucht, diese Kraft muss über die Endplatte und über die Schrauben vom Querträger [QT] in die Zugstütze [ZS] bzw. von der Zugstütze [ZS] in den Längsträger [LT] abgeleitet werden. Die Aufgabe der Endplatte ist es, die Kräfte der Zugstütze [ZS] über Schweißnähte und über Biegung der Endplatte in die Schraubverbindung einzuleiten. Diese Platte wird daher an den Schweißnahtbereichen der Zugstütze [ZS] mit den Endplatten durch eine Zugeinwirkung normal zur Plattenebene beansprucht, und ist daher entsprechend gegen Terrassenbruch zu dimensionieren. Konstruktive Lösungen zur Vermeidung dieser Beanspruchung in Plattendickenrichtung sind in diesem Fall nicht möglich, es wird daher bei der Auswahl der Stahlsorte darauf Bedacht genommen.

Die ÖNORM EN 1993-1-10 bietet insgesamt zwei Methoden diesen Nachweis zu führen [6]:

- Bestimmung der erforderlichen Z-Güte vor Bestellung des Materials
- Zerstörungsfreier Prüfung der gefertigten Stahlbauteile

Da bei der zweitgenannten Methode das Risiko von Terrassenbrüchen alleinig beim ausführenden Unternehmen liegt, wird nachfolgend die Z-Qualität des Materials ermittelt.

Nachweisformat:

$$Z_{Ed} \leq Z_{Rd}$$

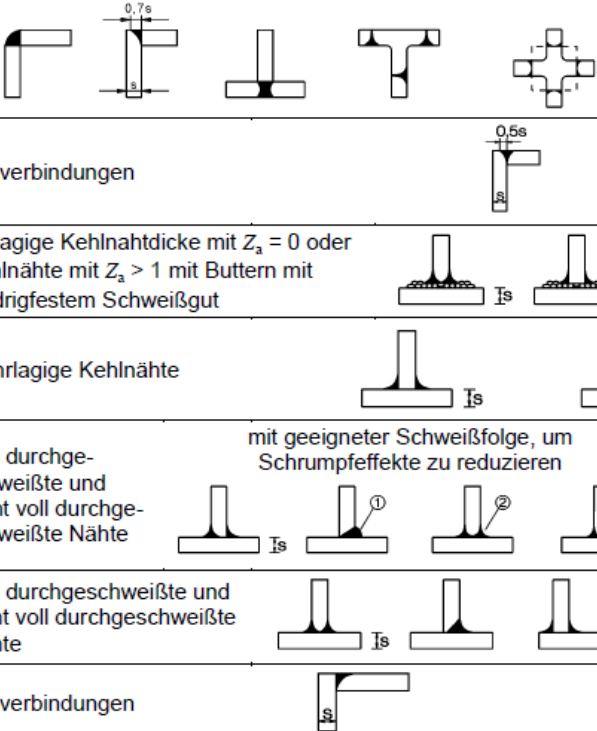
Z_{Ed} ...erforderlicher Z-Wert, der sich aus der Größe der Dehnungsbeanspruchung des Grundwerkstoffs infolge behinderter Schweißnahtschrumpfung ergibt;

$$Z_{Ed} = Z_a + Z_b + Z_c + Z_d + Z_e$$

Z_{Rd} ...verfügbare Z-Wert des Werkstoffs nach ÖNORM EN 10164

Die Werte Z_a bis Z_e werden nach ÖNORM EN 1993-1-10 Tabelle 3.2 ermittelt.

Tabelle 9.1: Einflüsse auf die Anforderungen Z_{Ed} (Auszug aus ÖNORM EN 1993-1-10, Tabelle 3.2)

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

9.3.1 Endplatte aus LD_{ULS}06

Siehe Punkt 6.8.16 und 6.8.18

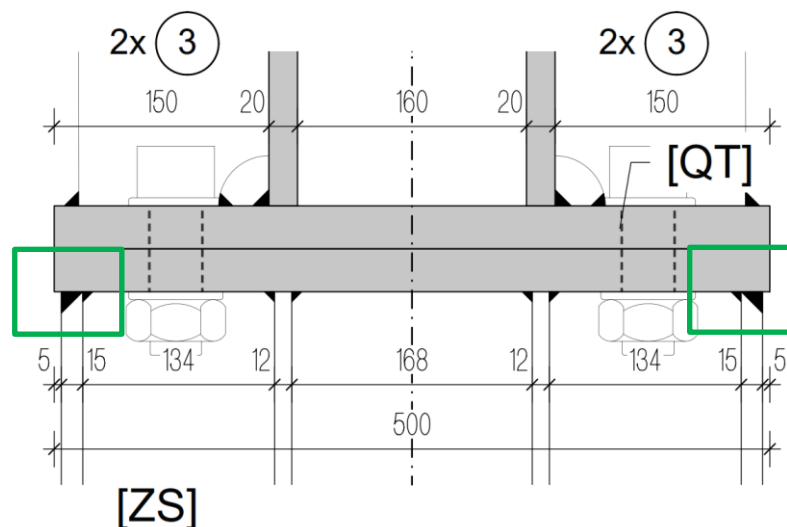


Abbildung 9.1: Ansicht der Schweißnähte Endplatte LD_{ULS}06 am Beispiel [QT]_{geschlossen}

- Einfluss der Schweißnahtdicke

Die Anbindung der Zugstütze an die Endplatte erfolgt über eine vollständige Durchschweißung des [ZS]-Gurtes und einer angeschlossenen, innenliegenden Kehlnaht, es wird daher eine äquivalente Nahtdicke von $a_{eff} = 8 + 5 = 13 \text{ mm}$ errechnet. Die gegebene Schweißnahtausbildung hat jedoch ein geringeres Schweißvolumen als die verglichene effektive Schweißnahtstärke von 13 mm. Diese Berechnung liegt daher auf der sicheren Seite. Grundlage dafür ist die größere Schrumpfspannung welche sich bei einem vergrößerten Schweißvolumen ergibt.

$$Z_a = 6$$

- Einfluss der Nahtform

Die untersuchte maßgebende Schweißnaht der Endplatte liegt am Rand und ist somit nach Tabelle 9.1 als Eckverbindung einzustufen.

$$Z_b = 8$$

- Einfluss der Werkstoffdicke

Die Dicke der Endplatte beim Anschluss an den Querträger beträgt 30 mm.

$$Z_c = 6$$

- Einfluss der Schweißschrumpfung

Die Schrumpfung der Schweißnaht kann sich gänzlich frei und ungehindert ausbilden.

$$Z_d = 0$$

- Einfluss der Vorwärmung

Zur Verringerung des Terrassenbruchrisikos wird eine Vorwärmung empfohlen.

$$Z_e = -8$$

$$Z_{Ed} = 6 + 8 + 6 + 0 - 8 = 12$$

Der berechnete Z-Wert kann von Blechen ohne explizit ausgewiesener Z-Qualität aufgenommen werden. Es ist daher keine Z-Qualität der Endplatte erforderlich.

9.3.2 Endplatte aus LD_{ULS}05

Siehe Punkt 6.8.14

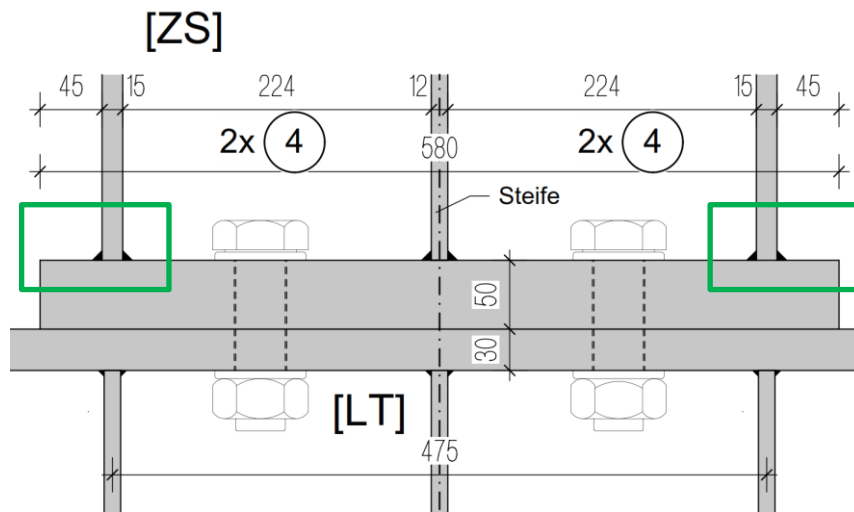


Abbildung 9.2: Ansicht der Schweißnähte Endplatte LD_{ULS}05

- Einfluss der Schweißnahtdicke

Die Anbindung der Zugstütze an die Endplatte erfolgt über eine vollständige Durchschweißung des [ZS]-Gurtes und einer angeschlossenen, innenliegenden Kehlnaht, es wird daher eine äquivalente Nahtdicke von $a_{eff} = 5 + 5 = 10 \text{ mm}$ errechnet. Die gegebene Schweißnahtausbildung hat jedoch ein geringeres Schweißvolumen als die verglichene effektive Schweißnahtstärke von 10 mm. Diese Berechnung liegt daher auf der sicheren Seite. Grundlage dafür ist die größere Schrumpfspannung welche sich bei einem vergrößerten Schweißvolumen ergibt.

$$Z_a = 3$$

- Einfluss der Nahtform

Die untersuchte maßgebende Schweißnaht der Endplatte liegt am Rand und ist somit nach Tabelle 9.1 als Eckverbindung einzustufen.

$$Z_b = 8$$

- Einfluss der Werkstoffdicke

Die Dicke der Endplatte beim Anschluss an den Längsträger beträgt 50 mm.

$$Z_c = 10$$

- Einfluss der Schweißschrumpfung

Die Schrumpfung der Schweißnaht kann sich gänzlich frei und ungehindert ausbilden.

$$Z_d = 0$$

- Einfluss der Vorwärmung

Zur Verringerung des Terrassenbruchrisikos wird eine Vorwärmung empfohlen.

$$Z_e = -8$$

$$Z_{Ed} = 3 + 8 + 10 + 0 - 8 = 13$$

Der berechnete Z-Wert kann von Blechen ohne explizit ausgewiesener Z-Qualität aufgenommen werden. Es ist daher keine Z-Qualität der Endplatte erforderlich.

10. Literaturverzeichnis

10.1 Wissenschaftliche Arbeiten

- [1] HERRMANN, P.: *Tragfunktionsanalyse und Rechnerische Modellbildung einer neuartigen Sandwichverbundplatte (SCSC-Platte) als Fahrbahndeck für Eisenbahnbrücken*. Institut für Tragkonstruktionen- Stahlbau, Technische Universität Wien, Dissertation, 2013

10.2 Literatur, Bücher

- [2] *Stahl im Hochbau – Handbuch für die Anwendung von Stahl im Hoch- und Tiefbau*. Verein Deutscher Eisenhüttenleute, 14. Auflage, 1986
- [3] *Beispiele zur Bemessung von Stahltragwerken nach DIN EN 1993 – Eurocode 3*. bauforumstahl e.V., Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, 1. Auflage, 2012
- [4] *Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3 – Band 1: Tragwerksplanung, Grundlagen*. Beuth Verlag GmbH, 4. Auflage, 2011
- [5] *Stahlbau-Praxis nach Eurocode 3 – Band 2: Verbindungen und Konstruktionen*. Beuth Verlag GmbH, 3. Auflage, 2011
- [6] STRANGHÖNER, N., KÜHN, B.: Auswahl der Stahlsorte auf Basis der DIN EN 1993-1-10. Stahlbau 81, 2012, Heft 4, S. 315-323.

10.3 Normen und Regelwerke

- [7] *ÖNORM EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung*. Austrian Standards Institute, 2013-03-15
- [8] *ÖNORM B 1990-1: Grundlagen der Tragwerksplanung, Teil 1: Hochbau*. Austrian Standards Institute, 2013-01-01
- [9] *ÖNORM EN 1990/A1: Grundlagen der Tragwerksplanung (Änderung)*. Austrian Standards Institute, 2006-09-01
- [10] *ÖNORM EN 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*. Austrian Standards Institute, 2006-10-01
- [11] *ÖNORM B 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln*. Austrian Standards Institute, 2007-02-01
- [12] *ÖNORM EN 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*. Austrian Standards Institute, 2005-11-01
- [13] *ÖNORM B 1993-1-8: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen*. Austrian Standards Institute, 2006-10-01
- [14] *ÖNORM EN 1993-1-9: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-9: Ermüdung*. Austrian Standards Institute, 2005-11-01
- [15] *ÖNORM B 1993-1-9: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-9: Ermüdung*. Austrian Standards Institute, 2006-10-01

10.4 Verwendete Software

Ing.-Software Dlubal RSTAB, Programm-Version 7.04.1750

Ing.-Software Dlubal DUENQ, Programm-Version 7.01.960

11. Anhang

11.1 Dynamische Berechnung der SCSC-Platte

Die unten angeführte Berechnung erfolgte durch Hr. Univ.Ass. Dipl.-Ing. Patrik Takács.

Dynamische Berechnung der SCSC-Platte

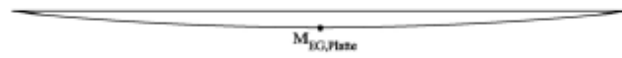
02.07.2014

4. Kräfte - Versuch			
• Ziel:	gleiche Momentenwert mit Ersatzkäfte erreichen (entspricht σ)		
• Eigengewicht Platte:	Vorhanden		
• Eigengewicht Schotterbr./././..			
Simulierung mit 6Punktbelastung			
Formel:	$M = \frac{n}{8} \cdot P \cdot l \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$		
	n = 5		
	Nennschotterbrett- höhe -30 %	Nennschotterbrett- höhe	Nennschotterbrett- höhe +30 %
$M_{EG,Schotterbr./././..} =$	18,76 [kNm/m]	26,96 [kNm/m]	35,16 [kNm/m]
$P_1 (l=3m) =$	92,04 [kN]	132,25 [kN]	172,46 [kN]
• Belastung bis Mittelspannung (entsp. M_0):			
Simulierung mit 6Punktbelastung			
Formel:	$M = \frac{n}{8} \cdot P \cdot l \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$		
	n = 5		
	Nennschotterbrett- höhe -30 %	Nennschotterbrett- höhe	Nennschotterbrett- höhe +30 %
$M_{LM71} / 2 =$	76,31 [kNm/m]	75,12 [kNm/m]	73,91 [kNm/m]
$P_2 (l=3m) =$	374,35 [kN]	368,52 [kN]	362,55 [kN]
• Umwuchtträger:			
$P_{stat} (l=3m) =$	P_2	P_2	P_2
	= 374,35 [kN]	= 368,52 [kN]	= 362,55 [kN]
$P_{dyn} (l=3m) =$	$\frac{P_{stat}}{dyn. \text{ verg. Faktor}}$		
	= [kN]	= [kN]	= [kN]
• Gesamtlast:			
$\Sigma P (l=3m) =$	$P_1 + P_2 + P_{stat}$		
	= 840,74 [kN]	= 869,30 [kN]	= 897,57 [kN]

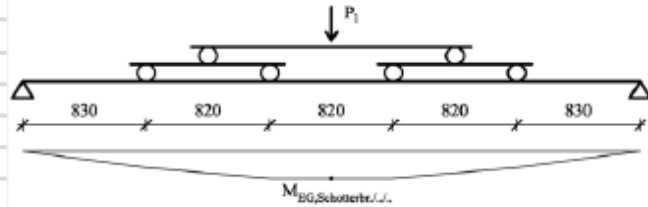
4. Durchbiegungen - Versuch

- Eigengewicht Platte:

$$w_{Eg,Platte} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot EI} = 0,9 \text{ [mm]}$$



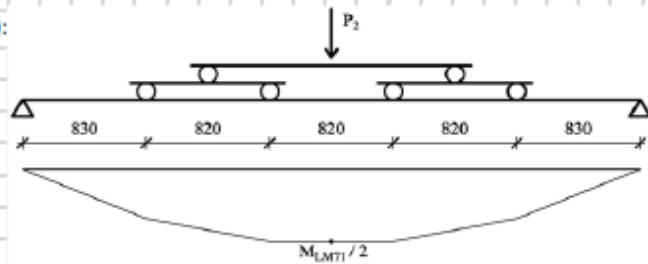
- Eigengewicht Schotterbr./././..



	Nennschotterbrett-höhe -30 %	Nennschotterbrett-höhe	Nennschotterbrett-höhe +30 %
$P_1 (l=3m)$	92,04 [kN]	132,25 [kN]	172,46 [kN]

	Nennschotterbrett-höhe -30 %	Nennschotterbrett-höhe	Nennschotterbrett-höhe +30 %
$w_1 = \frac{5n \cdot Pl^3}{384 \cdot EI} \left(1 - \frac{0,8}{n^2} - \frac{0,2}{n^4}\right)$	1,2 [mm]	1,7 [mm]	2,2 [mm]

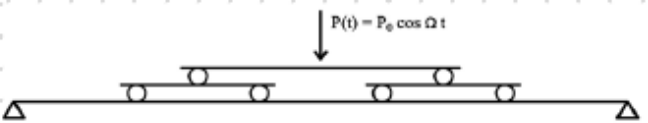
- Belastung bis Mittelspannung (entsr. M_0):



	Nennschotterbrett-höhe -30 %	Nennschotterbrett-höhe	Nennschotterbrett-höhe +30 %
$P_2 (l=3m)$	374,35 [kN]	368,52 [kN]	362,55 [kN]

	Nennschotterbrett-höhe -30 %	Nennschotterbrett-höhe	Nennschotterbrett-höhe +30 %
$w_2 = \frac{5n \cdot Pl^3}{384 \cdot EI} \left(1 - \frac{0,8}{n^2} - \frac{0,2}{n^4}\right)$	4,8 [mm]	4,7 [mm]	4,6 [mm]

- Umwuchträger:

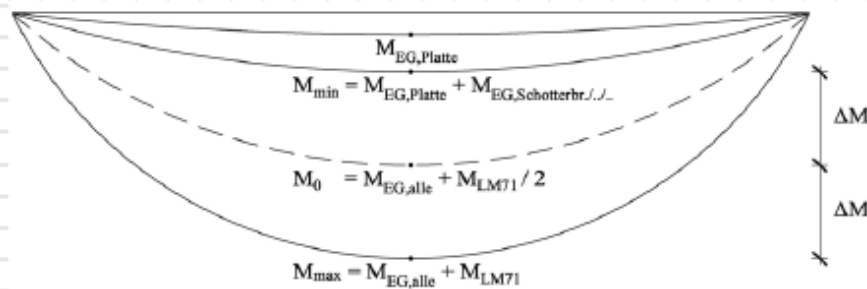


	Nennschotterbrett-höhe -30 %	Nennschotterbrett-höhe	Nennschotterbrett-höhe +30 %
$w_{stat} = w_{dyn} = w_2$	4,8 [mm]	4,7 [mm]	4,6 [mm]

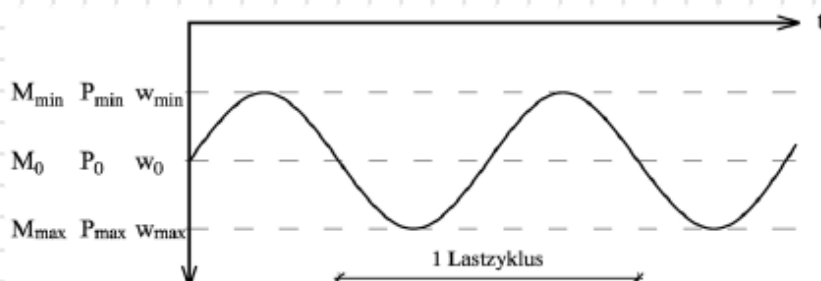
- Gesamtdurchbiegung:

	Nennschotterbrett-höhe -30 %	Nennschotterbrett-höhe	Nennschotterbrett-höhe +30 %
$\Sigma w = w_1 + w_2 + P_{stat}$	11,6 [mm]	12,0 [mm]	12,4 [mm]

4. Momenten, Kräfte, Durchbiegungen - Versuch



	Nennschotterbrett- höhe -30 %	Nennschotterbrett- höhe	Nennschotterbrett- höhe +30 %
• Momenten (selbe Werte wie bei der Brücke)			
$M_{min} = M_{EG,Platte} + M_{EG,Schotterbr././..}$	= 32,61 [kNm/m]	40,81 [kNm/m]	49,00 [kNm/m]
$M_0 = M_{min} + \frac{M_{LM71}}{2}$	= 108,92 [kNm/m]	115,93 [kNm/m]	122,91 [kNm/m]
$M_{max} = M_0 + \frac{M_{LM71}}{2}$	= 185,24 [kNm/m]	191,06 [kNm/m]	196,82 [kNm/m]
• Kräfte			
$P_{min} = P_1$	= 92,04 [kN]	132,25 [kN]	172,46 [kN]
$P_0 = P_{min} + P_2$	= 466,39 [kN]	500,77 [kN]	535,01 [kN]
$P_{max} = P_0 + P_{stat}$	= 840,74 [kN]	869,30 [kN]	897,57 [kN]
• Durchbiegungen			
$w_{min} = w_{EG,Platte} + w_1$	= 2,0 [mm]	2,6 [mm]	3,1 [mm]
$w_0 = w_{min} + w_2$	= 6,8 [mm]	7,3 [mm]	7,7 [mm]
$w_{max} = w_0 + w_{stat}$	= 11,6 [mm]	12,0 [mm]	12,4 [mm]



11.3 Datenblatt Kraftmessdosen

Data Sheet

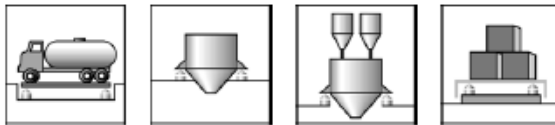


RTN...
Load cells



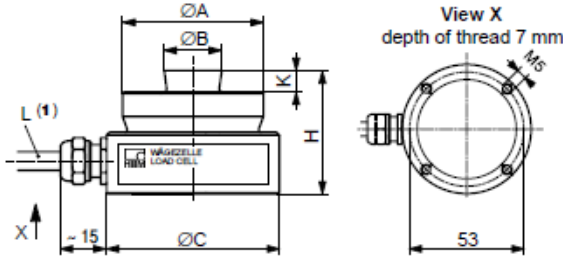
Special features

- Low construction
- Max. capacities: 1 t ... 470 t
- Legal for trade according to OIML and NTEP
- Stainless steel
- Protection class IP 68
- High output signal of 2.85 mV/V
- Input resistance $\geq 4350 \Omega$
- Explosion proof versions according to ATEX (Option)

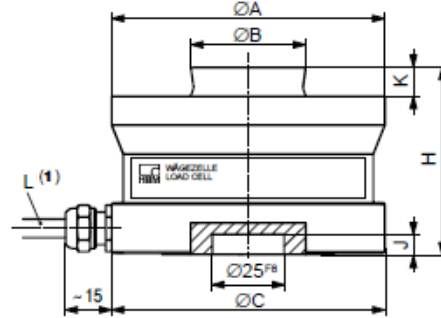


Dimensions (in mm; 1 mm= 0.03937 inches)

RTN... / $\leq 4,7$ t



RTN... / 10 t ... 470 t



RTN...	1 t	2.2 t	4.7 t	10 t	15 t	22 t	33 t	47 t	68 t	100 t	150 t	220 t	330 t	470 t
∅A	49	49	49	74	75	75	95	130	130	150	150	225	225	270
∅B	20	20	20	30	30	30	40	60	60	70	70	100	100	120
∅C	60	60	60	75	75	75	95	130	130	150	150	225	225	270
H	43	43	43	50	50	50	65	75	85	90	100	130	145	170
J	-	-	-	7	7	7	7	7	7	7	7	10	10	10
K	7.5	7.5	7.5	6.5	6.5	6.5	10	14	14	16	16	24	24	28
L	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	12 m	15 m	12 m	12 m	12 m	5 m	5 m	5 m	5 m

(1) L = Cable length

B0990-6.0 en



Specifications

Type		RTN 0,05	RTN C3
Nominal (rated) load (E_{max})		1 t ... 470 t	
Accuracy class		0.05	C3 (OIML R60) III M (NTEP)
Maximum number of load cell intervals (n_{LC})		-	3000 (OIML R60) 7500 (NTEP III M; 2,2 ... 100 t)
Minimum LC verification interval (v_{min})	% of E_{max}	-	0,005 (OIML R60) 0,0048 (NTEP III M)
Sensitivity (C_n)	mV/V	2.85 ± 0.1 %	
Temperature effect on sensitivity (TK_C)	% of C_n	± 0.05	± 0.008 ¹⁾
Temperature effect on zero balance (TK_0)	/ 10 K	± 0.03	± 0.007
Hysteresis error (d_{hy})		± 0.05	± 0.02 ¹⁾
Non-linearity (d_{lin})	% of C_n	± 0.05	± 0.02 ¹⁾
Creep (d_{cr}) over 30 min.		± 0.03	± 0.017
Dead load output return (DR), 30 min.	% v. C_n	± 0.03	± 0,0167 (OIML R60) ± 0,0111 (NTEP III M)
Input resistance (R_{LC})	Ω	4450 ± 100	
Output resistance (R_0)		4010 ± 2	4010 ± 0.5
Reference excitation voltage (U_{ref})	V	5	
Nominal range of excitation voltage (B_U)		5 ... 30 (max. 60)	
Carrier frequency of the excitation voltage	Hz	< 600	
Insulation resistance (R_{is})	GΩ	> 20	
Nominal temperature range (B_T)		-10 ... +40 [+14 ... +104]	
Service temperature range (B_{Tj})	°C [°F]	-30 ... +80 [-22 ... +176] (Option: up to +110 °C / +230 °F)	
• Load cell RTN		-30 ... +80 [-22 ... +176]	
• Accessory: VEN VPN		-30 ... +110 [-22 ... +230]	
Storage temperature range (B_{Tj})		-50 ... +85 [-58 ... +185]	

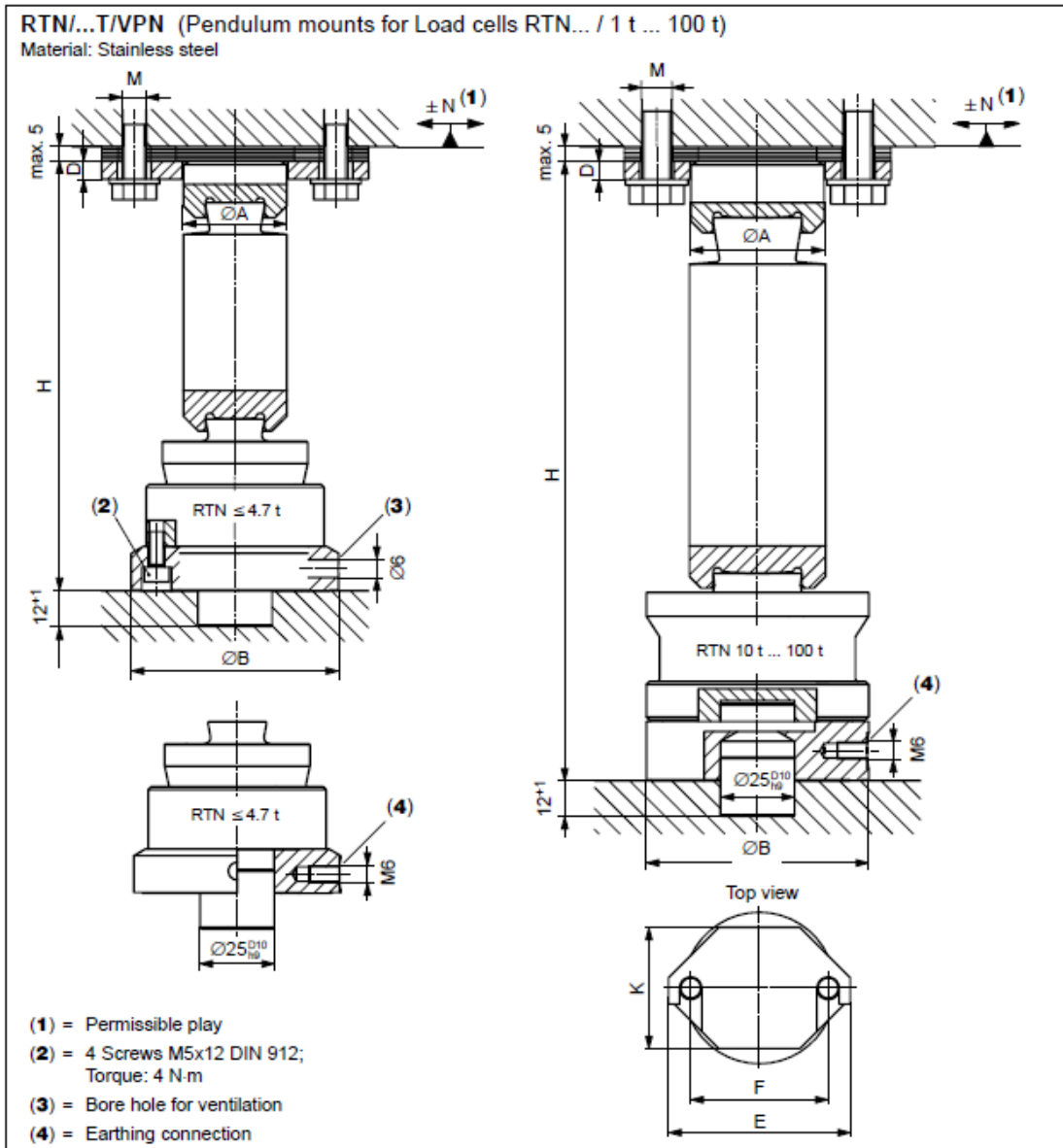
Nominal (rated) load (E_{max})	t	1	2.2	4.7	10	15	22	33	47	68	100	150	220	330	470
Weight (G), approx.	kg	0.6	0.6	0.7	1.2	1.3	1.3	2.1	4.3	4.8	7.0	8.6	22	29	50
Safe load limit (E_L)		1.7	3.8	8	17	25	38	56	80	115	170	250	380	500	700
Breaking load (E_B)	t	4	9	19	40	60	88	130	190	270	400	600	770	1100	1500
Permissible static side load (L_q)		0.5 ($E_{max} - 0.8 L_z$), but no higher than $L_{qmax} = 0.3 E_{max}$ E_{max} = Nominal (rated) load; L_z = load in measuring direction													
Permissible dynamic load (F_{srg}) (vibration amplitude accor. to DIN 50100)	% of E_{max}	70													
Deflection at E_{max} (s_{nom}), approx.	mm	0.13	0.12	0.12	0.17	0.18	0.21	0.25	0.33	0.35	0.45	0.57	0.67	0.85	1.00
Protection class to EN60529 (IEC529)		IP 68 (test conditions 100 h at 1 m water column)													
Material: Measuring element Cable fitting Cable-sheath		Stainless steel Brass, nickel plated / Sealing: CR/NBR Thermoplastic elastomer, RAL 7000 (grey), Ø8.5 mm													

¹⁾ The data for Non-linearity (d_{lin}), Hysteresis error (d_{hy}) and Temperature effect on sensitivity (TK_C) are typical values. The sum of these data meets the requirements according to OIML R60.

Wiring code RTN...		
		(black) Excitation (+)
		(red) Signal (+)
		(blue) Excitation (-)
		(white) Signal (-)
		(green-yellow) Shield

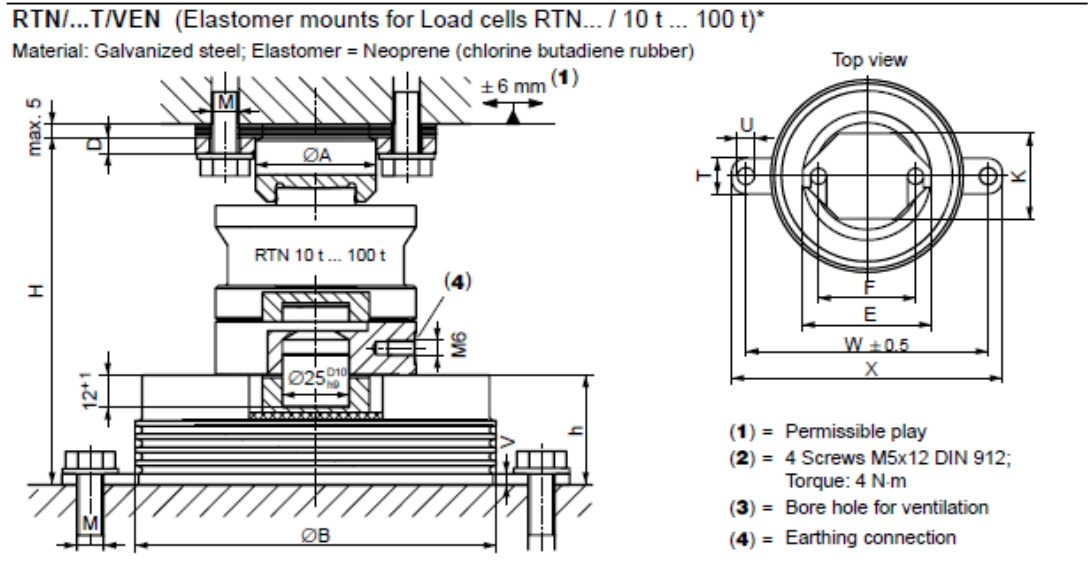
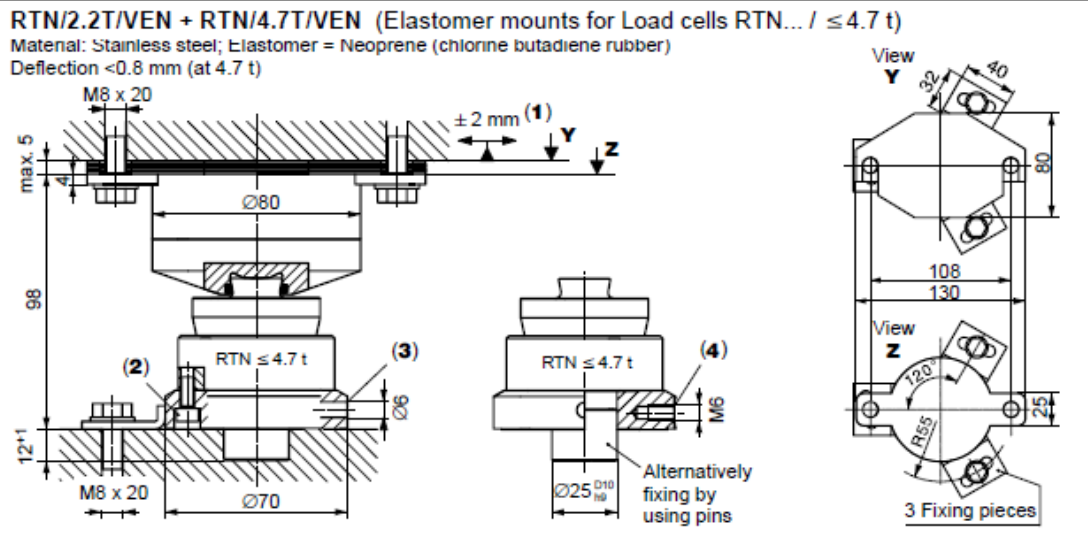
Available Options:

- Explosion-proof versions according to ATEX: Ex II 2G EEx ia IIC T4 resp. T6 (Zone 1) *)
Ex II 2D Ex tD A21 IP68 T 80 °C (Zone 21) *)
*) with EC-Type Examination Certificate
Ex II 3G EEx nA II T6 (Zone 2)
Ex II 3D IP68 T 80 °C (Zone 22 for non-conductive dust)
- Service temperature range up to +110 °C (not possible in connection with ATEX and / or Elastomer mounts VEN)

Accessory: Pendulum mounts VPN (Dimensions in mm; 1 mm = 0.03937 inches)


Type (E _{max} Load cell)	ØA	ØB	D	E	F	H	K	M	N
RTN/2.2T/VPN (1 t + 2.2 t)	35	70	6	90	68	128	60	M8 x 20	3.5
RTN/4.7T/VPN (4.7 t)	35	70	6	90	68	145	60	M8 x 20	3.5
RTN/10T/VPN (10 t)	45	75	6	90	68	165	60	M10 x 25	3.5
RTN/15T/VPN (15 t)	45	75	6	90	68	175	60	M10 x 25	4
RTN/22T/VPN (22 t)	45	75	6	90	68	229	60	M10 x 25	7
RTN/33T/VPN (33 t)	58	95	6	120	90	272	80	M12 x 25	7
RTN/47T/VPN (47 t)	85	130	10	170	130	295	110	M16 x 30	6
RTN/68T/VPN (68 t)	85	130	10	170	130	337	110	M16 x 30	7
RTN/100T/VPN (100 t)	100	150	10	180	140	371	130	M16 x 30	8

Accessory: Elastomer mounts VEN (Dimensions in mm; 1 mm = 0.03937 inches)



Type (E _{max} Load cell)	Deflection	ØA	ØB	D	E	F	H	h	K	M	T	ØU	V	W ± 0.5	X
RTN/22T/VENR (10 t ... 22 t) Stainless steel	0.5 (at 22 t)	45	135	6	90	68	130	41	60	M10x25	25	12	4	170	190
RTN/22T/VEN (10 t ... 22 t)	0.5 (at 22 t)	45	135	6	90	68	130	41	60	M10x25	25	12	4	170	190
RTN/33T/VEN (33 t)	0.8	58	175	6	120	90	168	56	80	M12x25	30	17	6	250	280
RTN/47T/VEN (47 t)	0.5	85	250	10	170	130	198	63	110	M16x30	40	21	8	310	350
RTN/68T/VEN (68 t)	0.7	85	250	10	170	130	220	63	110	M16x30	40	21	8	310	350
RTN/100T/VEN (100 t)	0.6	100	300	10	180	140	239	68	130	M16x30	40	21	8	360	400

* Elastomer mounts VEN for higher capacities on request

Modifications reserved.
 All details describe our products in general form only. They are not to be understood as express warranty and do not constitute any liability whatsoever.

Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH

Im Tiefen See 45 · 64293 Darmstadt · Germany
 Tel. +49 6151 803-0 · Fax: +49 6151 803-9100
 Email: info@hbm.com · www.hbm.com



measure and predict with confidence

B0990-6.0 en

11.4 Vorspannsystem Glattstab 36 WS

Spannstäbe, technische Daten

Allgemein

DYWIDAG- Spannstäbe sind warmgewalzt, aus der Walzhitze wärmebehandelt, gereckt und angelassen mit einem Kreisquerschnitt.

Sie entsprechen einem Spannstahl Y 1050 H gemäß prEN 10138-4.

DYWIDAG-Gewinde- und Glattstäbe sind in Lagerlängen bis 18 m erhältlich und können vor Lieferung zur Baustelle auf vorgegebene Längen geschnitten werden.

Gewindestäbe

Gewindestäbe sind in Durchmessern von 17,5, 26,5, 32, 36, 40 und 47 mm erhältlich. Der Einsatz in der Spanntechnik ist bis 40 mm bauaufsichtlich geregelt.

DYWIDAG-Gewindestäbe sind durch Nenndurchmesser und die Buchstaben WR, z. B. 26 WR, gekennzeichnet.

DYWIDAG-Gewindestäbe weisen regelmäßige warmgewalzte Rippen auf, die ein rechtsgängiges Gewinde auf der gesamten Länge bilden.

Der Gewindestab kann beliebig abgelängt werden und ist ohne weitere Vorbereitung schraubbar.



Glattstäbe

Glattstäbe sind in Durchmessern von 32 und 36 mm erhältlich.

DYWIDAG-Glattstäbe sind durch Nenndurchmesser und die Buchstaben WS, z. B. 32 WS gekennzeichnet.

Beide Enden des Glattstabes, der auf die bei der Bestellung vorgegebene Länge geschnitten wurde, sind mit speziellen kaltgerollten Gewinden ausgestattet.

DYWIDAG-Gewinde werden werksseitig gemäß den Spezifikationen des Projektes hergestellt.



Technische Daten

Bezeichnung			Gewindestab					Glattstab		
			18 WR	26 WR	32 WR	36 WR	40 WR	47 WR	32 WS	36 WS
Nenndurchmesser	d_n	[mm]	17,5	26,5	32	36	40	47	32	36
Nennquerschnitt	S_n	[mm ²]	241	552	804	1.018	1.257	1.735	804	1.018
Nennmasse ¹	M	[kg/m]	1,96	4,48	6,53	8,27	10,20	14,10	6,31	7,99
Steigung	c	[mm]	8	13	16	18	20	21	3	3
Charakteristische Höchstkraft	F_{tk}	[kN]	255	580	845	1.070	1.320	1.820	845	1.070
Max. Vorspannkraft ² $P_{m0,max} = S_n \times 0,8 \times f_{p,k}$		[kN]	204	464	676	856	1.056	1.457	676	856
Max. Überspannkraft ³ $P_{0,max} = S_n \times 0,95 \times f_{p0,1k}$		[kN]	219	499	722	912	1.131	1.566	722	912

¹Die Nominalmasse pro Meter beinhaltet 3,5% nichttragenden Rippenanteil.

²Die angegebenen Werte sind Maximalwerte nach Eurocode 2, d.h. es gilt $\min(k_1 \times f_{pk}, k_2 \times f_{p0,1k})$. Die Erfüllung der Stabilitätskriterien und der Anforderungen in Bezug auf Rissbreite im Lastübertragungstest wurden bei $0,8 \times F_{pk}$ bestätigt.

$F_{pk} = S_n \times f_{pk}$

$F_{p0,1k} = S_n \times f_{p0,1k}$

³Überspannen ist erlaubt, wenn die Kraft in der Spannvorrichtung mit einer Exaktheit von $\pm 5\%$ bezogen auf den Endwert der Spannkraft gemessen werden kann.

Übersicht über Spannpressen für vorgespannte Spannglieder

Stabbezeichnung	Gewindestab						Glattstab	
	18 WR	26 WR	32 WR	36 WR	40 WR	47 WR	32 WS	36 WS
60 Mp	x	x	x ¹				x ¹	
110 Mp		x	x	x	x		x	x
200 Mp						x		

¹ Spannkraft ist begrenzt auf max. 625 kN.



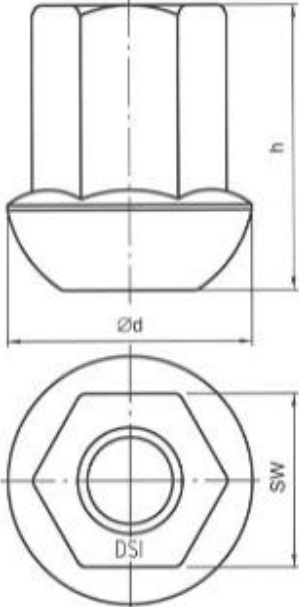
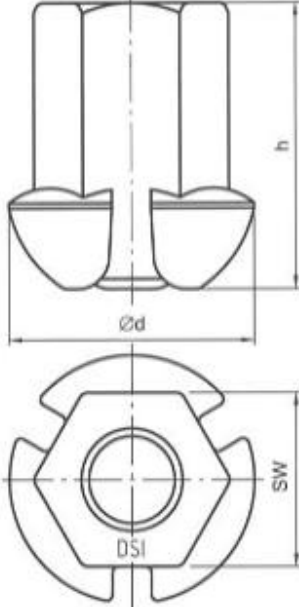
Abmessungen der Zubehörteile


Stabbezeichnung				Gewindestab						Glattstab	
				18 WR	26 WR	32 WR	36 WR	40 WR	47 WR	32 WS	36 WS
Kugelbundmutter	2099	Länge	[mm]	55	75	90	100	115	135	46	60
		Schlüsselweite	[mm]	36	50	60	65	70	80	55	65
Sechskantmutter ⁴	2002	Länge	[mm]	60	80	90	110	120	140	55	80
		Schlüsselweite	[mm]	41	46	55	60	70	80	55	60
Muffe (Standard)	3003	Länge	[mm]	100	170	200	210	245	270	110	160
		Außendurchmesser	[mm]	36	50	60	68	70	83	60	68
Quadratische Vollplatte	2011	Breite	[mm]	110	150	180	200	220	260	180	200
		Länge	[mm]	110	150	180	200	220	260	180	200
		Dicke	[mm]	25	35	40	45	45	50	40	45
Rechteckige Vollplatte (mit und ohne Verbund)	2012	Breite	[mm]	100	130	140	150	160	200	140	150
		Länge	[mm]	130	150	180	220	250	280	180	220
		Dicke	[mm]	30	35	40	50	60	60	40	50
Kleine rechteckige Vollplatte (mit Verbund)	2076	Breite	[mm]	80	120	140	160	180	210	140	160
		Länge	[mm]	90	130	165	180	195	235	165	180
		Dicke	[mm]	25	30	35	40	45	55	35	40
QR-Platte	2074	Breite	[mm]	-	120	140	160	180	-	-	160
		Länge	[mm]	-	130	165	180	195	-	-	180
		Dicke	[mm]	-	30	35	40	45	-	-	40
Geripptes Hülrohr	4061	Innendurchmesser	[mm]	25	38	44	51	55	65	44	51
		Außendurchmesser	[mm]	30	43	49	56	60	70	49	56
Minimaler Stabüberstand am Spannanker			[mm]	60	75	90	100	115	135	46	60

⁴ Sechskantmutter 2002 sind in ETA-05/0123 nicht mit eingeschlossen.

Seite 42 der Europäischen technischen Zulassung ETA-05/0123
 Geltungsdauer vom 30.06.2013 bis zum 29.06.2018, ersetzt
 ETA-05/0123 mit Geltungsdauer vom 14.11.2011 bis zum 18.09.2015

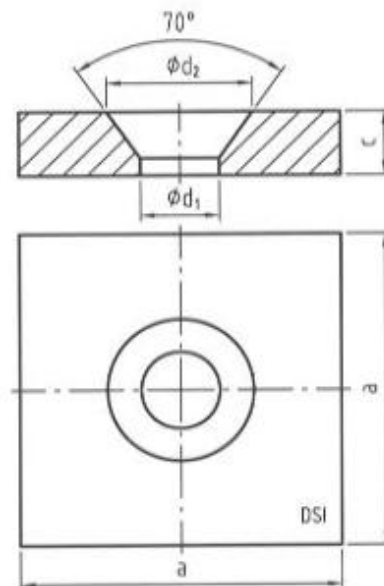
OiB
 Mitglied der EOTA

		2001	2099
			
Stab	Nenn-		
	durchmesser		
	mm	mm	mm
Gewindestab	Ø 17,5	36	50
	Ø 26,5	50	72
	Ø 32	60	80
	Ø 36	65	90
	Ø 40	70	100
	Ø 47	80	110
Glattstab	Ø 32	55	72
	Ø 36	65	90

 DYWIDAG-Systems International GmbH www.dywidag-systems.com	DYWIDAG-Stabspannglied im/ohne Verbund, externes Spannglied	Anhang 4 der Europäischen technischen Zulassung ETA-05/0123
	Kugelbundmutter 2001 Kugelbundmutter mit Verpressnuten 2099	

Seite 43 der Europäischen technischen Zulassung ETA-05/0123
 Geltungsdauer vom 30.06.2013 bis zum 29.06.2018, ersetzt
 ETA-05/0123 mit Geltungsdauer vom 14.11.2011 bis zum 18.09.2015

OiB
 Mitglied der EOTA



Stab	Nenn- durchmesser	a	c	Ø d ₁	Ø d ₂
	mm	mm	mm	mm	mm
Gewindestab	Ø 17,5	110	25	28	45
	Ø 26,5	150	35	39	72
	Ø 32	180	40	45	82
	Ø 36	200	45	49	92
	Ø 40	220	45	54	100
	Ø 47	260	50	64	110
Glattstab	Ø 32	180	40	45	72
	Ø 36	200	45	49	92



DYWIDAG-Systems
 International GmbH
 www.dywidag-systems.com

DYWIDAG-Stabspannglied im/ohne Verbund, externes Spannglied

Quadratische Vollplatte 2011

Anhang 5
 der Europäischen technischen
 Zulassung
 ETA-05/0123

OIB-250-001/02-245

Seite 12 der Europäischen technischen Zulassung ETA-05/0123
 Geltungsdauer vom 30.06.2013 bis zum 29.06.2018, ersetzt
 ETA-05/0123 mit Geltungsdauer vom 14.11.2011 bis zum 18.09.2015



Tabelle 2: Größte Vorspann- und Überspannkraften

Bezeichnung	Stabnenn- durchmesser	Nennquer- schnittsfläche	Größte Vorspannkraft ¹⁾	Größte Überspannkraft ^{1), 2)}
—	d_s	S_n	$0,9 \cdot F_{p0,1k}$	$0,95 \cdot F_{p0,1k}$
—	mm	mm ²	kN	kN
Gewindestab				
26 E	26,5	552	415	438
32 E	32	804	605	638
36 E	36	1 018	765	808
40 E	40	1 257	944	997
—	d_s	S_n	$0,8 \cdot F_{pk}$	$0,95 \cdot F_{p0,1k}$
—	mm	mm ²	kN	kN
Gewindestab				
18 WR	17,5	241	204	219
26 WR	26,5	552	464	499
32 WR	32	804	676	722
36 WR	36	1 018	856	912
40 WR	40	1 257	1 056	1 131
47 WR	47	1 735	1 457	1 566
—	d_s	S_n	$0,8 \cdot F_{pk}$	$0,95 \cdot F_{p0,1k}$
—	mm	mm ²	kN	kN
Glattstab				
32 WS	32	804	676	722
36 WS	36	1 018	856	912

¹⁾ Die angegebenen Werte sind Höchstwerte gemäß Eurocode 2, d. h., es gilt $\min(k_1 \cdot f_{pk}, k_2 \cdot f_{p0,1k})$. Die Erfüllung des Stabilisierungskriteriums und der Anforderungen an die Rissbreiten bei den Lastübertragungsversuchen wurde bei $0,8 \cdot F_{pk}$ überprüft.

$$F_{pk} = S_n \cdot f_{pk}$$

$$F_{p0,1k} = S_n \cdot f_{p0,1k}$$

²⁾ Überspannen ist erlaubt, wenn die Kraft in der Spannvorrichtung mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ des Endwertes der Vorspannkraft gemessen werden kann.

Die Ermüdungsfestigkeit wurde mit einer Spannungsänderung von 80 N/mm^2 bis zu $2 \cdot 10^6$ Lastwechseln geprüft.

11.5 Planliste

Plannummer	Plantitel
01	SCSC-Platte
02	Übersichtsplan Prüfrahmen - Wien - statisch - [QT] _{geschlossen}
03	Übersichtsplan Prüfrahmen - Wien - dynamisch - [QT] _{geschlossen}
04	Übersichtsplan Prüfrahmen - Graz - statisch
05	Übersichtsplan Prüfrahmen - Graz - dynamisch
06	Übersichtsplan Prüfrahmen - Wien - statisch - [QT] _{offen}
07	Übersichtsplan Prüfrahmen - Wien - dynamisch - [QT] _{offen}
08	Konstruktionsplan Unwuchterreger
09	[QT] Querträger geschlossen
10	[QT] Querträger offen
11	[VT] Vorspannträger - [QT] _{geschlossen}
12	[VT] Vorspannträger - [QT] _{offen}
13	[ZS] Zugstütze - [QT] _{geschlossen}
14	[ZS] Zugstütze - [QT] _{offen}
15	[LT] Längsträger
16	[AT] Auflagerträger
17	[WB1] Waagbalken 1
18	[WB2] Waagbalken 2
19	[DT] Distanzträger
20	[LTu] Längsträger unten
21	[VTB] Verteilbalken - [QT] _{geschlossen}
22	[VTB] Verteilbalken - [QT] _{offen}
23	Montagedetail M01-MD05 - [QT] _{geschlossen}
24	Montagedetail M06-MD07 - [QT] _{geschlossen}
25	Montagedetail M01-MD05 - [QT] _{offen}
26	Montagedetail M06-MD07 - [QT] _{offen}

11.6 Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger geschlossen

Tabelle 11.1: Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger geschlossen

1	2	3	4	5		7	8		10	11	
				Maßeinheit			Gewicht in [kg]				
Nr.	Bauteil	Bezeichnung des Bauteils	Stückzahl	Materialgüte	Bezeichnung des Walzprofils, der Bleche oder Handskizze mit Maßen in [mm]	im Einzelnen [m]	im Ganzen Sp 3 x Sp 5 [m]	im Einzelnen 7850 x Sp 5 x Sp 7 [kg/Stk]	im Ganzen Sp 8 x Sp 6 [kg]	Ko-Schutz- Umfang im Querschnitt [m]	Ko-Schutz in [m ²]
[1.1]	[1] Querträger	Obergurt	1	S355J2+N	Bl 30	x 500	x 4.930	580,51	580,51		
[1.2]	[1] Querträger	Steg	2	S355J2+N	Bl 20	x 940	x 4.930	727,57	1.455,14	3,600	17,748
[1.3]	[1] Querträger	Untergurt	1	S355J2+N	Bl 30	x 500	x 4.930	580,51	580,51		
[1.4]	[1] Querträger	Endplatte	2	S355J2+N	Bl 20	x 520	x 1.020	83,27	166,55		2,245
[1.5]	[1] Querträger	Streifen Auflager	8	S355J2+N	Bl 15	x 133	x 944	14,78	118,27		2,267
[1.6]	[1] Querträger	Streifen Pressen	24	S355J2+N	Bl 12	x 140	x 940	12,40	297,52		6,939
[1.7]	[1] Querträger	Einleitungsplatte Pressen	12	S355J2+N	Bl 12	x 200	x 500	9,42	113,04		2,602
[2.1]	[2] Waagebalken 1	Träger	12	S355J2+N	HE-M 220		1.620	19,440	0,01313		25,700
[2.2]	[2] Waagebalken 1	Endplatte	24	S355J2+N	Bl 20	x 246	x 256	166,97	2.003,69	1,322	3,505
[2.3]	[2] Waagebalken 1	Streifen	24	S355J2+N	Bl 12	x 95	x 188	9,89	237,29		1,020
[2.4]	[2] Waagebalken 1	Streifen	24	S355J2+N	Bl 10	x 20	x 160	0,25	6,03		0,240
[2.5]	[2] Waagebalken 1	Streifen	24	S355J2+N	Bl 10	x 20	x 136	0,21	5,12		0,205
[3.1]	[3] Waagebalken 2	Träger	24	S355J2+N	HE-M 140		1.170	28,080	0,008056		24,065
[3.2]	[3] Waagebalken 2	Streifen	96	S355J2+N	Bl 12	x 57	x 116	0,62	59,79		1,668
[3.3]	[3] Waagebalken 2	Streifen	48	S355J2+N	Bl 10	x 10	x 126	0,10	4,75		0,252
[3.4]	[3] Waagebalken 2	Einleitungsplatte Rolle	48	S890Q	Bl 30	x 200	x 330	15,54	746,06		7,862
[3.5]	[3] Waagebalken 2	Einleitungsstreifen Rolle	4	S890Q	Bl 30	x 330	x 3.020	234,70	938,80		8,777
[3.6]	[3] Waagebalken 2	Zylinder	48	S890Q	O 100	x 150		9,25	443,91		
[4.1]	[4] Zugstütze	Gurt	4	S355J2+N	Bl 15	x 300	x 2.169	76,62	306,48	2,150	9,327
[4.2]	[4] Zugstütze	Steg	2	S355J2+N	Bl 15	x 460	x 2.169	117,48	234,97		
[4.3]	[4] Zugstütze	Endplatte oben	2	S355J2+N	Bl 30	x 319	x 500	37,56	75,12		0,736
[4.4]	[4] Zugstütze	Endplatte unten	2	S355J2+N	Bl 50	x 420	x 580	95,61	191,23		1,174
[4.5]	[4] Zugstütze	Einleitungssteife oben	8	S355J2+N	Bl 12	x 143	x 150	2,02	16,16		0,399
[4.6]	[4] Zugstütze	Einleitungssteife unten	4	S355J2+N	Bl 12	x 190	x 350	6,26	25,06		0,584
[5.1]	[5] Auflagerträger	Träger	2	S355J2+N	HE-M 700		4,930	9,860	0,0383		25,242
[5.2]	[5] Auflagerträger	Endplatte	4	S355J2+N	Bl 20	x 324	x 436	22,18	88,71		1,252
[5.3]	[5] Auflagerträger	Streifen	48	S355J2+N	Bl 12	x 132	x 636	7,91	379,60		8,944
[5.4]	[5] Auflagerträger	Streifen	4	S355J2+N	Bl 15	x 20	x 3.280	7,72	30,90		0,921
[5.5]	[5] Auflagerträger	Streifen	2	S355J2+N	Bl 25	x 112	x 3.300	72,53	145,07		1,820
[5.6]	[5] Auflagerträger	Streifen	2	S355J2+N	Bl 10	x 152	x 3.300	39,38	78,75		2,144
[6.1]	[6] Längsträger	Obergurt	2	S355J2+N	Bl 30	x 420	x 4.840	478,72	957,45		25,362
[6.2]	[6] Längsträger	Steg	4	S355J2+N	Bl 20	x 640	x 4.840	486,32	1.945,29	2,620	
[6.3]	[6] Längsträger	Untergurt	2	S355J2+N	Bl 30	x 420	x 4.840	478,72	957,45		
[6.4]	[6] Längsträger	Endplatte	4	S355J2+N	Bl 20	x 440	x 720	49,74	198,95		2,720
[6.5]	[6] Längsträger	Außensteife Auflager	8	S355J2+N	Bl 12	x 95	x 640	5,73	45,82		1,114
[6.6]	[6] Längsträger	Innensteife Auflager	8	S355J2+N	Bl 18	x 170	x 640	15,37	122,99		1,974
[6.7]	[6] Längsträger	Außensteife Regelbereich	20	S355J2+N	Bl 12	x 85	x 640	5,12	102,49		2,524
[6.8]	[6] Längsträger	Innensteife Regelbereich	6	S355J2+N	Bl 12	x 170	x 640	10,25	61,49		1,422
[6.9]	[6] Längsträger	Verteilplatte	4	S355J2+N	Bl 40	x 260	x 460	37,55	150,22		1,187
[7.1]	[7] Vorspannträger	Obergurt	2	S355J2+N	Bl 20	x 240	x 2.300	86,66	173,33	1,500	6,900
[7.2]	[7] Vorspannträger	Steg	4	S355J2+N	Bl 15	x 380	x 2.300	102,91	411,65		
[7.3]	[7] Vorspannträger	Untergurt	2	S355J2+N	Bl 20	x 240	x 2.300	86,66	173,33		
[7.4]	[7] Vorspannträger	Endplatte	4	S355J2+N	Bl 20	x 260	x 440	17,96	71,84		1,027
[7.5]	[7] Vorspannträger	Innenstreifen	16	S355J2+N	Bl 12	x 100	x 380	3,58	57,27		1,400
[7.6]	[7] Vorspannträger	Außenstreifen	24	S355J2+N	Bl 12	x 45	x 380	1,61	38,66		1,066
[7.7]	[7] Vorspannträger	Außenstreifen	8	S355J2+N	Bl 12	x 45	x 380	1,61	12,89		0,355
[7.8]	[7] Vorspannträger	Verteilplatte	4	S355J2+N	Bl 40	x 220	x 460	31,78	127,11		1,027

Prüfrahmen - Variante Wien - Querträger geschlossen Querschnitt

TU Wien
 E212 - Institut für Tragkonstruktionen / Stahlbau
 Stand: 07.10.2014 11:38

Tabelle 11.2: Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger geschlossen (Fortsetzung)

		Gewindestange		8	10.9	M36 bzw. DWIDAG-System		5,295	42,360	0,001018	42,31	338,51	
[8.1]	[8]	Gewindestangen	Mutter	16	10.9	M36 bzw. DWIDAG-System							
[8.2]	[8]	Gewindestangen	Endplatte	16	S355J2+N	M36 bzw. DWIDAG-System					14,96	239,36	
[8.3]	[8]	Gewindestangen	Träger	24	S235J0	HE-A 300		0,600	14,400	0,0113	53,22	1.277,35	
[9.1]	[9]	Distanzträger		8	S235J0	HE-A 300		0,600	4,800	0,0113	53,22	425,78	
[9.2]	[9]	Distanzträger		8	S235J0	HE-A 300		0,600	4,800	0,0113	53,22	425,78	
STATISCHER VERSUCH 21.998,87 kg													
Erweiterung auf Ermüdungsversuch													
[1.1]	[1]	Querträger	Obergurt	1	S355J2+N	Bl	30	x	500	x	4,930	580,51	3,600
[1.2]	[1]	Querträger	Steg	2	S355J2+N	Bl	20	x	940	x	4,930	727,57	17,748
[1.3]	[1]	Querträger	Untergurt	1	S355J2+N	Bl	30	x	500	x	4,930	580,51	3,600
[1.4]	[1]	Querträger	Endplatte	2	S355J2+N	Bl	20	x	520	x	1,020	85,27	2,245
[1.5]	[1]	Querträger	Stiften Auflager	8	S355J2+N	Bl	15	x	133	x	942	14,75	2,263
[1.6]	[1]	Querträger	Stiften Pressen	24	S355J2+N	Bl	12	x	140	x	940	12,40	297,52
[10.1]	[10]	Langträger unten	Untergurt	2	S355J2+N	Bl	25	x	250	x	2,940	144,24	288,49
[10.2]	[10]	Langträger unten	Steg	4	S355J2+N	Bl	16	x	550	x	2,940	203,10	812,38
[10.3]	[10]	Langträger unten	Obergurt	2	S355J2+N	Bl	25	x	250	x	2,940	144,24	288,49
[10.4]	[10]	Langträger unten	Endplatte	4	S355J2+N	Bl	20	x	270	x	620	26,28	105,13
[10.5]	[10]	Langträger unten	Innenstiften	2	S355J2+N	Bl	12	x	100	x	550	5,18	10,36
[10.6]	[10]	Langträger unten	Außenstiften	4	S355J2+N	Bl	12	x	44	x	550	2,28	9,12
[10.7]	[10]	Langträger unten	Verteilplatte	4	S355J2+N	Bl	40	x	230	x	460	33,22	132,88
[11.1]	[11]	Verteilbalken	Träger	12	S355J2+N	Bl	20	x	HE-M 220			143,27	1,322
[11.2]	[11]	Verteilbalken	Endplatte	24	S355J2+N	Bl	20	x	246	x	260	10,04	241,00
[11.3]	[11]	Verteilbalken	Stiften	120	S355J2+N	Bl	12	x	95	x	188	1,68	201,89
[11.4]	[11]	Verteilbalken	Knaggen	12	S355J2+N	Bl	5	x	var.	x	200		5,101
ERMÜDUNGSVERSUCH 7.007,20 kg													
STATISCHER + ERMÜDUNGSVERSUCH 29.006,06 kg													
+2,00 % Kleinteile 580,12 kg													
GESAMTMASSE 29.586,18 kg													
205,716 m²													
74,102 m²													
279,817 m²													

11.7 Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger offen

Tabelle 11.3: Stahlliste Variante Wien – Variante Querträger offen

1	2	3	4				7	8	9	10	11		
			Bezeichnung des Walzprofils, der Bleche oder Handskizze mit Maßen in [mm]										
Nr.	Bauteil	Stückzahl	Materialgüte	Material	Maßeinheit	A _{netto}	im Einzelnen im Ganzen	im Einzelnen im Ganzen	Ko-Schutz Umfang im Querschnitt	Ko-Schutz im Sp 10 x Sp 6			
											Bl	30	x
[1.1]	[1] Querträger	1	S355J2+N	Bl	20	x	500	x	4.930	580,51	580,51	3,600	17,748
[1.2]	[1] Querträger	2	S355J2+N	Bl	20	x	940	x	4.930	727,57	1.455,14		
[1.3]	[1] Querträger	1	S355J2+N	Bl	30	x	500	x	4.930	580,51	580,51		
[1.4]	[1] Querträger	2	S355J2+N	Bl	20	x	520	x	1.020	83,27	166,55		2,245
[1.5]	[1] Querträger	8	S355J2+N	Bl	15	x	133	x	944	14,78	118,27		2,267
[1.6]	[1] Querträger	24	S355J2+N	Bl	12	x	140	x	940	12,40	297,52		6,959
[1.7]	[1] Querträger	12	S355J2+N	Bl	12	x	200	x	500	9,42	113,04		2,602
[2.1]	[2] Waagebalken 1	12	S355J2+N	HE-M 220	1,620	19,440	0,01313	166,97	2,003,69	1,322	25,700		3,505
[2.2]	[2] Waagebalken 1	24	S355J2+N	Bl	20	x	246	x	256	9,89	237,29		1,020
[2.3]	[2] Waagebalken 1	24	S355J2+N	Bl	12	x	95	x	188	1,68	40,38		0,240
[2.4]	[2] Waagebalken 1	24	S355J2+N	Bl	10	x	20	x	160	0,25	6,03		0,205
[2.5]	[2] Waagebalken 1	24	S355J2+N	Bl	10	x	20	x	136	0,21	5,12		0,205
[3.1]	[3] Waagebalken 2	24	S355J2+N	HE-M 140	1,170	28,080	0,008056	73,99	1,775,77	0,857	24,065		1,668
[3.2]	[3] Waagebalken 2	96	S355J2+N	Bl	12	x	57	x	116	0,62	59,79		4,75
[3.3]	[3] Waagebalken 2	48	S355J2+N	Bl	10	x	10	x	126	0,10	4,75		0,252
[3.4]	[3] Waagebalken 2	48	S355J2+N	Bl	30	x	200	x	330	15,54	746,06		7,862
[3.5]	[3] Waagebalken 2	4	S890Q	Bl	30	x	330	x	3.020	234,70	938,80		8,777
[3.6]	[3] Waagebalken 2	48	S890Q	O	100	x	150			9,25	443,91		
[4.1]	[4] Zugstütze	4	S355J2+N	Gurt	15	x	300	x	2.169	76,62	306,48		9,327
[4.2]	[4] Zugstütze	2	S355J2+N	Bl	15	x	460	x	2.169	117,48	234,97		
[4.3]	[4] Zugstütze	2	S355J2+N	Bl	30	x	319	x	500	37,56	75,12		0,736
[4.4]	[4] Zugstütze	2	S355J2+N	Bl	50	x	420	x	580	95,61	191,23		1,174
[4.5]	[4] Zugstütze	8	S355J2+N	Bl	12	x	143	x	150	2,02	16,16		0,399
[4.6]	[4] Zugstütze	4	S355J2+N	Bl	12	x	190	x	350	6,26	25,06		0,584
[5.1]	[5] Auflagerträger	2	S355J2+N	HE-M 700	4,930	9,860	0,0383	1,482,23	2,964,46	2,560	25,242		1,252
[5.2]	[5] Auflagerträger	4	S355J2+N	Bl	20	x	324	x	436	22,18	88,71		8,944
[5.3]	[5] Auflagerträger	48	S355J2+N	Bl	12	x	132	x	636	7,91	379,60		0,921
[5.4]	[5] Auflagerträger	4	S355J2+N	Bl	15	x	20	x	3.280	7,72	30,90		1,820
[5.5]	[5] Auflagerträger	2	S355J2+N	Bl	25	x	112	x	3.300	72,53	145,07		2,144
[5.6]	[5] Auflagerträger	2	S355J2+N	Bl	10	x	152	x	3.300	39,38	78,75		
[6.1]	[6] Längsträger	2	S355J2+N	Bl	30	x	420	x	4.840	478,72	957,45		25,362
[6.2]	[6] Längsträger	4	S355J2+N	Bl	20	x	640	x	4.840	486,32	1.945,29		
[6.3]	[6] Längsträger	2	S355J2+N	Bl	30	x	420	x	4.840	478,72	957,45		
[6.4]	[6] Längsträger	4	S355J2+N	Bl	20	x	440	x	720	49,74	198,95		2,720
[6.5]	[6] Längsträger	8	S355J2+N	Bl	12	x	95	x	640	5,73	45,82		1,114
[6.6]	[6] Längsträger	8	S355J2+N	Bl	18	x	170	x	640	15,37	122,99		1,974
[6.7]	[6] Längsträger	20	S355J2+N	Bl	12	x	85	x	640	5,12	102,49		2,524
[6.8]	[6] Längsträger	6	S355J2+N	Bl	12	x	170	x	640	10,25	61,49		1,422
[6.9]	[6] Längsträger	4	S355J2+N	Bl	40	x	260	x	460	37,55	150,22		1,187
[7.1]	[7] Vorspannträger	2	S355J2+N	Bl	20	x	240	x	2.300	86,66	173,33		6,900
[7.2]	[7] Vorspannträger	4	S355J2+N	Bl	15	x	380	x	2.300	102,91	411,65		
[7.3]	[7] Vorspannträger	2	S355J2+N	Bl	20	x	240	x	2.300	86,66	173,33		
[7.4]	[7] Vorspannträger	4	S355J2+N	Bl	20	x	260	x	440	17,96	71,84		1,027
[7.5]	[7] Vorspannträger	16	S355J2+N	Bl	12	x	100	x	380	3,58	57,27		1,400
[7.6]	[7] Vorspannträger	24	S355J2+N	Bl	12	x	45	x	380	1,61	38,66		1,066
[7.7]	[7] Vorspannträger	8	S355J2+N	Bl	12	x	45	x	380	1,61	12,89		0,355
[7.8]	[7] Vorspannträger	4	S355J2+N	Bl	40	x	220	x	460	31,78	127,11		1,027

Prüfrahmen - Variante Wien - Querträger geschlossener Querschnitt

TU Wien

Stand: 07.10.2014.17:10

E212 - Institut für Tragkonstruktionen / Stahlbau

