

Neuentwicklung und Optimierung eines Tragsystems für Edelstahlschwimmbecken der Firma Berndorf Bäderbau

D-5-29-2010



Spitzer Hermann
Institut für Stahlbau und Flächentragwerke
Technische Universität Graz

Masterarbeit

Thema

***NEUENTWICKLUNG UND OPTIMIERUNG EINES
TRAGSYSTEMS FÜR EDELSTAHLSCHWIMMBECKEN
DER FIRMA BERNDORF BÄDERBAU***

verfasst von

Hermann SPITZER

eingereicht am

*Institut für Stahlbau und Flächentragwerke
Technische Universität Graz*

Betreuer

o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Richard GREINER

mitbetreuender Assistent

Dipl.-Ing. Dr.techn. Andreas LECHNER

GRAZ, im August 2010

Deutsche Fassung: Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008 Genehmigung des Senates am 1.12.2008

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 27. August 2010


Unterschrift

Englische Fassung:

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, 27. August 2010


signature

Meinen besten Dank

Da die vorliegende Arbeit Teil eines Gemeinschaftsprojektes ist, möchte ich mich bei meiner Kollegenschaft bedanken, ohne deren Mitwirken ein erfolgreicher Abschluss derselben unmöglich gewesen wäre.

Besonderer Dank gilt auch meinen Eltern Franz Leopold und Heidelinde, sowie meinem Onkel Shandor und Cousin Rudolph. Ihr unterstützender Beitrag zu meinem Studium war mir stets eine große Hilfe.

In guter Erinnerung behalte ich die im Zuge des Studiums entstandenen Freundschaften zu meinen Kommilitonen Regina della Pietra, Katharina Bliefert, Pia Scheiflinger, Rosa Maria Sulzbacher, Leopold Rotter und Stefan Walter. Mögen diese auch weiterhin von Bestand bleiben und sich aus den Augen verlorene wieder erneuern.

Ein ebenso herzliches Dankeschön an Gerald Amsüss und an die nette Gesellschaft eines gemütlichen Wiener Kaffehauses...

Zusammenfassung

Seit mehr als dreißig Jahren ist die Firma Berndorf Bäderbau Produzent von Schwimmbadanlagen aus Edelstahl für private Kunden sowie für öffentliche Bäder und Thermen. Aufgrund dieser langjährigen Erfahrung konnte eine spezielle Beckenbauweise entwickelt werden, welche das Ziel einer integrierten Vorfertigung der Einzelkomponenten unter industriellen Bedingungen im Werk realisiert und die bauseitigen Endmontagearbeiten in geringstmöglichem Umfang hält.

Die vorliegende Arbeit soll auf die statischen Aspekte der Beckenwandkonstruktion eingehen und Vorschläge für eine hinsichtlich des Materialverbrauchs optimierte System- und Querschnittsgestaltung unter Beibehaltung der vorteilhaften Fertigungsbedingungen liefern. Parallel dazu sollen die gewonnenen Erkenntnisse in einem Berechnungsprogramm auf der Basis von Microsoft Excel und Microsoft Visual Basic eingegliedert und die Nachweise der Tragfähigkeit (des Querschnittes beziehungsweise des Bauteiles aufgrund von lokalem Beulen, sowie Biegeknicken) und Gebrauchstauglichkeit nach den aktuellen Normen des Bauwesens geführt werden. Im Zuge dessen sind alle der Berechnung zugrundeliegenden Annahmen in Beispielen für eine Freibadkonstruktion maximaler Beckentiefe und gegenwärtiger Herstellungsmaße (nach 1) angeführt. Die Verifikation der durch das Bemessungstool ausgegebenen Schnittkrafteergebnisse findet mithilfe des 2-D Stabstatikprogrammes RuckZuck (1) statt.

Abstract

Berndorf Bäderbau has been constructing swimming pool facilities for both private clients and public pools and thermal baths for 30 years. Due to this experience a special pool construction design has been developed, allowing for a highly industrialized preproduction of components in the factory and only very little assembly work on site.

In this thesis static aspects of the pool wall design are discussed leading to suggestions concerning an optimized system and cross section design for best material usage while still maintaining the advantageous manufacture conditions. Knowledge gained from the discussion is then implemented in a calculation program based on Microsoft Excel and Microsoft Visual Basic. The program covers ultimate limit state analysis of both cross sections and components (both local buckling and flexural buckling) and serviceability limit state analysis according to present standards in civil engineering. Assumptions are made concerning maximum pool depth and common construction dimensions on the basis of real-life examples. The verification of the internal forces resulting from the implemented program is done in the 2-d frame statics program RuckZuck (1).

Inhaltsverzeichnis

1. Ausgangssituation.....	1
1.1 Unternehmensgeschichte der Firma Berndorf Metall- und Bäderbau GmbH.....	1
1.2 Beckenwandkonstruktion – Allgemeines.....	2
1.3 Wandrippen.....	4
1.3.1 Rippe R11	4
1.3.2 Rippe R8	6
1.3.3 Rippe R3	6
1.4 Werkstoffe.....	7
1.5 Lastannahmen.....	8
2. Statisches System.....	9
2.1 Gegenwärtiges Rechenmodell.....	9
2.2 Neues Rechenmodell	12
2.2.1 Querschnittssteifigkeiten	15
2.2.2 Auflagerfedersteifigkeiten	18
3. Lastmodell.....	28
3.1 Allgemeines	28
3.2 Lastfälle	30
3.2.1 ständige Lasten	30
3.2.2 veränderliche Lasten	35
3.3 Lastfallkombinationen.....	48
3.3.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit – ULS.....	48
3.3.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit – SLS.....	54
4. Systemberechnung und Ergebnisauswertung.....	58
4.1 Auflager-, Schnittkraft- und Verformungsberechnung	58
4.1.1 Verifikation der Berechnungsergebnisse	58
4.2 Ergebnisauswertung.....	66
4.2.1 Auflagerkräfte	68
4.2.2 Schnittkräfte.....	69

5.	Neue Querschnittsgestaltung	87
5.1	Problemstellung.....	87
5.2	Rippentypen.....	87
5.2.1	Rippe Typ 1.....	90
5.2.2	Rippe Typ 2.....	91
5.2.3	Rippe Typ 3.....	92
5.2.4	Rippe Typ 4.....	93
6.	Nachweisführung	94
6.1	Grenzzustand der Tragfähigkeit – ULS	94
6.1.1	Querschnittsnachweise	100
6.1.2	Bauteilnachweise	106
6.1.3	Nachweis der Verbindungsmittel in der Fuge zwischen Rippe und Wandblech	119
6.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit – SLS	132
6.2.1	Spannungs- und Verformungsnachweise.....	134
6.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	138
6.3.1	Nachweise am System exklusive Rinnenkorb.....	138
6.3.2	Nachweise am System inklusive Rinnenkorb	139
6.3.3	Nachweise am abgestrebten System	140
7.	Schlussbemerkung.....	141
8.	Quellenverzeichnis	142
9.	Abbildungsverzeichnis.....	143
10.	Tabellenverzeichnis	146

A 1.	Anhang	A 1
A 1.1	Vergleichsrechnungen an der Rippe Typ 1.....	A 3
A 1.1.1	Rippe Typ 1a	A 3
A 1.1.2	Rippe Typ 1b	A 6
A 1.1.3	Rippe Typ 1c.....	A 9
A 1.1.4	Rippe Typ 1d	A 13
A 1.2	Vergleichsrechnungen an der Rippe Typ 2.....	A 16
A 1.2.1	Rippe Typ 2a	A 16
A 1.2.2	Rippe Typ 2b	A 19
A 1.2.3	Rippe Typ 2c.....	A 22
7.1.4	Rippe Typ 2d.....	A 25
A 1.3	Vergleichsrechnung an der Rippe Typ 3.....	A 28
A 1.3.1	Rippe Typ 3a	A 28
A 1.3.2	Rippe Typ 3b	A 31
A 1.4	Vergleichsrechnung an der Rippe Typ 4.....	A 34
A 1.4.1	Rippe Typ 4a	A 34
A 1.4.2	Rippe Typ 4b	A 37

1. Ausgangssituation

1.1 Unternehmensgeschichte der Firma Berndorf Metall- und Bäderbau GmbH

Berndorf Bäderbau ist ein Unternehmen der Berndorf AG und gehört zur Technologie-Gruppe des Konzerns. 1843 erfolgte die Gründung als "k.k. private Metallwarenfabrik" von den Industriellen Hermann Krupp und Alexander Schoeller. Das Unternehmen wurde durch die weltweit erste industrielle Fertigung von Essbestecken bekannt und überstand die Weltkriege und verschiedenste Umstrukturierungen. 1987/88 erfolgte die Ausgliederung aus der "Vereinigte Metallwerke Ranshofen - Berndorf AG" und die anschließende Privatisierung durch ein Management Buyout. Das Ergebnis dieser Umstrukturierung führte zur Berndorf AG unter der Führung von Mag. Norbert Zimmermann. Die Berndorf AG und jede Ihrer Tochtergesellschaften präsentieren sich heute als selbständige, national und international tätige Unternehmen der Investitionsgüterindustrie. Schwerpunkte der Geschäftsfelder sind in der edelstahlverarbeitenden Industrie zu finden und stehen in Ihrer Branche an jeweils führender Position.

Berndorf Bäderbau ist seit 1960 ein führender Produzent von Schwimmbadanlagen. Im ersten Jahrzehnt wurden alle Schwimmbecken aus Aluminium gefertigt. Anfang der 70er Jahre führte die Produktentwicklung zur industriellen Erzeugung von Edelstahlschwimmbädern.

Mehr als 5.000 Schwimmbecken in unterschiedlichsten Größen und Formen wurden in ganz Europa errichtet. Das Edelstahlschwimmbad hat sich aufgrund der flexiblen Gestaltungsmöglichkeiten, der herausragenden technischen und optischen Eigenschaften vor allem für den kommunalen Bäderbau ausgezeichnet. Vermehrt wird in der jüngeren Vergangenheit auch der Privatkunde und der Hotelbetreiber auf die Vorzüge von Edelstahlschwimmbecken aufmerksam.

Die Position des Marktführers konnte nur durch ausgereifte technische Lösungen, moderne Fertigungsmethoden sowie hoch motivierte und kundenorientierte Mitarbeiter erreicht werden. Die Unternehmensführung und die Produktion von Berndorf Bäderbau ist im niederösterreichischen Berndorf am Standort der Konzernzentrale beheimatet. Die Berndorf Bäderbau Gruppe tätigt derzeit jährlich mehr als 40 Mio. Euro an Umsatz.(2)

1.2 Beckenwandkonstruktion – Allgemeines

Die gegenwärtige Beckenwandkonstruktion für Kommunal- und Privatbäder besteht aus einem beckenabschließenden Wandblech der Dicke $t_{Wand} = 2,5$ [mm], welches im Abstand $e_{Rippe} = 500$ [mm] von dahinterliegenden vertikalen Rippen ausgesteift ist. Die Überlaufrinne an der Beckenkronen hat eine variable Tiefe (zwischen $T_{Rinnensohle} = 350$ [mm] und $T_{Rinnensohle} = 550$ [mm], gemessen von der Wasseroberfläche) und wird über den Stützabstand $e_{Rinnenkorb} = 1000$ [mm] durch Konsolen an den Rippen befestigt. In der Tiefe $T_{Stufe} = 1200$ [mm] befindet sich eine Trittstufe der Breite $B_{Stufe} = 100,0$ [mm], wodurch sich die Höhe des Rippenquerschnittes um das Maß dieses Versatzes in der Wand vergrößert. Die Ableitung der horizontalen Kräfte, verursacht durch den Wasserdruck im gefüllten, beziehungsweise durch den Erddruck im geleerten Zustand, sowie durch eventuell auftretende Verkehrslasten, wird je nach Ausführung als Frei- oder Hallenbadanlage entweder durch unterhalb der Überlaufrinne angeschlossene schräge Abstreben im Abstand $e_{Strebe} = 2500$ [mm] oder durch Befestigungselemente zwischen Überlaufrinne und Rohbetondecke des Beckenumgangsbereiches gewährleistet. Aufgrund unterschiedlicher Möglichkeiten zur Herstellung der Fundierung muss der Beckenboden mit der Tiefe des unteren Lagers nicht in Zusammenhang stehen, woraus sich Konsequenzen im Lastmodell ergeben.

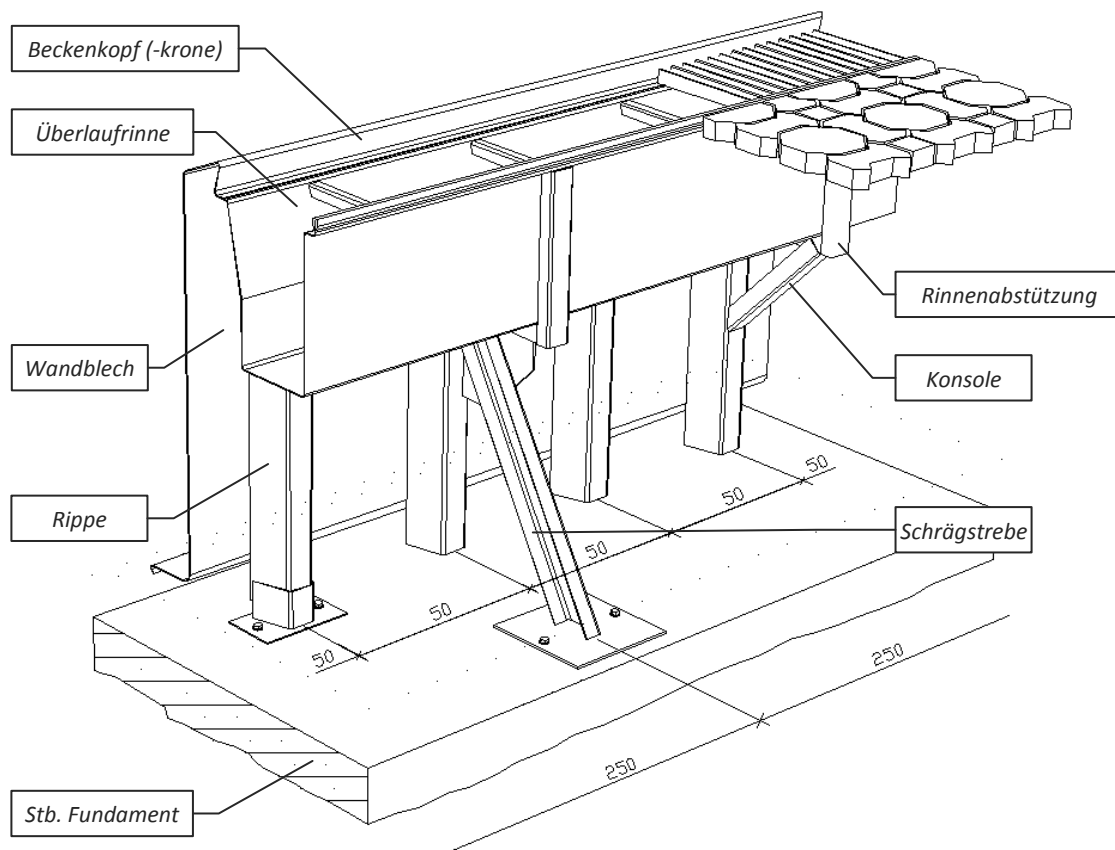


Abbildung 1: Ausführungsskizze der gegenwärtigen Freibadkonstruktion

Da die statische Berechnung und Nachweisführung der Konstruktion mit unterschiedlicher und teilweise unzureichender Genauigkeit erfolgt, soll nun ein Modell entwickelt werden, welches alle wesentlichen geometrischen Details der Bauweise, sowie die daraus resultierenden Effekte hinsichtlich der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit berücksichtigt und mit den Regeln der ON-EN-1990, ON-EN-1991 und ON-EN-1993 konform ist. Im Folgenden werden die neuen Bemessungsansätze anhand der bestehenden Konstruktionstypen für Frei- und Hallenbadanlagen erläutert, mit den ursprünglichen verglichen und kommentiert. Grundlage hierfür sind die zwei vorhandenen Berichte zur statischen Berechnung (3) und(4) der Firma Berndorf Metall- und Bäderbau GmbH.

1.3 Wandrippen

In Abhängigkeit der Beckentiefe und Ausführung als Vorsatzschale einer bereits bestehenden Beckenwand kommen bislang drei Rippenprofile aus kaltgeformtem Edelstahl zur Anwendung. Diese sind mit dem Wandblech durch unterbrochene Schweißnähte schubsteif verbunden, sodass sich ihre anrechenbare Querschnittssteifigkeit unter Berücksichtigung mitwirkender Breiten erhöht. Festlegungen hierzu sind in ON-EN-1993-1-5, 3.2 (5) nachzulesen.

1.3.1 Rippe R11

Die Rippe R₁₁ wird für Beckentiefen bis $T_{max} = 2100$ [mm] eingesetzt. Ab einer Tiefe von $T_{max} > 1800$ [mm] ist sie im Bereich unterhalb der Trittstufe durch Laschen mit dem Wandblech verbunden.

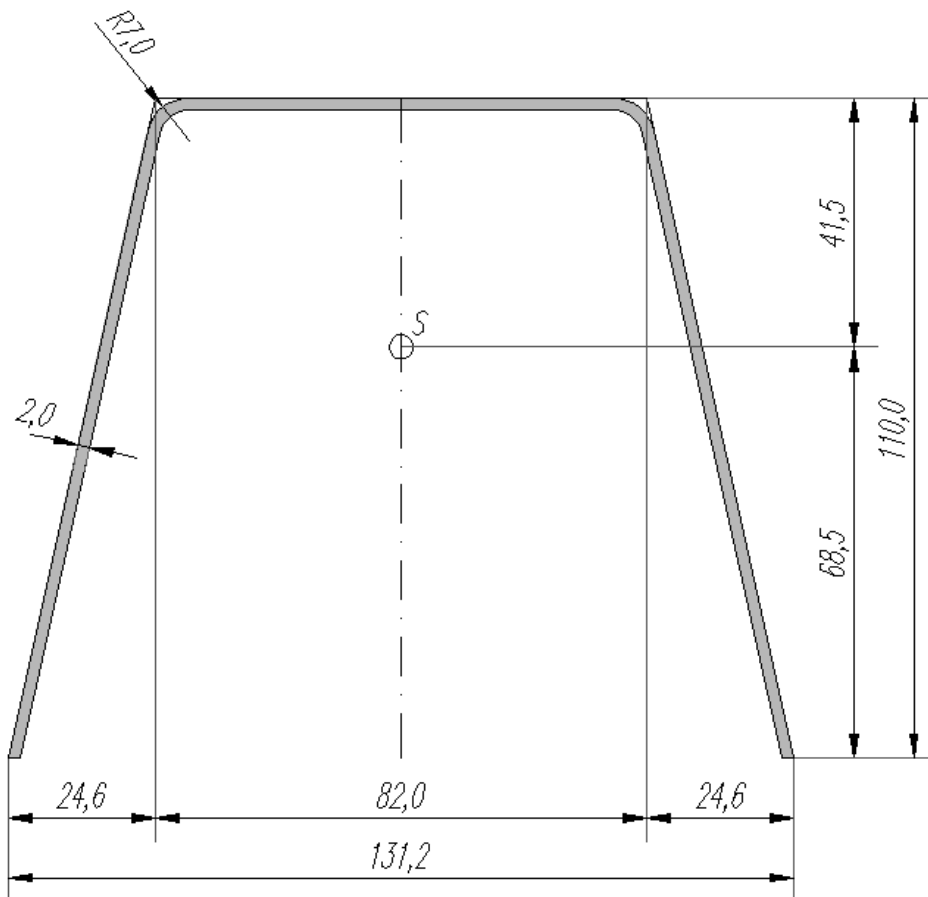


Abbildung 2: Rippe R11

- Bruttoquerschnittswerte

$$A = 601,5 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$I_y = 783.042,8 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$z_i = 68,5 \text{ [mm]}$$

$$z_a = 41,5 \text{ [mm]}$$

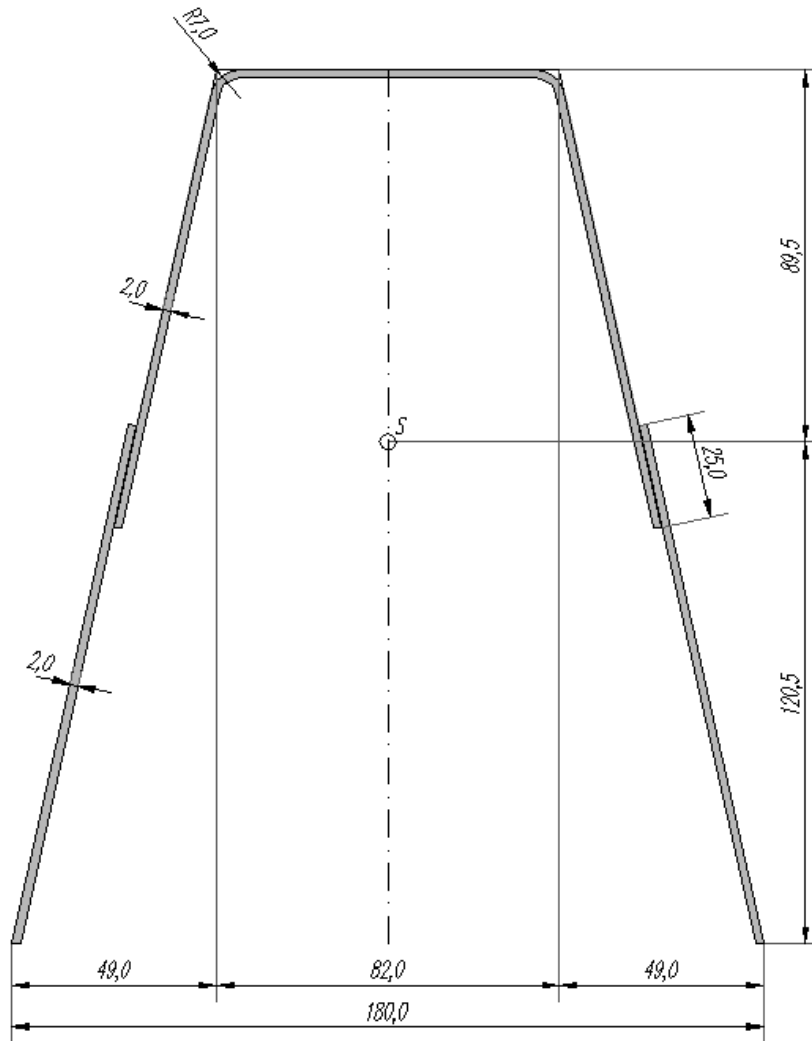


Abbildung 3: Rippe R11 inklusive Verbindungslaschen

- Bruttoquerschnittswerte

$$A = 1.011,4 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$I_y = 4.518.114,7 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$z_i = 120,5 \text{ [mm]}$$

$$z_a = 89,5 \text{ [mm]}$$

1.3.2 Rippe R8

Für Beckentiefen von $T_{max} < 1500$ [mm] erfolgt die Ausführung mit der Rippe R8

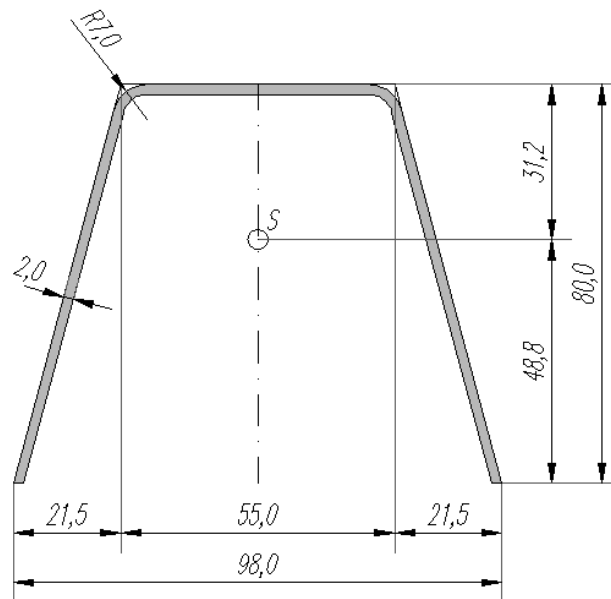


Abbildung 4: Rippe R8

- Bruttoquerschnittswerte

$$A = 428,7 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$I_y = 290.579,4 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$z_i = 48,8 \text{ [mm]}$$

$$z_a = 31,2 \text{ [mm]}$$

1.3.3 Rippe R3

Die Rippe R3 findet ihre Verwendung bei Beckenauskleidungen, wo die Wandkonstruktion vor eine vorhandene Mauer gesetzt wird.

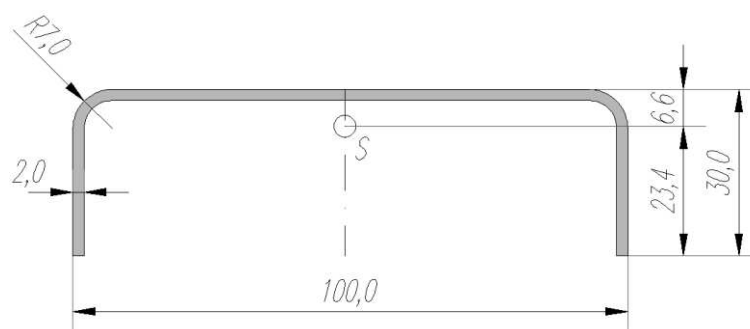


Abbildung 5: Rippe R3

- Bruttoquerschnittswerte

$$A = 301,7 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$I_y = 23.047,1 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$z_i = 23,4 \text{ [mm]}$$

$$z_a = 6,6 \text{ [mm]}$$

1.4 Werkstoffe

Das für die Fertigung verwendete Material ist nichtrostender Konstruktionsstahl der Sorten 1.4404, 1.4462 (Duplex – Edelstahl) und 1.4547 (SMO – Stahl), deren mechanische Eigenschaften in nachstehender Tabelle angeführt sind.

Tabelle 1: Mechanische Werkstoffeigenschaften nach ON-EN-1993-1-4 2

Material	$E \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\nu [-]$	$G \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$f_y \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$f_u \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_E \cdot \left(\frac{b}{t} \right)^2 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$
1.4404	200.000,00	0,30	76.923,08	240,00	530,00	180.761,99
1.4462	200.000,00	0,30	76.923,08	480,00	660,00	180.761,99
1.4547	195.000,00	0,30	75.000,00	320,00	650,00	176.242,94

Der weiteren Berechnung sind dabei die Teilsicherheitsbeiwerte seitens des Materials nach ON-EN-1993-1-4 5.1 (6) zugrunde zu legen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Teilsicherheitsbeiwerte nach ON-EN-1993-1-4 5.1

$\gamma_{M0} [-]$	$\gamma_{M1} [-]$	$\gamma_{M2} [-]$
1,10	1,10	1,25

1.5 Lastannahmen

Das bisherige Modell geht von den Lastfällen Erddruck (nur bei Freibadanlagen), Wasserdruck im Becken und in der Überlaufrinne, sowie von einer Verkehrslast am Rinnenrost aus.

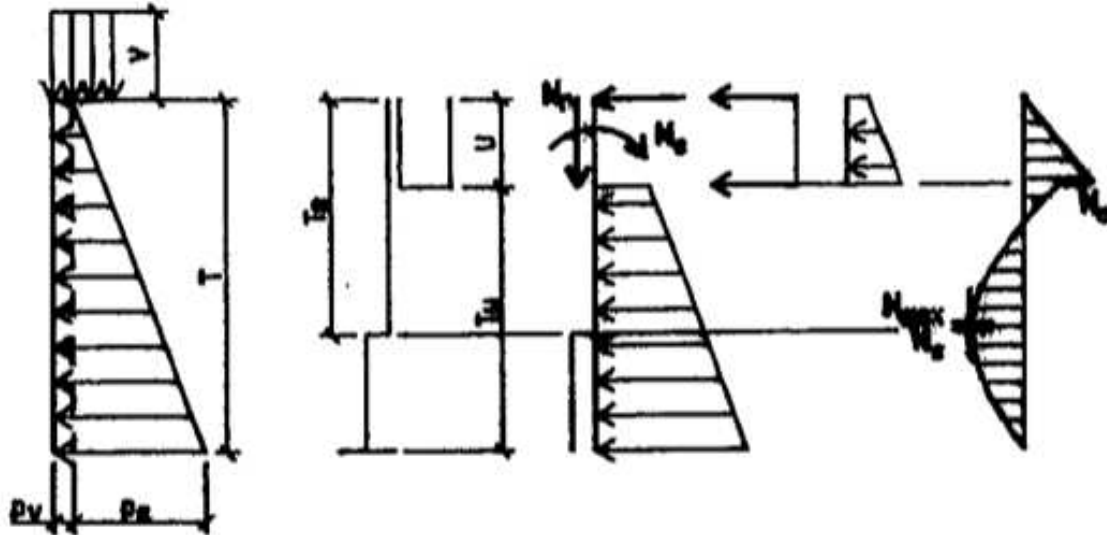


Abbildung 6: Lastfall 1 (für Freibadanlagen)

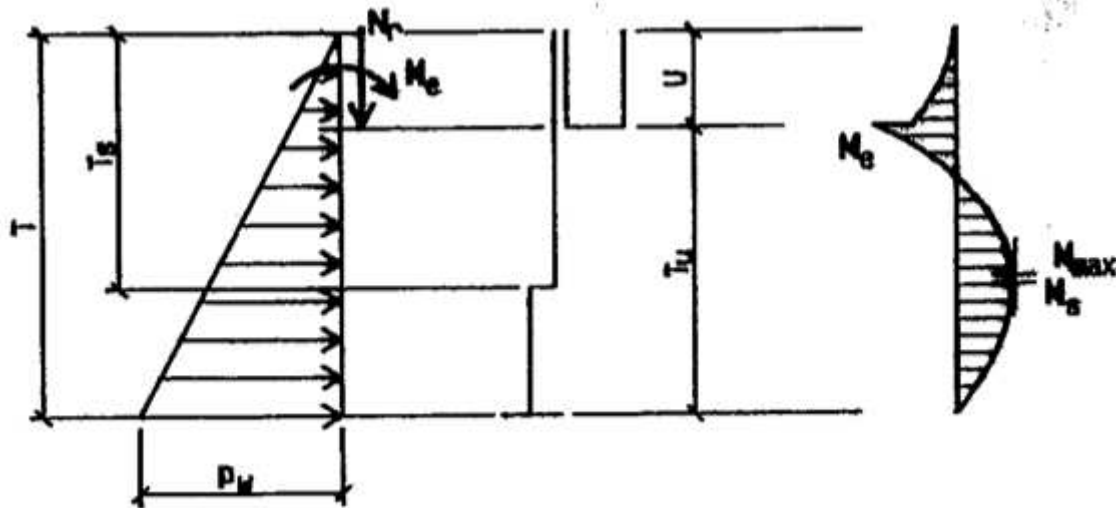


Abbildung 7: Lastfall 2 (für Hallenbadanlagen)

2. Statisches System

2.1 Gegenwärtiges Rechenmodell

Die aktuelle Modellbildung reduziert die Beckenwand auf ein zweidimensionales, statisch bestimmtes System mit der Lasteinflussbreite e_{Rippe} , welches am Fußpunkt gelenkig gelagert und unterhalb der Überlaufrinne in horizontaler Richtung gestützt ist. Im Falle einer Abstrebung mittels Schrägstütze verbindet sich dieser Einfeldträger mit Kragarm zu einem Dreigelenksystem, wodurch auch die horizontalen Reaktionskräfte des oberen Lagers aus dem Sekundärtragsystem über horizontale Querträger in das Fundament eingeleitet werden können. Bei der Bemessung des Beckenwandbleches wird am Fußpunkt von einer gelenkigen Plattenlagerung ausgegangen und eine Einspannwirkung infolge des Anschlusses zum Bodenblech nicht berücksichtigt.

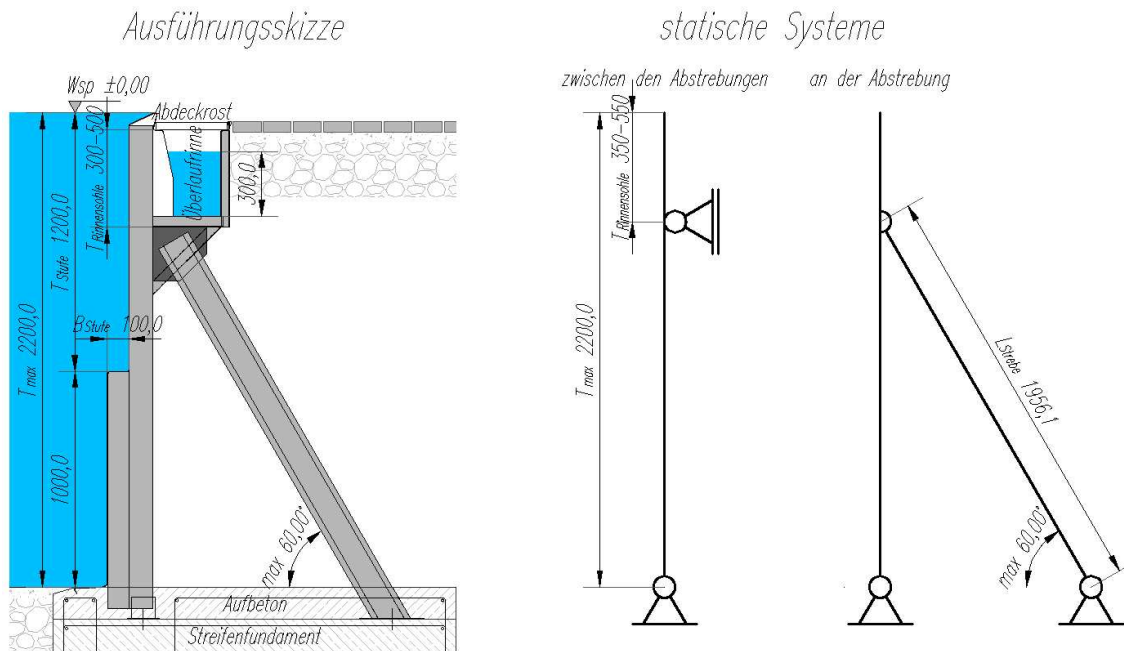


Abbildung 8: Freibad inklusive Aufbeton – bisheriges statisches System

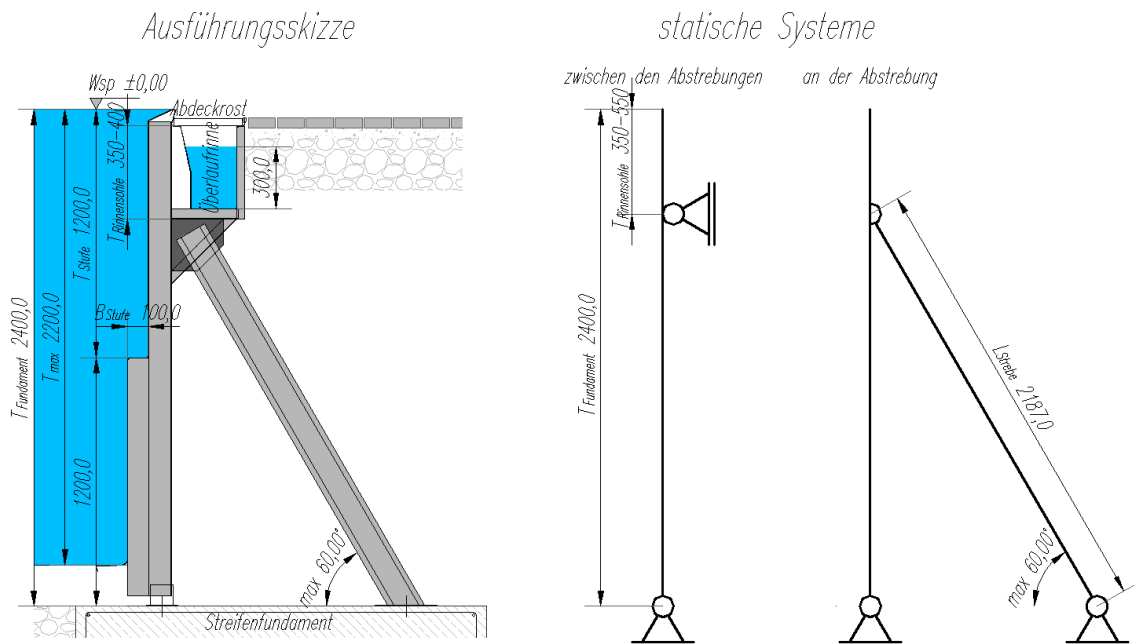


Abbildung 9: Freibad exklusive Aufbeton – bisheriges statisches System

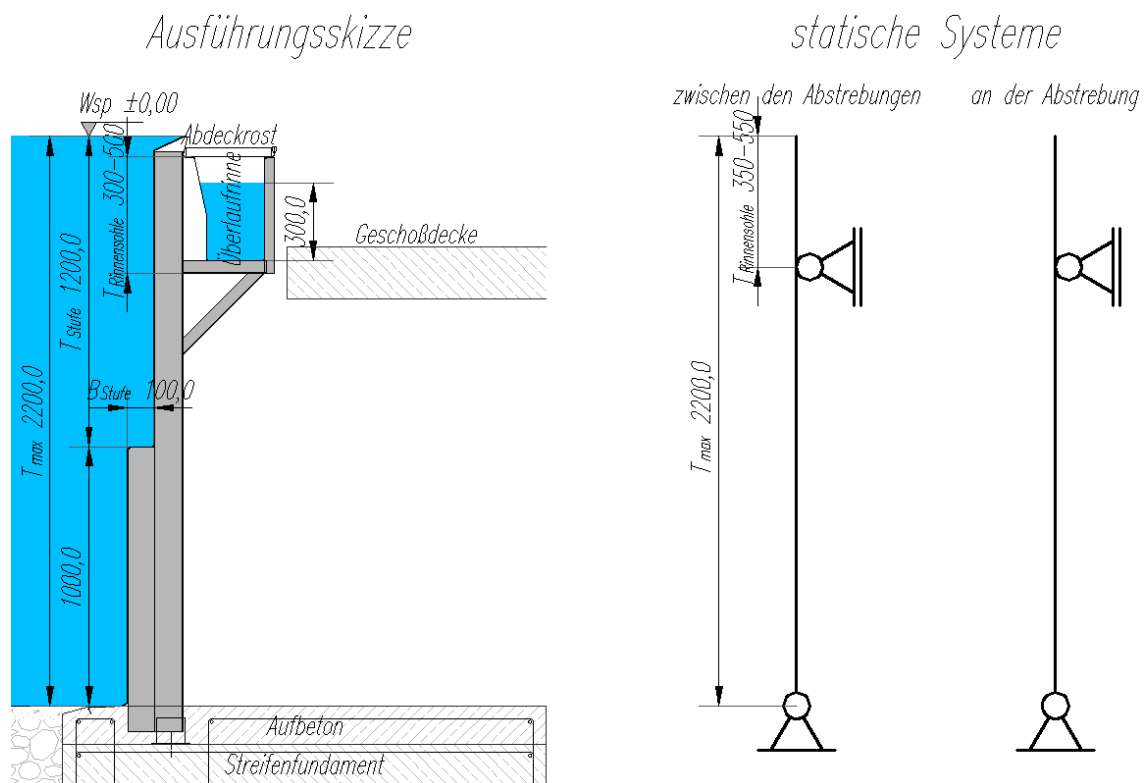


Abbildung 10: Hallenbad inklusive Aufbeton – bisheriges statisches System

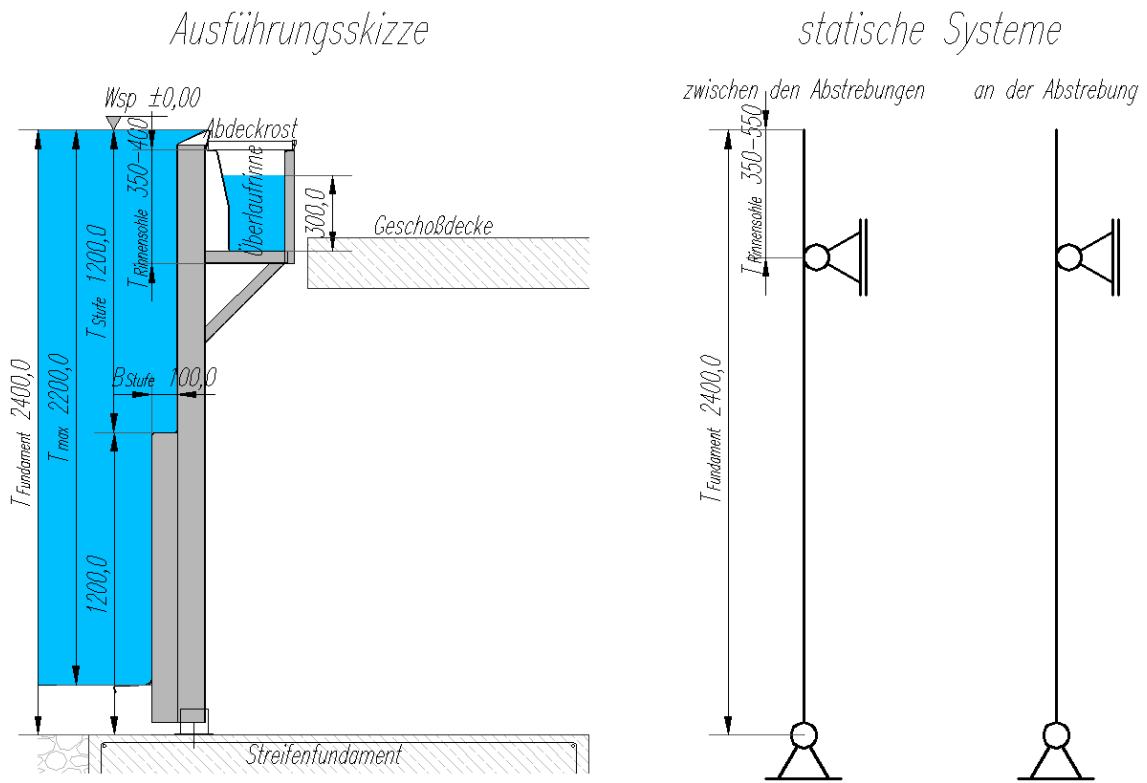


Abbildung 11: Hallenbad exklusive Aufbeton – bisheriges statisches System

2.2 Neues Rechenmodell

Infolge der Trittstufe entsteht eine Stabexzentrizität, welche in Abhängigkeit vom Maß B_{Stufe} , sowie von den Schwerpunktlagen der daraus resultierenden unterschiedlich hohen Rippenquerschnitte (z_{Rippe} , gemessen vom Wandblech) mit $e_x = B_{Stufe} + z_{Rippe,oben} - z_{Rippe,unten}$ allgemein berücksichtigt wird. Während das abgestrebte System in weiterer Folge nahezu unverändert bleibt, kann das dazwischenliegende Tragwerk durch die Einführung eines horizontalen Fachwerkverbandes unterhalb der Überlaufrinne, sowie durch die statische Mitberücksichtigung der Rinnenkopfausbildung als Durchlaufträgersystem mit elastischer Bettung der Steifigkeit k_i an den beiden bezeichneten Punkten betrachtet werden. Die lokalen Biegespannungen und -verformungen des Wandbleches lassen sich durch zusätzliche, über die Beckentiefe in Anzahl und Abstand variabel anordenbare horizontale Winkelprofile (Horizontalrippen) reduzieren.

Mithilfe dieser Verstärkungsmaßnahmen und einer detailreichen Querschnittsbemessung (entsprechend Abschnitt 6) kann die im Vordergrund stehende Reduktion der Dicken von Wand- Rippen- und Rinnenblech ermöglicht werden. Dies stellt zwar einen deutlichen Mehraufwand in der statischen Berechnung dar, welcher jedoch aus Gründen der materialbezogenen Systemoptimierung nicht zu umgehen ist.

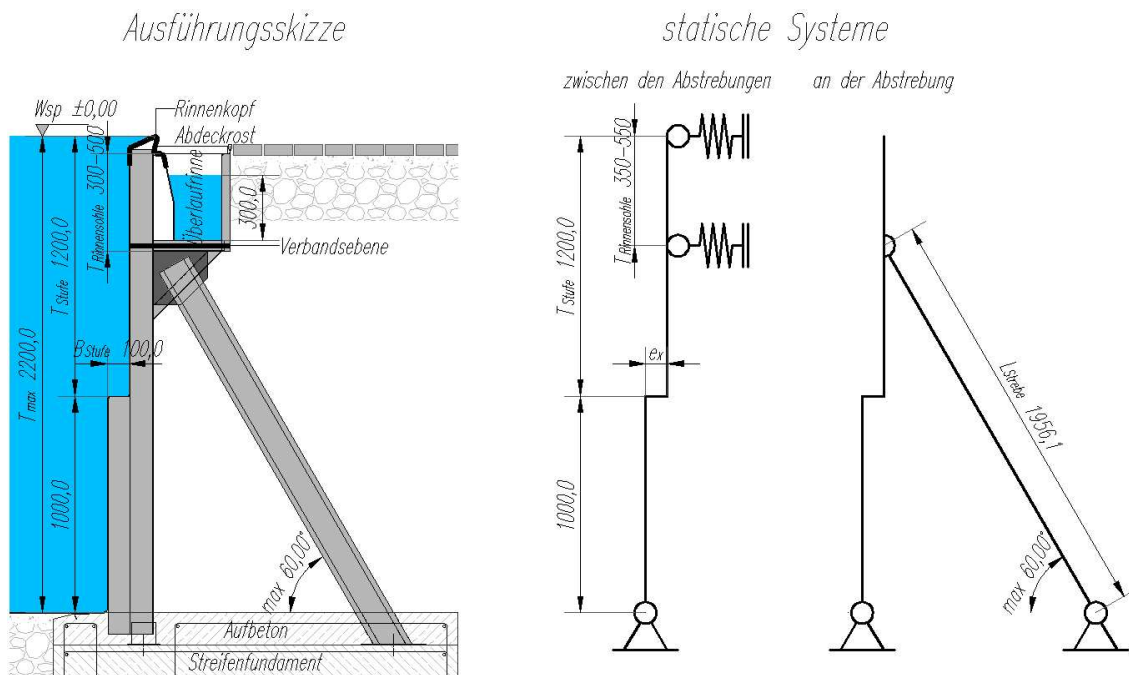


Abbildung 12: Freibad inklusive Aufbeton – neues statisches System

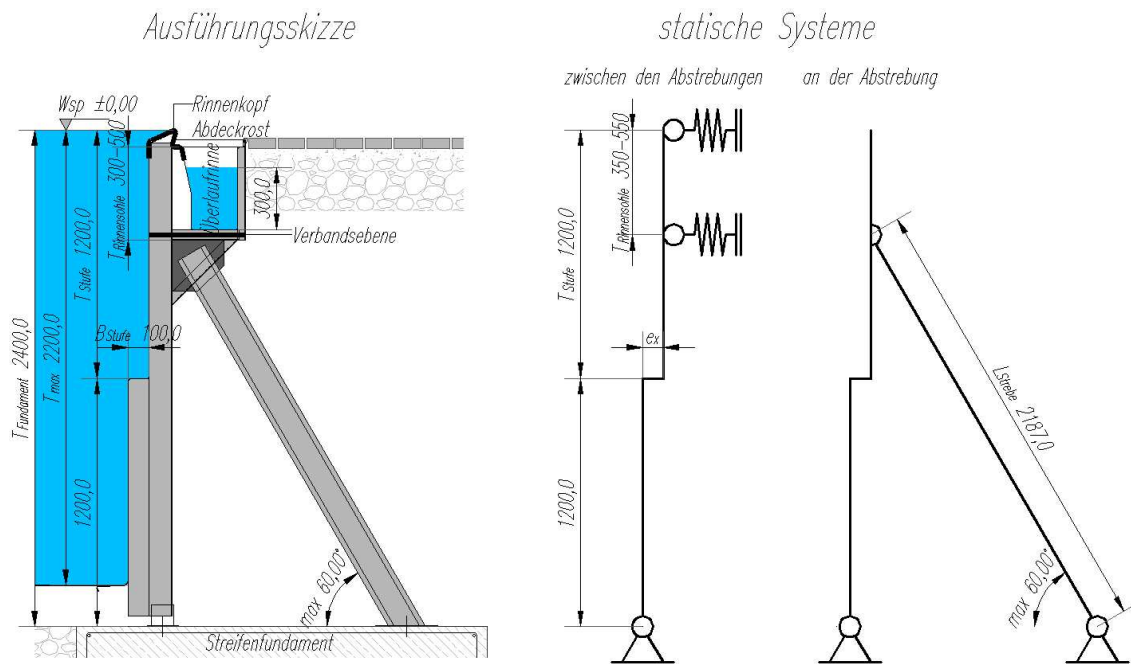


Abbildung 13: Freibad exklusive Aufbeton – neues statisches System

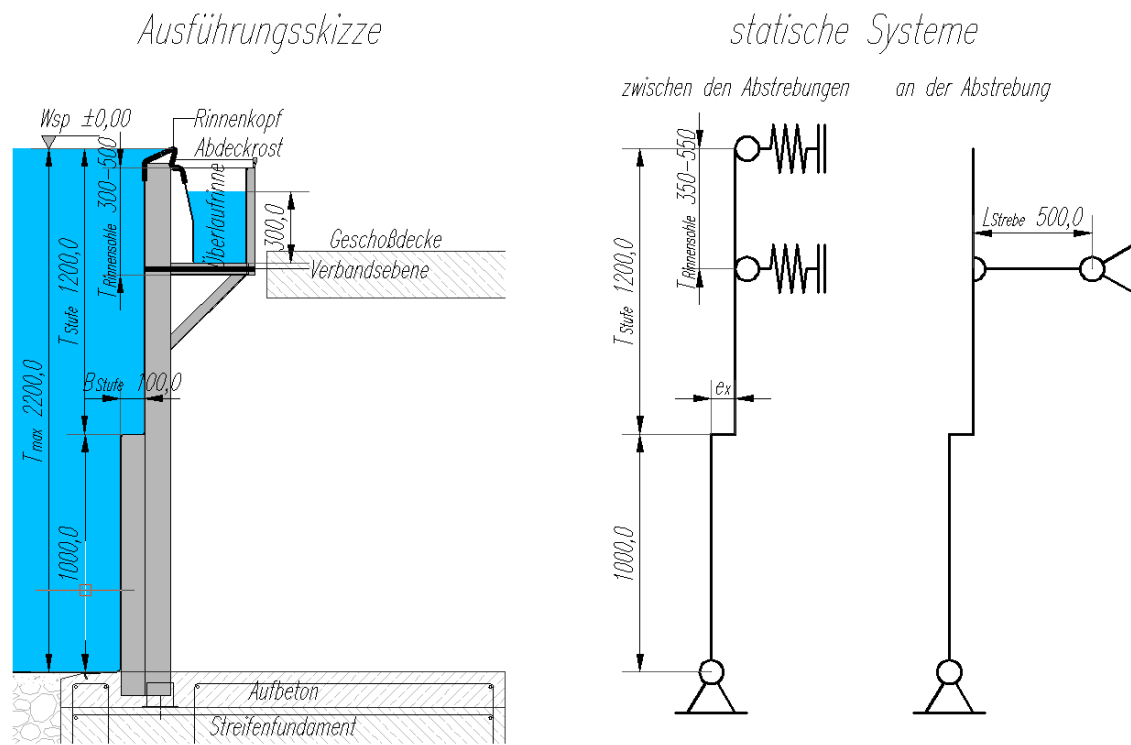
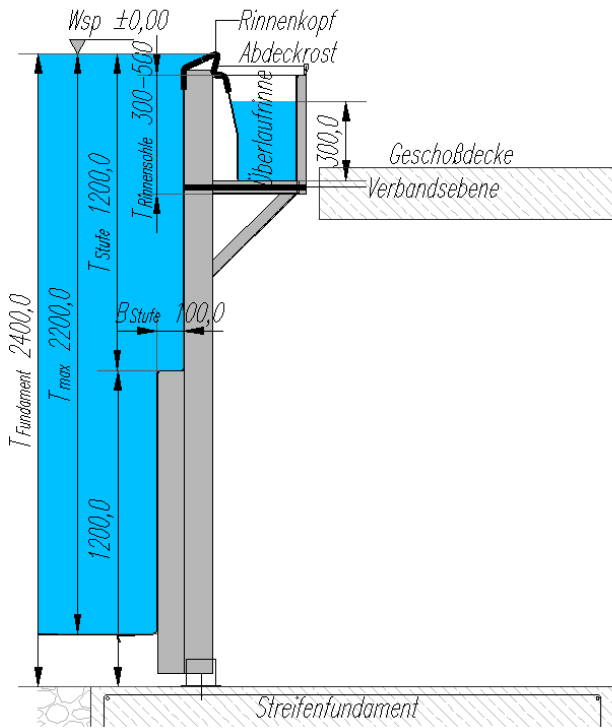


Abbildung 14: Hallenbad inklusive Aufbeton – neues statisches System

Ausführungsskizze



statische Systeme

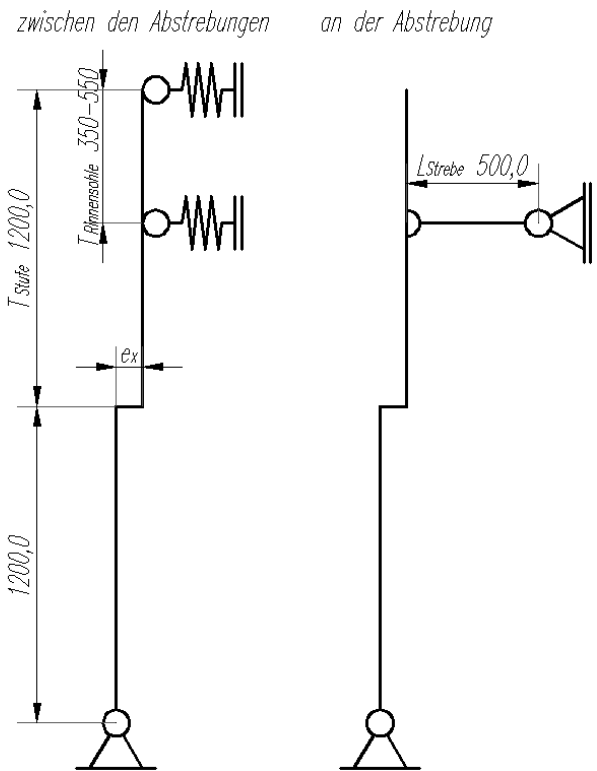


Abbildung 15: Hallenbad exklusive Aufbeton – neues statisches System

2.2.1 Querschnittssteifigkeiten

Da die Querschnittsgeometrie aufgrund des Höhengsprunges an der Trittstufe, sowie der Abkantung des Wandbleches am Beckenboden variiert, ist eine steifigkeitsbedingte Gliederung des Tragwerks in einen Bereich oberhalb des Rinnenkorbes, oberhalb der Trittstufe, unterhalb der Trittstufe und, falls vorhanden, unterhalb des Beckens erforderlich.

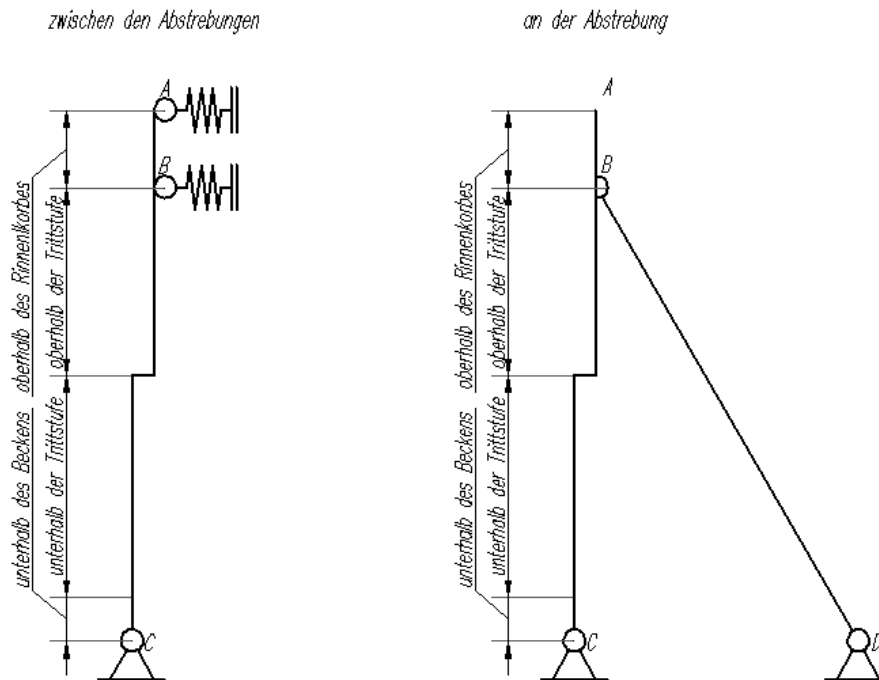


Abbildung 16: Steifigkeitsbedingte Systemgliederung, Bemessungsabschnitte

Die beispielhafte Berechnung nachstehender Querschnittswerte basiert auf einer Rippengeometrie gemäß 2.2.1 und erfolgt für den über die Beckentiefe vorliegenden Verbundquerschnitt mit einer mittragenden Breite zur Berücksichtigung der elastischen Schubverzerrung des Wandbleches nach ON-EN-1993-1-5 3.2 (5). Dazu werden die mittragenden Längen für den Bereich oberhalb des Rinnenkorbes entsprechend eines Kragarmes mit $L_e = 2 \cdot T_{Rinneo\ hle} = 2 \cdot 350,0 = 700,0 \text{ [mm]}$ und für die darunterliegenden Bereiche entsprechend eines Trägerendfeldes mit $L_e = 0,85 \cdot (T_{max} - T_{Rinneo\ hle}) = 0,85 \cdot (2400,0 - 350,0) = 1.742,5 \text{ [mm]}$ angenommen.

Tabelle 3: Mittragende Breiten des Wandbleches

Position (Stab)	Position (QS)	t [mm]	L _e [mm]	e _{Rippe} [mm]	α [-]	b ₀ [mm]	κ [-]	Nachweisort	β [-]	b _m [mm]	Σ b _m [mm]
oberh. d. Rinnenkorbes	innen	2,5	700,0	500,0	1,00	65,9	0,09	Stützmoment	0,64	42,4	111,1
	außen				1,00	184,1	0,26		0,37	68,7	
oberhalb der Trittstufe	innen	2,5	1.742,5		1,00	65,9	0,04	Feldmoment	0,99	65,3	237,1
	außen				1,00	184,1	0,11		0,93	171,8	
unterhalb der Trittstufe	innen	2,5	1.742,5		1,00	89,3	0,05	Feldmoment	0,98	87,8	240,2
	außen				1,00	160,7	0,09		0,95	152,4	

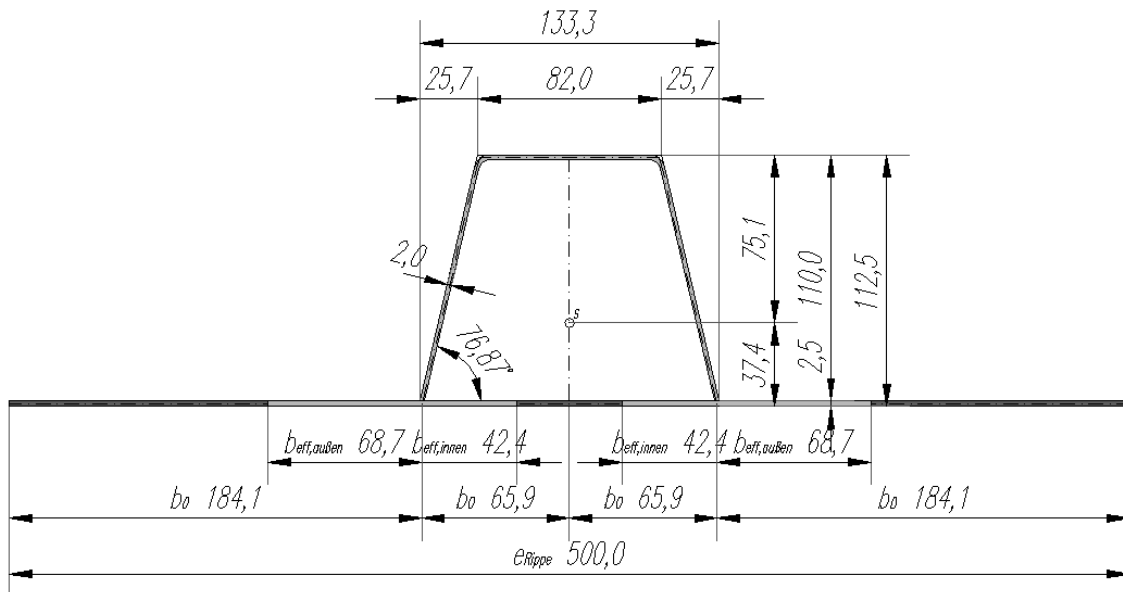


Abbildung 17: Rippenquerschnitt oberhalb des Rinnenkorbes

- Bruttoquerschnittswerte inkl. mittr. Breite des Wandbleches (oberhalb RK)

$$A = 1.163,5 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$z_i = 37,4 \text{ [mm]}$$

$$I_y = 2.197.325,6 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$z_a = 75,1 \text{ [mm]}$$

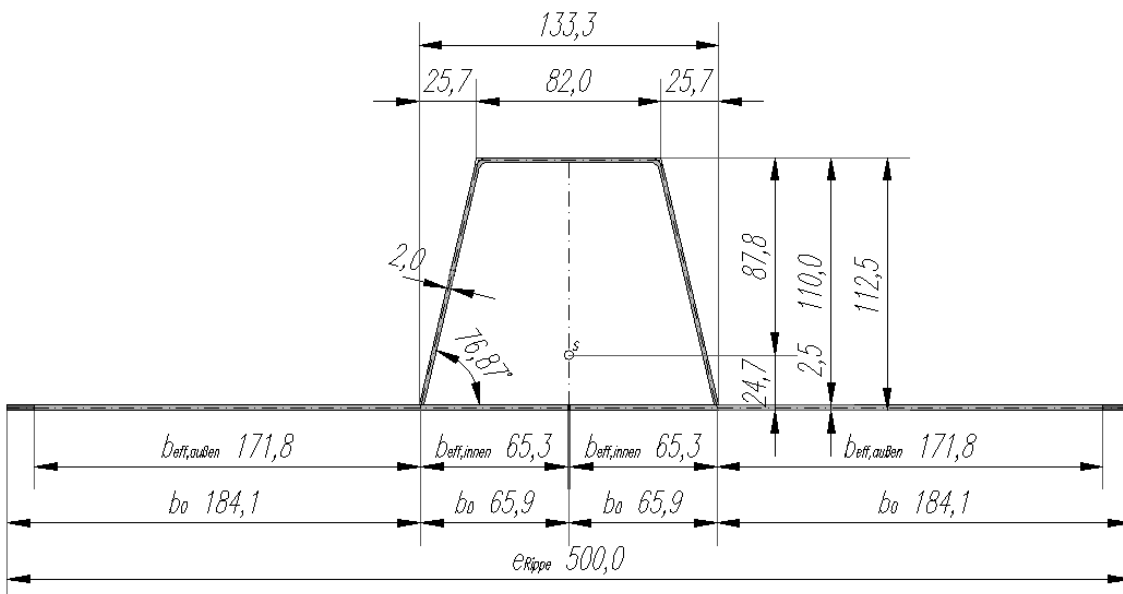


Abbildung 18: Rippenquerschnitt oberhalb der Trittstufe

- Bruttoquerschnittswerte inkl. mittr. Breite des Wandbleches (oberhalb TS)

$$A = 1.793,4 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$z_i = 24,7 \text{ [mm]}$$

$$I_y = 2.730.835,9 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$z_a = 87,8 \text{ [mm]}$$

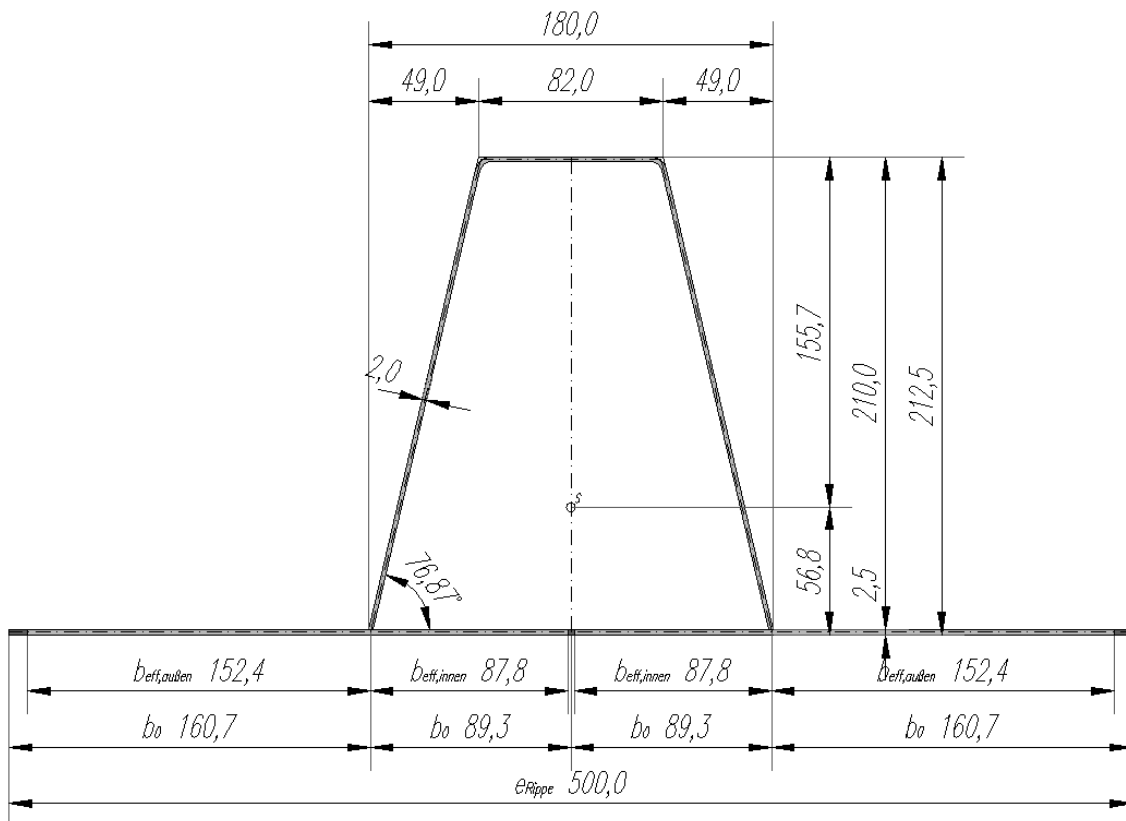


Abbildung 19: Rippenquerschnitt unterhalb der Trittstufe

- Bruttoquerschnittswerte inkl. mittr. Breite des Wandbleches (unterhalb TS)

$$A = 2.219,6 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$z_i = 56,8 \text{ [mm]}$$

$$I_y = 12.715.297,6 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$z_a = 155,7 \text{ [mm]}$$

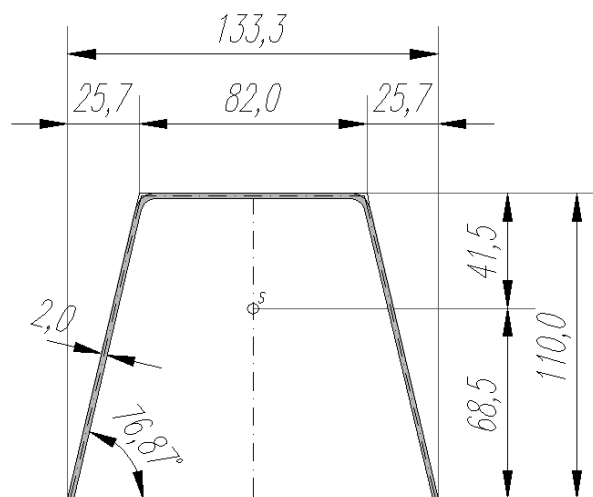


Abbildung 20: Querschnitt unterhalb des Beckens

- Bruttoquerschnittswerte (unterhalb des Beckens)

$$A = 602,7 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$z_i = 68,5 \text{ [mm]}$$

$$I_y = 784.456,0 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$z_a = 41,5 \text{ [mm]}$$

2.2.2 Auflagerfedersteifigkeiten

Die Federsteifigkeiten k_i an den oberen beiden Lagern des Durchlaufsystems folgen aus einer Betrachtung der horizontalen Aussteifungssysteme am Rinnenkopf und -boden. Da der Beckenrandabschluss aus einem durchgängig verschweißten Blech besteht, kann das entsprechende Quersystem als Durchlaufträger der Stützweite e_{Strebe} modelliert werden. Die zweite Aussteifungsebene unterhalb der Überlaufrinne bildet zusammen mit einem an das Wandblech befestigten Winkelprofil, vertikalen und diagonalen Stützstäben, sowie dem Rinnenboden einen fachwerkartigen Verband. Aufgrund der Abhängigkeit von der Rinnentiefe ist seine Positionierung im System variabel, sodass die feldübergreifende Durchgängigkeit über die Stützweite e_{Strebe} hinaus nicht gewährleistet ist und weitere Berechnungsschritte an einem statisch bestimmt gelagerten Einfeldträgermodell erfolgen. (Bei Becken von geringerer Größe kann anstelle des Fachwerkverbandes auch nur die Steifigkeit eines einzelnen Querträgers beziehungsweise des Rinnenbodens berücksichtigt werden).

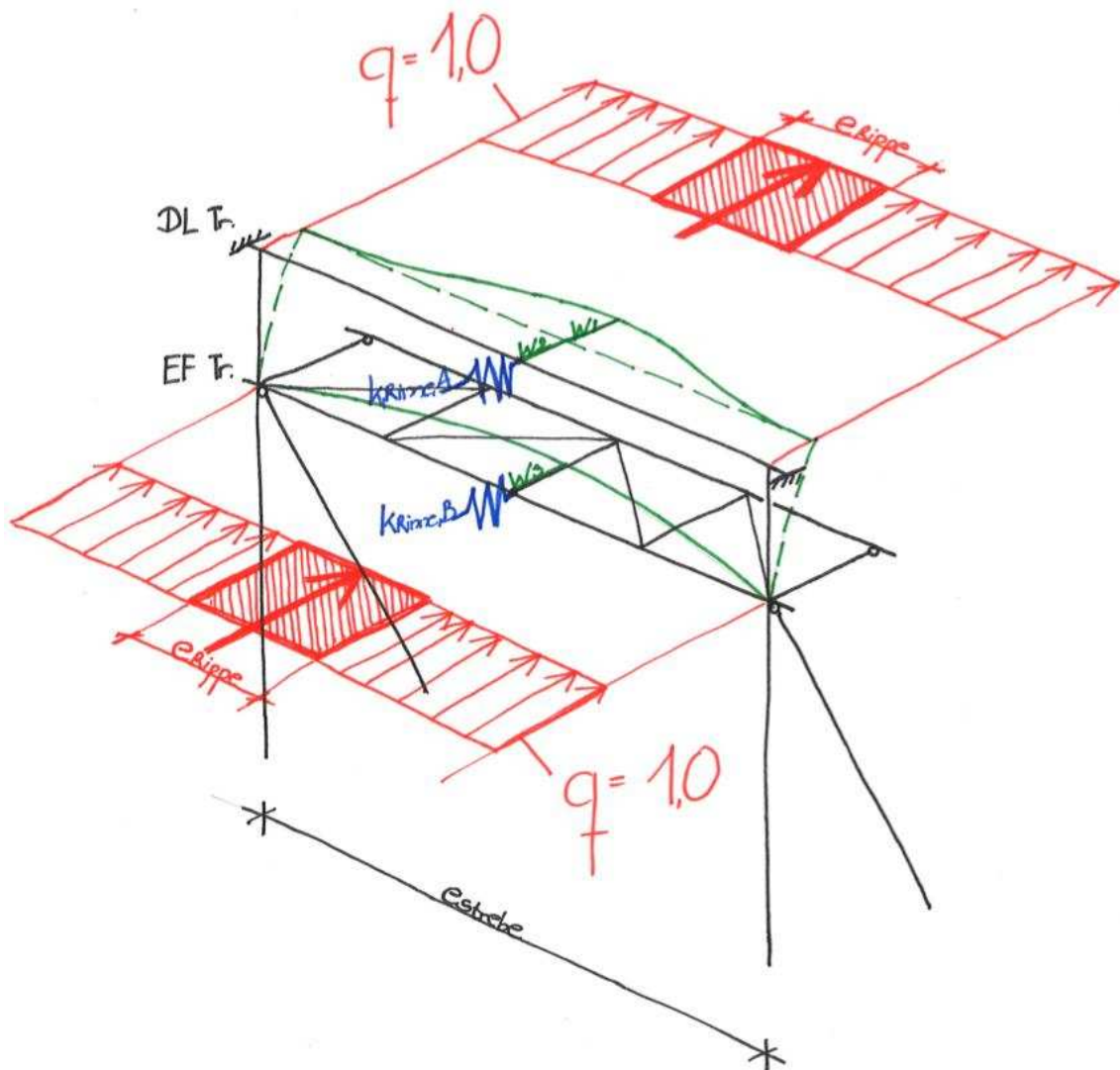


Abbildung 21: Rechenmodell zur Ermittlung der Auflagersteifigkeiten

Die zur Ermittlung der mittragenden Blechbreiten benötigten Abstände der Momentennullpunkte berechnen sich für das Feld- beziehungsweise Stützmoment nach den Formeln $L_{e,Feld} = \frac{e_{Strebe}}{\sqrt{3}}$ und $L_{e,Stütz} = \frac{e_{Strebe} \cdot (3-\sqrt{3})}{3}$. Der Eingangsparameter b_0 wird entsprechend des jeweiligen Blechteils mit dem Maß $T_{Rinnensohle}$ oder T_{Stufe} in Rechnung gestellt. Aufgrund der linearen Verteilung von b_m zwischen Stütz- und Feldquerschnitt erfolgt innerhalb der Länge $L_{e,Stütz}$ eine Mittelwertbildung nach der Formel $b_{m,mittel} = \frac{b_{m,Feld} + b_{m,Stütz}}{2}$. Diese gemittelte Breite ist Ausgangswert b_p für die nachfolgende Beulabminderung.

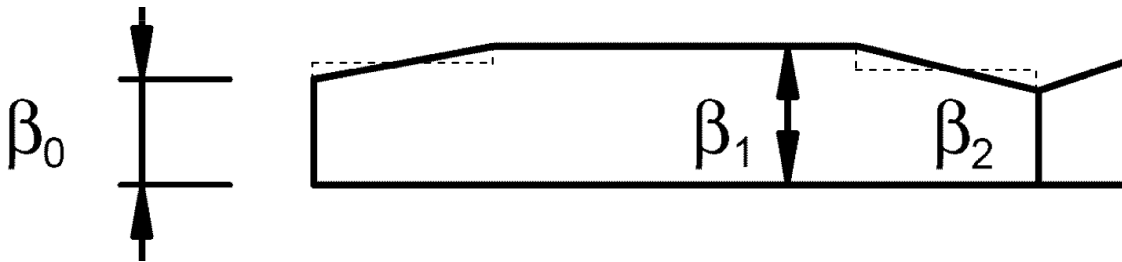


Abbildung 24: Mittelung der mittragenden Breiten

Tabelle 4: Mittragende Breiten von Wand- und Rinnenblech

Position	L_e [mm]	t [mm]	b_0 [mm]	κ [-]	Nachweisort	β [-]	b_m [mm]	$b_{m,mittel}$ [mm]
Wandblech	1.443,4	2,5	1.200,0	0,83	Feldmoment	0,20	244,6	244,6
Rinnenblech		2,0	350,0	0,24		0,73	254,3	254,3
Wandblech	1.056,6	2,5	1.200,0	1,14	Stützmoment	0,10	122,9	183,8
Rinnenblech		2,0	350,0	0,33		0,32	110,9	182,6

Ein zweiter Berechnungsschritt behandelt das Plattenbeulen und mindert die mittragende Breite erforderlichenfalls um den Faktor ρ ab. Dieser wird für zweiseitig gestützte, druckbeanspruchte Querschnittsteile unter konstanter Spannungsverteilung nach der Formel

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ mit } \bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} \text{ und } \sigma_{cr} = \sigma_E \cdot k_\sigma \text{ ermittelt.}$$

Tabelle 5: Effektive Breiten von Wand und Rinnenblech zufolge Beulen

b_p [mm]	k_σ [-]	λ [-]	ρ [-]	b_{eff} [mm]
244,6	4,00	1,78	0,39	96,3
254,3		2,32	0,31	78,8
183,8		1,34	0,51	93,1
182,6		1,66	0,42	76,5

Aufgrund der geringen Dickenabmessungen von Wand- und Rinnenblech kann zur Steifigkeitsermittlung des anrechenbaren Querschnittes nach ON-EN-1993-1-3 Anhang C.1 (7) verfahren werden. Da von einer horizontalen Verformung des Rinnenkopfes ausgegangen wird, erfolgt die Berechnung des Flächenträgheitsmomentes 2. Ordnung um die entsprechend vertikale Achsrichtung.

Tabelle 6: Steifigkeitsberechnung am Rinnenkopf (Feldquerschnitt)

Position	x [mm]	z [mm]	t [mm]	dA [mm ²]	dS _x [mm ³]	dI _x [mm ⁴]
Feldbereich	0,0	0,0				
	0,0	96,3	2,5	240,8	0,0	0,0
	131,4	156,3	2,5	361,2	23.737,9	2.080.005,3
	110,0	76,3	2,5	207,1	24.995,3	3.025.308,8
	155,0	76,3	2,5	112,5	14.906,3	1.994.062,5
	171,4	-0,8	2,0	157,6	25.727,1	4.202.047,2

$$I_{y,Feld} = \sum dI_y - \frac{\sum dS_y^2}{\sum dA} = 3.901.101,7 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Tabelle 7: Steifigkeitsberechnung am Rinnenkopf (Stützquerschnitt)

Position	x [mm]	z [mm]	t [mm]	dA [mm ²]	dS _x [mm ³]	dI _x [mm ⁴]
Stützbereich	0,0	0,0				
	0,0	93,1	2,5	232,8	0,0	0,0
	131,4	153,1	2,5	361,2	23.737,9	2.080.005,3
	110,0	73,1	2,5	207,1	24.995,3	3.025.308,8
	155,0	73,1	2,5	112,5	14.906,3	1.994.062,5
	170,9	-1,7	2,0	153,0	24.931,0	4.065.798,8

$$I_{y,Stütz} = \sum dI_y - \frac{\sum dS_y^2}{\sum dA} = 3.810.092,1 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Mit Steifigkeitsverhältnissen entsprechend ON-EN-1993-1-3 3.2 Bild 3.1 (7) wird ein mittleres Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung nach $I_y = \frac{I_{y,Feld} + I_{y,Stütz}}{2} = 3.855.596,9 \text{ [mm}^4\text{]}$ ermittelt und die maximale Durchbiegung an den beiden mittleren Lagerpunkten, im Abstand $x = 1000,0 \text{ [mm]}$ von der Einspannung zu $w_1 = \frac{p}{E \cdot I_y} \cdot \left(\frac{x^4}{24} - \frac{e_{Strebe} \cdot x^3}{12} + \frac{e_{Strebe}^2 \cdot x^2}{24} \right) = 0,122 \text{ [mm]}$ bestimmt.

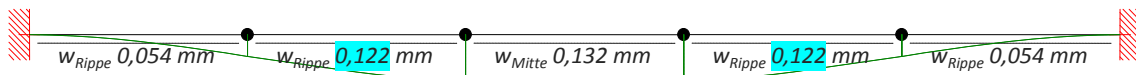


Abbildung 25: Verformung Rinnenkopf

Da sich der Kragarm des abgestrebten Systems in horizontaler Richtung frei verformen kann, ist die eben ermittelte Durchbiegung um diese Verschiebung zu ergänzen. Sie wird aus dem Normkraft- und Biegeanteil einer am Ende des Kragarms angreifenden horizontalen Einzellast $P = p \cdot e_{Strebe}$ ermittelt und beträgt in Abhängigkeit des verwendeten Rippenquerschnittes $w_2 = 10^{-3} \cdot 2500 \cdot 0,204 = 0,509 \text{ [mm]}$.

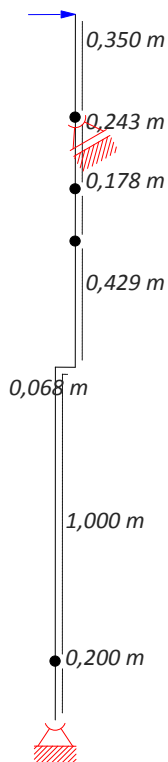


Abbildung 26: Rechenmodell – abgestrebt System

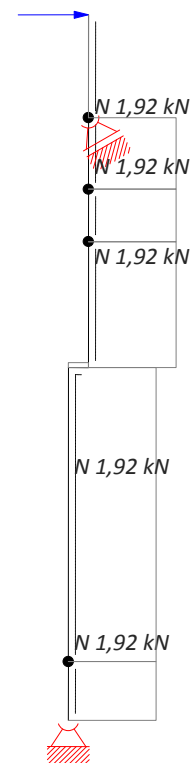


Abbildung 27: Normkraft zufolge Einheitsbelastung

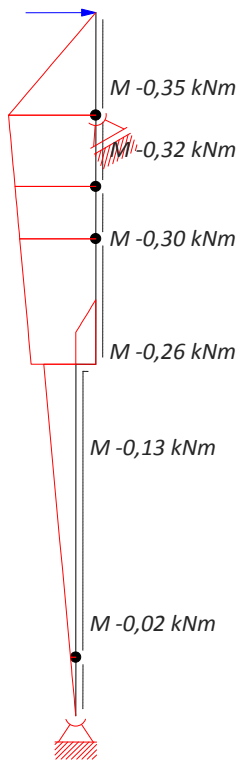


Abbildung 28: Biegemoment zufolge Einheitsbelastung

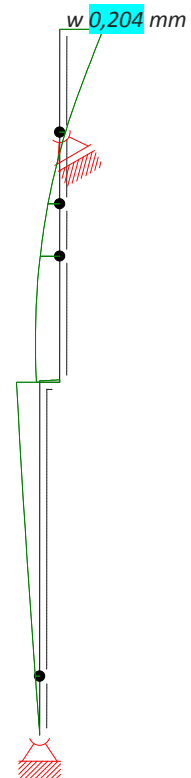


Abbildung 29: Verformung zufolge Einheitsbelastung

Die Federsteifigkeit des Auflagers ergibt sich somit zu $k_{Rinne A} = \frac{p \cdot e_{Rippe}}{w_1 + w_2} = \frac{1,00 \cdot 500,0}{0,122 + 0,509} = 792,56 \left[\frac{kN}{m} \right]$.

2.2.2.2 Steifigkeitsermittlung am Rinnenboden

Der in Zusammenarbeit mit der Firma Berndorf neu entwickelte Horizontalverband sieht eine indirekte Kraftübertragung in den Rippenquerschnitt vor. Aus diesem, sowie aus montagebedingten Gründen ist der Fachwerkpfosten in zwei seitlich an der Rippe vorbeiführende Einzelstäbe aufgelöst.

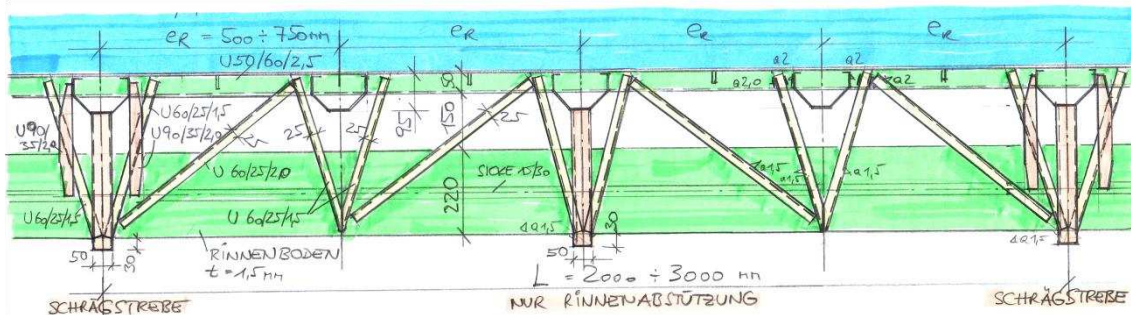


Abbildung 30: Fachwerkverband unterhalb der Überlaufrinne für Längen von $e_{\text{Strebe}} \leq 3000$ [mm]

Die näherungsweise Erfassung des stützenden Effektes für das vertikale Tragsystem zwischen den Streben erfolgt anhand eines vereinfachten Berechnungsansatzes analog 3.2.2.1. Im Zuge dessen wird der vorliegende Entwurf wie ein Fachwerk mit vertikalen Streben behandelt und seine Steifigkeit an einem äquivalenten Biegeträger inklusive Schubverformung ermittelt.

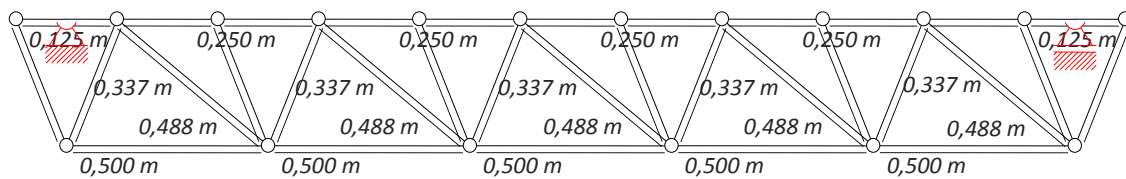


Abbildung 31: Systemskizze des Fachwerkverbandes

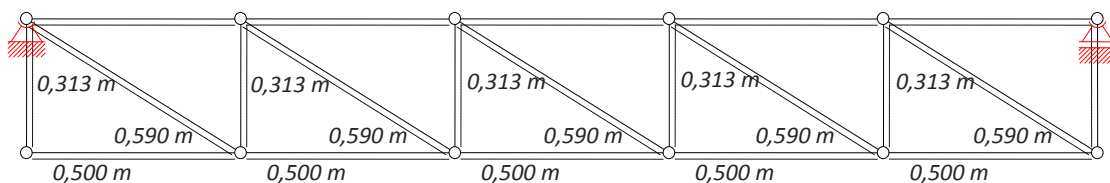


Abbildung 32: Vereinfachung des Fachwerkverbandes für die interne Berechnung

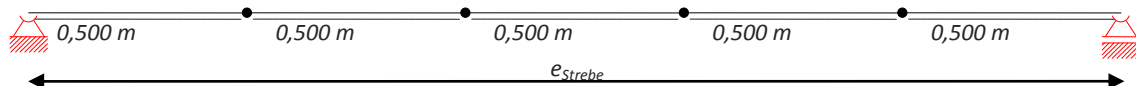


Abbildung 33: Rechenmodell zur Steifigkeitsermittlung am Rinnenboden

Wie im vorhergehenden Abschnitt soll die Ermittlung der Auflagerfedersteifigkeit im Bereich des Rinnenbodens anhand eines Beispiels für die in Abbildung 25 enthaltenen Profildimensionen und den Werkstoff Konstruktionsstahl 1.4404 veranschaulicht werden.

Tabelle 8: Effektive Querschnittswerte des Horizontalverbandes

Fachwerkstäbe	Profil	A [mm ²]	I _y [mm ⁴]
Obergurt	U 60/50/2,5	387,5	102.193,8
Vertikalstab	L 60/25/1,5	125,3	keine Berücksichtigung
Diagonale	L 60/25/2,0	166,0	keine Berücksichtigung

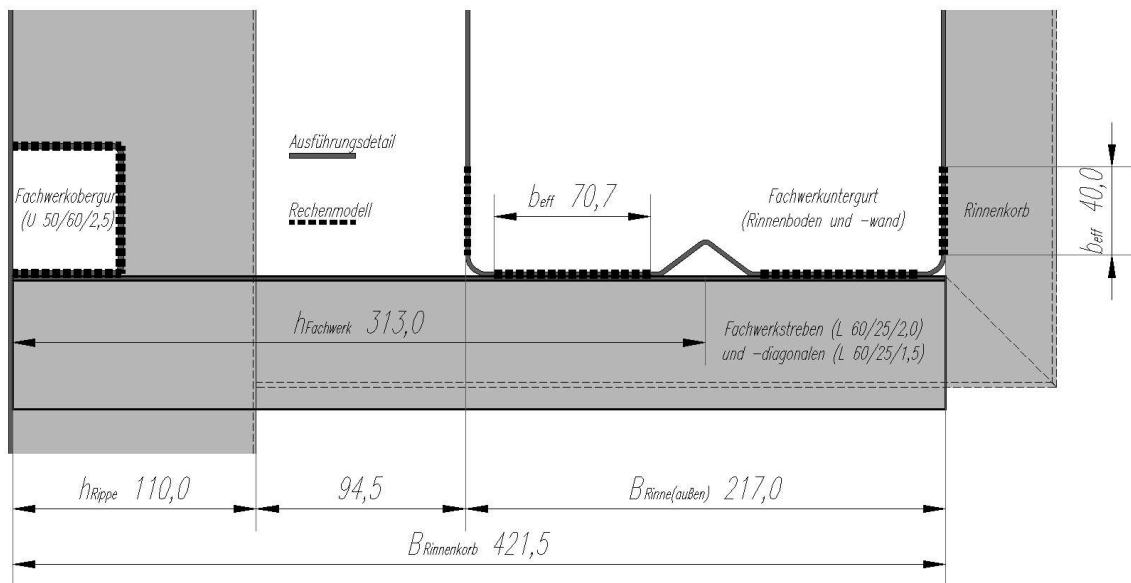


Abbildung 34: Anrechenbare, effektive Querschnittsteile des Rinnenbodens

Mit der Annahme einer reinen Druckbeanspruchung im Rinnenblech (bei einwirkendem Wasserdruck) errechnet sich die mitwirkende Breite der Rinnenwand nach ON-EN-1993-1-5 3.2 und 4.4 (5), sowie ON-EN-1993-1-4 5.2.3 (6) für den Momentennullpunktabstand $L_e = e_{Strebe}$. Aufgrund der Sicke im Rinnenboden liegt der Reduktion auf effektive Querschnittsflächen (Plattenbeulen) die Breite $b_p = \frac{215,0}{2} = 107,5$ [mm] zugrunde.

Tabelle 9: Mittragende Breiten von Wand- und Bodenblech der Rinne

Position	L _e [mm]	t [mm]	b ₀ [mm]	κ [-]	Nachweisort	β [-]	b _m [mm]	b _{m,mittel} [mm]
Rinnenblech (Wand)	2.500,0	2,0	350,0	0,14	Feldmoment	0,89	311,0	311,0
Rinnenblech (Boden)	-	2,0	215,0	-	-	1,00	215,0	107,5

Tabelle 10: Effektive Breiten von Wand- und Bodenblech der Rinne

b_p [mm]	k_σ [-]	λ [-]	ρ [-]	b_{eff} [mm]
311,0	4,00	2,83	0,26	79,9
107,5		0,98	0,66	70,7

Die in Abbildung 29 eingetragene anrechenbare Breite im Bereich des Rinnenbodens $b_{eff} = 40,0$ [mm] entspricht dabei dem in ON-EN-1993-1-4 4.4, Tabelle 4.1 (6) definierten Wert $b_{e,1} = 0,5 \cdot b_{eff} = 0,5 \cdot 79,9 = 40,0$ [mm].

Die Bestimmung der des Horizontalverbandes äquivalenten Biegesteifigkeit basiert auf den Querschnittswerten gemäß Tabelle 8, sowie den anrechenbaren Rinnenblechbreiten nach Abbildung 29. Da die ideale Blechdicke $t^* = \frac{E}{G} \cdot \frac{h_{Fachwerk} \cdot a}{\frac{d^3}{A_D} + \frac{h^3}{A_V} + \frac{a^3}{12} \cdot \left(\frac{1}{A_O} + \frac{1}{A_U}\right)}$ aus der Betrachtung eines Fachwerkes mit vertikalen Streben rührt, wird die aufgelöste Strebe (L 60/25/1,5) näherungsweise mit ihrer doppelten Fläche $A_V = 2 \cdot 125,3 = 250,5$ [mm²] in Rechnung gestellt.

Tabelle 11: Steifigkeitsberechnung am Rinnenboden – Eingangparameter

$h_{Fachwerk}$ [mm]	a [mm]	d [mm]	A_O [mm ²]	A_V [mm ²]	A_D [mm ²]
313,0	500,0	589,9	387,5	250,5	166,0

Tabelle 12: Steifigkeitsberechnung am Rinnenboden

Position (QS)	A [mm ²]	z [mm]	$A \cdot z$ [mm ³]	$A \cdot z^2$ [mm ⁴]	I_y [mm ⁴]	A_V^* [mm ²]
Obergurt	387,5	0,0	0,0	0,0	102.193,8	90,4
Untergurt	442,7	313,0	138.579,3	43.375.318,9	4.165.420,0	

$$I_y = \sum I_{y,i} + A_i \cdot z_i^2 - \frac{(\sum A_i \cdot z_i)^2}{\sum A_i} = 24.512.154,9 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Mit dem eben ermittelten Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung beträgt die Biegeverformung eines Trägers zufolge Einheitsbelastung an den beiden mittleren Systempunkten (im Abstand $x = 1000,0$ [mm] vom gelenkigen Rand) $w_{3a} = \frac{1}{E \cdot I_y} \cdot \left(\frac{x^4}{24} - \frac{e_{Strebe} \cdot x^3}{12} + \frac{e_{Strebe}^3 \cdot x}{24} \right) = 0,099$ [mm].

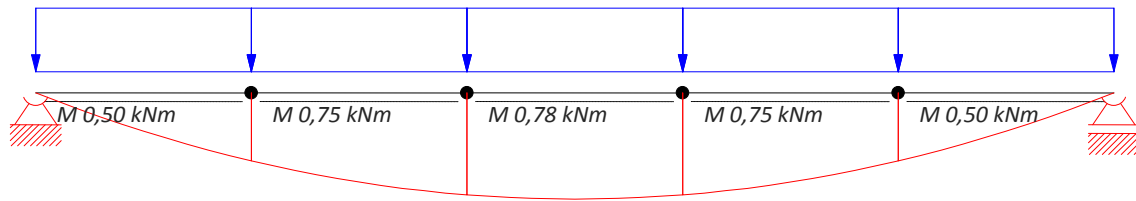


Abbildung 35: Biegemoment zufolge Einheitsbelastung

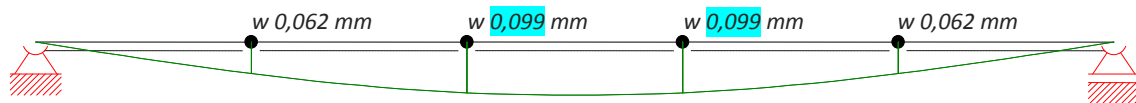


Abbildung 36: Durchbiegung aus Biegebeanspruchung

Die Verformung aus dem Schubanteil wird zu $w_{3b} = \frac{1}{G \cdot A_{Steg}} \cdot \left(\frac{e_{Strebe} \cdot x}{2} \right) \cdot x = 0,108$ [mm] berechnet, woraus sich eine Gesamtdurchbiegung von $w_3 = w_{3a} + w_{3b} = 0,207$ [mm] ergibt.

Ein Vergleich mit dem vereinfachten Fachwerkmodell und dem Ausgangssystem deutet auf einen relativen Fehler der Größe $\delta = \frac{0,236 - 0,207}{0,236} = 0,12$ und $\delta = \frac{0,220 - 0,207}{0,220} = 0,06$. Dies kann durch die Miteinbeziehung der Eigentragheitsanteile $I_{y,i}$ von Ober- und Untergurt begründet werden.

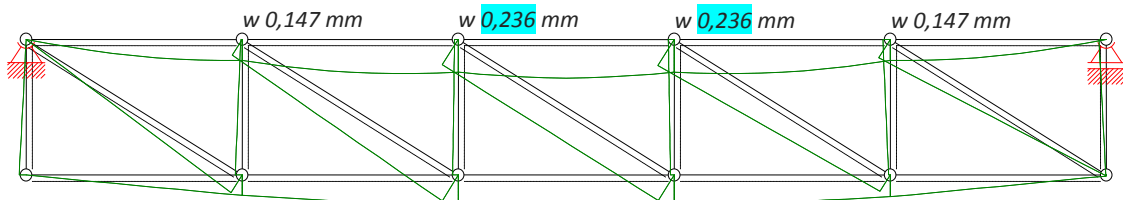


Abbildung 37: Durchbiegung am vereinfachten Fachwerkverband

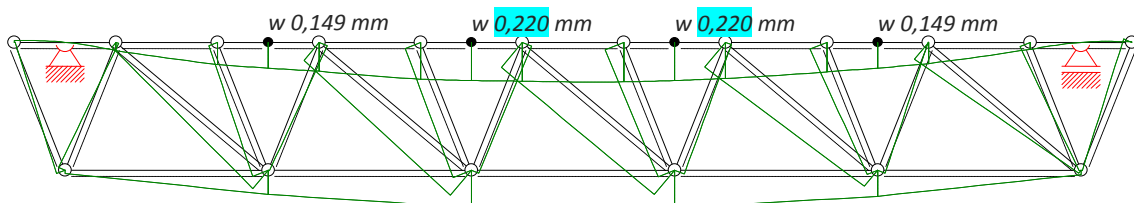


Abbildung 38: Durchbiegung am Ausgangssystem

Da der gewählte Berechnungsansatz zusätzliche Einspanneffekte infolge des durchgängig verschweißten Rinnenbodens nicht berücksichtigt und eine daraus resultierende geringere Verbandsteifigkeit zu konservativen Systemschnittkräften führt, kann die Bettung des Auflagers mit $k_{Rinne B} = \frac{p \cdot e_{Rippe}}{w_3} = \frac{10^3 \cdot 1,00 \cdot 0,500}{0,207} = 2.417,4$ $\left[\frac{kN}{m} \right]$ angenommen werden.

3. Lastmodell

3.1 Allgemeines

Das bisherige Lastmodell wird auf Grundlage der ON-EN-1990 (8) und ON-EN-1991 (9) angepasst und gegebenenfalls ergänzt (Kennzeichnung durch +). Aufgrund des zweidimensionalen Rechenmodells sind alle Einwirkungen für die vertikalen Rippen mit einer Lasteinflussbreite zu multiplizieren. Dabei muss zwischen dem abgestrebten System, dem dazwischen liegenden System ohne Konsole zur Rinnenbefestigung und einem mit Konsole unterschieden werden. Direkt auf das Wandblech oder über Abstützstäbe einwirkende Lasten sind mit der Einflussbreite e_{Rippe} zu berücksichtigen. Über den Rinnenkorb eingeleitete Kräfte werden für ein zwischenliegendes System mit $e_{Rinnenkorb}$ und für ein abgestrebt System mit e_{Δ} multipliziert. Bei einer geraden Rippenanzahl innerhalb der Länge e_{Strebe} nimmt e_{Δ} den Wert e_{Rippe} und bei ungerader Anzahl den Wert $e_{Rinnenkorb}$ an. Der Berechnung aller Kraftkomponenten aus der Konsole liegt die Breite $B_{Rinnenkorb} = 421,5$ [mm] zugrunde. Sie bildet sich aus der Summe der Beckenkopfbreite $B_{Beckenkopf,2} = 131,4$ [mm], Rinnenbreite $B_{Rinne} = 213,0$ [mm] und zweifachen $-$ blechdicke $t_{Rinne} = 2,0$ [mm], sowie einem definierten Abstandswert von $a = 73,1$ [mm].

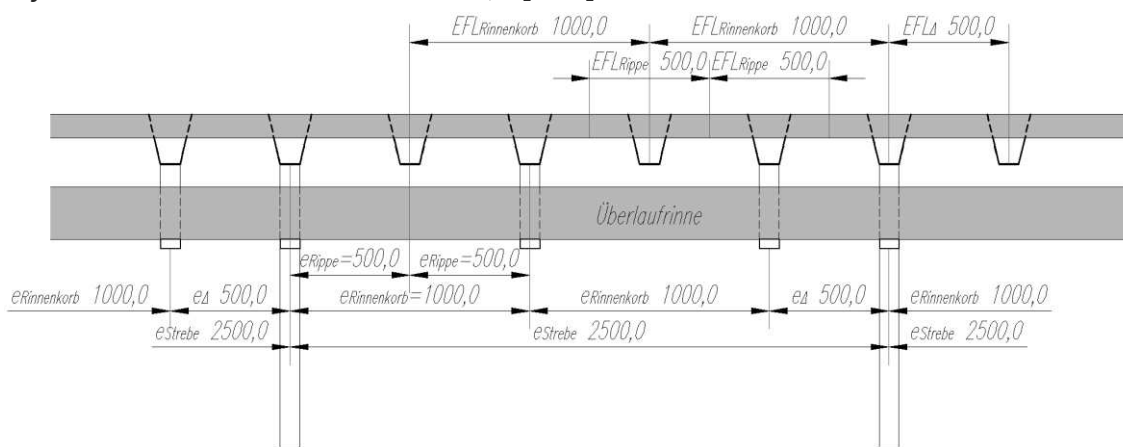


Abbildung 39: Einflussbreiten bei gerader Rippenanzahl innerhalb der Länge e_{Strebe}

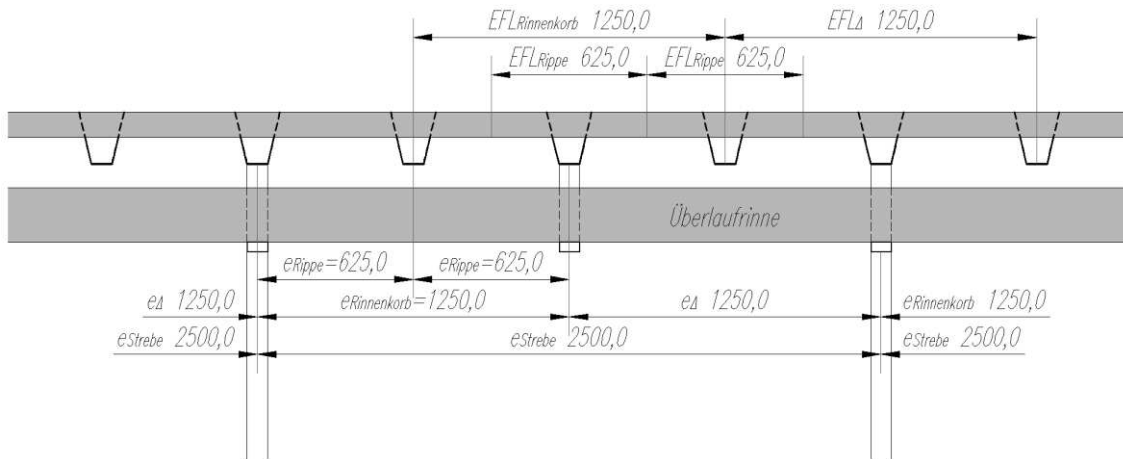


Abbildung 40: Einflussbreiten bei ungerader Rippenanzahl innerhalb der Länge e_{Strebe}

Da das Lastmodell eine von den Steifigkeitsverhältnissen unabhängige Einleitung von Einzellasten vorsieht und auch Streckenlasten keinen stetigen Verlauf innerhalb der vier Bereiche unterschiedlicher Querschnittsgeometrie aufweisen, bedarf es der Definition zusätzlicher Berechnungsabschnitte, wodurch an jedem der in Abbildung 36 bezeichneten Punkten A, B, 2, 3, 4, 5 und C Belastungswechsel und -sprünge ermöglicht werden.

zwischen den Abstreben

an der Abstrebung

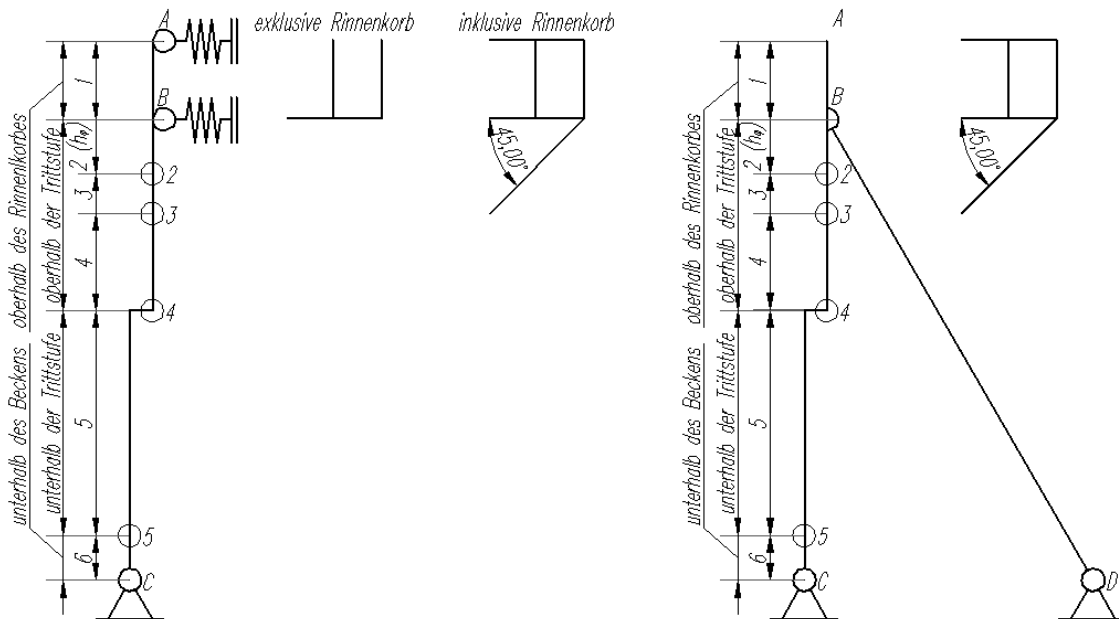


Abbildung 41: Belastungsabhängige Systemgliederung, Berechnungsabschnitte

3.2 Lastfälle

3.2.1 ständige Lasten

Aufgrund des geringen Konstruktionseigengewichtes wird dieser Lastfall vernachlässigt und nur der Erddruck als ständig wirkende Belastung in Rechnung gestellt.

3.2.1.1 Erddruck, Lastfall 1a und 1b

Da die Größe der Belastung von der Systemverschiebung abhängt, muss zwischen dem aktiven Erddruck und dem Erdrückdruck unterschieden werden. Eine Abschätzung der Belastung wird durch die vorgelagerte Überlaufrinne berücksichtigt. Sie berechnet sich aus der Breite des Rinnenkorbes und dem Reibungswinkel des Bodens zu $h_\varphi = B_{\text{Rinnenkorb}} \cdot \tan \varphi = 421,5 \cdot \tan 30 = 243,4 \text{ [mm]}$. Der auf die Rinnenwand einwirkende Erddruck wird nach der Gleichgewichtsmethode dem Kopf beziehungsweise Boden zugewiesen und durch Abstützstäbe in die oberen beiden Systemlager eingeleitet. Die Lasteinflussbreite ist durch den Abstand dieser Abstützstäbe definiert und kann entweder e_{Rippe} , $e_{\text{Rinnenkorb}}$ oder e_Δ betragen. Beiden Lastfällen sind gleiche Wichten γ_e , Reibungswinkel φ , geometrieabhängige Winkel α , β , δ und Teilsicherheitsbeiwerte γ zugrundegelegt.

spezifisches Gewicht des Bodens (Sand) ... $\gamma_E = 18,00 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$

Winkel der inneren Reibung ... $\varphi = 30,00 \text{ [}^\circ\text{]}$

Wandneigungswinkel ... $\alpha = 0,00 \text{ [}^\circ\text{]}$

Geländeneigung ... $\beta = 0,00 \text{ [}^\circ\text{]}$

Reibung zwischen Erdreich und Wand ... $\delta = 0,00 \text{ [}^\circ\text{]}$

Teilsicherheitsbeiwert (günstig) ... $\gamma_{\text{günstig}} = 1,00 \text{ [-]}$

Teilsicherheitsbeiwert (ungünstig) ... $\gamma_{\text{ungünstig}} = 1,35 \text{ [-]}$

Abschattungshöhe ... $h_\varphi = b_{\text{Konsole}} \cdot \tan \varphi = 243,4 \text{ [mm]}$

3.2.1.1.1 aktiver Erddruck, Lastfall 1a

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \frac{1 - \sin 30,00}{1 + \sin 30,00} = 0,33 [-]$$

$$g_{Ea,2} = -\gamma_E \cdot K_a \cdot e_{Rippe} \cdot h_\varphi = -18,00 \cdot 0,33 \cdot 0,50 \cdot 0,24 = -0,73 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

$$g_{Ea,2} = -\gamma_E \cdot K_a \cdot e_{Rippe} \cdot (T_{Rinnensohle} + h_\varphi) = -18,00 \cdot 0,33 \cdot 0,50 \cdot 0,59 = -1,78 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

$$g_{Ea,C} = -\gamma_E \cdot K_a \cdot e_{Rippe} \cdot T_{max} = -18,00 \cdot 0,33 \cdot 0,50 \cdot 2,40 = -7,20 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

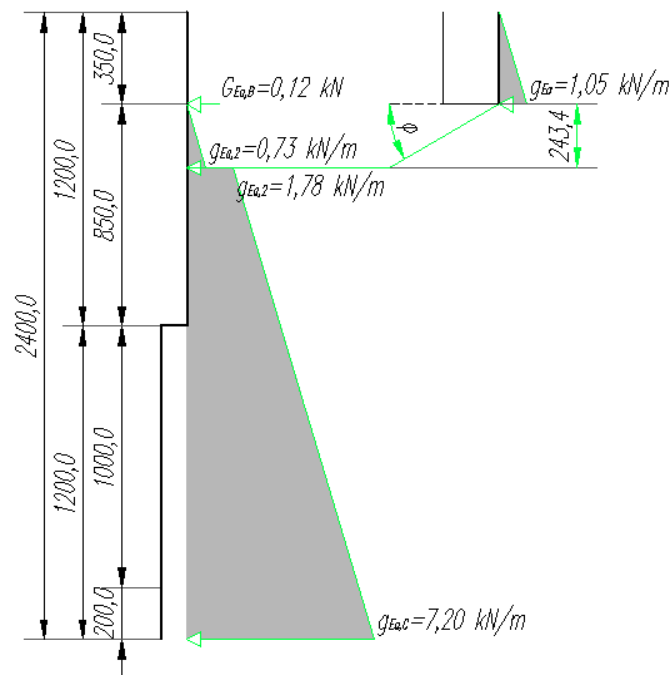


Abbildung 42: Lastbild – aktiver Erddruck, System exklusive Rinnenkorb

$$G_{Ea,B} = -\gamma_E \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnensohle}^2}{3} \cdot e_{Rippe} = -18,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35^2}{3} \cdot 0,50 = -0,12 [kN]$$

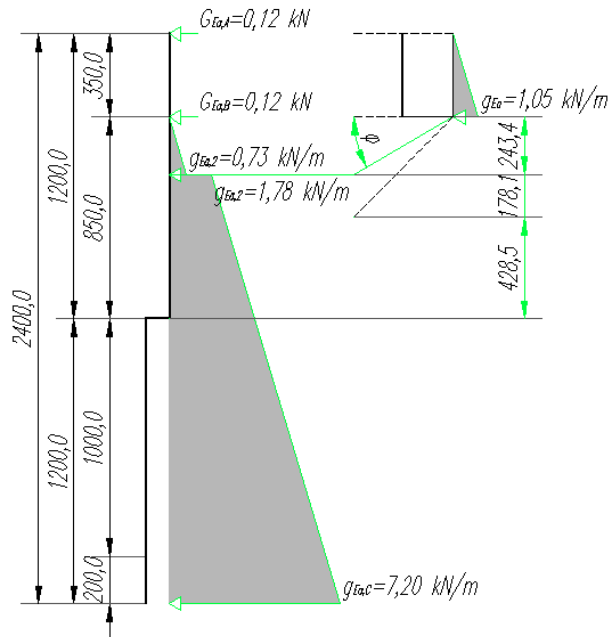


Abbildung 43: Lastbild – aktiver Erddruck, System inklusive Rinnenkorb

$$G_{Ea,A} = -\gamma_E \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnsenso} h_{le}^2}{6} \cdot e_{Rinnsenkorb} = -18,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35^2}{6} \cdot 1,00 = -0,12 \text{ [kN]}$$

$$G_{Ea,B} = -\gamma_E \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnsenso} h_{le}^2}{3} \cdot e_{Rippe} = -18,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35^2}{3} \cdot 0,50 = -0,12 \text{ [kN]}$$

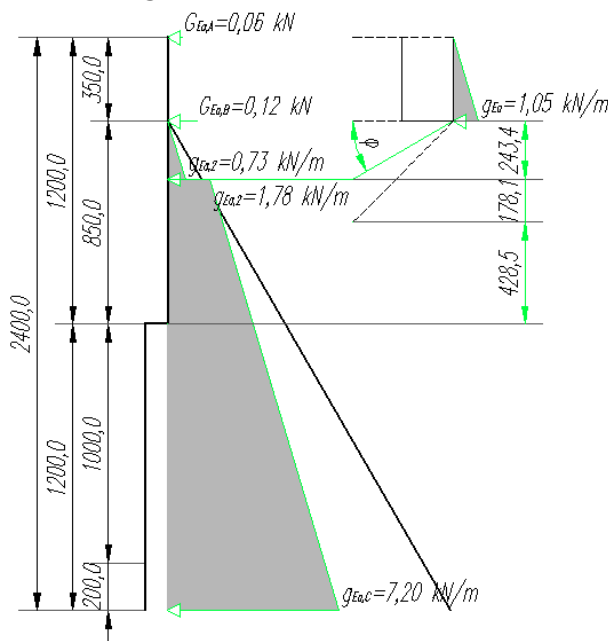


Abbildung 44: Lastbild – aktiver Erddruck, abgestrebt System

$$G_{Ea,A} = -\gamma_E \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnsenso} h_{le}^2}{6} \cdot e_{\Delta} = -18,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35^2}{6} \cdot 0,50 = -0,06 \text{ [kN]}$$

$$G_{Ea,B} = -\gamma_E \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnsenso} h_{le}^2}{3} \cdot e_{Rippe} = -18,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35^2}{3} \cdot 0,50 = -0,12 \text{ [kN]}$$

3.2.1.1.2 Erdruchdruck, Lastfall 1b (+)

$$K_0 = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 30,00 = 0,50 [-]$$

$$g_{Ea,2} = -\gamma_E \cdot K_0 \cdot e_{Rippe} \cdot h_\varphi = -18,00 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \cdot 0,24 = -1,10 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

$$g_{Ea,2} = -\gamma_E \cdot K_0 \cdot e_{Rippe} \cdot (T_{Rinnensohle} + h_\varphi) = -18,00 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \cdot 0,59 = -2,67 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

$$g_{Ea,c} = -\gamma_E \cdot K_0 \cdot e_{Rippe} \cdot T_{max} = -18,00 \cdot 0,50 \cdot 0,50 \cdot 2,40 = -10,80 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

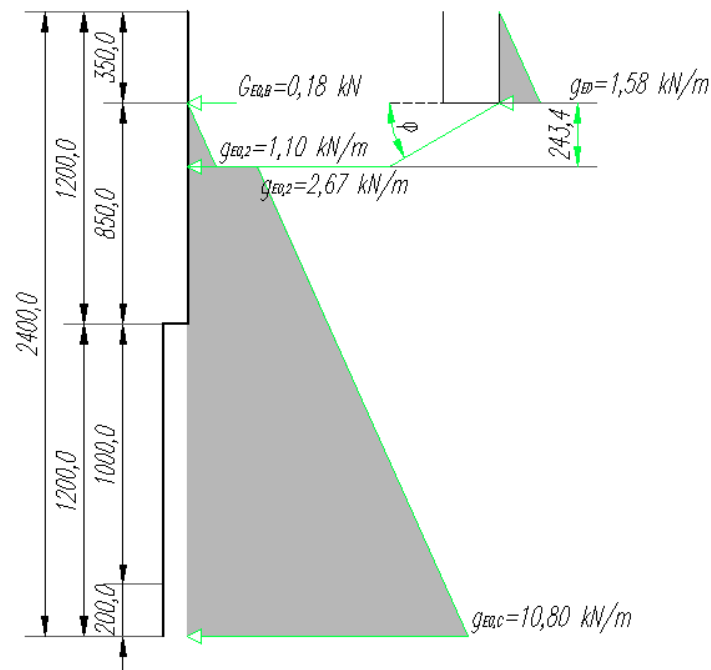


Abbildung 45: Lastbild – Erdruchdruck, System exklusive Rinnenkorb

$$G_{E0,B} = -\gamma_E \cdot K_0 \cdot \frac{T_{Rinnensohle}^2}{3} \cdot e_{Rippe} = -18,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35^2}{3} \cdot 0,50 = -0,18 [kN]$$

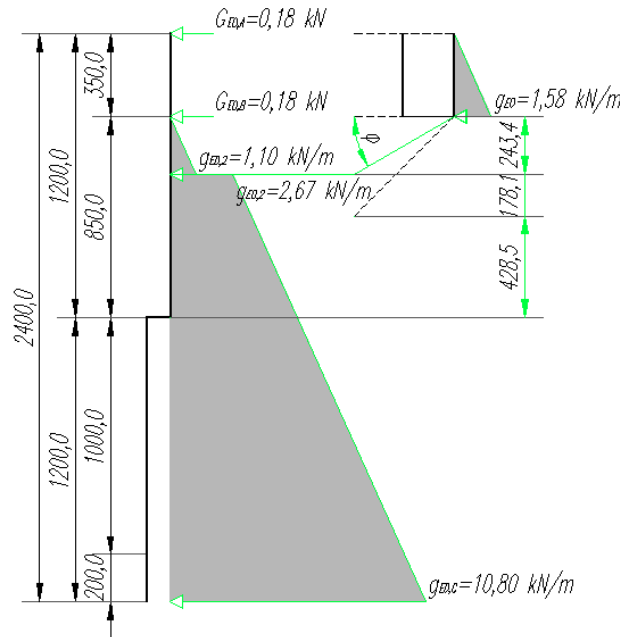


Abbildung 46: Lastbild – Erdruehdruck, System inklusive Rinnenkorb

$$G_{E0,A} = -\gamma_E \cdot K_0 \cdot \frac{T_{Rinnensohle}^2}{6} \cdot e_{Rinnenkorb} = -18,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35^2}{6} \cdot 1,00 = -0,18 \text{ [kN]}$$

$$G_{E0,B} = -\gamma_E \cdot K_0 \cdot \frac{T_{Rinnensohle}^2}{3} \cdot e_{Rippe} = -18,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35^2}{3} \cdot 0,50 = -0,18 \text{ [kN]}$$

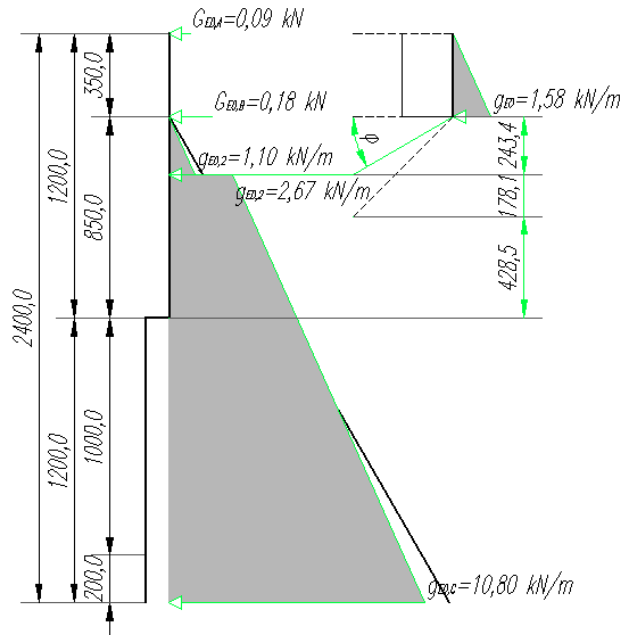


Abbildung 47: Lastbild – Erdruehdruck, abgestrebt System

$$G_{E0,A} = -\gamma_E \cdot K_0 \cdot \frac{T_{Rinnensohle}^2}{6} \cdot e_{\Delta} = -18,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35^2}{6} \cdot 0,50 = -0,09 \text{ [kN]}$$

$$G_{E0,B} = -\gamma_E \cdot K_0 \cdot \frac{T_{Rinnensohle}^2}{3} \cdot e_{Rippe} = -18,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35^2}{3} \cdot 0,50 = -0,18 \text{ [kN]}$$

3.2.2 veränderliche Lasten

3.2.2.1 Wasserdruck im Becken, Lastfall 2

Zuzüglich des horizontalen Wasserdrucks auf die Wandkonstruktion wird an der Trittstufe eine vertikale Einzelkraft der Größe Q_{WB} angeordnet.

spezifisches Gewicht des Wassers ... $\gamma_{W,B} = 10,00 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$

Teilsicherheitsbeiwert (günstig) ... $\gamma_{günstig} = 0,00 [-]$

Teilsicherheitsbeiwert (ungünstig) ... $\gamma_{ungünstig} = 1,20 [-]$ gemäß ON-EN 1991-4 (10)

Kombinationsbeiwert ... $\psi_0 = 1,00 [-]$ gemäß ON-EN 1991-4 (10)

$$q_{WB,5} = +\gamma_W \cdot T_{Becken} \cdot e_{Rippe} = 10,00 \cdot 2,20 \cdot 0,50 = +11,00 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

$$Q_{WB,4} = -\gamma_W \cdot T_{Stufe} \cdot B_{Stufe} \cdot e_{Rippe} = -10,00 \cdot 1,20 \cdot 0,10 \cdot 0,50 = -0,60 [kN]$$

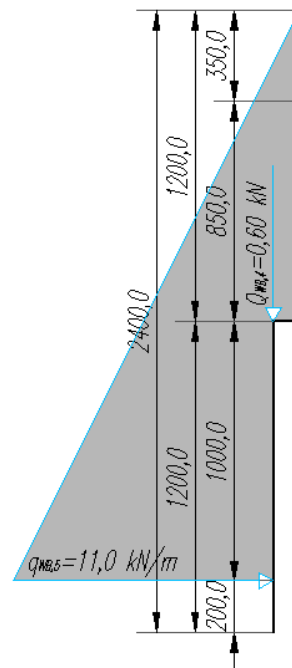


Abbildung 48: Lastbild – Wasserdruck im Becken, alle Systeme

3.2.2.2 Wasserdruck in der Überlaufrinne, Lastfall 3

Der maximale Füllstand in der Überlaufrinne beträgt $h_{WR} = 0,30$ [m]. Die daraus resultierende vertikale Kraft Q_{WR} wird über die Konsole in durch entsprechende Kraftkomponenten in das Tragsystem eingeleitet.

spezifisches Gewicht des Wassers ... $\gamma_{W,B} = 10,00 \left[\frac{kN}{m^3} \right]$

Teilsicherheitsbeiwert (günstig) ... $\gamma_{günstig} = 0,00 [-]$

Teilsicherheitsbeiwert (ungünstig) ... $\gamma_{ungünstig} = 1,20 [-]$ gemäß ON-EN 1991-4 (10)

Kombinationsbeiwert ... $\psi_0 = 1,00 [-]$ gemäß ON-EN 1991-4 (10)

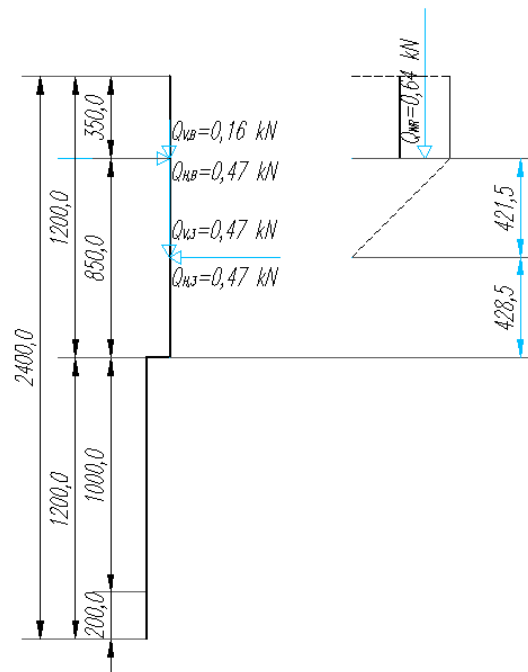


Abbildung 49: Lastbild – Wasserdruck in der Rinne, System inklusive Rinnenkorb

$$Q_{WR} = -\gamma_W \cdot B_{Rinnensohle} \cdot h_{WR} \cdot e_{Rinnenkorb} = -10,00 \cdot 0,21 \cdot 0,30 \cdot 1,00 \\ = -0,64 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,B} = \frac{2 \cdot (B_{Rinnenkorb} - t_{Rinne}) - B_{Rinne}}{2 \cdot B_{Rinnenkorb}} \cdot -Q_{WR} = \frac{2 \cdot (421,5 - 2,0) - 213,0}{2 \cdot 421,5} \cdot 0,64 \\ = +0,47 \text{ [kN]}$$

$$Q_{V,B} = \frac{B_{Rinnensohle} + 2 \cdot t_{Rinne}}{2 \cdot B_{Rinnenkorb}} \cdot Q_{WR} = \frac{213,0 + 2 \cdot 2,0}{2 \cdot 421,5} \cdot -0,64 = -0,16 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,3} = Q_{V,3} = -Q_{H,B} = -0,47 \text{ [kN]}$$

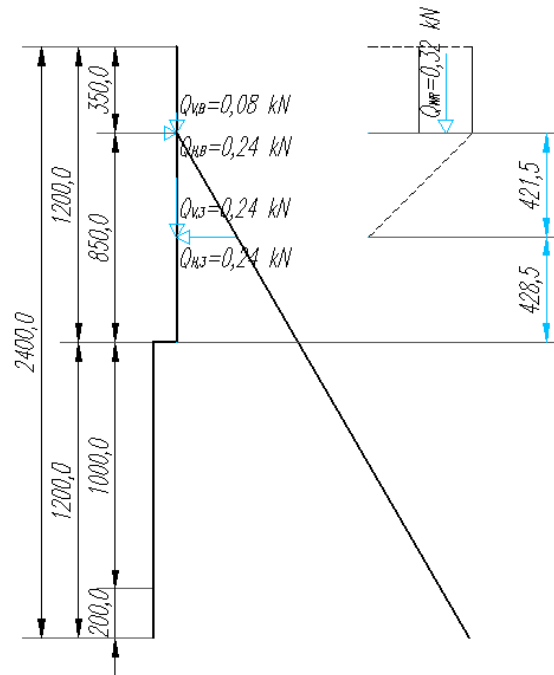


Abbildung 50: Lastbild – Wasserdruck in der Rinne, abgestrebt System

$$Q_{WR} = -\gamma_W \cdot B_{Rinnensohle} \cdot h_{WR} \cdot e_{\Delta} = -10,00 \cdot 0,21 \cdot 0,30 \cdot 0,50 = -0,32 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,B} = \frac{2 \cdot (B_{Rinnenkorb} - t_{Rinne}) - B_{Rinne}}{2 \cdot B_{Rinnenkorb}} \cdot -Q_{WR} = \frac{2 \cdot (421,5 - 2,0) - 213,0}{2 \cdot 421,5} \cdot 0,32$$

$$= +0,24 \text{ [kN]}$$

$$Q_{V,B} = \frac{B_{Rinnensohle} + 2 \cdot t_{Rinne}}{2 \cdot B_{Rinnenkorb}} \cdot Q_{WR} = \frac{213,0 + 2 \cdot 2,0}{2 \cdot 421,5} \cdot -0,32 = -0,08 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,3} = Q_{V,3} = -Q_{H,B} = -0,24 \text{ [kN]}$$

3.2.2.3 Verkehrslast am Rinnenkopf, Lastfall 4, 4a und 4b

Dieser Lastfall setzt sich aus einer am Rinnenkopf angreifenden, vertikal gerichteten Linienlast, einer über den Rinnenrost und das anschließende Gelände verteilten Flächenlast, sowie einer daraus entstehenden horizontalen Erddruckkraft zusammen.

$$\text{Linienlast am Rinnenkopf} \quad \dots Q_V = 5,00 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$\text{Flächenlast am Rinnenrost und Gelände} \quad \dots q_V = 5,00 \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\text{Teilsicherheitsbeiwert (günstig)} \quad \dots \gamma_{\text{günstig}} = 0,00 [-]$$

$$\text{Teilsicherheitsbeiwert (ungünstig)} \quad \dots \gamma_{\text{ungünstig}} = 1,50 [-]$$

$$\text{Kombinationsbeiwert} \quad \dots \psi_0 = 0,70 [-]$$

3.2.2.3.1 Anteil Verkehrslast, Lastfall 4

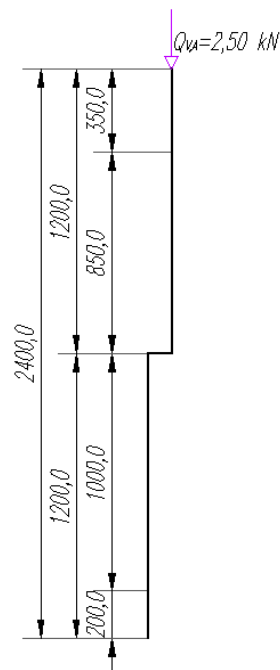


Abbildung 51: Lastbild – Verkehrslast Rinnenkopf, System exklusive Rinnenkorb

$$Q_{V,A} = -Q_V \cdot e_{\text{Rippe}} = -5,00 \cdot 0,50 = -2,50 \text{ [kN]}$$

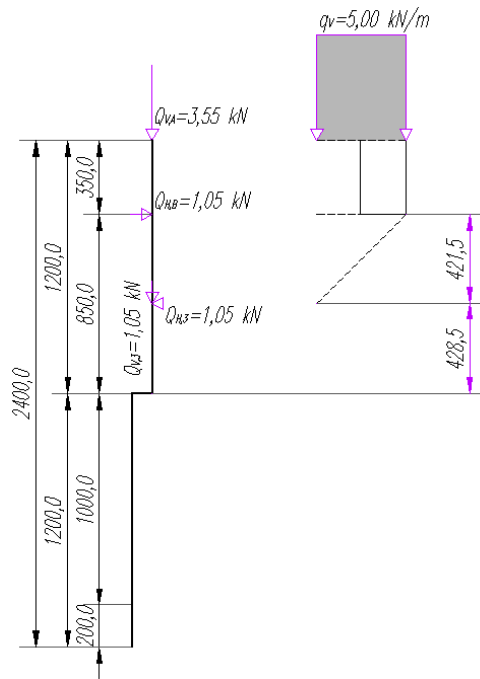


Abbildung 52: Lastbild – Verkehrslast Rinnenkopf, System inklusive Rinnenkorb

$$Q_{V,A} = -Q_V \cdot e_{Rippe} - q_V \cdot \frac{B_{Rinnenkorb}}{2} \cdot e_{Rinnenkorb}$$

$$= -5,00 \cdot 0,50 - 5,00 \cdot \frac{0,42}{2} \cdot 1,00 = -3,55 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,B} = -q_V \cdot \frac{B_{Rinnenkorb}}{2} \cdot e_{Rinnenkorb} = 5,00 \cdot \frac{0,42}{2} \cdot 1,00 = +1,05 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,3} = Q_{V,3} = -q_V \cdot \frac{B_{Rinnenkorb}}{2} \cdot e_{Rinnenkorb} - 5,00 \cdot \frac{0,42}{2} \cdot 1,00 = -1,05 \text{ [kN]}$$

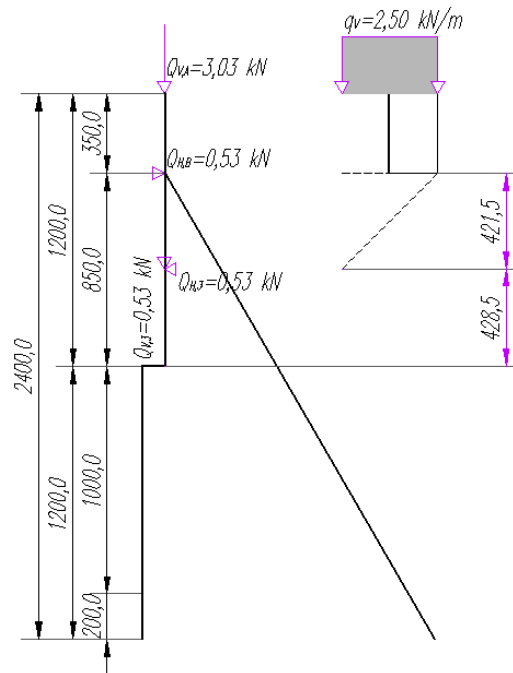


Abbildung 53: Lastbild – Verkehrslast Rinnenkopf, abgestrebt System

$$Q_{V,A} = -Q_V \cdot e_{Rippe} - q_V \cdot \frac{B_{Rinnenkorb}}{2} \cdot e_{\Delta} = -5,00 \cdot 0,50 - 5,00 \cdot \frac{0,42}{2} \cdot 0,50$$

$$= -3,05 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,B} = -q_V \cdot \frac{B_{Rinnenkorb}}{2} \cdot e_{\Delta} = 5,00 \cdot \frac{0,42}{2} \cdot 0,50 = +0,53 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,3} = Q_{V,3} = -q_V \cdot \frac{B_{Rinnenkorb}}{2} \cdot e_{\Delta} - 5,00 \cdot \frac{0,42}{2} \cdot 1,00 = -0,53 \text{ [kN]}$$

3.2.2.3.2 aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast, Lastfall 4a

$$q_{V,H} = -q_V \cdot K_a \cdot e_{Rippe} = -5,00 \cdot 0,33 \cdot 0,50 = -0,83 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

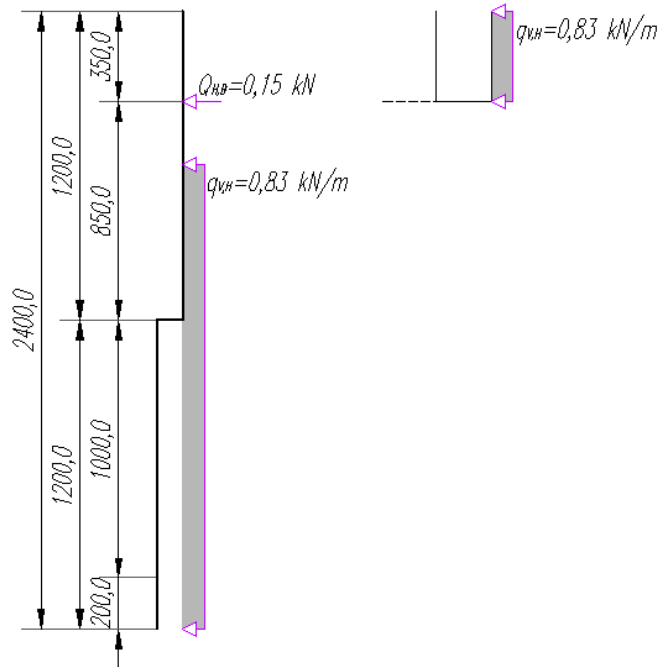


Abbildung 54: Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, System exklusive Rinnenkorb

$$Q_{H,B} = -q_V \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{Rippe} = -5,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 0,50 = -0,15 [kN]$$

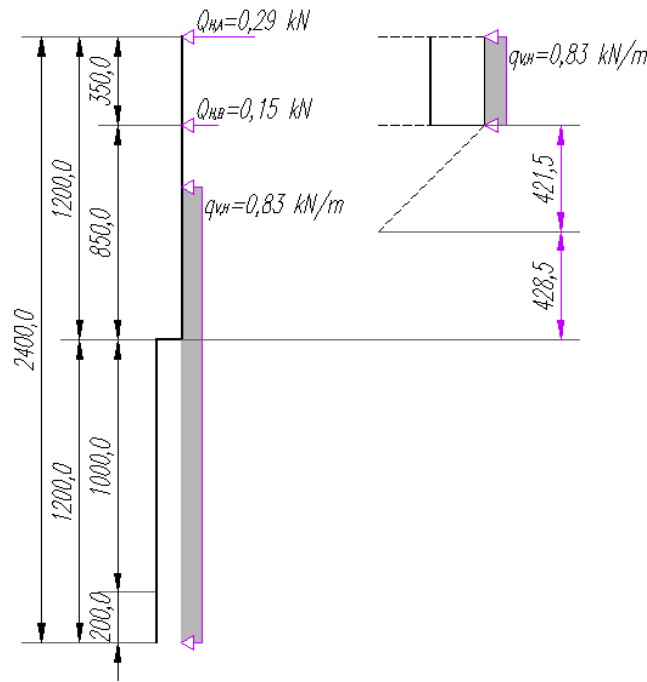


Abbildung 55: Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, System inklusive Rinnenkorb

$$Q_{H,A} = -q_V \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{Rinnenkorb} = -5,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 1,00 = -0,29 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,B} = -q_V \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{Rippe} = -5,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 0,50 = -0,15 \text{ [kN]}$$

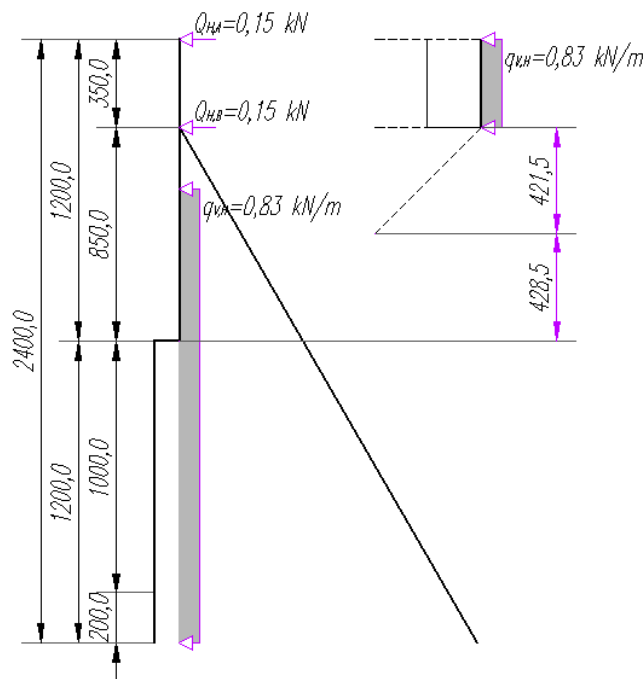


Abbildung 56: Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, abgestrebt System

$$Q_{H,A} = -q_V \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{\Delta} = -5,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 0,50 = -0,15 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,B} = -q_V \cdot K_a \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{\Delta} = -5,00 \cdot 0,33 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 0,50 = -0,15 \text{ [kN]}$$

3.2.2.3.3 Erdruehdruk zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, Lastfall 4b (+)

$$q_{V,H} = -q_V \cdot K_0 \cdot e_{Rippe} = -5,00 \cdot 0,50 \cdot 0,50 = -1,25 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

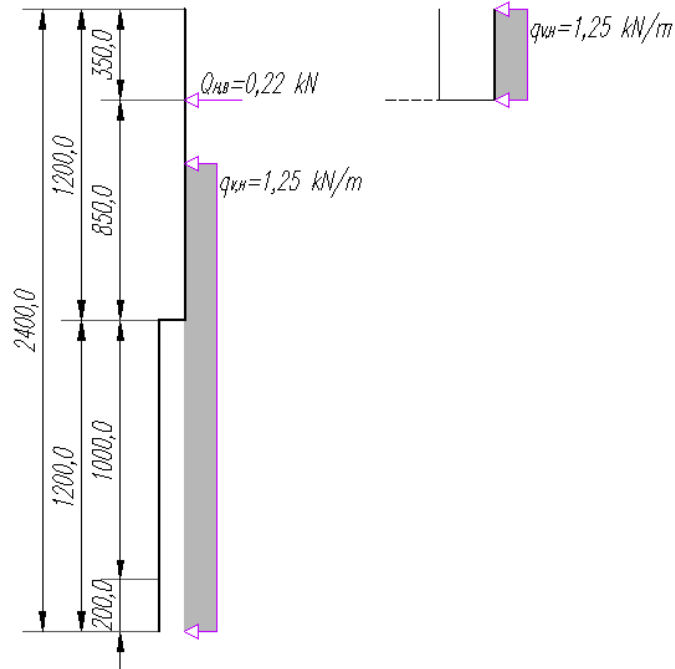


Abbildung 57: Lastbild –Erdruehdruk zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, System exklusive Rinnenkorb

$$Q_{H,B} = -q_V \cdot K_0 \cdot \frac{T_{Rinneso\ hle}}{2} \cdot e_{Rippe} = -5,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 0,50 = -0,22 [kN]$$

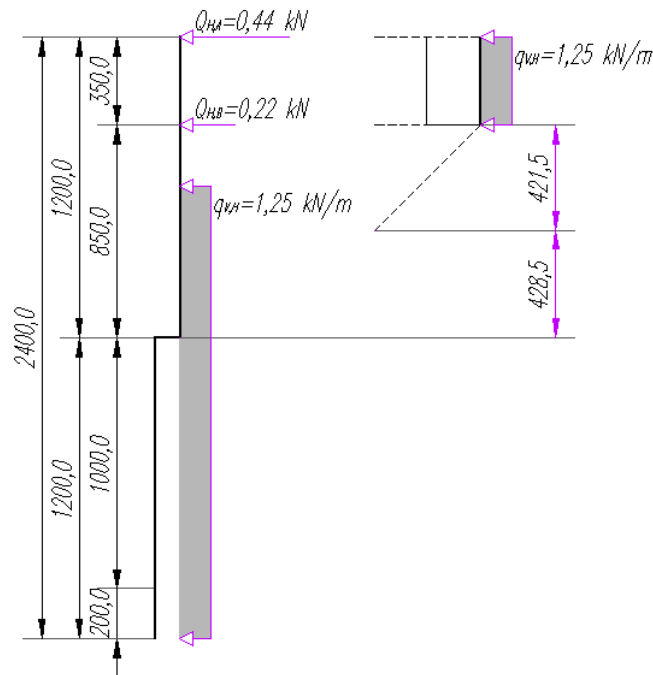


Abbildung 58: Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, System inklusive Rinnenkorb

$$Q_{H,A} = -q_V \cdot K_0 \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{Rinnenkorb} = -5,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 1,00 = -0,44 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,B} = -q_V \cdot K_0 \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{Rippe} = -5,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 0,50 = -0,22 \text{ [kN]}$$

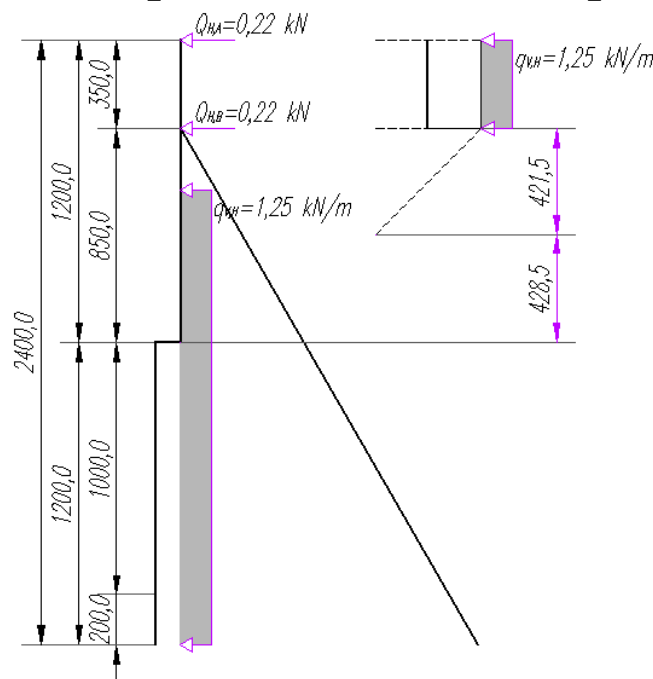


Abbildung 59: Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, abgestrebt System

$$Q_{H,A} = q_{V,H} \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{\Delta} = -5,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 0,50 = -0,22 \text{ [kN]}$$

$$Q_{H,B} = q_{V,H} \cdot \frac{T_{Rinnensohle}}{2} \cdot e_{\Delta} = -5,00 \cdot 0,50 \cdot \frac{0,35}{2} \cdot 0,50 = -0,22 \text{ [kN]}$$

3.2.2.4 Verkehrslast an der Trittstufe, Lastfall 5 (+)

Die Verkehrsbelastung folgt aus der Annahme einer Trittstufenbesetzung von zwei Personen pro Meter Länge. Der daraus entstehenden Systemeinvirkung wird ein Gewicht von $Q_P = 1,50 \left[\frac{kN}{Person} \right]$ und eine Wasserverdrängung von $V_W = 0,03 \left[\frac{m^3}{Person} \right]$ zugrundegelegt.

Teilsicherheitsbeiwert (günstig) ... $\gamma_{günstig} = 0,00 [-]$

Teilsicherheitsbeiwert (ungünstig) ... $\gamma_{ungünstig} = 1,50 [-]$

Kombinationsbeiwert ... $\psi_0 = 0,70 [-]$

$$\begin{aligned} Q_{V,4} &= 2 \cdot (V_W \cdot \gamma_W - Q_P) \cdot e_{Rippe} = 2 \cdot (0,03 \cdot 10,00 - 1,50) \cdot 0,50 \\ &= -1,20 [kN] \end{aligned}$$

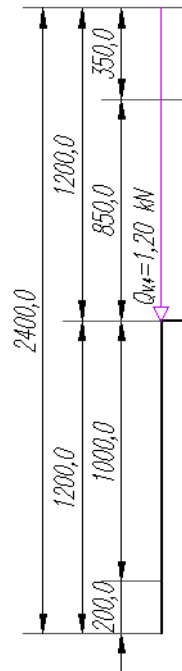


Abbildung 60: Lastbild – Verkehrslast an der Trittstufe, alle Systeme

3.2.2.5 Temperatur, Lastfall 6 (+)

Bei geleertem Becken im Außenbereich und dahinterliegendem, unbewittertem Wartungsgang führt eine Temperaturgradiente zu einer von der Konstruktionshöhe abhängigen Systemverkrümmung.

Außentemperatur	... $T_a = -15,00$ [°C]
Innentemperatur	... $T_i = +20,00$ [°C]
Temperaturausdehnungskoeffizient	... $\alpha_T = 1,20 \cdot 10^{-5}$ $\left[\frac{1}{K}\right]$
Teilsicherheitsbeiwert (günstig)	... $\gamma_{günstig} = 0,00$ [-]
Teilsicherheitsbeiwert (ungünstig)	... $\gamma_{ungünstig} = 1,50$ [-]
Kombinationsbeiwert	... $\psi_0 = 0,60$ [-]

$$\kappa_A = \frac{\Delta T}{h_{Rippe} + t_{Wand}} \cdot \alpha_T = 10^3 \cdot \frac{20,00 + 15,00}{110,0 + 2,5} \cdot 1,20 \cdot 10^{-2} = 3,73 \left[\frac{mrad}{m}\right]$$

$$\begin{aligned} \kappa_4 &= \frac{\Delta T}{h_{Rippe} + B_{Stufe} + t_{Wand}} \cdot \alpha_T = 10^3 \cdot \frac{20,00 + 15,00}{110,0 + 100,0 + 2,5} \cdot 1,20 \cdot 10^{-2} \\ &= 1,98 \left[\frac{mrad}{m}\right] \end{aligned}$$

$$\kappa_5 = \frac{\Delta T}{h_{Rippe}} \cdot \alpha_T = 10^3 \cdot \frac{20,00 + 15,00}{110,0} \cdot 1,20 \cdot 10^{-2} = 3,82 \left[\frac{mrad}{m}\right]$$

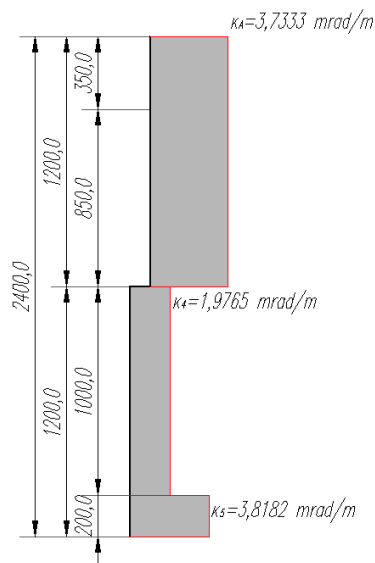


Abbildung 61: Lastbild – Temperatur, alle Systeme

3.2.2.6 Reaktionskräfte aus sekundären Tragsystemen

Um die Gleichgewichtsbedingungen zu erfüllen ist die Summe aller Federkräfte aus den elastisch gelagerten Tragstrukturen als zusätzliche Einwirkung auf den Dreigelenkrahmen anzusetzen. Es handelt sich hier daher nicht um einen eigenständigen Lastfall, sondern um eine von der Lastfallüberlagerung abhängige Kraftgröße, welche gleichzeitig die Berechnungsabfolge der Einzelsysteme bestimmt.

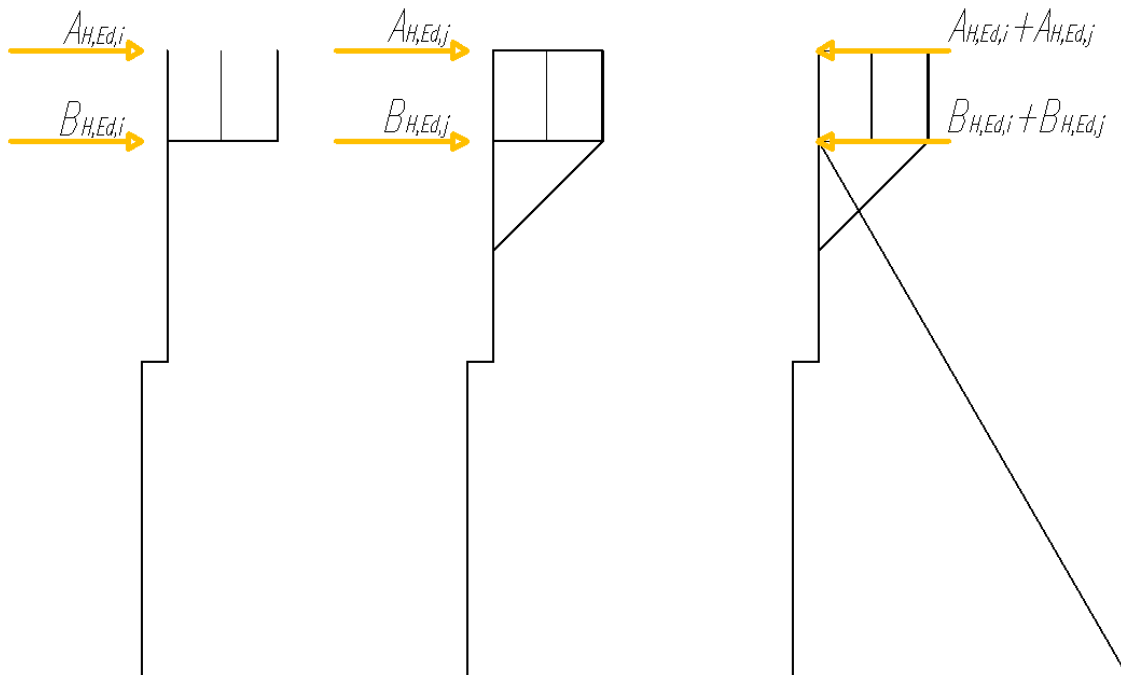


Abbildung 62: Lastbild – Reaktionskräfte aus sekundären Tragsystemen

3.3 Lastfallkombinationen

Die optionale Ausführbarkeit als Frei- oder Hallenbadanlage erfordert die Aufstellung zweier voneinander unabhängiger Lastfallkombinationstabellen, welche den Erddruck zufolge Eigengewicht und Verkehrsbelastung miteinschließen beziehungsweise unterdrücken. Im Falle eines wirksamen Wasserdruckes im Becken entsprechend 4.1.2.1 wird von positiven Systemverformungen ausgegangen und die aus dem Erddruck resultierende Last für den Erdruckdruckbeiwert K_0 bestimmt. Demzufolge schließen sich Lastfall 1a und 1b sowie 5a und 5b stets voneinander aus. Die eben getroffenen Annahmen führen bei Freibadanlagen im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) zu einhundertundsechs und in allen übrigen Fällen zu zweiundfünfzig Kombinationsmöglichkeiten, welche sich aus dem Summenprodukt der Einzellastfälle mit den entsprechenden γ_i - beziehungsweise $\gamma_i \cdot \psi_0$ -Faktoren ergeben und in nachstehenden Tabellen für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit beider Anlagentypen angeführt sind.

3.3.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit – ULS

3.3.1.1 Freibadanlagen

Tabelle 13: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Freibadanlagen

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
1	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-	-	1,35	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	-	0	1	1,2	0	0	0	0	0	0
4	2	-	0	1,35	1,2	0	0	0	0	0	0
5	2	3	0	1	1,2	1,2	0	0	0	0	0
6	2	3	0	1,35	1,2	1,2	0	0	0	0	0
7	2	4	0	1	1,2	0	1,05	0	1,05	0	0
8	2	4	0	1,35	1,2	0	1,05	0	1,05	0	0
9	2	5	0	1	1,2	0	0	0	0	1,05	0
10	2	5	0	1,35	1,2	0	0	0	0	1,05	0
11	2	3, 4	0	1	1,2	1,2	1,05	0	1,05	0	0
12	2	3, 4	0	1,35	1,2	1,2	1,05	0	1,05	0	0
13	2	3, 5	0	1	1,2	1,2	0	0	0	1,05	0
14	2	3, 5	0	1,35	1,2	1,2	0	0	0	1,05	0
15	2	4, 5	0	1	1,2	0	1,05	0	1,05	1,05	0
16	2	4, 5	0	1,35	1,2	0	1,05	0	1,05	1,05	0
17	2	3, 4, 5	0	1	1,2	1,2	1,05	0	1,05	1,05	0
18	2	3, 4, 5	0	1,35	1,2	1,2	1,05	0	1,05	1,05	0
19	3	-	1	0	0	1,2	0	0	0	0	0

Tabelle 13: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Freibadanlagen – Fortsetzung

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
20	3	-	1,35	0	0	1,2	0	0	0	0	0
21	3	2	0	1	1,2	1,2	0	0	0	0	0
22	3	2	0	1,35	1,2	1,2	0	0	0	0	0
23	3	4	1	0	0	1,2	1,05	1,05	0	0	0
24	3	4	1,35	0	0	1,2	1,05	1,05	0	0	0
25	3	5	1	0	0	1,2	0	0	0	1,05	0
26	3	5	1,35	0	0	1,2	0	0	0	1,05	0
27	3	2, 4	0	1	1,2	1,2	1,05	0	1,05	0	0
28	3	2, 4	0	1,35	1,2	1,2	1,05	0	1,05	0	0
29	3	2, 5	0	1	1,2	1,2	0	0	0	1,05	0
30	3	2, 5	0	1,35	1,2	1,2	0	0	0	1,05	0
31	3	4, 5	1	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,05	0
32	3	4, 5	1,35	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,05	0
33	3	2, 4, 5	0	1	1,2	1,2	1,05	0	1,05	1,05	0
34	3	2, 4, 5	0	1,35	1,2	1,2	1,05	0	1,05	1,05	0
35	4	-	1	0	0	0	1,5	1,5	0	0	0
36	4	-	1,35	0	0	0	1,5	1,5	0	0	0
37	4	2	0	1	1,2	0	1,5	0	1,5	0	0
38	4	2	0	1,35	1,2	0	1,5	0	1,5	0	0
39	4	3	1	0	0	1,2	1,5	1,5	0	0	0
40	4	3	1,35	0	0	1,2	1,5	1,5	0	0	0
41	4	5	1	0	0	0	1,5	1,5	0	1,05	0
42	4	5	1,35	0	0	0	1,5	1,5	0	1,05	0
43	4	2, 3	0	1	1,2	1,2	1,5	0	1,5	0	0
44	4	2, 3	0	1,35	1,2	1,2	1,5	0	1,5	0	0
45	4	2, 5	0	1	1,2	0	1,5	0	1,5	1,05	0
46	4	2, 5	0	1,35	1,2	0	1,5	0	1,5	1,05	0
47	4	3, 5	1	0	0	1,2	1,5	1,5	0	1,05	0
48	4	3, 5	1,35	0	0	1,2	1,5	1,5	0	1,05	0
49	4	2, 3, 5	0	1	1,2	1,2	1,5	0	1,5	1,05	0
50	4	2, 3, 5	0	1,35	1,2	1,2	1,5	0	1,5	1,05	0
51	5	-	1	0	0	0	0	0	0	1,5	0
52	5	-	1,35	0	0	0	0	0	0	1,5	0
53	5	2	0	1	1,2	0	0	0	0	1,5	0
54	5	2	0	1,35	1,2	0	0	0	0	1,5	0
55	5	3	1	0	0	1,2	0	0	0	1,5	0
56	5	3	1,35	0	0	1,2	0	0	0	1,5	0
57	5	4	1	0	0	0	1,05	1,05	0	1,5	0
58	5	4	1,35	0	0	0	1,05	1,05	0	1,5	0

Tabelle 13: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Freibadanlagen – Fortsetzung

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
59	5	2, 3	0	1	1,2	1,2	0	0	0	1,5	0
60	5	2, 3	0	1,35	1,2	1,2	0	0	0	1,5	0
61	5	2, 4	0	1	1,2	0	1,05	0	1,05	1,5	0
62	5	2, 4	0	1,35	1,2	0	1,05	0	1,05	1,5	0
63	5	3, 4	1	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,5	0
64	5	3, 4	1,35	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,5	0
65	5	2, 3, 4	0	1	1,2	1,2	1,05	0	1,05	1,5	0
66	5	2, 3, 4	0	1,35	1,2	1,2	1,05	0	1,05	1,5	0
67	6	-	1	0	0	0	0	0	0	0	1,5
68	6	-	1,35	0	0	0	0	0	0	0	1,5
69	6	3	1	0	0	1,2	0	0	0	0	1,5
70	6	3	1,35	0	0	1,2	0	0	0	0	1,5
71	6	4	1	0	0	0	1,05	1,05	0	0	1,5
72	6	4	1,35	0	0	0	1,05	1,05	0	0	1,5
73	6	5	1	0	0	0	0	0	0	1,05	1,5
74	6	5	1,35	0	0	0	0	0	0	1,05	1,5
75	6	3, 4	1	0	0	1,2	1,05	1,05	0	0	1,5
76	6	3, 4	1,35	0	0	1,2	1,05	1,05	0	0	1,5
77	6	3, 5	1	0	0	1,2	0	0	0	1,05	1,5
78	6	3, 5	1,35	0	0	1,2	0	0	0	1,05	1,5
79	6	4, 5	1	0	0	0	1,05	1,05	0	1,05	1,5
80	6	4, 5	1,35	0	0	0	1,05	1,05	0	1,05	1,5
81	6	3, 4, 5	1	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,05	1,5
82	6	3, 4, 5	1,35	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,05	1,5
83	3	6	1	0	0	1,2	0	0	0	0	0,9
84	3	6	1,35	0	0	1,2	0	0	0	0	0,9
85	3	4, 6	1	0	0	1,2	1,05	1,05	0	0	0,9
86	3	4, 6	1,35	0	0	1,2	1,05	1,05	0	0	0,9
87	3	5, 6	1	0	0	1,2	0	0	0	1,05	0,9
88	3	5, 6	1,35	0	0	1,2	0	0	0	1,05	0,9
89	3	4, 5, 6	1	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,05	0,9
90	3	4, 5, 6	1,35	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,05	0,9
91	4	6	1	0	0	0	1,5	1,5	0	0	0,9
92	4	6	1,35	0	0	0	1,5	1,5	0	0	0,9
93	4	3, 6	1	0	0	1,2	1,5	1,5	0	0	0,9
94	4	3, 6	1,35	0	0	1,2	1,5	1,5	0	0	0,9
95	4	5, 6	1	0	0	0	1,5	1,5	0	1,05	0,9
96	4	5, 6	1,35	0	0	0	1,5	1,5	0	1,05	0,9
97	4	3, 5, 6	1	0	0	1,2	1,5	1,5	0	1,05	0,9

Tabelle 13: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Freibadanlagen – Fortsetzung

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
98	4	3, 5, 6	1,35	0	0	1,2	1,5	1,5	0	1,05	0,9
99	5	6	1	0	0	0	0	0	0	1,5	0,9
100	5	6	1,35	0	0	0	0	0	0	1,5	0,9
101	5	3, 6	1	0	0	1,2	0	0	0	1,5	0,9
102	5	3, 6	1,35	0	0	1,2	0	0	0	1,5	0,9
103	5	4, 6	1	0	0	0	1,05	1,05	0	1,5	0,9
104	5	4, 6	1,35	0	0	0	1,05	1,05	0	1,5	0,9
105	5	3, 4, 6	1	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,5	0,9
106	5	3, 4, 6	1,35	0	0	1,2	1,05	1,05	0	1,5	0,9

3.3.1.2 Hallenbadanlagen

Tabelle 14: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Hallenbadanlagen

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
1	2	-	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0
2	2	3	0	0	1,2	1,2	0	0	0	0	0
3	2	4	0	0	1,2	0	1,05	0	0	0	0
4	2	5	0	0	1,2	0	0	0	0	1,05	0
5	2	3, 4	0	0	1,2	1,2	1,05	0	0	0	0
6	2	3, 5	0	0	1,2	1,2	0	0	0	1,05	0
7	2	4, 5	0	0	1,2	0	1,05	0	0	1,05	0
8	2	3, 4, 5	0	0	1,2	1,2	1,05	0	0	1,05	0
9	3	-	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0
10	3	2	0	0	1,2	1,2	0	0	0	0	0
11	3	4	0	0	0	1,2	1,05	0	0	0	0
12	3	5	0	0	0	1,2	0	0	0	1,05	0
13	3	2, 4	0	0	1,2	1,2	1,05	0	0	0	0
14	3	2, 5	0	0	1,2	1,2	0	0	0	1,05	0
15	3	4, 5	0	0	0	1,2	1,05	0	0	1,05	0
16	3	2, 4, 5	0	0	1,2	1,2	1,05	0	0	1,05	0
17	4	-	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0
18	4	2	0	0	1,2	0	1,5	0	0	0	0
19	4	3	0	0	0	1,2	1,5	0	0	0	0
20	4	5	0	0	0	0	1,5	0	0	1,05	0
21	4	2, 3	0	0	1,2	1,2	1,5	0	0	0	0
22	4	2, 5	0	0	1,2	0	1,5	0	0	1,05	0
23	4	3, 5	0	0	0	1,2	1,5	0	0	1,05	0
24	4	2, 3, 5	0	0	1,2	1,2	1,5	0	0	1,05	0
25	5	-	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0
26	5	2	0	0	1,2	0	0	0	0	1,5	0
27	5	3	0	0	0	1,2	0	0	0	1,5	0
28	5	4	0	0	0	0	1,05	0	0	1,5	0
29	5	2, 3	0	0	1,2	1,2	0	0	0	1,5	0
30	5	2, 4	0	0	1,2	0	1,05	0	0	1,5	0
31	5	3, 4	0	0	0	1,2	1,05	0	0	1,5	0
32	5	2, 3, 4	0	0	1,2	1,2	1,05	0	0	1,5	0
33	6	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5
34	6	3	0	0	0	1,2	0	0	0	0	1,5
35	6	4	0	0	0	0	1,05	0	0	0	1,5
36	6	5	0	0	0	0	0	0	0	1,05	1,5

Tabelle 14: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Hallenbadanlagen – Fortsetzung

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
37	6	3, 4	0	0	0	1,2	1,05	0	0	0	1,5
38	6	3, 5	0	0	0	1,2	0	0	0	1,05	1,5
39	6	4, 5	0	0	0	0	1,05	0	0	1,05	1,5
40	6	3, 4, 5	0	0	0	1,2	1,05	0	0	1,05	1,5
41	3	6	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0,9
42	3	4, 6	0	0	0	1,2	1,05	0	0	0	0,9
43	3	5, 6	0	0	0	1,2	0	0	0	1,05	0,9
44	3	4, 5, 6	0	0	0	1,2	1,05	0	0	1,05	0,9
45	4	6	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0,9
46	4	3, 6	0	0	0	1,2	1,5	0	0	0	0,9
47	4	5, 6	0	0	0	0	1,5	0	0	1,05	0,9
48	4	3, 5, 6	0	0	0	1,2	1,5	0	0	1,05	0,9
49	5	6	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0,9
50	5	3, 6	0	0	0	1,2	0	0	0	1,5	0,9
51	5	4, 6	0	0	0	0	1,05	0	0	1,5	0,9
52	5	3, 4, 6	0	0	0	1,2	1,05	0	0	1,5	0,9

3.3.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit – SLS

3.3.2.1 Freibadanlagen

Tabelle 15: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von Freibadanlagen

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
1	-	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	-	0	1	1	0	0	0	0	0	0
5	2	3	0	1	1	1	0	0	0	0	0
7	2	4	0	1	1	0	0,7	0	0,7	0	0
9	2	5	0	1	1	0	0	0	0	0,7	0
11	2	3, 4	0	1	1	1	0,7	0	0,7	0	0
13	2	3, 5	0	1	1	1	0	0	0	0,7	0
15	2	4, 5	0	1	1	0	0,7	0	0,7	0,7	0
17	2	3, 4, 5	0	1	1	1	0,7	0	0,7	0,7	0
19	3	-	1	0	0	1	0	0	0	0	0
21	3	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0
23	3	4	1	0	0	1	0,7	0,7	0	0	0
25	3	5	1	0	0	1	0	0	0	0,7	0
27	3	2, 4	0	1	1	1	0,7	0	0,7	0	0
29	3	2, 5	0	1	1	1	0	0	0	0,7	0
31	3	4, 5	1	0	0	1	0,7	0,7	0	0,7	0
33	3	2, 4, 5	0	1	1	1	0,7	0	0,7	0,7	0
35	4	-	1	0	0	0	1	1	0	0	0
37	4	2	0	1	1	0	1	0	1	0	0
39	4	3	1	0	0	1	1	1	0	0	0
41	4	5	1	0	0	0	1	1	0	0,7	0
43	4	2, 3	0	1	1	1	1	0	1	0	0
45	4	2, 5	0	1	1	0	1	0	1	0,7	0
47	4	3, 5	1	0	0	1	1	1	0	0,7	0
49	4	2, 3, 5	0	1	1	1	1	0	1	0,7	0
51	5	-	1	0	0	0	0	0	0	1	0
53	5	2	0	1	1	0	0	0	0	1	0
55	5	3	1	0	0	1	0	0	0	1	0
57	5	4	1	0	0	0	0,7	0,7	0	1	0
59	5	2, 3	0	1	1	1	0	0	0	1	0
61	5	2, 4	0	1	1	0	0,7	0	0,7	1	0
63	5	3, 4	1	0	0	1	0,7	0,7	0	1	0
65	5	2, 3, 4	0	1	1	1	0,7	0	0,7	1	0
67	6	-	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabelle 15: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von Freibadanlagen – Fortsetzung

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
69	6	3	1	0	0	1	0	0	0	0	1
71	6	4	1	0	0	0	0,7	0,7	0	0	1
73	6	5	1	0	0	0	0	0	0	0,7	1
75	6	3, 4	1	0	0	1	0,7	0,7	0	0	1
77	6	3, 5	1	0	0	1	0	0	0	0,7	1
79	6	4, 5	1	0	0	0	0,7	0,7	0	0,7	1
81	6	3, 4, 5	1	0	0	1	0,7	0,7	0	0,7	1
83	3	6	1	0	0	1	0	0	0	0	0,6
85	3	4, 6	1	0	0	1	0,7	0,7	0	0	0,6
87	3	5, 6	1	0	0	1	0	0	0	0,7	0,6
89	3	4, 5, 6	1	0	0	1	0,7	0,7	0	0,7	0,6
91	4	6	1	0	0	0	1	1	0	0	0,6
93	4	3, 6	1	0	0	1	1	1	0	0	0,6
95	4	5, 6	1	0	0	0	1	1	0	0,7	0,6
97	4	3, 5, 6	1	0	0	1	1	1	0	0,7	0,6
99	5	6	1	0	0	0	0	0	0	1	0,6
101	5	3, 6	1	0	0	1	0	0	0	1	0,6
103	5	4, 6	1	0	0	0	0,7	0,7	0	1	0,6
105	5	3, 4, 6	1	0	0	1	0,7	0,7	0	1	0,6

3.3.2.2 Hallenbadanlagen

Tabelle 16: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von Hallenbadanlagen

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
1	2	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0
2	2	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0
3	2	4	0	0	1	0	0,7	0	0	0	0
4	2	5	0	0	1	0	0	0	0	0,7	0
5	2	3, 4	0	0	1	1	0,7	0	0	0	0
6	2	3, 5	0	0	1	1	0	0	0	0,7	0
7	2	4, 5	0	0	1	0	0,7	0	0	0,7	0
8	2	3, 4, 5	0	0	1	1	0,7	0	0	0,7	0
9	3	-	0	0	0	1	0	0	0	0	0
10	3	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0
11	3	4	0	0	0	1	0,7	0	0	0	0
12	3	5	0	0	0	1	0	0	0	0,7	0
13	3	2, 4	0	0	1	1	0,7	0	0	0	0
14	3	2, 5	0	0	1	1	0	0	0	0,7	0
15	3	4, 5	0	0	0	1	0,7	0	0	0,7	0
16	3	2, 4, 5	0	0	1	1	0,7	0	0	0,7	0
17	4	-	0	0	0	0	1	0	0	0	0
18	4	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0
19	4	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0
20	4	5	0	0	0	0	1	0	0	0,7	0
21	4	2, 3	0	0	1	1	1	0	0	0	0
22	4	2, 5	0	0	1	0	1	0	0	0,7	0
23	4	3, 5	0	0	0	1	1	0	0	0,7	0
24	4	2, 3, 5	0	0	1	1	1	0	0	0,7	0
25	5	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0
26	5	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0
27	5	3	0	0	0	1	0	0	0	1	0
28	5	4	0	0	0	0	0,7	0	0	1	0
29	5	2, 3	0	0	1	1	0	0	0	1	0
30	5	2, 4	0	0	1	0	0,7	0	0	1	0
31	5	3, 4	0	0	0	1	0,7	0	0	1	0
32	5	2, 3, 4	0	0	1	1	0,7	0	0	1	0
33	6	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1
34	6	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1
35	6	4	0	0	0	0	0,7	0	0	0	1
36	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1

Tabelle 16: Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von Hallenbadanlagen – Fortsetzung

LK	Leiteinwirkung	Begleit- einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
37	6	3, 4	0	0	0	1	0,7	0	0	0	1
38	6	3, 5	0	0	0	1	0	0	0	0,7	1
39	6	4, 5	0	0	0	0	0,7	0	0	0,7	1
40	6	3, 4, 5	0	0	0	1	0,7	0	0	0,7	1
41	3	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0,9
42	3	4, 6	0	0	0	1	0,7	0	0	0	0,9
43	3	5, 6	0	0	0	1	0	0	0	0,7	0,9
44	3	4, 5, 6	0	0	0	1	0,7	0	0	0,7	0,9
45	4	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0,9
46	4	3, 6	0	0	0	1	1	0	0	0	0,9
47	4	5, 6	0	0	0	0	1	0	0	0,7	0,9
48	4	3, 5, 6	0	0	0	1	1	0	0	0,7	0,9
49	5	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0,9
50	5	3, 6	0	0	0	1	0	0	0	1	0,9
51	5	4, 6	0	0	0	0	0,7	0	0	1	0,9
52	5	3, 4, 6	0	0	0	1	0,7	0	0	1	0,9

4. Systemberechnung und Ergebnisauswertung

Das in diesem Abschnitt erläuterte Verfahren zur Systemberechnung und Ergebnisauswertung wird durch Zahlenwerte des bisher verwendeten Beispiels einer Freibadkonstruktion gemäß Abbildung 13 veranschaulicht. In Ergänzung dazu findet ein Vergleich der Schnittkräfte für die führende Kraftgröße mit den Ergebniswerten aus der bisherigen Systemmodellierung gemäß Abbildung 9 (mit festem Lager am Rinnenboden, freiem Kragarmende und ohne Exzentrizität an der Trittstufe) statt. Positive Abweichungen $\delta = \frac{X_{Ed, System\ Alt} - X_{Ed, System\ Neu}}{X_{Ed, System\ Neu}}$ bedeuten dabei eine betragsmäßige Vergrößerung und negative eine Verkleinerung der Schnittkräfte gegenüber der alten Systemmodellierung. Damit schließt ein wesentlicher Teil der vorliegenden Arbeit, auf dessen Grundlage die gesamte Nachweisführung am Querschnitt und Bauteil beruht.

4.1 Auflager-, Schnittkraft- und Verformungsberechnung

Die statische Berechnung beider Tragsysteme erfolgt einschließlich aller bisher getroffenen Annahmen innerhalb eines auf der Basis von Microsoft Excel und Microsoft Visual Basic erstellten Lösungsprogrammes. Der Benutzer hat darin die Möglichkeit sämtliche Geometrieparameter und Belastungsgrößen frei einzugeben, sowie Berechnungsoptionen hinsichtlich Anlagentyp, Material und Querschnittstyp anzupassen.

Neben der Ausgabe aller Auflagerreaktionen erfolgt die Berechnung der inneren Kräfte N_{Ed} , V_{Ed} und M_{Ed} , sowie Horizontalverformungen w_{Ed} an einundzwanzig Punkten äquidistanter Abstände innerhalb eines jeden der sechs Belastungsabschnitte gemäß Abbildung 36 (20 Stabteile). Im Falle der statischen Unbestimmtheit des Systems zwischen den Abstreben wird nach der Kraftgrößenmethode vorgegangen und die numerische Integration der virtuellen Arbeit intern nach der summierten Regel von Simpson geführt.

4.1.1 Verifikation der Berechnungsergebnisse

Alle Ergebnisse resultieren aus Lastfallkombinationen, welche aus einer Summe der um die Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte modifizierten Einzellastfälle bestehen (Tabelle 13 bis Tabelle 16). Demgemäß findet die Verifikation der Systemberechnung für ausgewählte in 3.1 dargestellte Einwirkungsbilder statt. Stellvertretend für die Streckenlastfälle (1a, 1b, 2, 4a, 4b) wird Lastfall 1a, für die Einzellastfälle (3, 5) Lastfall 3 und die Temperatureinwirkung Lastfall 6 überprüft. Die für den folgenden Vergleich lokaler Extremwerte erforderlichen Schnittkräfte und Verformungen werden mit dem 2-D Stabstatikprogramm RuckZuck(1) ermittelt.

4.1.1.1 Prüfung der Ergebnisse von Lastfall 1a

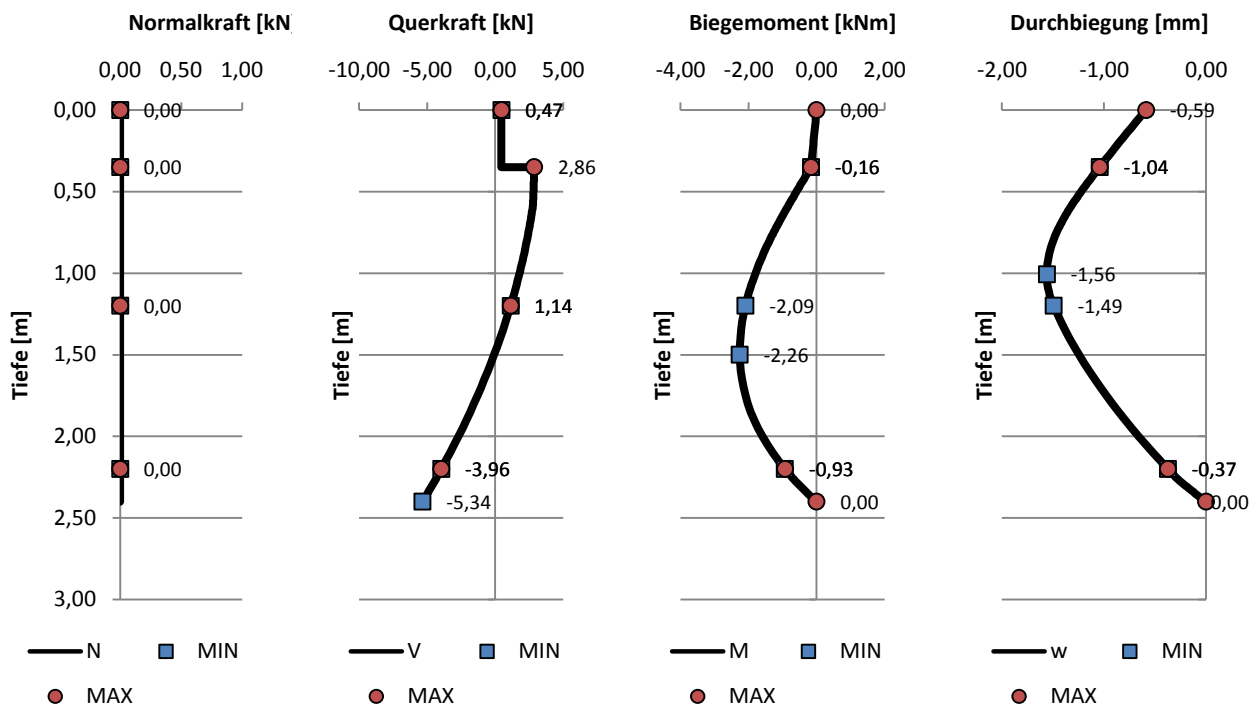


Abbildung 63: Kraft- und Weggrößen am System exklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 1a

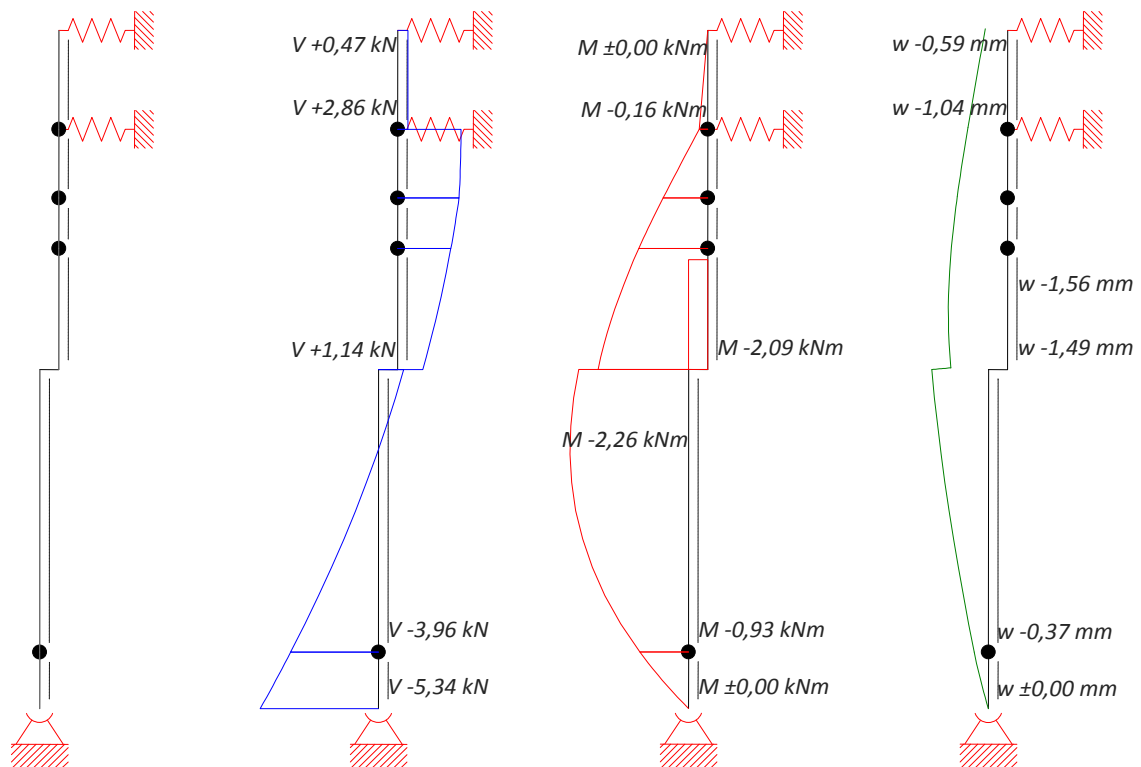


Abbildung 64: Kraft- und Weggrößen am System exklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 1a (RuckZuck)

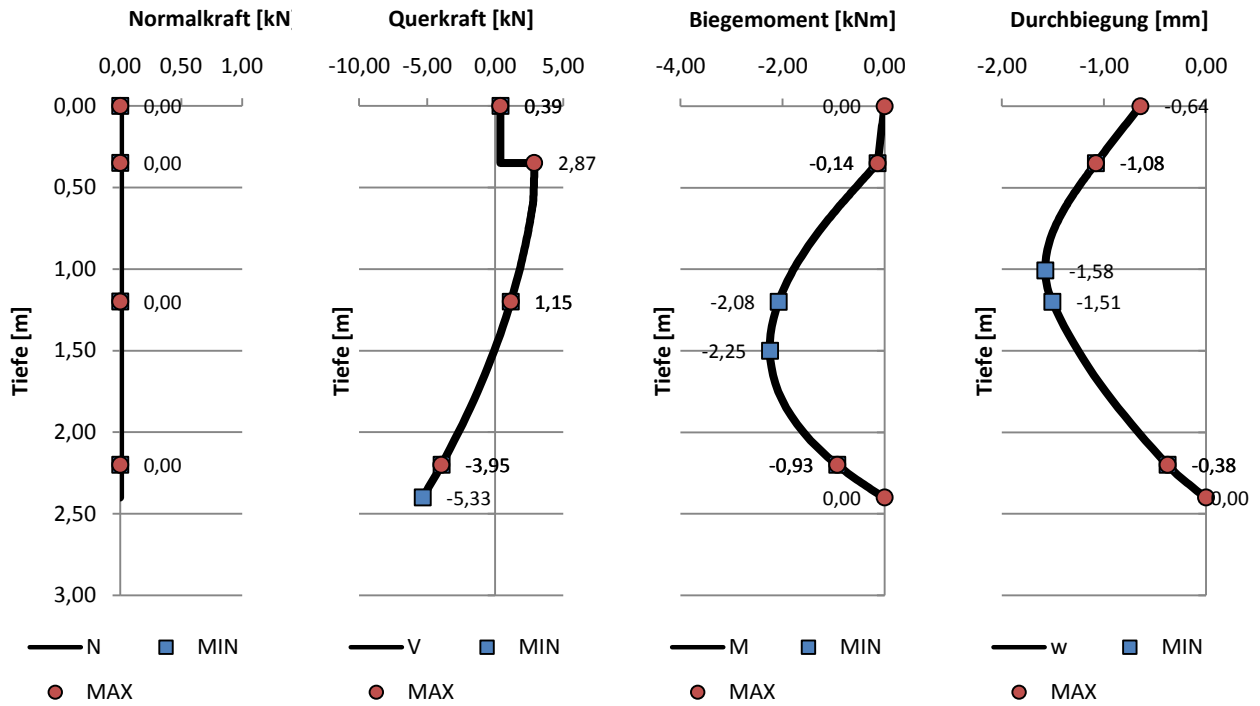


Abbildung 65: Kraft- und Weggrößen am System inklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 1a

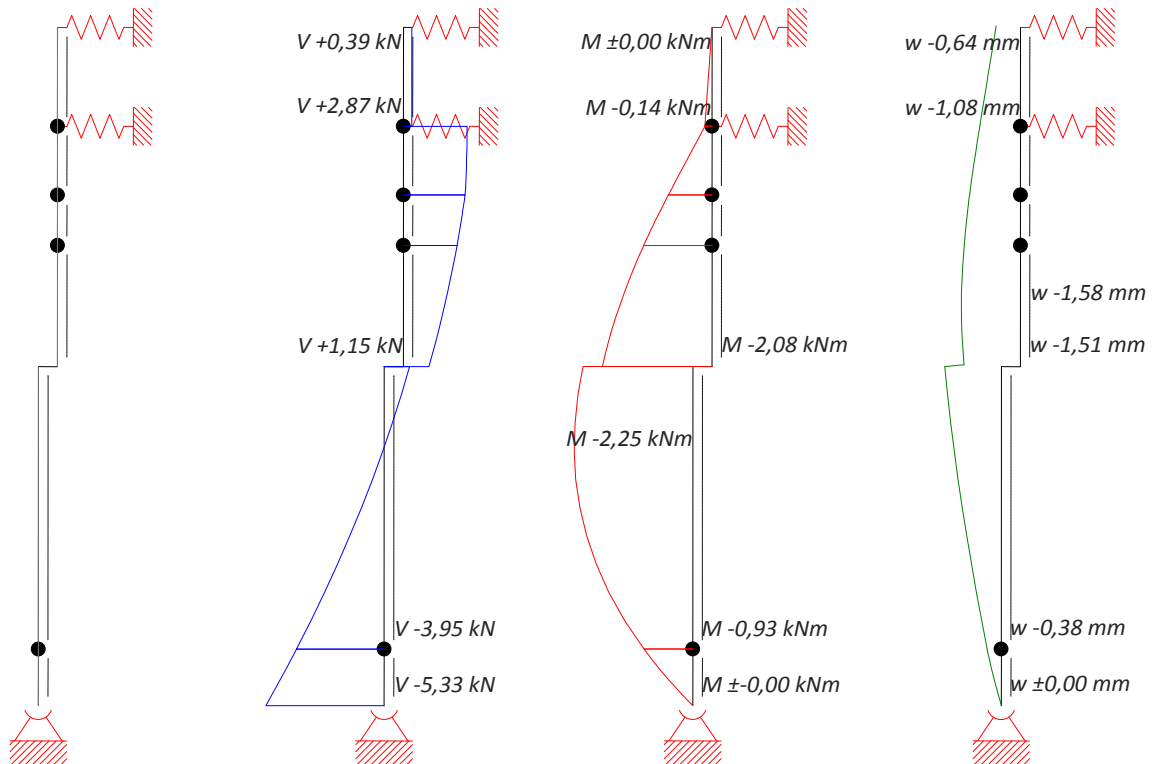


Abbildung 66: Kraft- und Weggrößen am System inklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 1a (RuckZuck)

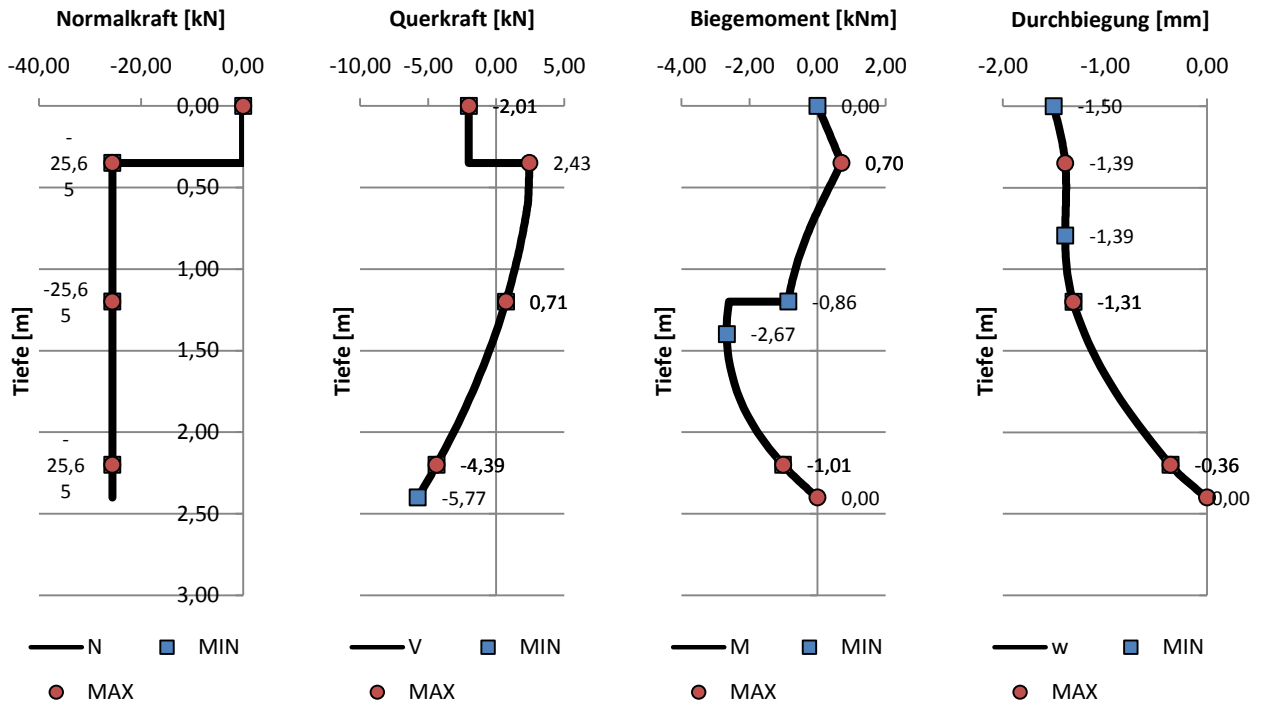


Abbildung 67: Kraft- und Weggrößen am abgestrebten System zufolge Lastfall 1a

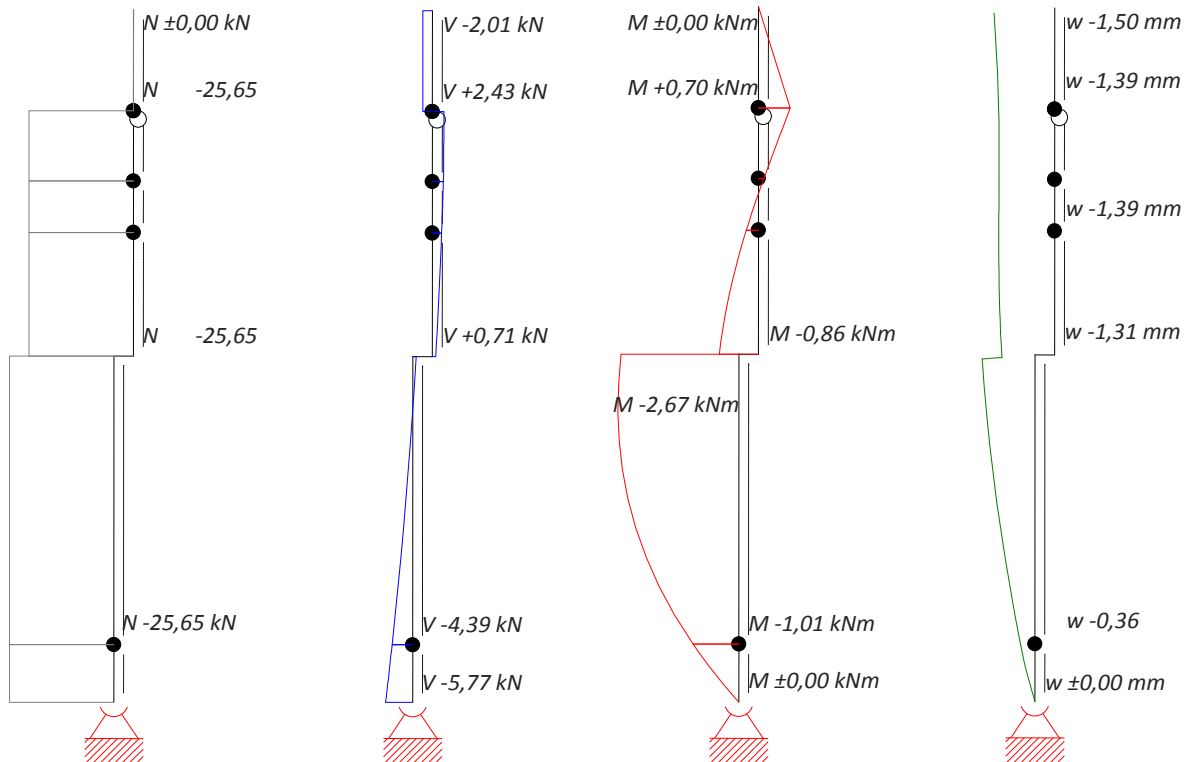


Abbildung 68: Kraft- und Weggrößen am abgestrebten System zufolge Lastfall 1a (RuckZuck)

4.1.1.2 Prüfung der Ergebnisse von Lastfall 3

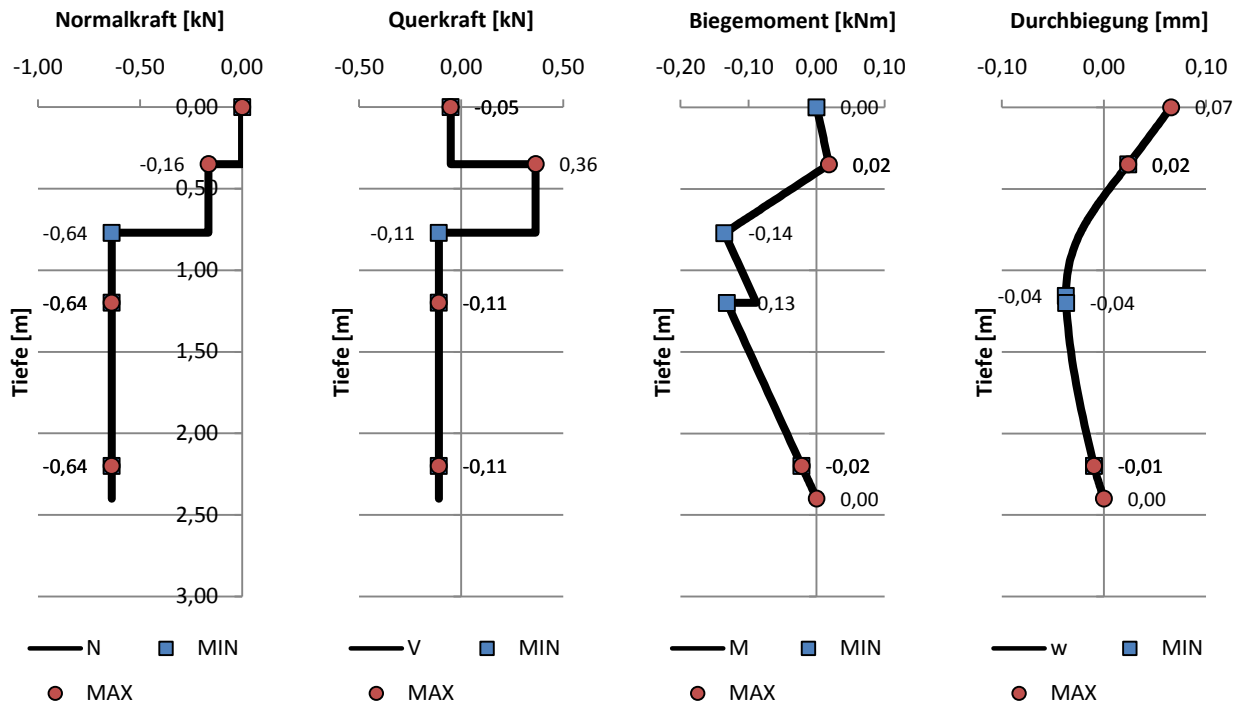


Abbildung 69: Kraft- und Weggrößen am System inklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 3

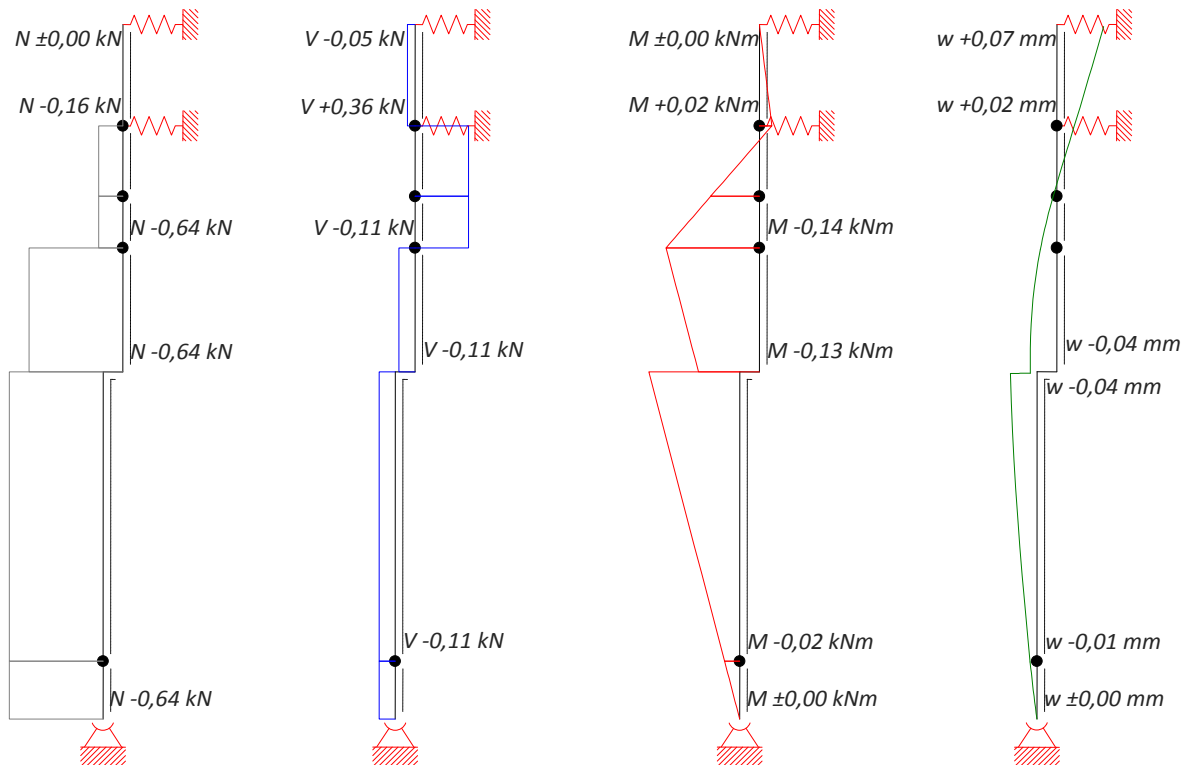


Abbildung 70: Kraft- und Weggrößen am System inklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 3 (RuckZuck)

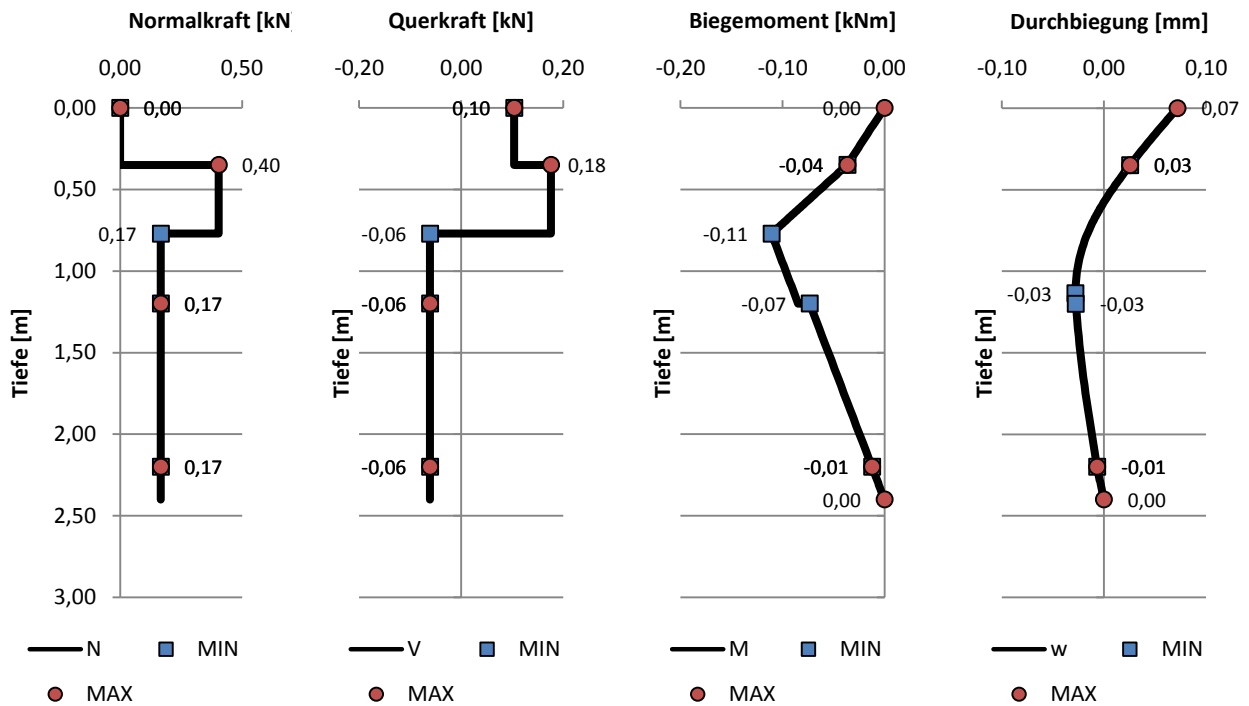


Abbildung 71: Kraft- und Weggrößen am abgestrehten System zufolge Lastfall 3

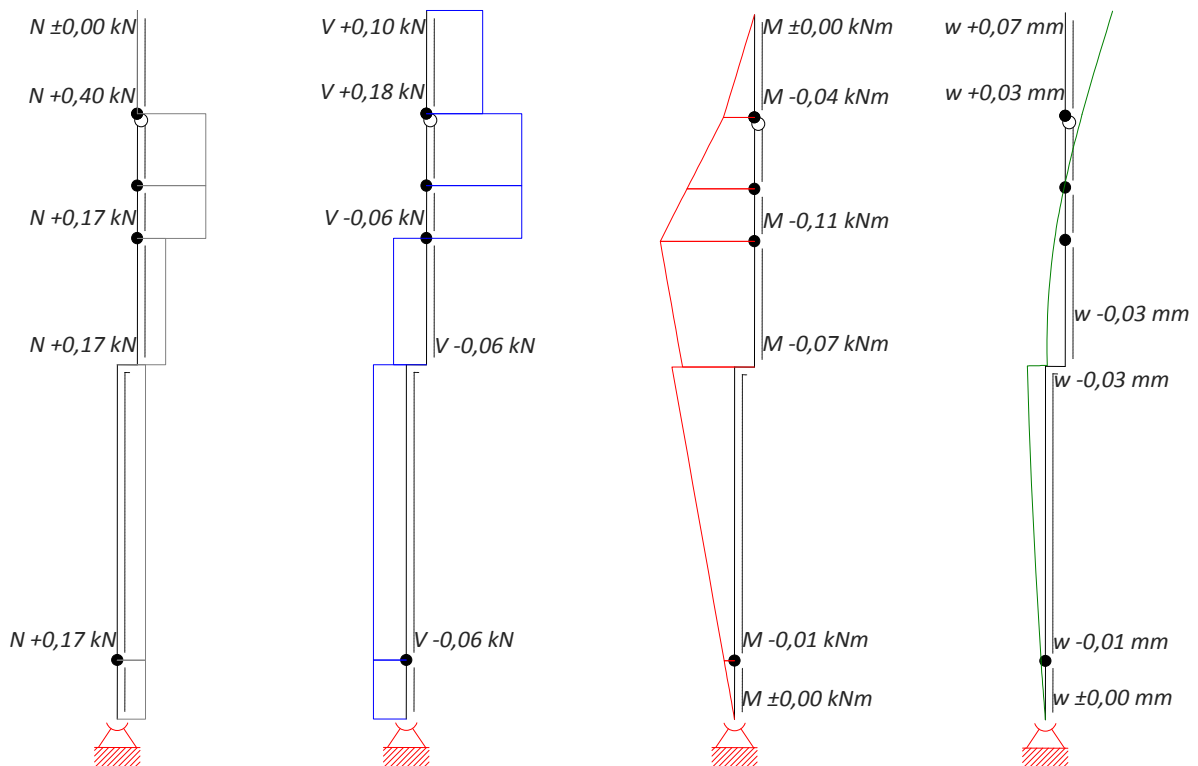


Abbildung 72: Kraft- und Weggrößen am abgestrehten System zufolge Lastfall 3 (RuckZuck)

4.1.1.3 Prüfung der Ergebnisse von Lastfall 6

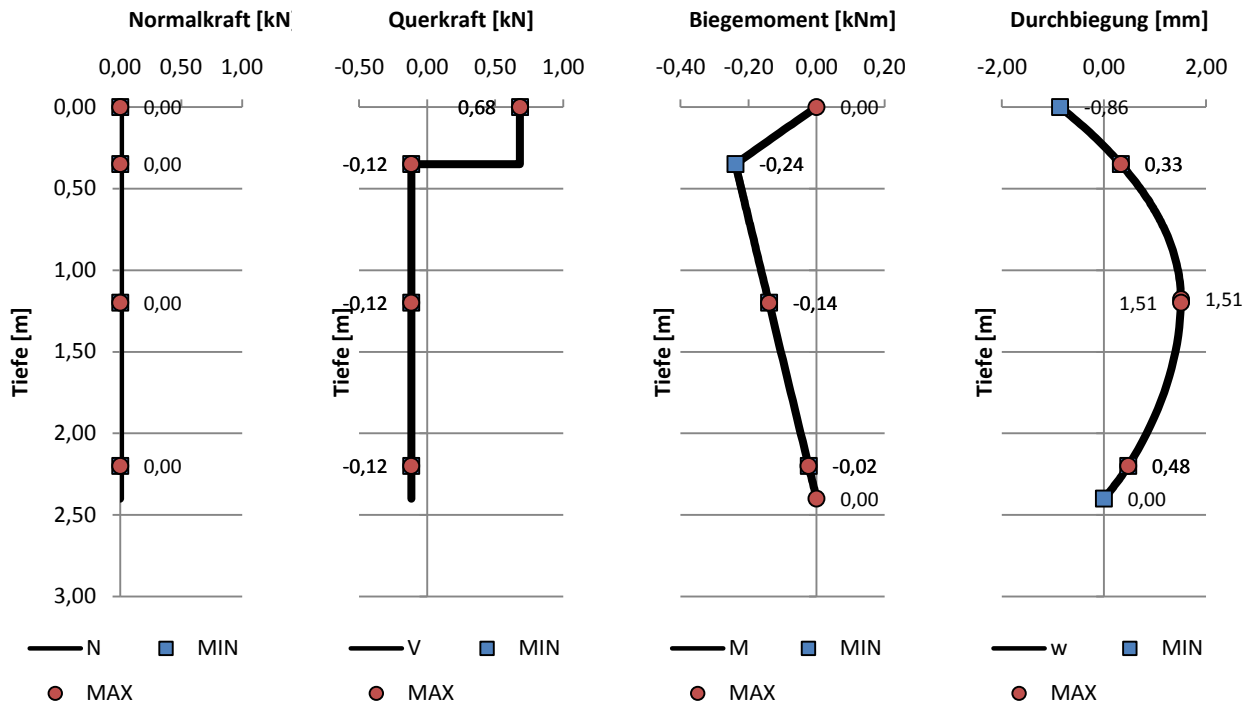


Abbildung 73: Kraft- und Weggrößen am System inklusive und exklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 6

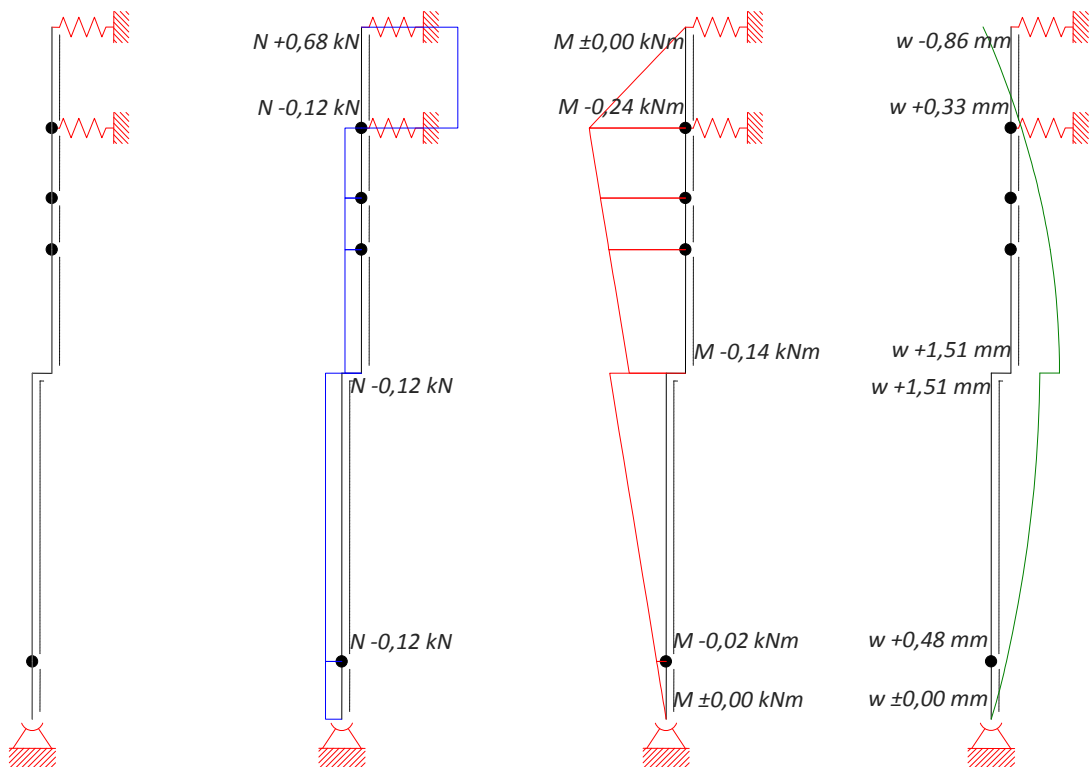


Abbildung 74: Kraft- und Weggrößen am System inklusive und exklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 6 (RuckZuck)

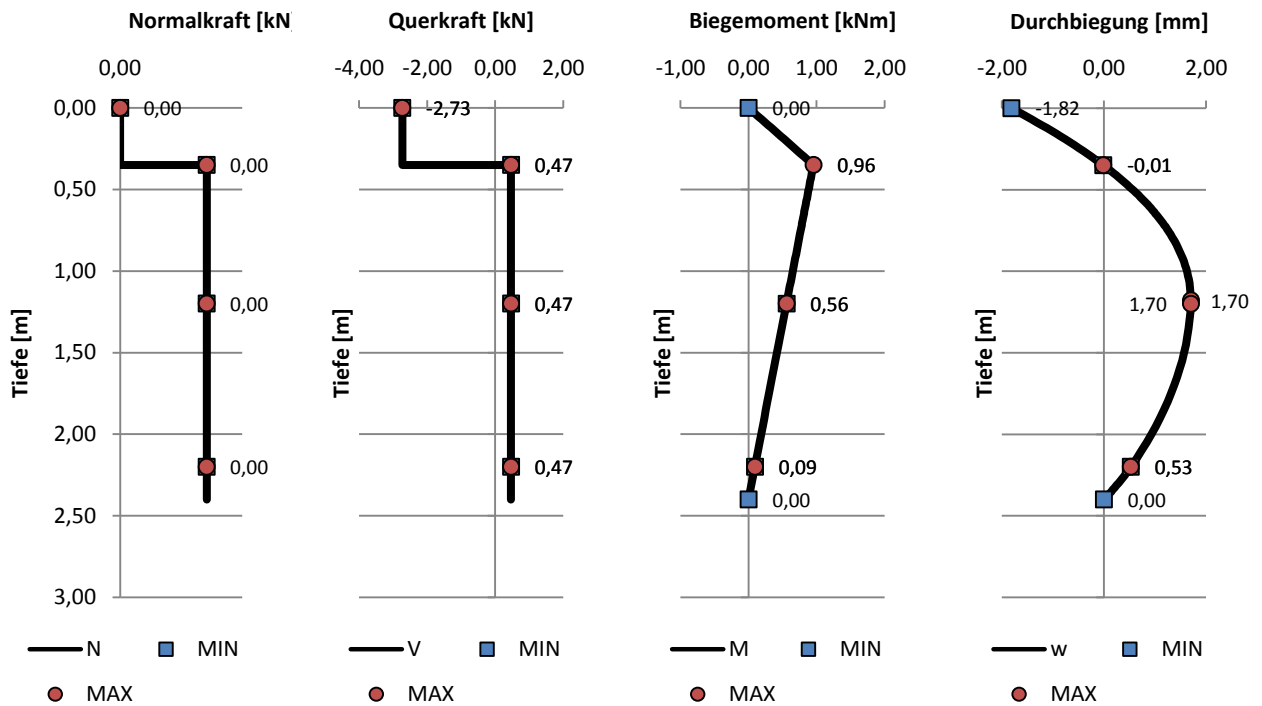


Abbildung 75: Kraft- und Weggrößen am abgestrehten System zufolge Lastfall 6

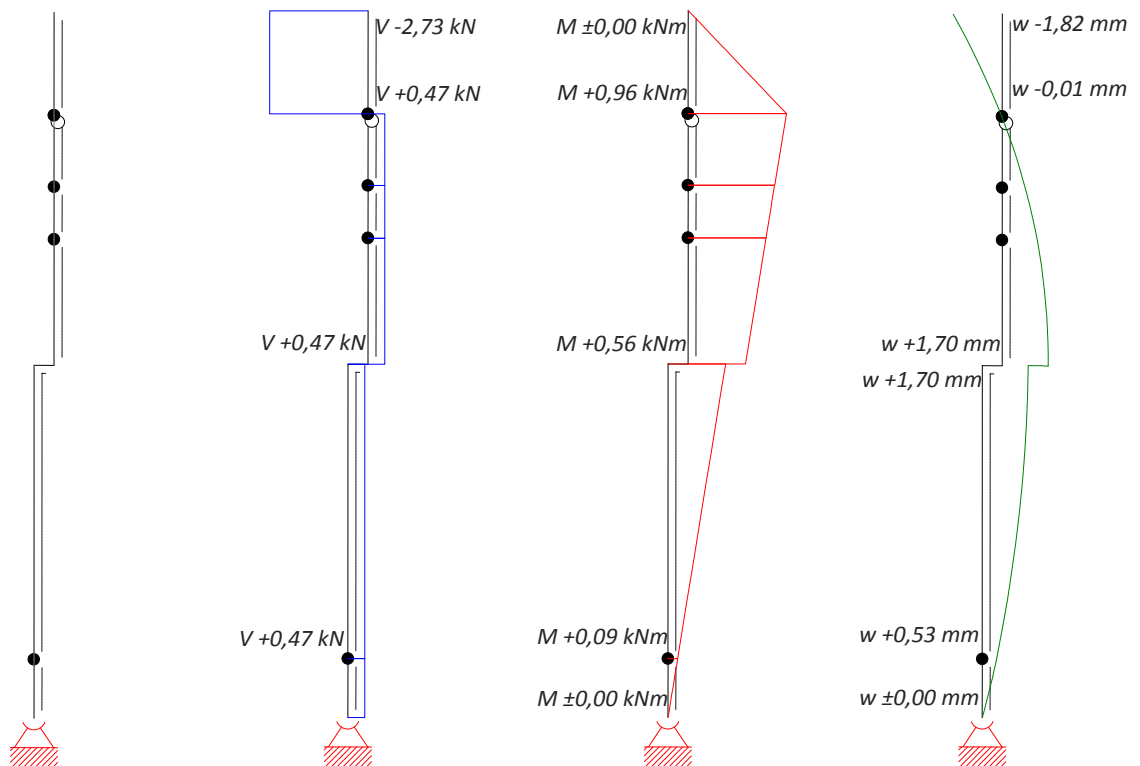


Abbildung 76: Kraft- und Weggrößen am abgestrehten System zufolge Lastfall 6 (RuckZuck)

4.2 Ergebnisauswertung

Entsprechend der einhundertundsechs relevanten Lastfallkombinationen liegen für jeden Auflager- beziehungsweise Systemabschnittspunkt ebensoviele Ergebniswerte vor, welche für alle minimalen (MIN) und maximalen (MAX) Kraft- und Weggrößen in Hüllkurven dargestellt sind. Bei der Wahl von zugehörigen Größen (min, max) hat das Biegemoment gefolgt von Normal- und Querkraft stets die höchste Priorität.

Die Übertragung dieses Auswahlprinzips von den Einzelpunkten der Berechnungsabschnitte auf die vier Bemessungsabschnitte liefert die für die Querschnitts- beziehungsweise Bauteilbemessung maßgebenden Belastungszustände samt zugehöriger Position im Gesamtsystem (Kennzeichnung durch ■ für minimale und ● für maximale Größen der inneren Stabkräfte).

Tabelle 17: Auswertung der Lagerreaktionen am System zwischen den Streben

Lager	A_H				B_H				C_H				C_V			
A_H	MIN		MAX		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
B_H					MIN		MAX						min	max	min	max
C_H	min	max	min	max	min	max	min	max	MIN		MAX					
C_V									min	max	min	max	MIN		MAX	

Tabelle 18: Auswertung der Lagerreaktionen am abgestrebten System

Lager	C_H				C_V				D_H				D_V			
C_H	MIN		MAX		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
C_V					MIN		MAX						min	max	min	max
D_H	min	max	min	max	min	max	min	max	MIN		MAX					
D_V									min	max	min	max	MIN		MAX	

Tabelle 19: Auswertung der Schnittgrößen nach der Normalkraft – maßgebende und zugehörige Kraftgrößen

$N_{Ed,MIN}$	$V_{Ed,zug,min}$	$V_{Ed,zug,max}$	$M_{Ed,zug,min}$	$M_{Ed,zug,max}$
$N_{Ed,MAX}$	$V_{Ed,zug,min}$	$V_{Ed,zug,max}$	$M_{Ed,zug,min}$	$M_{Ed,zug,max}$

Tabelle 20: Auswertung der Schnittgrößen nach der Querkraft – maßgebende und zugehörige Kraftgrößen

$N_{Ed,zug,min}$	$N_{Ed,zug,max}$	$V_{Ed,MIN}$	$M_{Ed,zug,min}$	$M_{Ed,zug,max}$
$N_{Ed,zug,min}$	$N_{Ed,zug,max}$	$V_{Ed,MAX}$	$M_{Ed,zug,min}$	$M_{Ed,zug,max}$

Tabelle 21: Auswertung der Schnittgrößen dem Biegemoment – maßgebende und zugehörige Kraftgrößen

$N_{Ed,zug,min}$	$N_{Ed,zug,max}$	$V_{Ed,zug,min}$	$V_{Ed,zug,max}$	$M_{Ed,MIN}$
$N_{Ed,zug,min}$	$N_{Ed,zug,max}$	$V_{Ed,zug,min}$	$V_{Ed,zug,max}$	$M_{Ed,MAX}$

Die Extremwerte der horizontalen Verformungen beider Tragsysteme sind von den entsprechenden Lastfallkombinationen der maßgebenden Kraftgrößen entkoppelt und werden für das statisch unbestimmte System um die Schrägstellung des Dreigelenkrahmens ergänzt.

Tabelle 22: Auswertung nach den Verformungen am abgestrebten System

horizontale Gesamtverformung	
$w_{Ed,MIN,global}$	$w_{Ed,MAX,global}$

Tabelle 23: Auswertung nach den Verformungen am System zwischen den Abstreben

lokale Horizontalverformung (exklusive der Schrägstellung des Gesamtsystems)		horizontale Gesamtverformung (inklusive der Schrägstellung des Gesamtsystems)	
$w_{Ed,MIN,lokal}$	$w_{Ed,MAX,lokal}$	$w_{Ed,MIN,global}$	$w_{Ed,MAX,global}$

4.2.1 Auflagerkräfte

4.2.1.1 Auflagerkräfte des Systems exklusive Rinnenkorb

Tabelle 24: Auflagerkräfte am System exklusive Rinnenkorb

Lager	$A_{H,MIN}$		$A_{H,MAX}$		$B_{H,MIN}$		$B_{H,MAX}$		$C_{H,MIN}$		$C_{H,MAX}$		$C_{V,MIN}$		$C_{V,MAX}$	
A_H [kN]	-0,44	-0,44	2,09	2,09	-0,44	-0,44	1,01	1,01	-0,44	-0,44	1,70	1,70	-0,09	0,21	0,58	1,93
B_H [kN]	-1,51	-1,51	2,45	2,45	-1,51	-1,51	4,05	4,05	-1,51	-1,51	3,24	3,24	-0,21	1,04	1,04	3,21
C_H [kN]	-0,09	-0,09	8,43	8,43	-0,09	-0,09	8,66	8,66	-0,09	-0,09	8,78	8,78	1,99	4,80	5,36	7,44
C_V [kN]	-2,52	-0,72	-3,89	-2,63	-2,52	-0,72	-5,01	-3,75	-2,52	-0,72	-5,01	-3,75	-5,73	-5,73	0,00	0,00

4.2.1.2 Auflagerkräfte des Systems inklusive Rinnenkorb

Tabelle 25: Auflagerkräfte am System inklusive Rinnenkorb

Lager	$A_{H,MIN}$		$A_{H,MAX}$		$B_{H,MIN}$		$B_{H,MAX}$		$C_{H,MIN}$		$C_{H,MAX}$		$C_{V,MIN}$		$C_{V,MAX}$	
A_H [kN]	-0,43	-0,43	2,14	2,14	-0,43	-0,43	1,06	1,06	-0,37	-0,37	1,68	1,68	-0,01	0,32	0,63	2,00
B_H [kN]	-1,44	-1,44	2,64	2,64	-1,44	-1,44	4,26	4,26	-1,38	-1,38	3,39	3,39	0,11	1,40	1,12	3,33
C_H [kN]	0,02	0,02	8,66	8,66	0,02	0,02	8,99	8,99	-0,11	-0,11	9,24	9,24	2,42	5,23	5,35	7,42
C_V [kN]	-3,29	-1,49	-6,10	-4,84	-3,29	-1,49	-8,17	-6,91	-2,52	-0,72	-8,94	-7,68	-9,66	-9,66	0,00	0,00

4.2.1.3 Auflagerkräfte des abgestrebten Systems

Tabelle 26: Auflagerkräfte am abgestrebten System

Lager	$C_{H,MIN}$		$C_{H,MAX}$		$C_{V,MIN}$		$C_{V,MAX}$		$D_{H,MIN}$		$D_{H,MAX}$		$D_{V,MIN}$		$D_{V,MAX}$	
C_H [kN]	-0,26	-0,26	9,43	9,43	-0,18	-0,18	8,88	8,88	-0,18	-0,18	8,88	8,88	8,88	8,88	-0,18	-0,18
C_V [kN]	-14,98	-13,18	49,15	50,41	-15,18	-15,18	50,60	50,60	-15,18	-13,38	49,34	50,60	49,34	50,60	-15,18	-13,38
D_H [kN]	-9,07	-9,07	25,07	25,07	-9,40	-9,40	25,41	25,41	-9,40	-9,40	25,41	25,41	25,41	25,41	-9,40	-9,40
D_V [kN]	15,70	15,70	-43,43	-43,43	16,28	16,28	-44,01	-44,01	16,28	16,28	-44,01	-44,01	-44,01	-44,01	16,28	16,28

4.2.2 Schnittkräfte

4.2.2.1 Schnittkraftverläufe am System exklusive Rinnenkorb

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,MIN}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MIN}$ [-]
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	92	-3,75	1,70	-0,59	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	92	-3,75	1,47	-3,56	0,00
		unterhalb der Trittstufe	1,40	46	-5,73	-0,02	-1,30	0,00
		unterhalb des Beckens	2,20	46	-5,73	-1,63	-0,64	0,00
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,18	37	-3,75	0,00	0,01	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	37	-3,75	-0,22	0,09	0,00
		unterhalb der Trittstufe	1,80	45	-5,73	0,01	-0,06	0,00
		unterhalb des Beckens	2,40	45	-5,73	-1,99	0,00	0,00

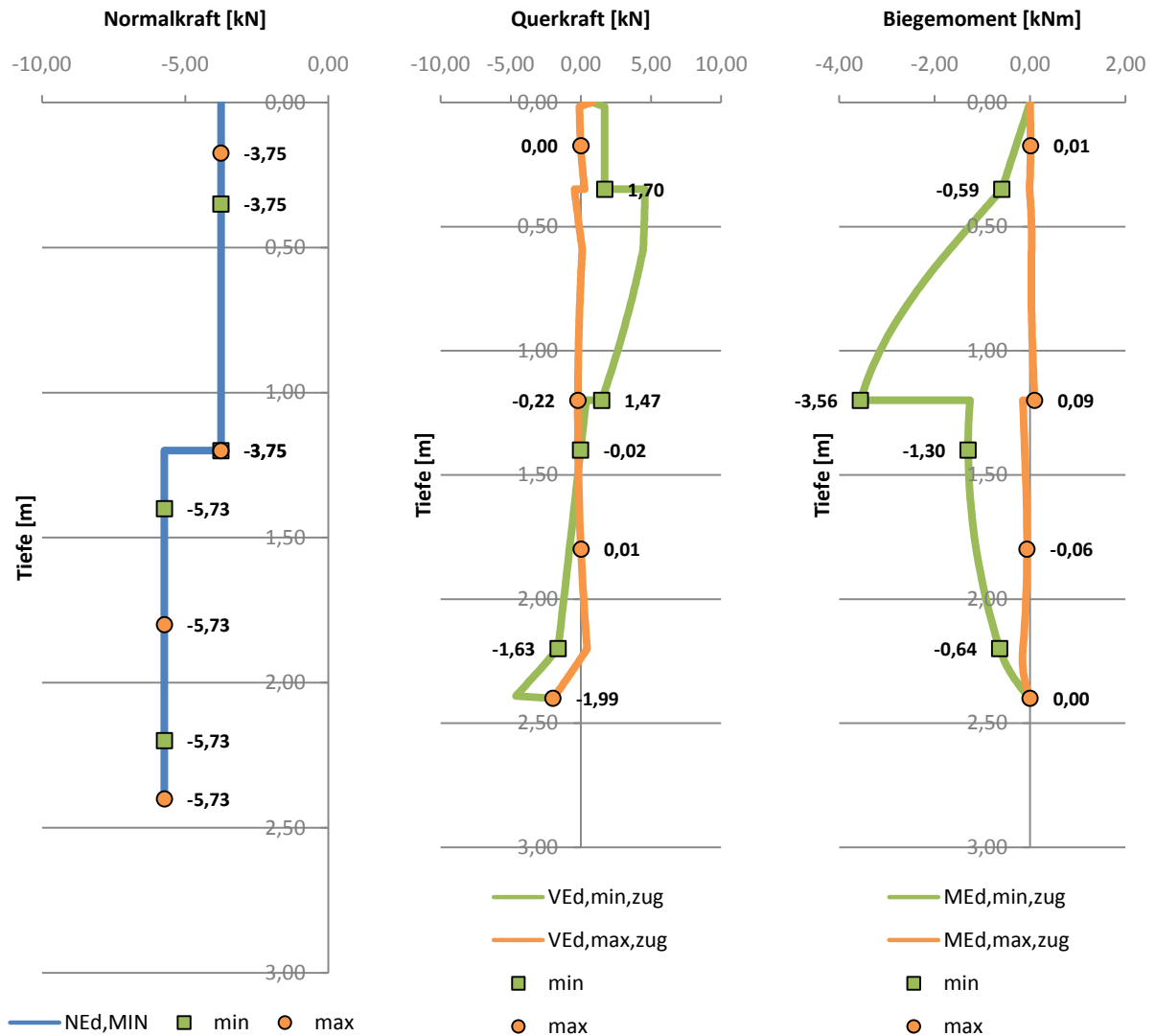


Abbildung 77: Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $N_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,MAX}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MAX}$ [-]
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	68	0,00	1,93	-0,68	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	68	0,00	1,31	-3,09	0,00
		unterhalb der Trittstufe	1,45	68	0,00	-0,03	-3,26	0,00
		unterhalb des Beckens	2,20	68	0,00	-5,57	-1,30	0,00
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	3	0,00	-0,07	0,11	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	3	0,00	-0,39	0,99	0,00
		unterhalb der Trittstufe	2,20	1	0,00	-3,98	-0,93	0,00
		unterhalb des Beckens	2,40	1	0,00	-5,36	0,00	0,00

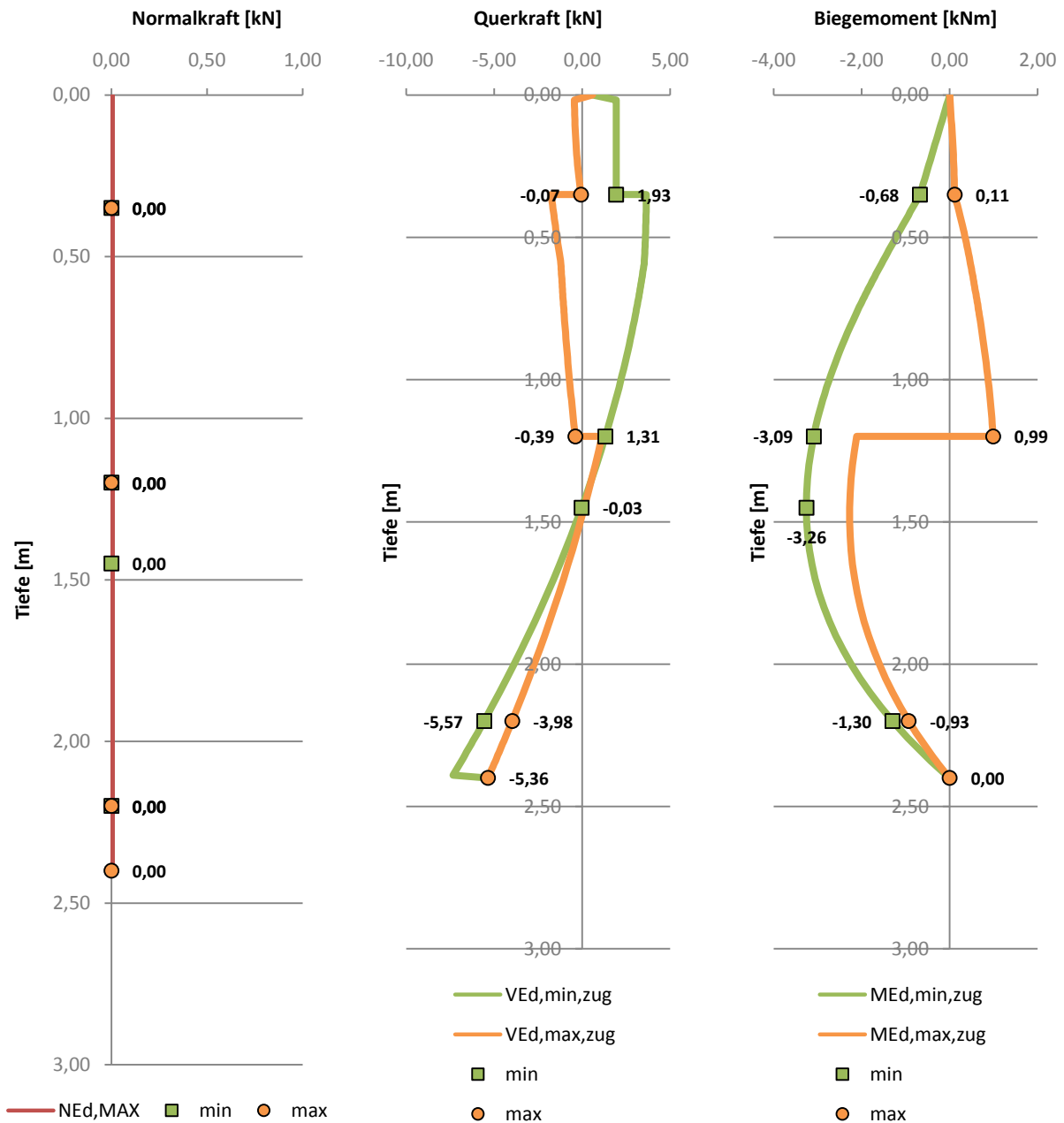


Abbildung 78: Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $N_{Ed,MAX}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,MIN}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{V,MIN}$ [-]
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,00	3	0,00	-0,44	0,00	-1,00
		oberhalb der Trittstufe	0,35	3	0,00	-1,76	0,11	0,04
		unterhalb der Trittstufe	2,20	92	-3,75	-6,67	-1,54	-0,06
		unterhalb des Beckens	2,40	92	-3,75	-8,78	0,00	-0,05
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,00	3	0,00	-0,44	0,00	-1,00
		oberhalb der Trittstufe	0,35	3	0,00	-1,76	0,11	0,04
		unterhalb der Trittstufe	2,20	92	-3,75	-6,67	-1,54	-0,06
		unterhalb des Beckens	2,40	92	-3,75	-8,78	0,00	-0,05

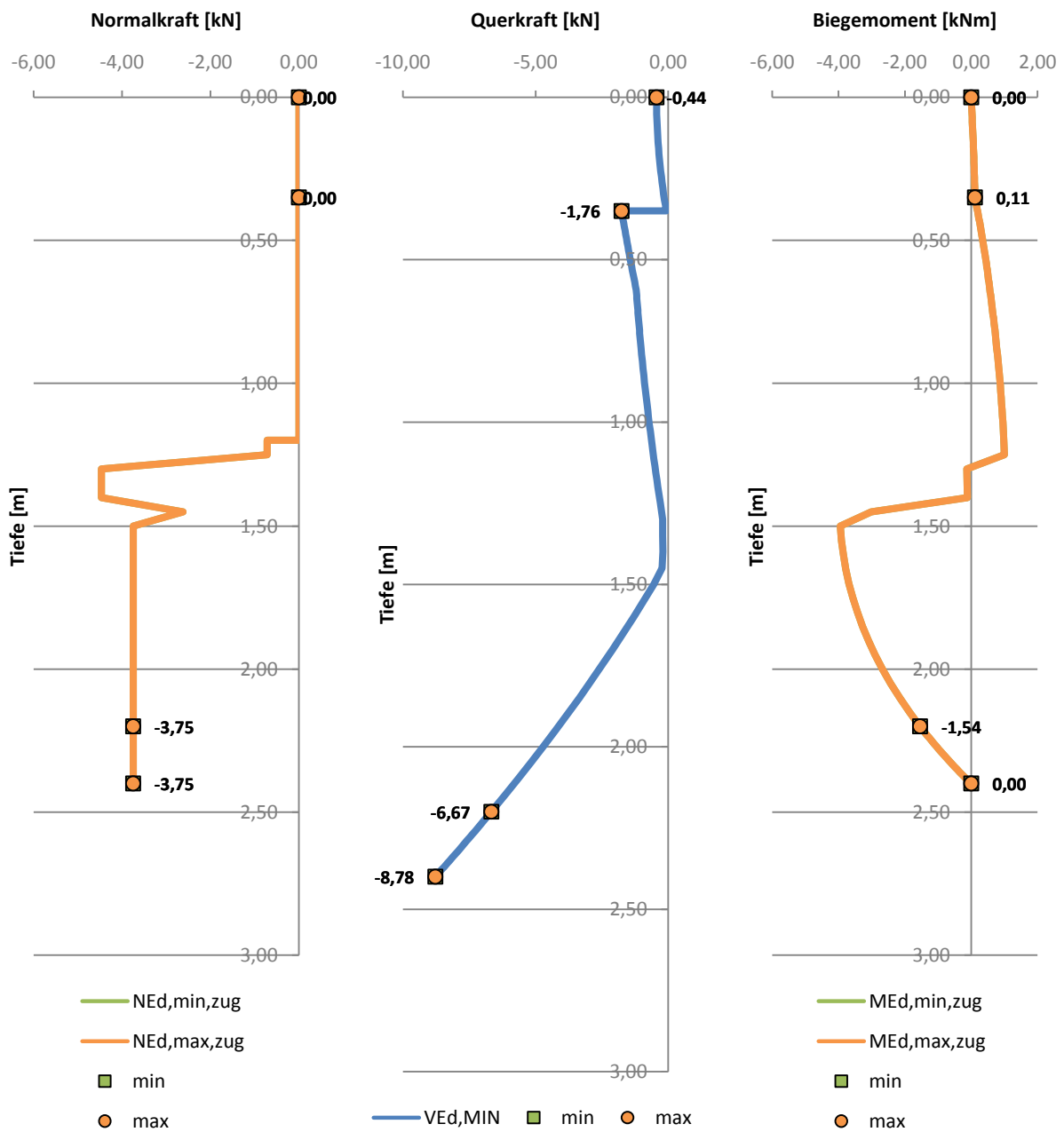


Abbildung 79: Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $V_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,MAX}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{V,MAX}$ [-]
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	72	-2,63	2,09	-0,73	-0,82
		oberhalb der Trittstufe	0,35	36	-3,75	4,67	-0,35	0,06
		unterhalb der Trittstufe	2,20	3	-0,72	2,16	0,23	-0,03
		unterhalb des Beckens	2,20	3	-0,72	2,16	0,23	-0,03
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,00	72	-2,63	2,09	0,00	-0,82
		oberhalb der Trittstufe	0,35	36	-3,75	4,67	-0,35	0,06
		unterhalb der Trittstufe	2,20	3	-0,72	2,16	0,23	-0,03
		unterhalb des Beckens	2,20	3	-0,72	2,16	0,23	-0,03

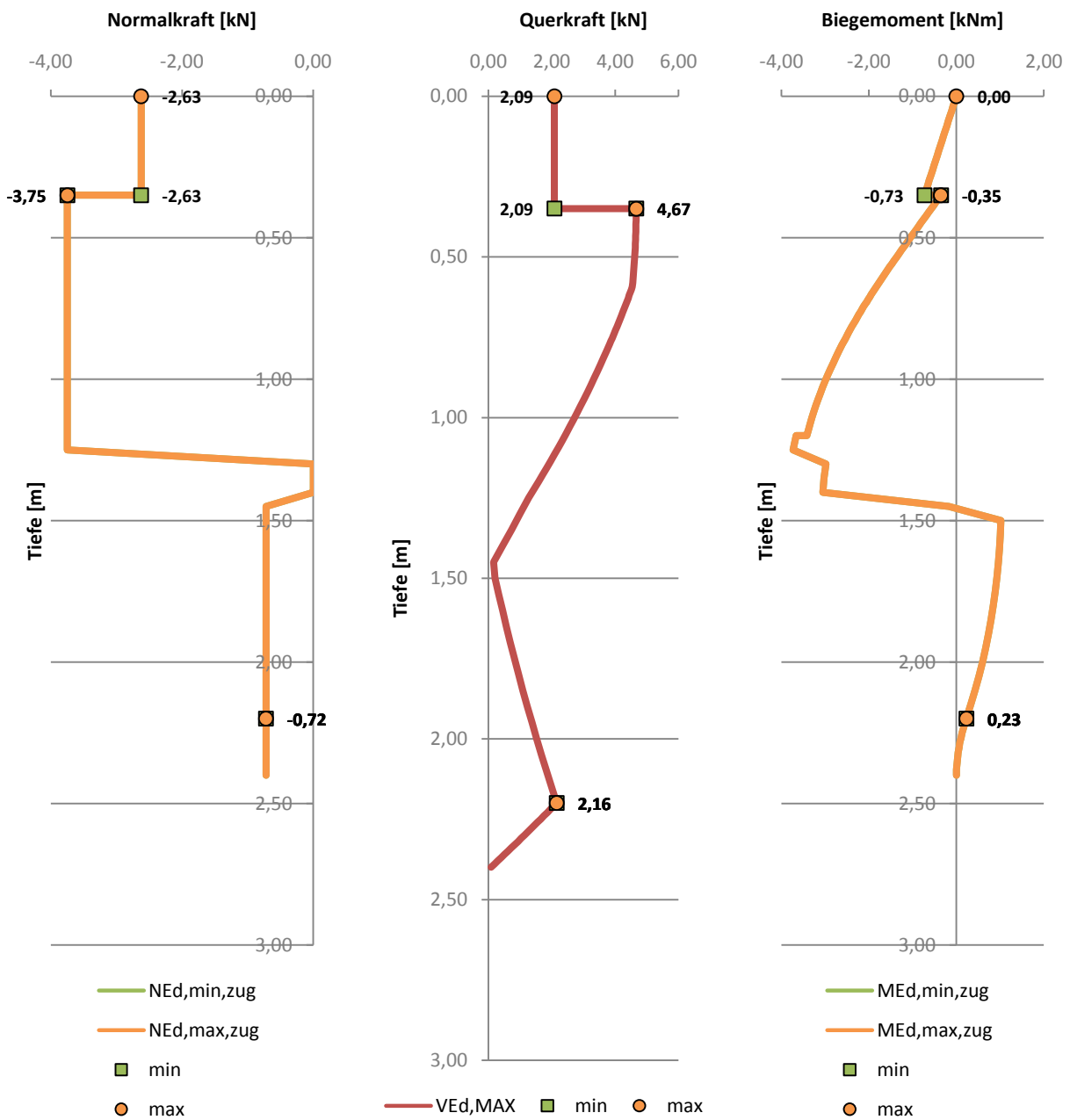


Abbildung 80: Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $V_{Ed,MAX}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,MIN}$ [kNm]	$\delta_{M,MIN}$ [-]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	72	-2,63	2,09	-0,73	-0,94
		oberhalb der Trittstufe	1,20	92	-3,75	1,47	-3,56	-0,07
		unterhalb der Trittstufe	1,40	96	-5,01	0,17	-3,97	-0,10
		unterhalb des Beckens	2,20	96	-5,01	-6,67	-1,54	-0,05
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	72	-2,63	2,09	-0,73	-0,94
		oberhalb der Trittstufe	1,20	92	-3,75	1,47	-3,56	-0,07
		unterhalb der Trittstufe	1,40	92	-3,75	0,17	-3,97	-0,10
		unterhalb des Beckens	2,20	92	-3,75	-6,67	-1,54	-0,05

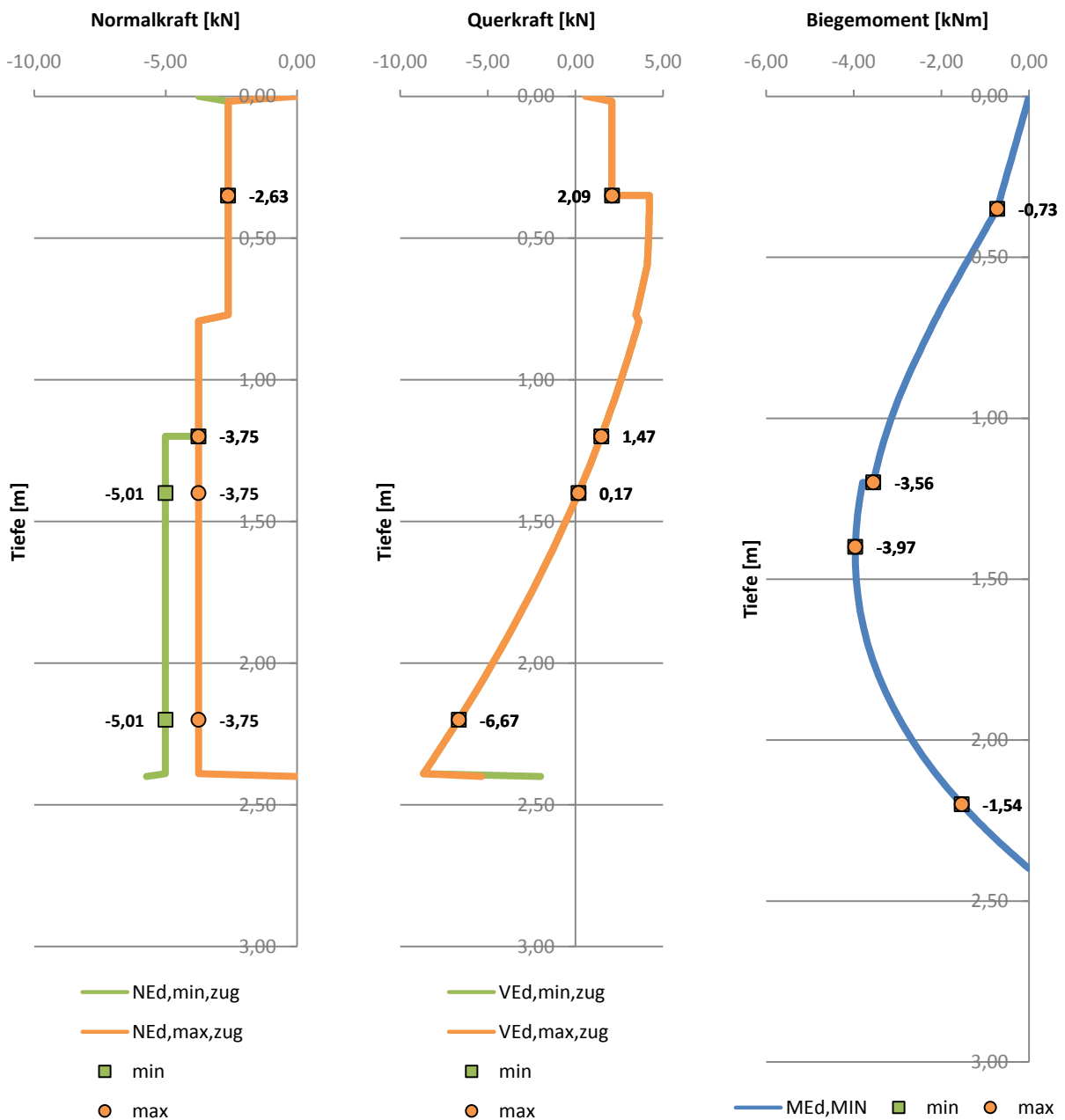


Abbildung 81: Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $M_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,MAX}$ [kNm]	$\delta_{M,MAX}$ [-]
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	3	0,00	-0,07	0,11	-1,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	3	0,00	-0,39	0,99	-0,09
		unterhalb der Trittstufe	1,40	53	-2,52	0,00	1,03	-0,07
		unterhalb des Beckens	2,20	53	-2,52	2,16	0,23	-0,07
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	3	0,00	-0,07	0,11	-1,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	3	0,00	-0,39	0,99	-0,09
		unterhalb der Trittstufe	1,40	3	-0,72	0,00	1,03	-0,07
		unterhalb des Beckens	2,20	3	-0,72	2,16	0,23	-0,07

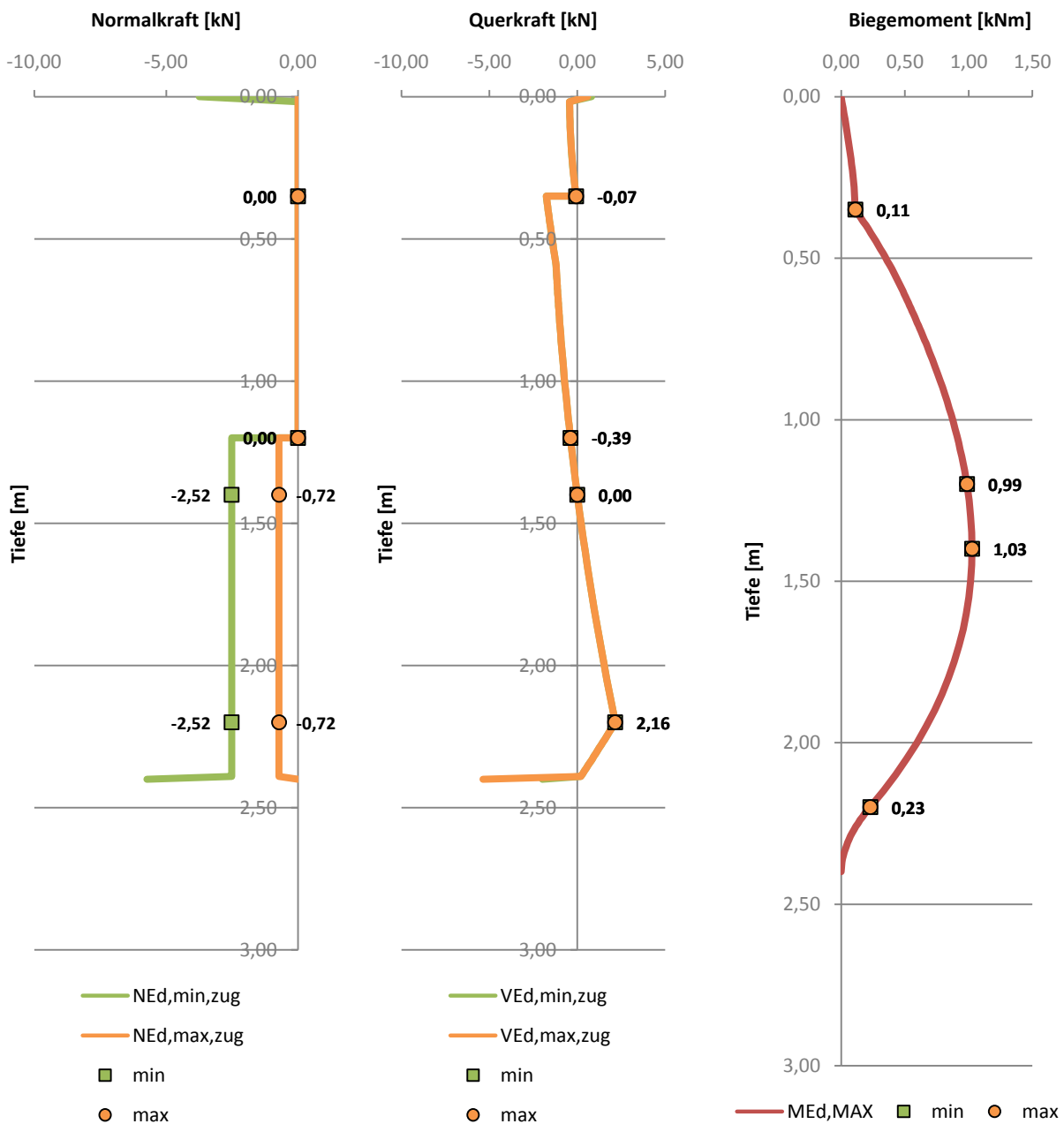


Abbildung 82: Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $M_{Ed,MAX}$)

4.2.2.2 Schnittkraftverläufe am System inklusive Rinnenkorb

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,MIN}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MIN}$ [-]
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	92	-5,33	1,14	-0,40	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	94	-7,68	1,01	-3,85	0,00
		unterhalb der Trittstufe	1,20	50	-9,66	-0,06	-1,78	0,00
		unterhalb des Beckens	2,20	50	-9,66	-2,06	-0,73	0,00
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	43	-5,33	-0,48	0,25	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	43	-7,68	-0,65	-0,17	0,00
		unterhalb der Trittstufe	2,20	49	-9,66	0,02	-0,24	0,00
		unterhalb des Beckens	2,40	49	-9,66	-2,42	0,00	0,00

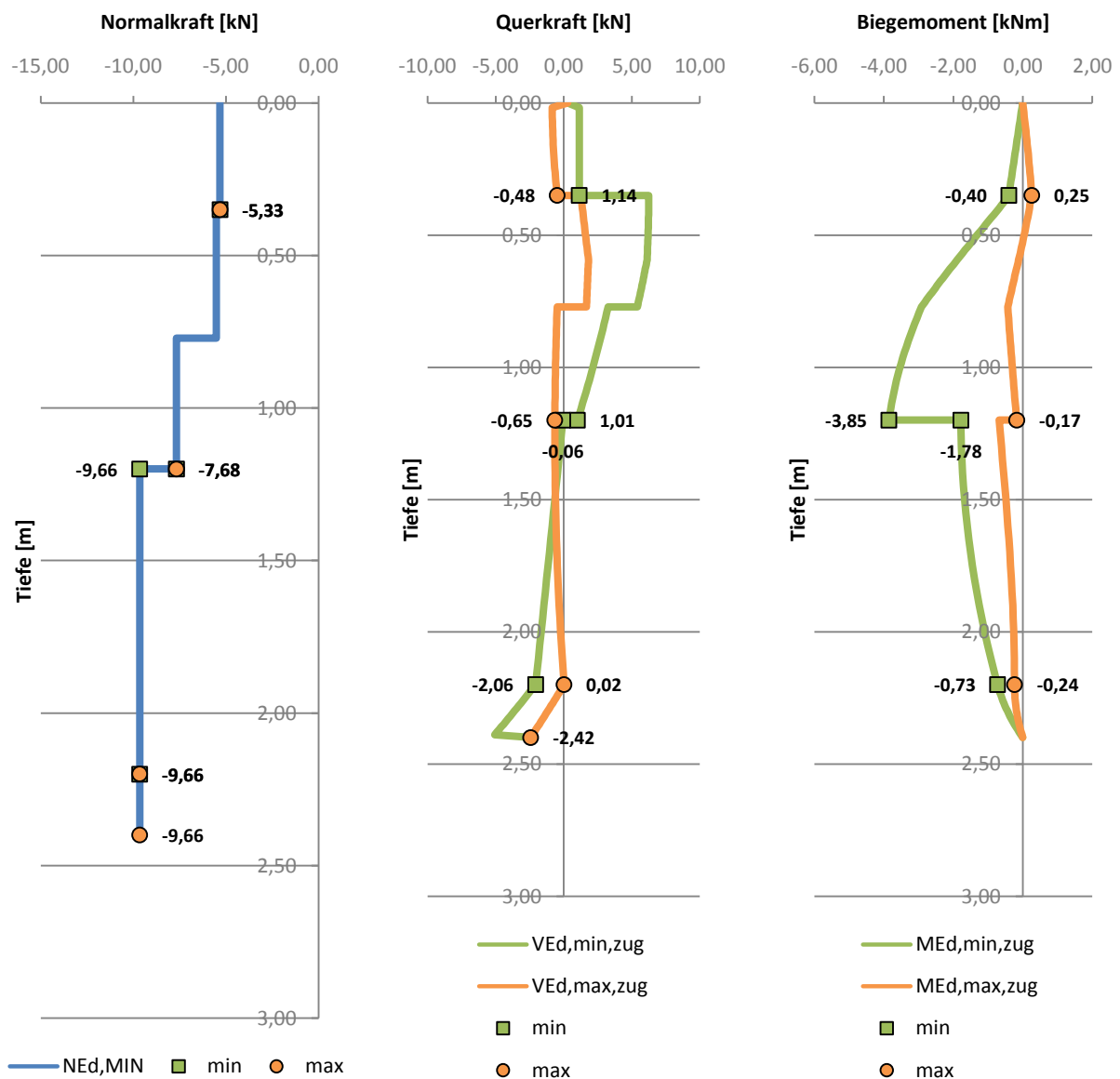


Abbildung 83: Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $N_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,MAX}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MAX}$ [-]
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	68	0,00	1,83	-0,64	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	68	0,00	1,33	-3,07	0,00
		unterhalb der Trittstufe	1,45	68	0,00	-0,01	-3,24	0,00
		unterhalb des Beckens	2,20	68	0,00	-5,56	-1,29	0,00
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	5	0,00	-0,25	0,17	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	3	0,00	-0,37	1,01	0,00
		unterhalb der Trittstufe	2,20	1	0,00	-3,97	-0,93	0,00
		unterhalb des Beckens	2,40	1	0,00	-5,35	0,00	0,00

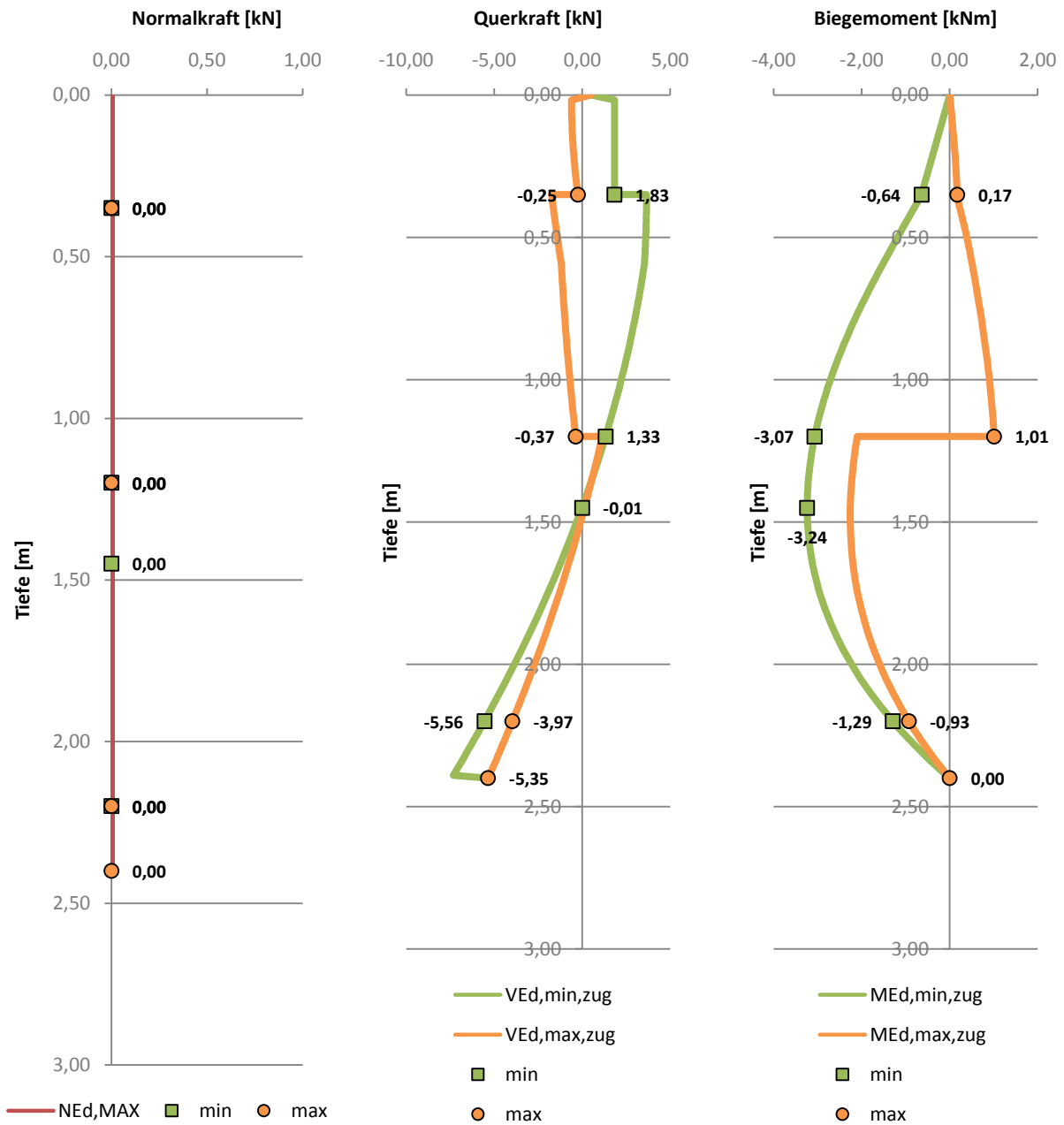


Abbildung 84: Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $N_{Ed,MAX}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,MIN}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MIN}$ [-]
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,00	43	-5,33	-0,85	0,00	0,07
		oberhalb der Trittstufe	0,35	3	0,00	-1,74	0,15	0,04
		unterhalb der Trittstufe	2,20	94	-7,68	-7,13	-1,63	-0,07
		unterhalb des Beckens	2,40	94	-7,68	-9,24	0,00	-0,06
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,00	43	-5,33	-0,85	0,00	0,07
		oberhalb der Trittstufe	0,35	3	0,00	-1,74	0,15	0,04
		unterhalb der Trittstufe	2,20	94	-7,68	-7,13	-1,63	-0,07
		unterhalb des Beckens	2,40	94	-7,68	-9,24	0,00	-0,06

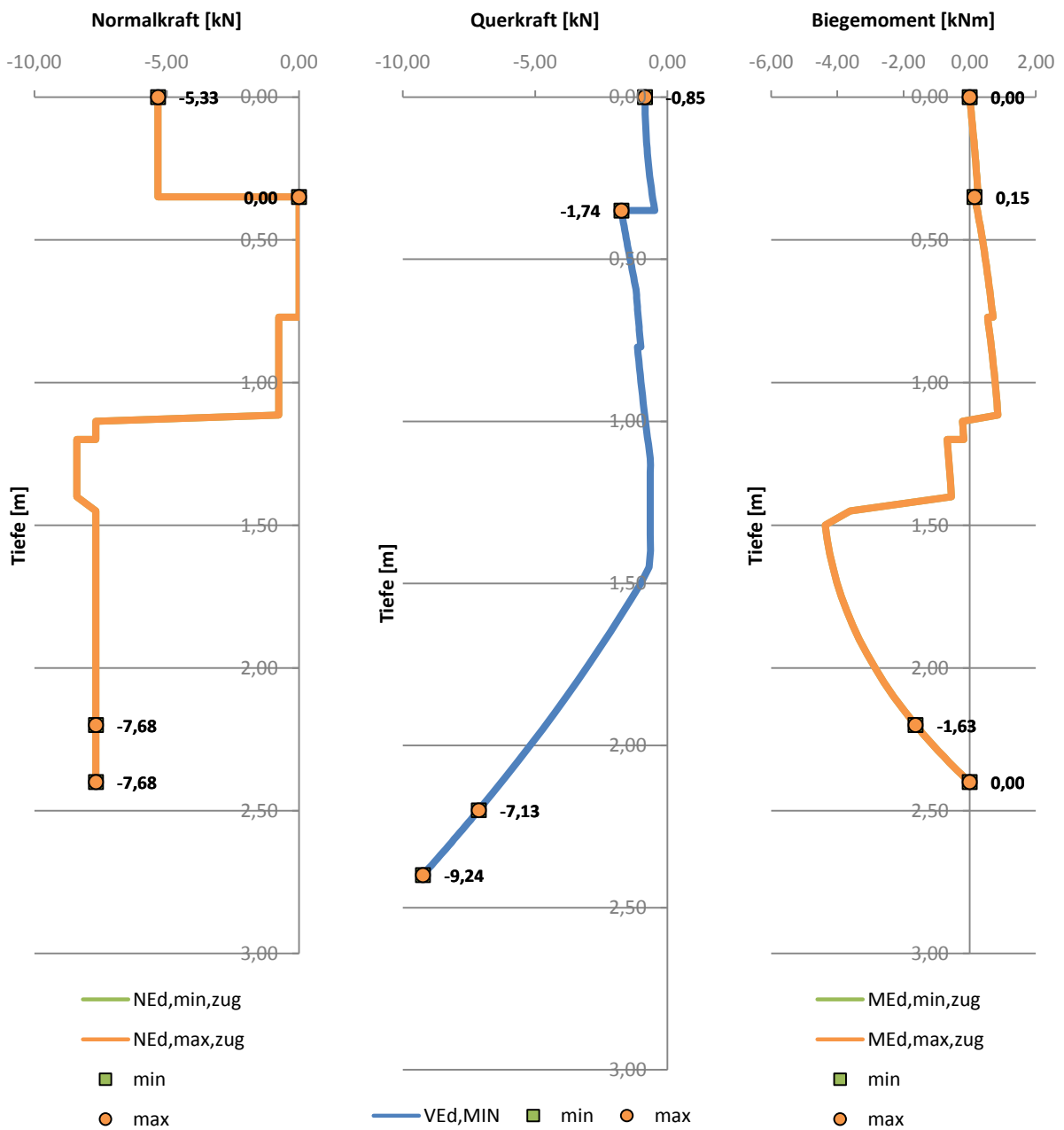


Abbildung 85: Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $V_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,MAX}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{V,MAX}$ [-]
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	68	0,00	1,83	-0,64	-0,90
		oberhalb der Trittstufe	0,35	40	-5,53	6,36	-0,14	0,07
		unterhalb der Trittstufe	2,20	3	-0,72	2,18	0,23	-0,03
		unterhalb des Beckens	2,20	3	-0,72	2,18	0,23	-0,03
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,00	68	0,00	1,83	0,00	-0,90
		oberhalb der Trittstufe	0,35	40	-5,53	6,36	-0,14	0,07
		unterhalb der Trittstufe	2,20	3	-0,72	2,18	0,23	-0,03
		unterhalb des Beckens	2,20	3	-0,72	2,18	0,23	-0,03

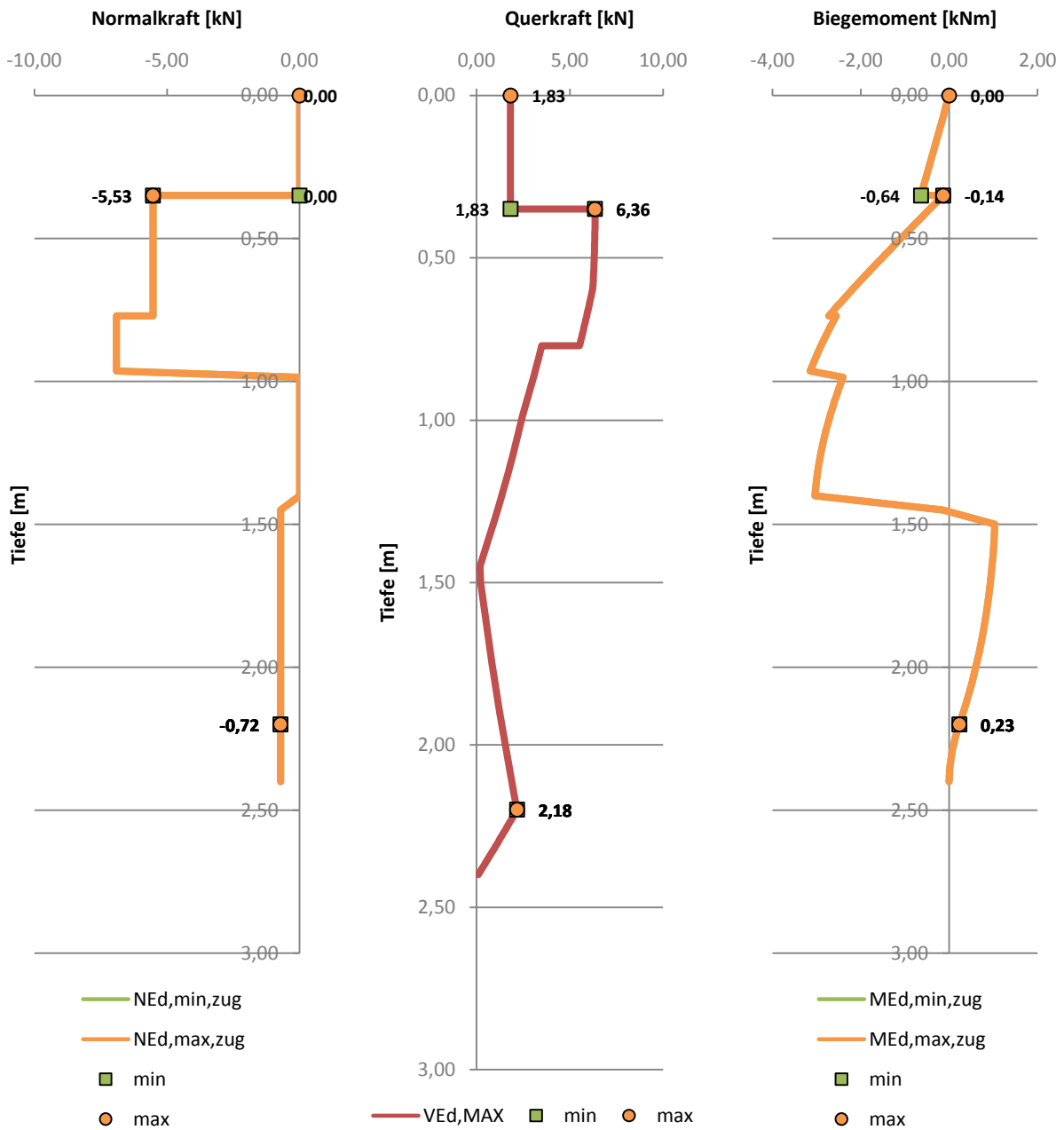


Abbildung 86: Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $V_{Ed,MAX}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,MIN}$ [kNm]	$\delta_{M,MIN}$ [-]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	68	0,00	1,83	-0,64	-1,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	94	-7,68	1,01	-3,85	-0,04
		unterhalb der Trittstufe	1,35	98	-8,94	0,04	-4,44	-0,12
		unterhalb des Beckens	2,20	98	-8,94	-7,13	-1,63	-0,07
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	68	0,00	1,83	-0,64	-1,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	94	-7,68	1,01	-3,85	-0,04
		unterhalb der Trittstufe	1,35	94	-7,68	0,04	-4,44	-0,12
		unterhalb des Beckens	2,20	94	-7,68	-7,13	-1,63	-0,07

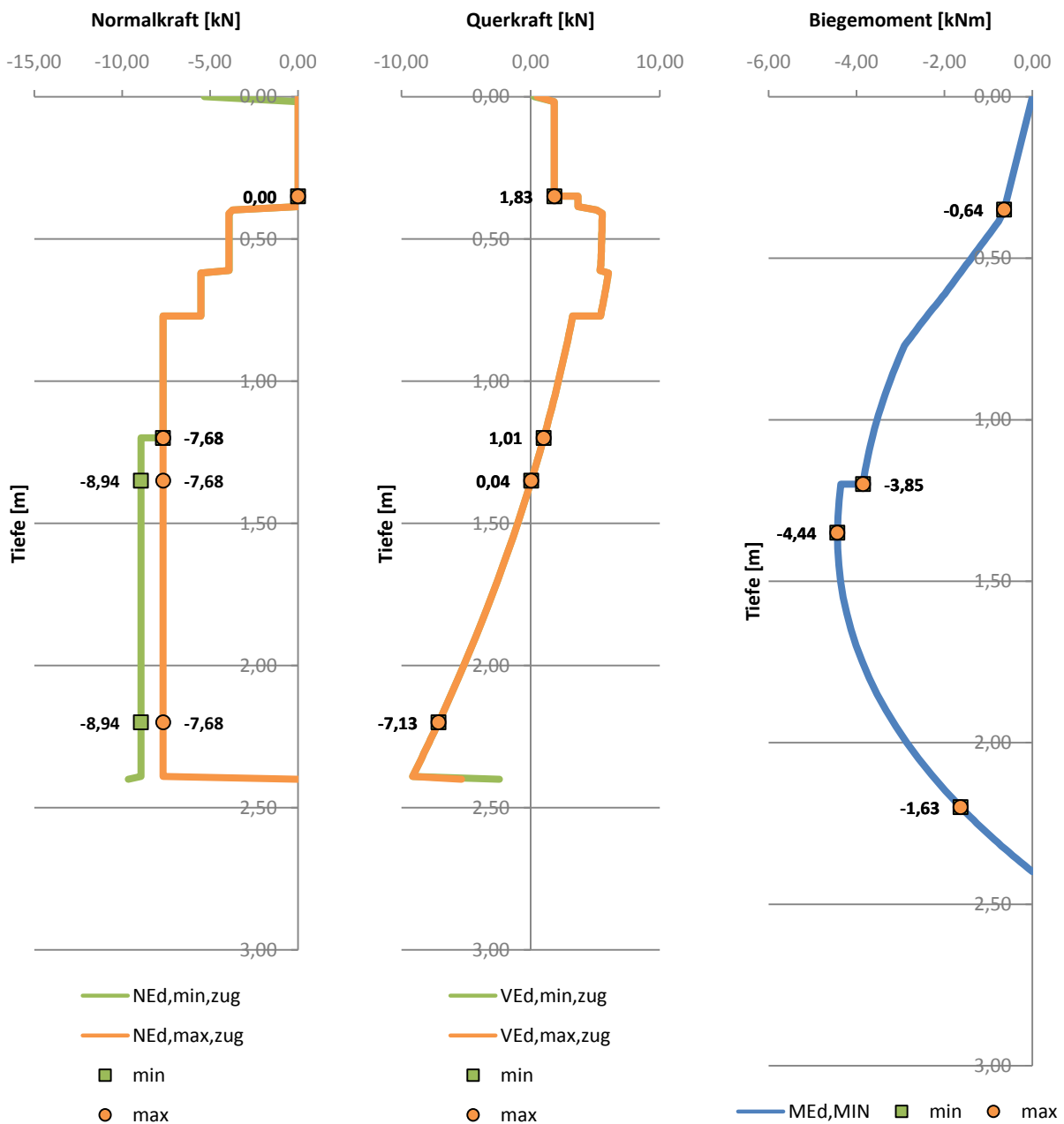


Abbildung 87: Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $M_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,MAX}$ [kNm]	$\delta_{M,MAX}$ [-]
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	43	-5,33	-0,48	0,25	0,08
		oberhalb der Trittstufe	1,20	3	0,00	-0,37	1,01	-0,07
		unterhalb der Trittstufe	1,40	53	-2,52	0,02	1,05	-0,06
		unterhalb des Beckens	2,20	53	-2,52	2,18	0,23	-0,05
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	43	-5,33	-0,48	0,25	0,08
		oberhalb der Trittstufe	1,20	3	0,00	-0,37	1,01	-0,07
		unterhalb der Trittstufe	1,40	3	-0,72	0,02	1,05	-0,06
		unterhalb des Beckens	2,20	3	-0,72	2,18	0,23	-0,05

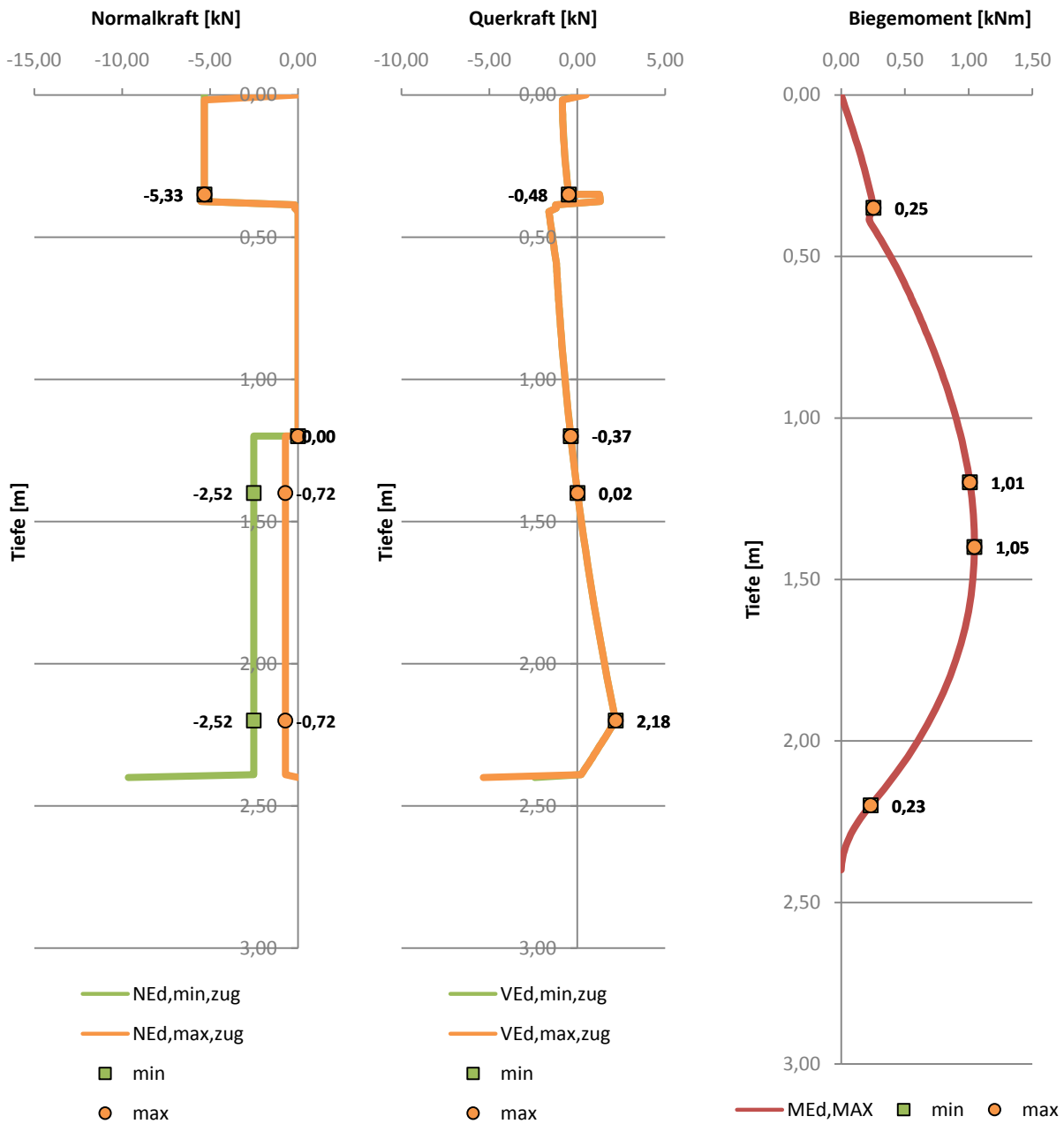


Abbildung 88: Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $M_{Ed,MAX}$)

4.2.2.3 *Schnittkraftverläufe am abgestrebt System*

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,MIN}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MIN}$ [-]
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,00	35	-4,54	-3,57	0,00	0,00
		oberhalb der Trittstufe	1,20	92	-49,34	1,36	-0,69	0,08
		unterhalb der Trittstufe	1,40	96	-50,60	0,06	-4,07	0,08
		unterhalb des Beckens	2,20	96	-50,60	-6,77	-1,56	0,08
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	92	-4,54	-7,19	2,52	0,00
		oberhalb der Trittstufe	0,77	92	-49,34	3,61	0,40	0,08
		unterhalb der Trittstufe	2,20	96	-50,60	-6,77	-1,56	0,08
		unterhalb des Beckens	2,40	96	-50,60	-8,88	0,00	0,08

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,MIN}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MIN}$ [-]
$N_{Ed,MIN}$	-	Strebe	-	5	-18,80	0,00	0,00	0,05

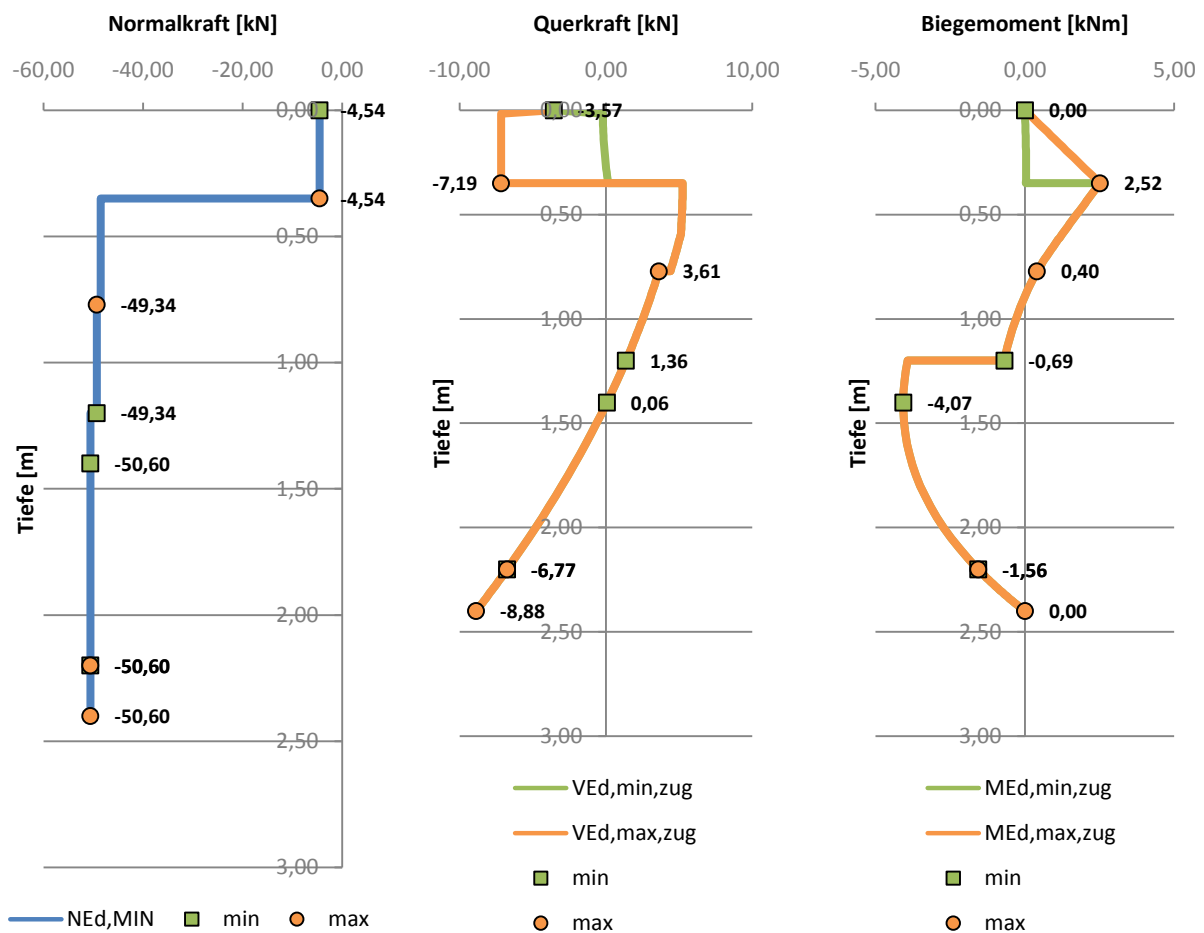


Abbildung 89: Schnittkraftumhüllende am abgestrebt System (Auswertung nach $N_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,MAX}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MAX}$ [-]
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	5	0,00	2,02	-0,62	0,00
		oberhalb der Trittstufe	0,35	5	16,18	-1,38	-0,62	0,05
		unterhalb der Trittstufe	2,20	5	15,18	2,25	0,25	0,05
		unterhalb des Beckens	2,40	5	15,18	0,18	0,00	0,05
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	68	0,00	-7,93	2,78	0,00
		oberhalb der Trittstufe	0,77	5	16,18	-0,65	-0,22	0,05
		unterhalb der Trittstufe	1,35	5	15,18	-0,01	1,12	0,05
		unterhalb des Beckens	2,20	5	15,18	2,25	0,25	0,05

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,MIN}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{N,MIN}$ [-]
$N_{Ed,MAX}$	-	Strebe	-	92	50,82	0,00	0,00	0,09

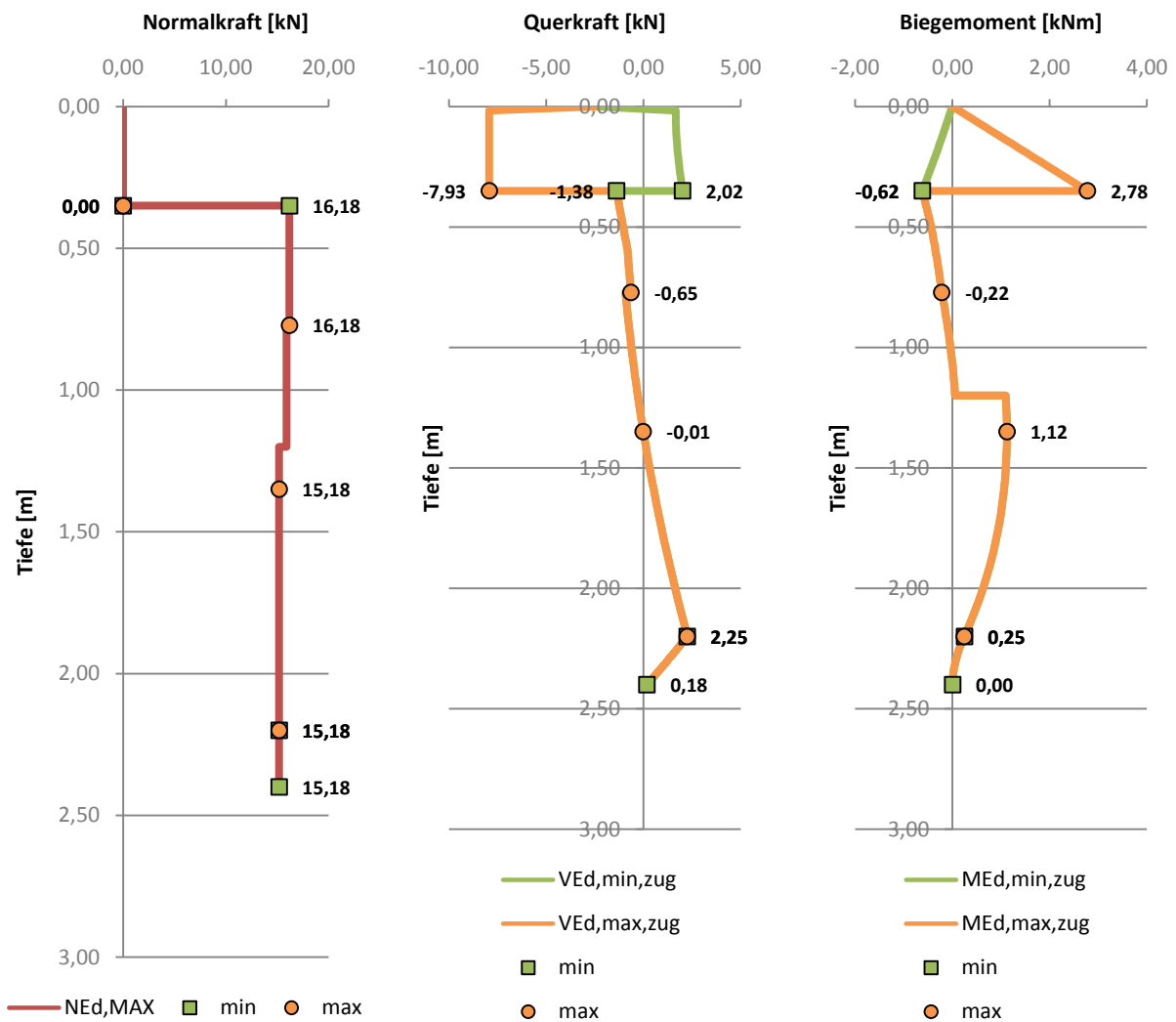


Abbildung 90: Schnittkraftumhüllende am abgestrebt System (Auswertung nach $N_{Ed,MAX}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,MIN}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{V,MIN}$ [-]
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,00	72	-3,18	-8,70	0,00	-0,95
		oberhalb der Trittstufe	0,35	3	15,70	-1,59	-0,58	0,14
		unterhalb der Trittstufe	2,20	40	-49,15	-7,32	-1,67	-0,12
		unterhalb des Beckens	2,40	40	-49,15	-9,43	0,00	-0,09
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	72	-3,18	-8,70	3,04	-0,95
		oberhalb der Trittstufe	0,35	3	15,70	-1,59	-0,58	0,14
		unterhalb der Trittstufe	2,20	40	-49,15	-7,32	-1,67	-0,12
		unterhalb des Beckens	2,40	40	-49,15	-9,43	0,00	-0,09

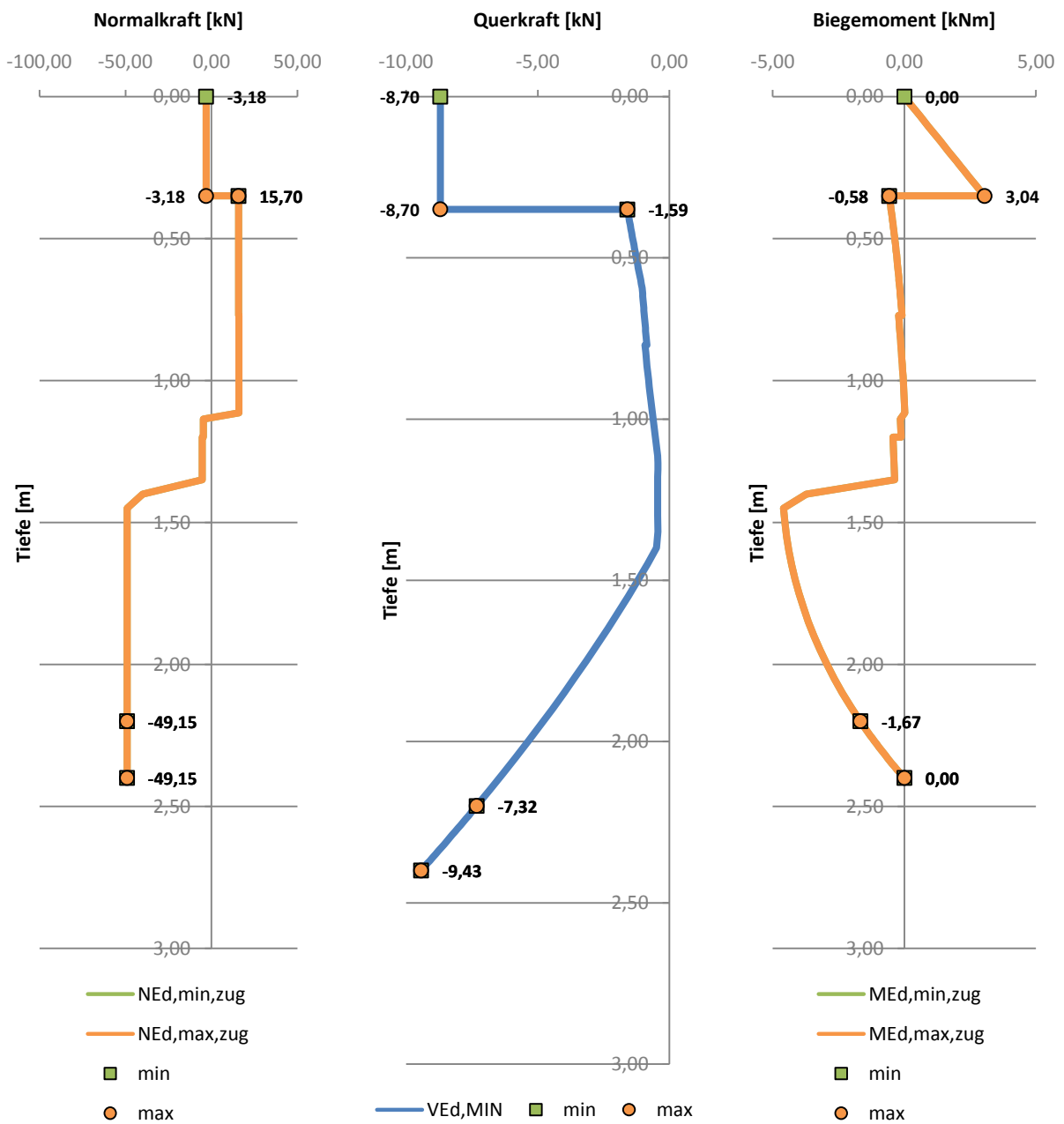


Abbildung 91: Schnittkraftumhüllende am abgestrebten System (Auswertung nach $V_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,MAX}$ [kN]	$M_{Ed,zug}$ [kNm]	$\delta_{V,MAX}$ [-]
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	5	0,00	2,02	-0,62	-0,86
		oberhalb der Trittstufe	0,35	94	-48,07	5,45	2,47	0,08
		unterhalb der Trittstufe	2,20	3	14,98	2,33	0,26	-0,10
		unterhalb des Beckens	2,20	3	14,98	2,33	0,26	-0,10
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	5	0,00	2,02	-0,62	-0,86
		oberhalb der Trittstufe	0,35	94	-48,07	5,45	2,47	0,08
		unterhalb der Trittstufe	2,20	3	14,98	2,33	0,26	-0,10
		unterhalb des Beckens	2,20	3	14,98	2,33	0,26	-0,10

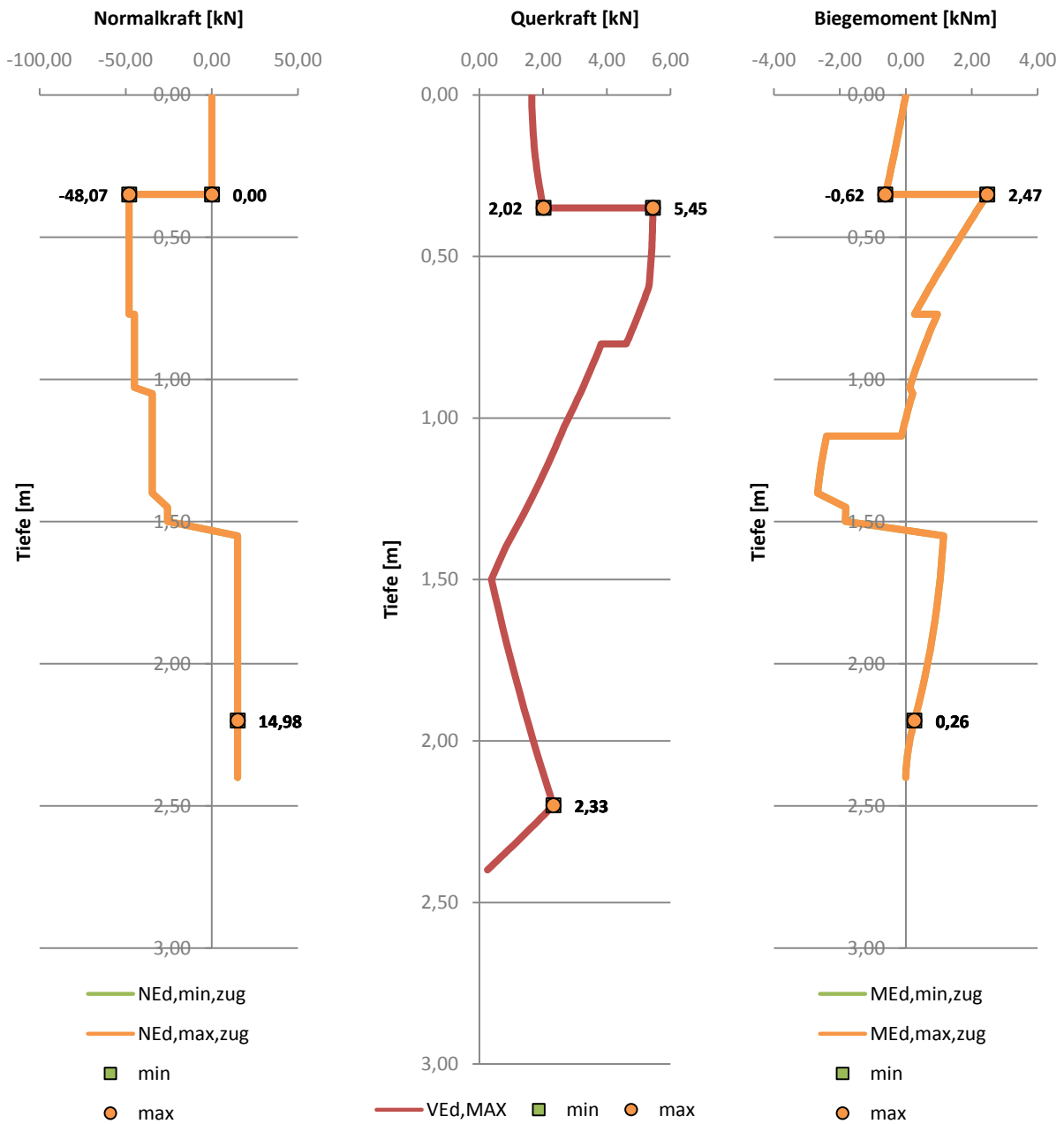


Abbildung 92: Schnittkraftumhüllende am abgestrehten System (Auswertung nach $V_{Ed,MAX}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,MIN}$ [kNm]	$\delta_{M,MIN}$ [-]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	5	0,00	2,02	-0,62	-0,98
		oberhalb der Trittstufe	1,20	40	-49,15	0,82	-1,36	1,59
		unterhalb der Trittstufe	1,35	48	-50,41	-0,14	-4,63	-0,19
		unterhalb des Beckens	2,20	48	-50,41	-7,32	-1,67	-0,11
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	5	0,00	2,02	-0,62	-0,98
		oberhalb der Trittstufe	1,20	40	-49,15	0,82	-1,36	1,59
		unterhalb der Trittstufe	1,35	40	-49,15	-0,14	-4,63	-0,19
		unterhalb des Beckens	2,20	40	-49,15	-7,32	-1,67	-0,11

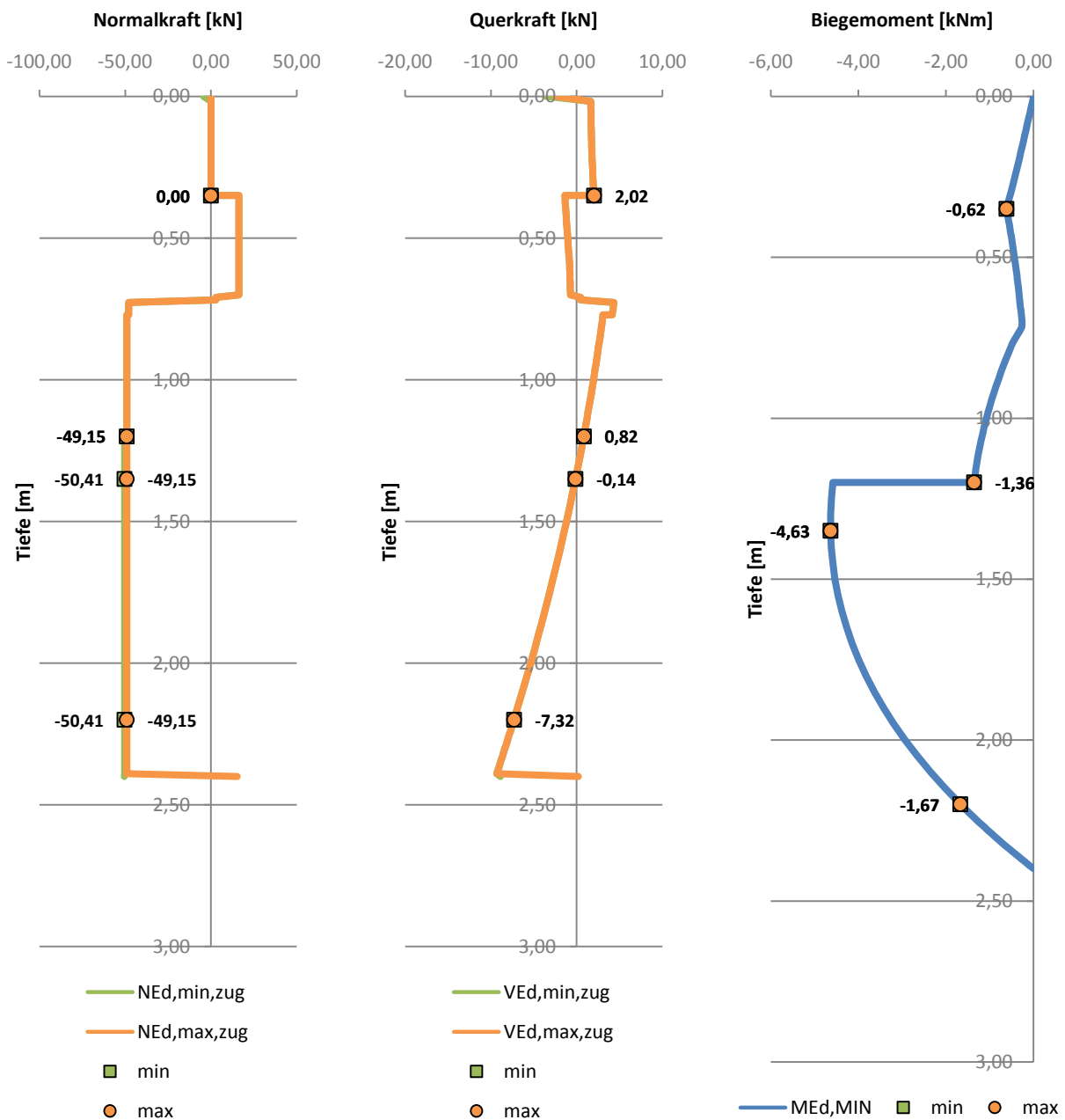


Abbildung 93: Schnittkraftumhüllende am abgestreikten System (Auswertung nach $M_{Ed,MIN}$)

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,MAX}$ [kNm]	$\delta_{M,MAX}$ [-]
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	72	-3,18	-8,70	3,04	-0,96
		oberhalb der Trittstufe	0,35	72	-44,39	5,15	3,04	-0,70
		unterhalb der Trittstufe	1,30	53	13,18	-0,04	1,20	-0,19
		unterhalb des Beckens	2,20	53	13,18	2,33	0,26	-0,17
	max	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	72	-3,18	-8,70	3,04	-0,96
		oberhalb der Trittstufe	0,35	72	-44,39	5,15	3,04	-0,70
		unterhalb der Trittstufe	1,30	3	14,98	-0,04	1,20	-0,19
		unterhalb des Beckens	2,20	3	14,98	2,33	0,26	-0,17

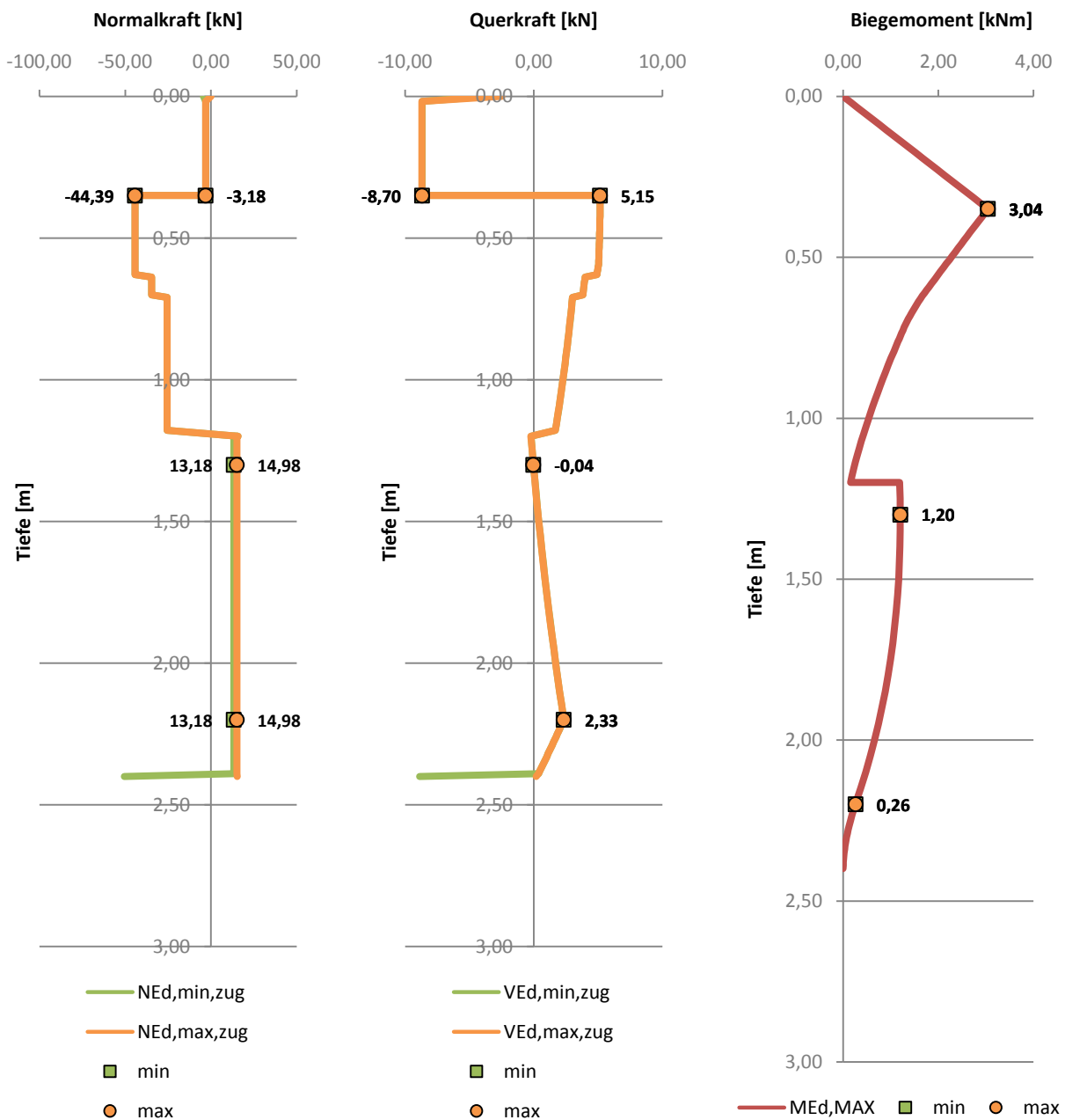


Abbildung 94: Schnittkraftumhüllende am abgestrebten System (Auswertung nach $M_{Ed,MAX}$)

5. Neue Querschnittsgestaltung

5.1 Problemstellung

Aus der Forderung nach geringem Materialverbrauch und der daraus resultierenden Dünnwandigkeit aller eingesetzten Bleche ergeben sich relativ große Querschnittsschlankheiten, wodurch ein lokales Stabilitätsversagen des Bauteils in den Vordergrund tritt. Dem zuvorkommend ist das Rippenprofil nach den Regelungen für dünnwandige, kaltgeformte Querschnitte aus Edelstahl entsprechend der ON-EN-1993-1-3 (7), ON-EN-1993-1-4 (6) und ON-EN-1993-1-5 (5), sowie anhand geometrisch nichtlinearer Analysen unter Zuhilfenahme des Computerprogrammes CUFSM (elastic buckling analysis of thin-walled members by finite strip method, Ben Schafer) (11) zu untersuchen beziehungsweise zu gestalten.

5.2 Rippentypen

In Abstimmung mit den Möglichkeiten des kaltumformenden Fertigungsverfahrens werden neben dem bisher verwendeten Trapezprofil drei weitere Rippentypen untersucht, welche sich durch die Anordnung von Sicken im Flansch und Abkantungen im Steg voneinander unterscheiden. Die Überbrückung des durch die Trittstufe hervorgerufenen Höhenversatzes erfolgt durch Verbindungslaschen, deren Geometrie ausschließlich die Blechabwicklungslänge beeinflusst und in der weiteren Berechnung vereinfachend als Stegverlängerung betrachtet wird. Die Lippen dienen zur Beulstabilisierung innerhalb der Bereiche zwischen den Verbindungsmitteln (zum Wandblech), sodass dreiseitiges Plattenbeulen ausgeschlossen werden kann. In der Berechnung der Querschnittssteifigkeiten bleiben sie unbeachtet.

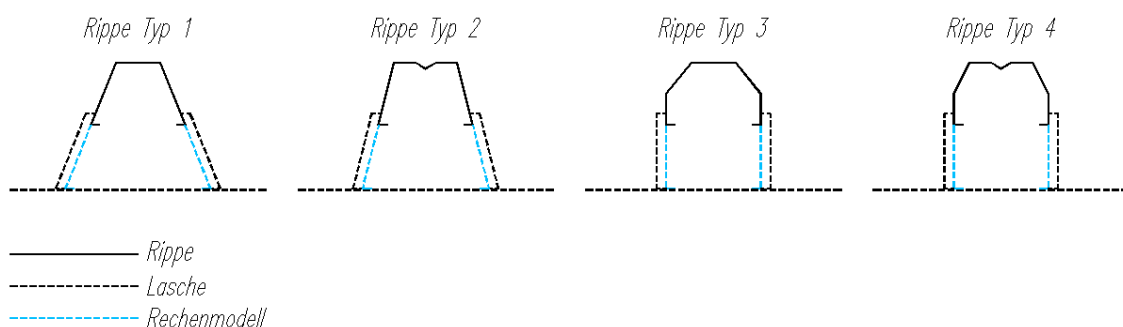


Abbildung 95: Rippentypen

Da die Anwendbarkeit der Rippenprofile in Bezug auf das normierte Rechenverfahren durch maximale Verhältnisse von Breiten zu Dicken begrenzt ist, sind sämtliche der frei definierbaren Geometrieparameter mit den Kriterien gemäß ON-EN-1993-1-3 5.2 (7) und ON-EN-1993-1-4 5.2 (6) abzustimmen.

Querschnittsteilfläche	Maximalwert
	$b/t \leq 50$
	$b/t \leq 60$ $c/t \leq 50$
	$b/t \leq 90$ $c/t \leq 60$ $d/t \leq 50$
	$b/t \leq 500$
	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

(2) Zur Erlangung ausreichend hoher Steifigkeit und zur Vermeidung von vorzeitigem Versagen der Steifen sollten deren Abmessungen innerhalb der folgenden Grenzen liegen:

$$0,2 \leq c/b \leq 0,6 \tag{5.2a}$$

$$0,1 \leq d/b \leq 0,3 \tag{5.2b}$$

Abbildung 96: EN-ON-1993-1-3 5.2, Tabelle 5.1, maximale Breiten-Dicken-Verhältnisse

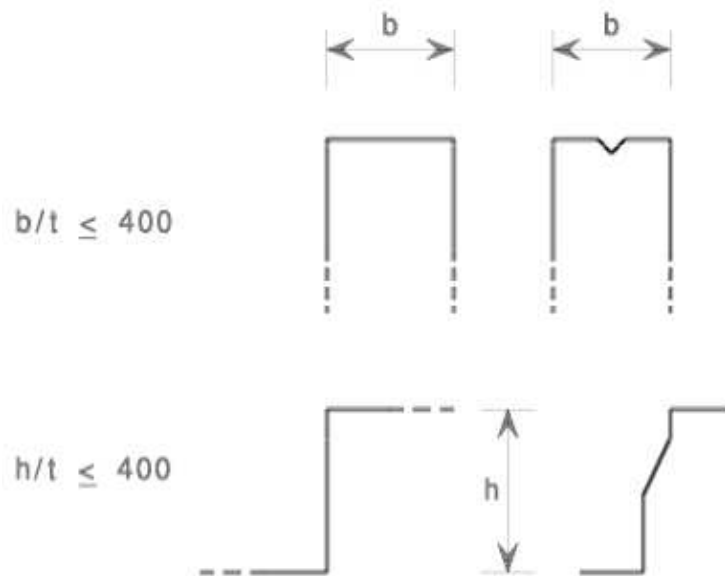


Abbildung 97: ON-EN-1993-1-4 5.2, Bild 5.1, Maximale Breite-zu-Dicke-Verhältnisse

- Maßgebende maximale Breiten-zu-Dicke-Verhältnisse

$$\frac{b}{t} \leq 400 \Rightarrow b \leq 400 \cdot t$$

$$45 [^\circ] \leq \varphi \leq 90 [^\circ]$$

$$\frac{h}{t} \leq 400 \cdot \sin \varphi \Rightarrow h \leq 400 \cdot \sin \varphi \cdot t$$

$$\frac{b}{t} \leq 60 \Rightarrow b \leq 60 \cdot t$$

(indirekt über die max. Verbindungsmittel- bzw. Bindeblechabstände nach 6.1.3 berücksichtigt)

$$\frac{c}{t} \leq 50 \Rightarrow c \leq 50 \cdot t$$

Während die ON-EN-1994-1-4 (6) dem Material angepasste Abminderungsfunktionen und -faktoren für beul-, biegeknick- oder bиеgedrillknickgefährdete Bauteile aus nichtrostenden Stählen zur Verfügung stellt, bleibt das Versagen gegenüber Profilverzerrungen und Forminstabilität unbeachtet. Die Bemessung mit dem in ON-EN-1993-1-3 5.5.3.1 (Punkt 7) (7) angegebenen Abminderungsbeiwert würde daher niemals maßgebend werden. Einem möglichen Auftreten dieses Instabilitätsfalles kann somit nur durch eine weitere Einschränkung der Querschnittsgeometrie beziehungsweise Begrenzung des maximalen Spannungsausnutzungsgrades begegnet werden. Die dazu getroffenen Festlegungen basieren auf den Ergebnissen geometrisch nichtlinearer Analysen aller Rippentypen (nachzulesen in A 1) und sind in den folgenden Abschnitten nachzulesen.

5.2.1 Rippe Typ 1

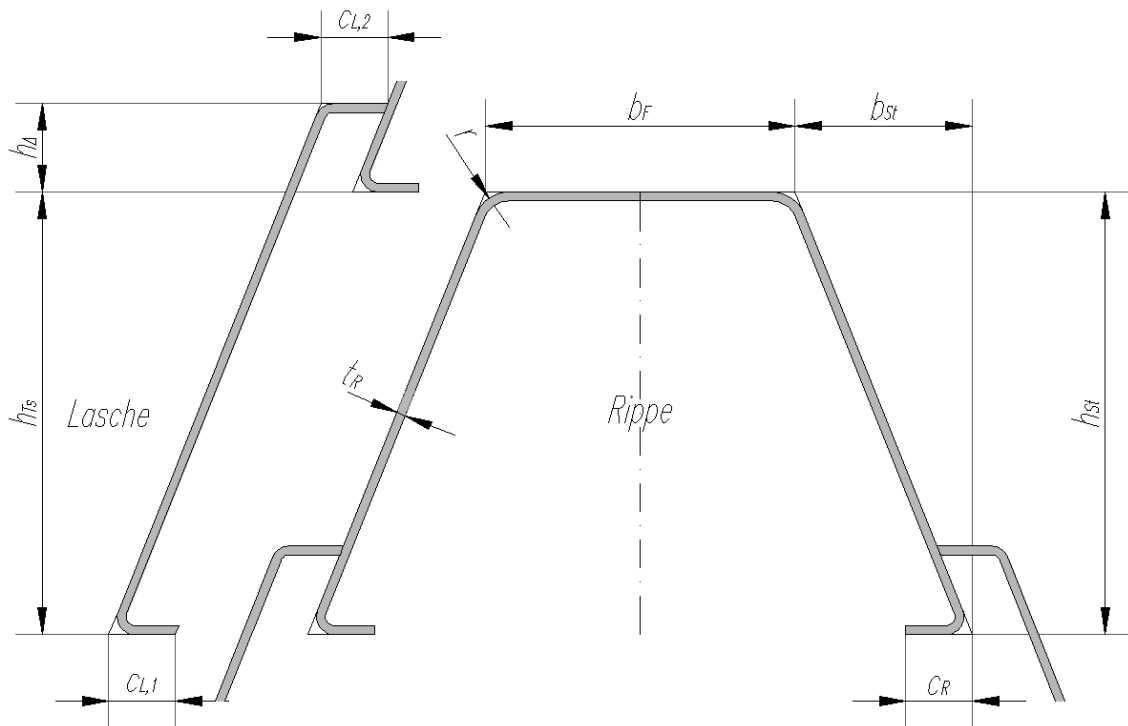


Abbildung 98: Geometrieparameter, Rippe Typ 1

- Geometrische Grenzwerte oberhalb der Trittstufe

$$\frac{b}{t} \leq 140$$

$$\frac{b_{St}}{b} \leq 0,25$$

$$\frac{h_{St}}{t} \leq 70$$

- Geometrische Grenzwerte unterhalb der Trittstufe

$$\frac{b}{t} \leq 140$$

$$\frac{b_{St}}{b} \leq 0,25$$

$$\frac{h}{t} \leq 140$$

$$b = b_F + 2 \cdot b_{St}$$

$$h = h_{St} + h_{Ts}$$

5.2.2 Rippe Typ 2

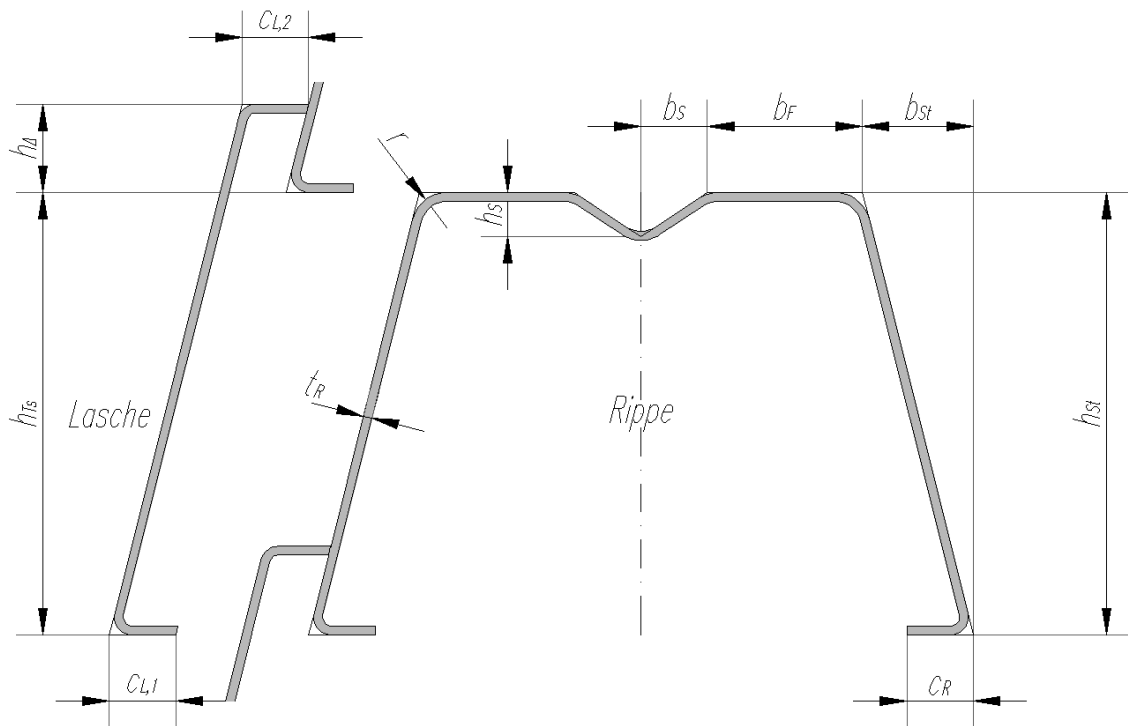


Abbildung 99: Geometrieparameter, Rippe Typ 2

- Geometrische Grenzwerte oberhalb der Trittstufe

$$\frac{b}{t} \leq 160$$

$$\frac{b_{St}}{b} \leq 0,25$$

$$\frac{b_S}{b} = 0,12$$

$$\frac{h}{t} \leq 70$$

- Geometrische Grenzwerte unterhalb der Trittstufe

$$\frac{b}{t} \leq 160$$

$$\frac{b_{St}}{b} \leq 0,25$$

$$\frac{b_S}{b} = 0,12$$

$$\frac{h}{t} \leq 140$$

$$b = 2 \cdot (b_F + b_{St} + b_S)$$

$$h = h_{St} + h_{Ts}$$

5.2.3 Rippe Typ 3

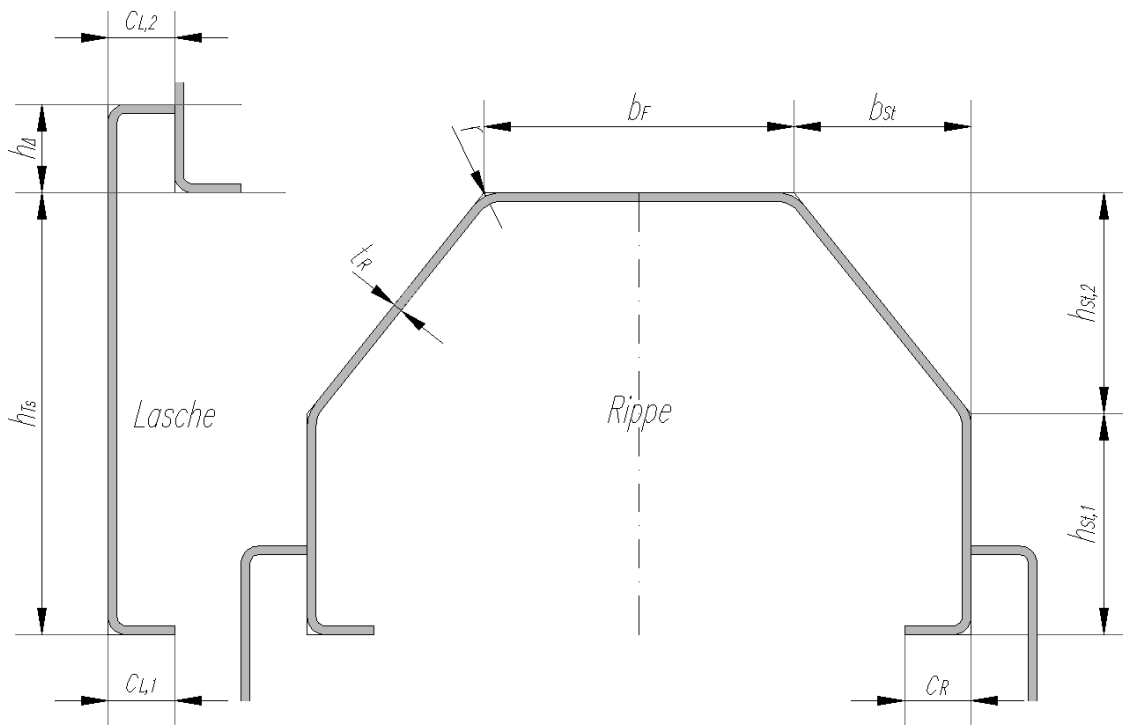


Abbildung 100: Geometrieparameter, Rippe Typ 3

- Geometrische Grenzwerte oberhalb der Trittstufe

$$\frac{b}{t} \leq 140$$

$$\frac{b_{St}}{b} \leq 0,25$$

$$\frac{h_{St}}{t} \leq 70$$

$$\frac{h_{St,2}}{h_{St}} = 0,50$$

- Geometrische Grenzwerte unterhalb der Trittstufe

$$\frac{b}{t} \leq 140$$

$$\frac{b_{St}}{b} \leq 0,25$$

$$\frac{h_{St}}{t} \leq 140$$

$$\frac{h_{St,2}}{h} = 0,25$$

$$b = b_F + 2 \cdot b_{St}$$

$$h_{St} = h_{St,1} + h_{St,2}$$

$$h = h_{St} + h_{Ts}$$

5.2.4 Rippe Typ 4

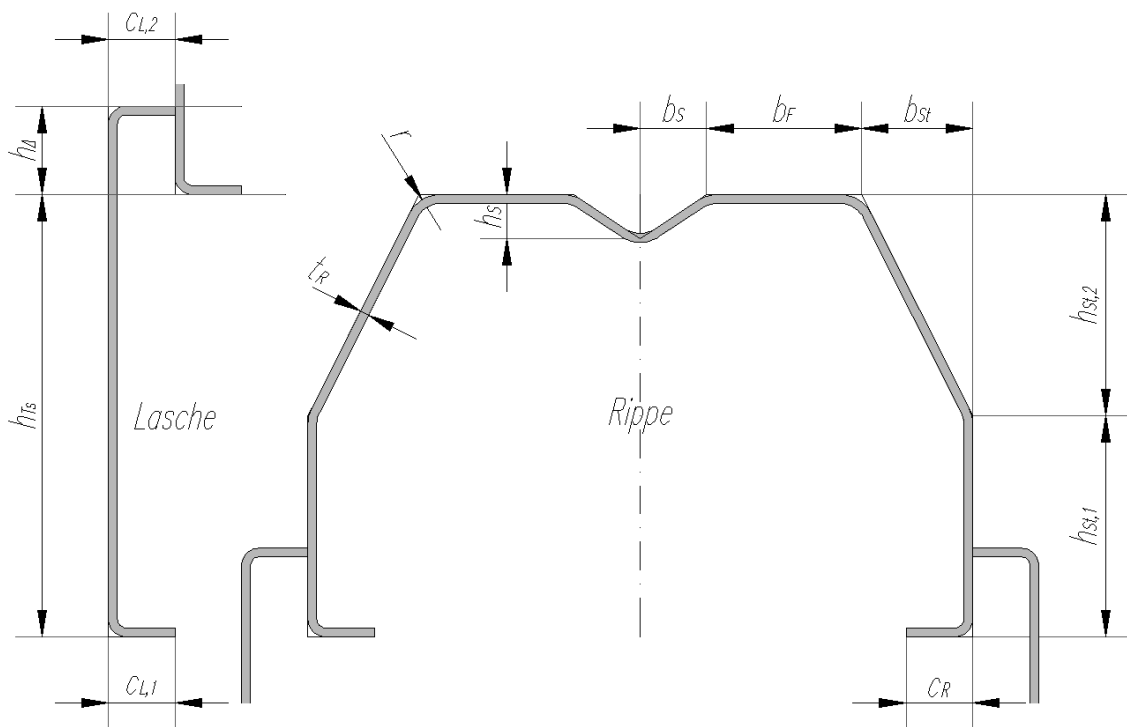


Abbildung 101: Geometrieparameter, Rippe Typ 4

- Geometrische Grenzwerte oberhalb der Trittstufe

$$\frac{b}{t} \leq 160$$

$$\frac{b_{St}}{b} \leq 0,25$$

$$\frac{b_S}{b} = 0,12$$

$$\frac{h_{St}}{t} \leq 70$$

$$\frac{h_{St,2}}{h_{St}} = 0,50$$

- Geometrische Grenzwerte unterhalb der Trittstufe

$$\frac{b}{t} \leq 160$$

$$\frac{b_{St}}{b} \leq 0,25$$

$$\frac{b_S}{b} = 0,12$$

$$\frac{h_{St}}{t} \leq 140$$

$$\frac{h_{St,2}}{h} = 0,25$$

$$b = b_F + 2 \cdot b_{St}$$

$$h_{St} = h_{St,1} + h_{St,2}$$

$$h = h_{St} + h_{Ts}$$

6. Nachweisführung

6.1 Grenzzustand der Tragfähigkeit – ULS

Mit den Schnittkräften aus 5.1.2 erfolgt die Nachweisführung am Querschnitt und Bauteil nach der elastischen Biegetheorie auf der Ebene einwirkender Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen an ausgewählten Punkten innerhalb des Profils. Im Falle eines Materialunterschiedes von Rippe und Wandblech werden der Berechnung ideale Querschnittswerte (bezogen auf das Rippenmaterial) zugrundegelegt und die Spannungen des Wandbleches mit dem Faktor $n = \frac{E_{\text{Wandblech}} \cdot h}{E_{\text{Rippe}}}$ modifiziert.

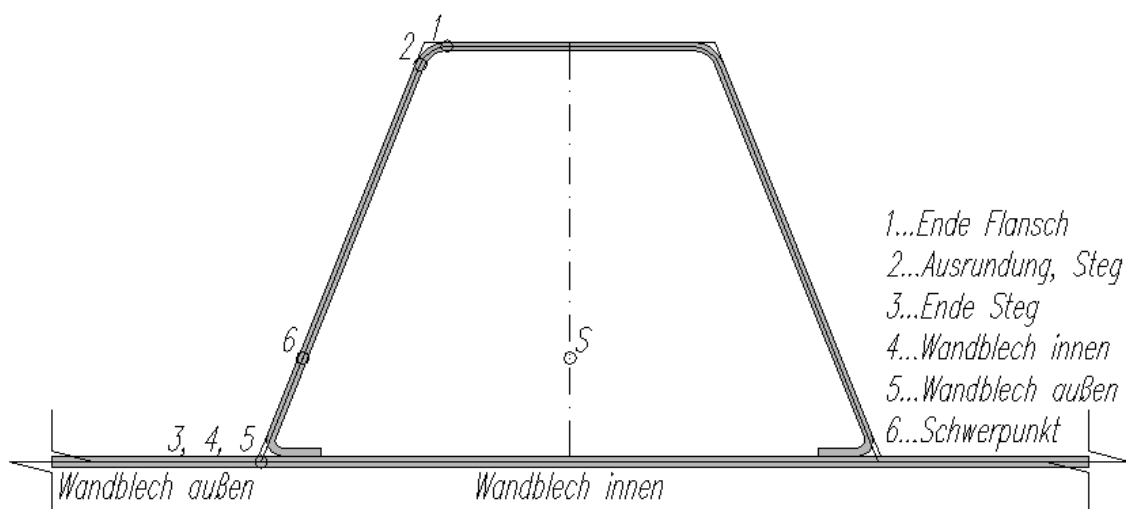


Abbildung 102: Spannungspunkte – Rippe, Typ 1

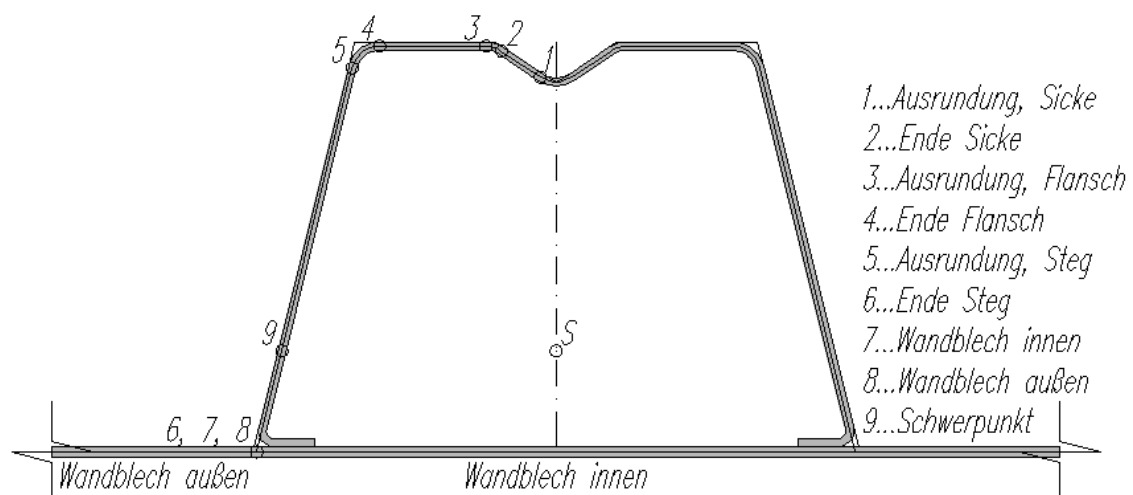


Abbildung 103: Spannungspunkte – Rippe, Typ 2

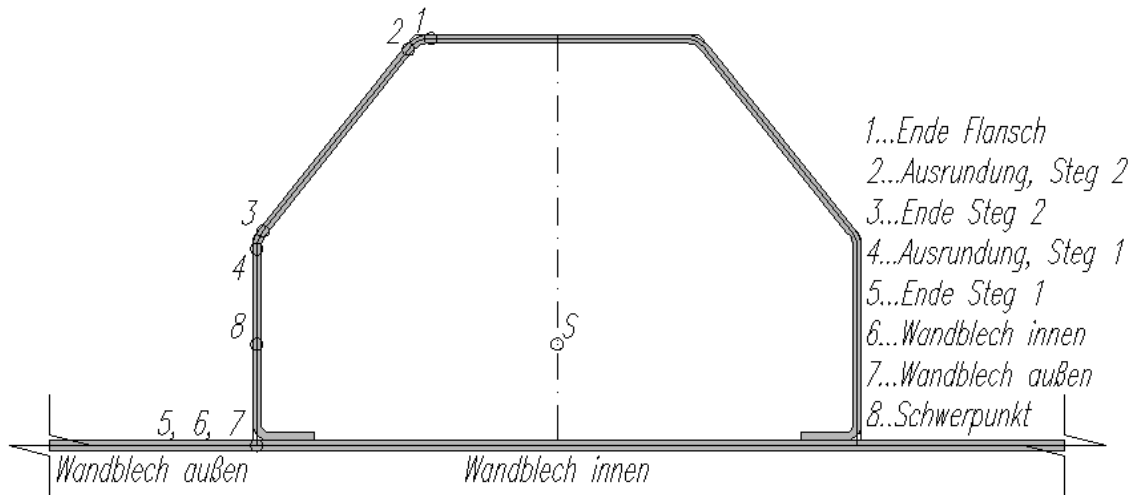


Abbildung 104: Spannungspunkte – Rippe Typ 3

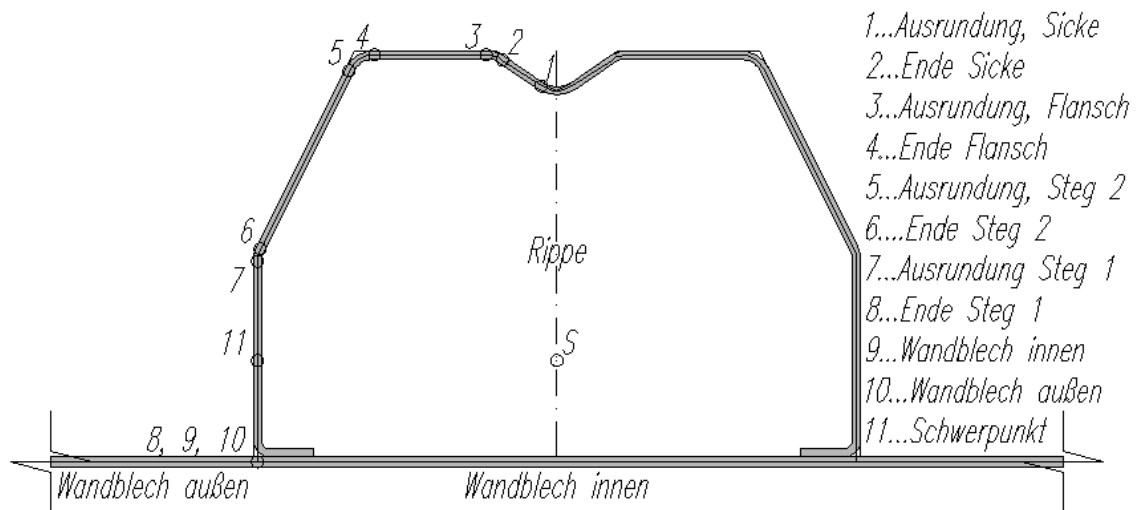
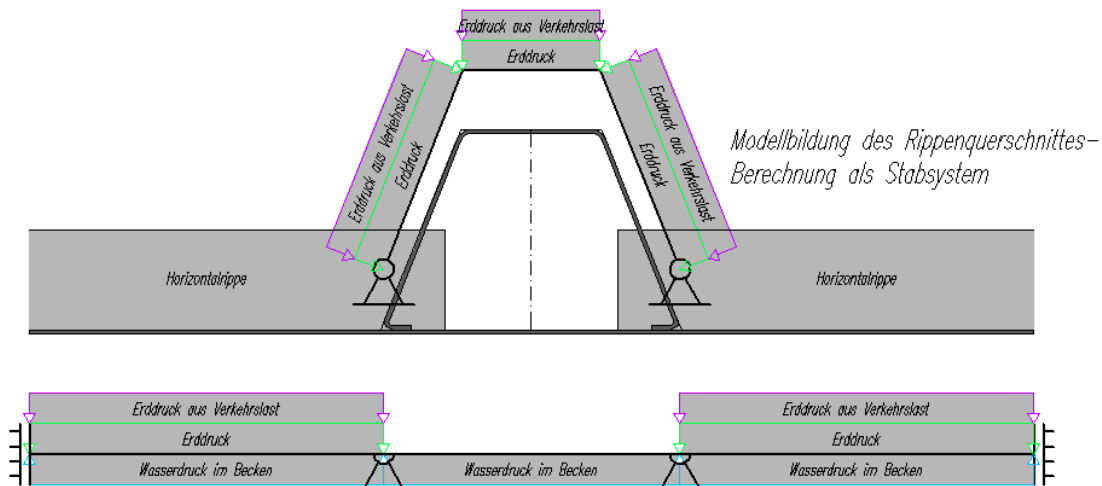


Abbildung 105: Spannungspunkte – Rippe, Typ 4

In Ergänzung zu den Systemlängsnormalspannungen $\sigma_{x,Ed}$ findet eine Berechnung der durch lokale Biegung hervorgerufenen Quernormalspannungen $\sigma_{y,Ed}$ im Beckenwandblech und in der Rippe statt. Dazu wird das Rippenprofil als Zweigelenkrahmen modelliert und dessen Spannungen zufolge der Lastfälle Wasserdruck im Becken und gegebenenfalls Erddruck aus Eigengewicht und Verkehrslast (nur bei Freibadanlagen maßgebend) nach dem elastisch-plastischen Verfahren bestimmt. Die Überlagerungsvorschrift folgt dabei aus der maßgebenden Lastfallkombination gemäß 5.1.2.

Für die Querbiegung des Beckenstaubleches gelten selbige Überlegungen mit dem Unterschied, dass die Spannungsberechnung aller Einzellastfälle in Abhängigkeit der Anordnung von Horizontalrippen auf der Plattentheorie nach Kirchhoff beruht. Genaueres dazu lässt sich in der Masterarbeit von Manfred Unterweger BSc nachlesen.

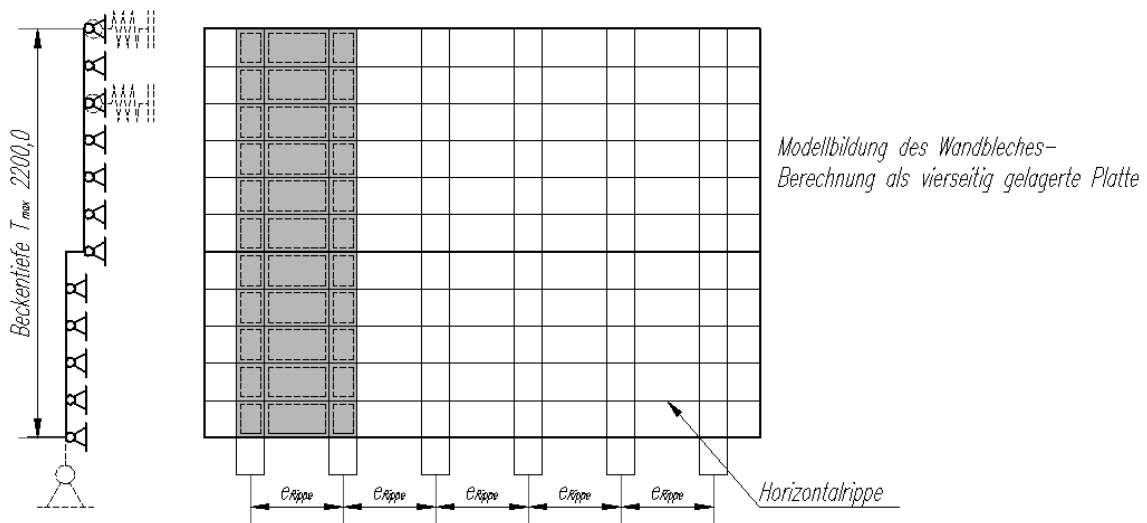
Grundriss in der Tiefe T



Modellbildung des Rippenquerschnittes- Berechnung als Stabsystem

Modellbildung des Wandbleches, horizontal- Berechnung als durch vertikal angeordnete Horizontallrippen gestützte Platte

Querschnitt und Ansicht des Beckenwandbleches



Modellbildung des Wandbleches- Berechnung als vierseitig gelagerte Platte

Abbildung 106: Querbiegung – Modellbildung

In Bezugnahme auf die Bemessungseinwirkung entsprechend 5.1.2.1, Abbildung 74 erläutert das folgende Beispiel die Grundlagen der lokalen Normalspannungsermittlung am Rippenquerschnitt. Vereinfachend wird nur auf die MIN – min Auswertung eingegangen.

Tabelle 27: Eingangsparmeter für die Bestimmung der lokalen Biegespannungen

führend	zugehörig	Bereich	T [m]	LK
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb des Rinnenkorbes	0,35	92
		oberhalb der Trittstufe	1,20	92
		unterhalb der Trittstufe	1,40	46
		unterhalb des Beckens	2,20	46

Tabelle 28: Maßgebende Lastfallkombinationen für die Bestimmung der lokalen Biegespannungen.

LK	Leiteinwirkung	Begleit-einwirkung(en)	LF1a	LF1b	LF2	LF3	LF4	LF4a	LF4b	LF5	LF6
46	4	2, 5	0	1,35	1,2	0	1,5	0	1,5	1,05	0
92	4	6	1,35	0	0	0	1,5	1,5	0	0	0,9

In Zusammenhang mit den Belastungsbildern von 4.1 lässt sich jeder einzelnen aus Tabelle 27 zu entnehmenden Tiefe ein Bemessungslastzustand aus Erddruck zufolge Eigengewicht und Verkehrslast zuordnen.

$$p_{0,35/LK92} = \underbrace{\gamma_E}_{=0,00} \cdot K_a \cdot T \cdot \gamma_{Ea,LK92} + \underbrace{q_V}_{=0,00} \cdot K_a \cdot \gamma_{Q,LK92} = \pm 0,0000 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\begin{aligned} p_{1,20/LK92} &= \gamma_E \cdot K_a \cdot T \cdot \gamma_{Ea,LK92} + q_V \cdot K_a \cdot \gamma_{Q,LK92} \\ &= 10^{-3} \cdot (18,00 \cdot 0,33 \cdot 1,20 \cdot 1,35 + 5,00 \cdot 0,33 \cdot 1,50) \\ &= +0,0122 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{1,40/LK46} &= \gamma_E \cdot K_0 \cdot T \cdot \gamma_{Ea,LK46} + q_V \cdot K_0 \cdot \gamma_{Q,LK46} \\ &= 10^{-3} \cdot (18,00 \cdot 0,50 \cdot 1,40 \cdot 1,35 + 5,00 \cdot 0,50 \cdot 1,50) \\ &= +0,0208 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_{2,20/LK46} &= \gamma_E \cdot K_0 \cdot T \cdot \gamma_{Ea,LK46} + q_V \cdot K_0 \cdot \gamma_{Q,LK46} \\ &= 10^{-3} \cdot (18,00 \cdot 0,50 \cdot 2,20 \cdot 1,35 + 5,00 \cdot 0,50 \cdot 1,50) \\ &= +0,0305 \left[\frac{N}{mm^2} \right] \end{aligned}$$

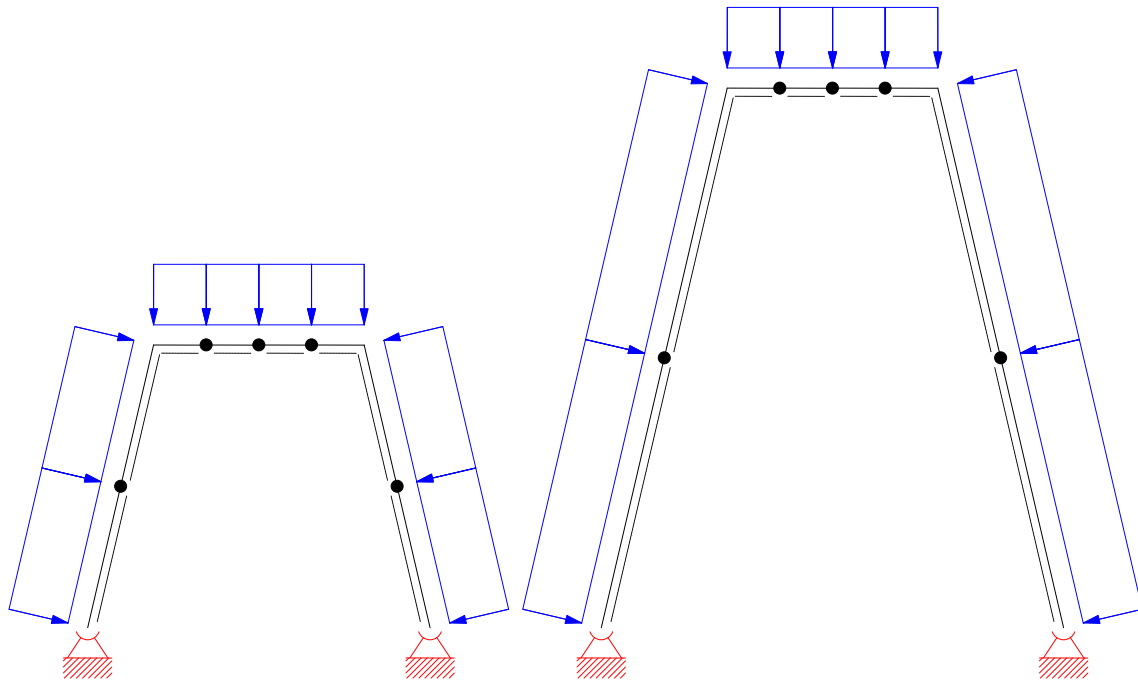


Abbildung 107: Einheitsbelastung am Rippenquerschnitt

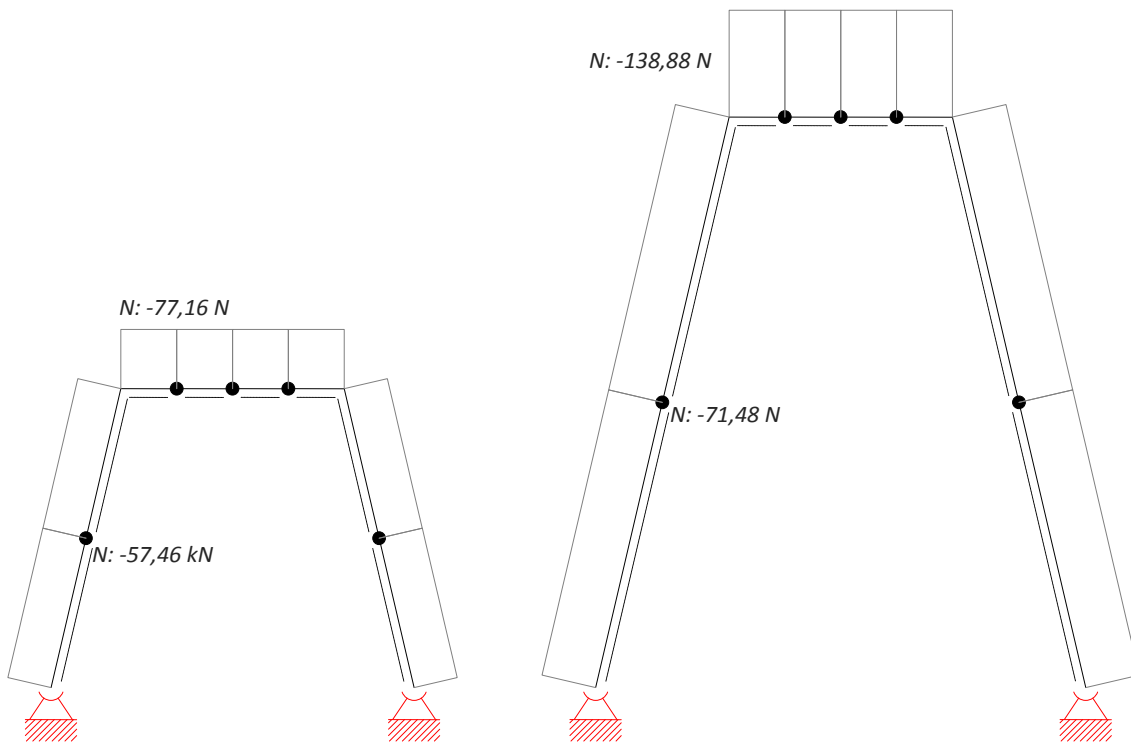


Abbildung 108: Normalkraft zufolge Einheitsbelastung

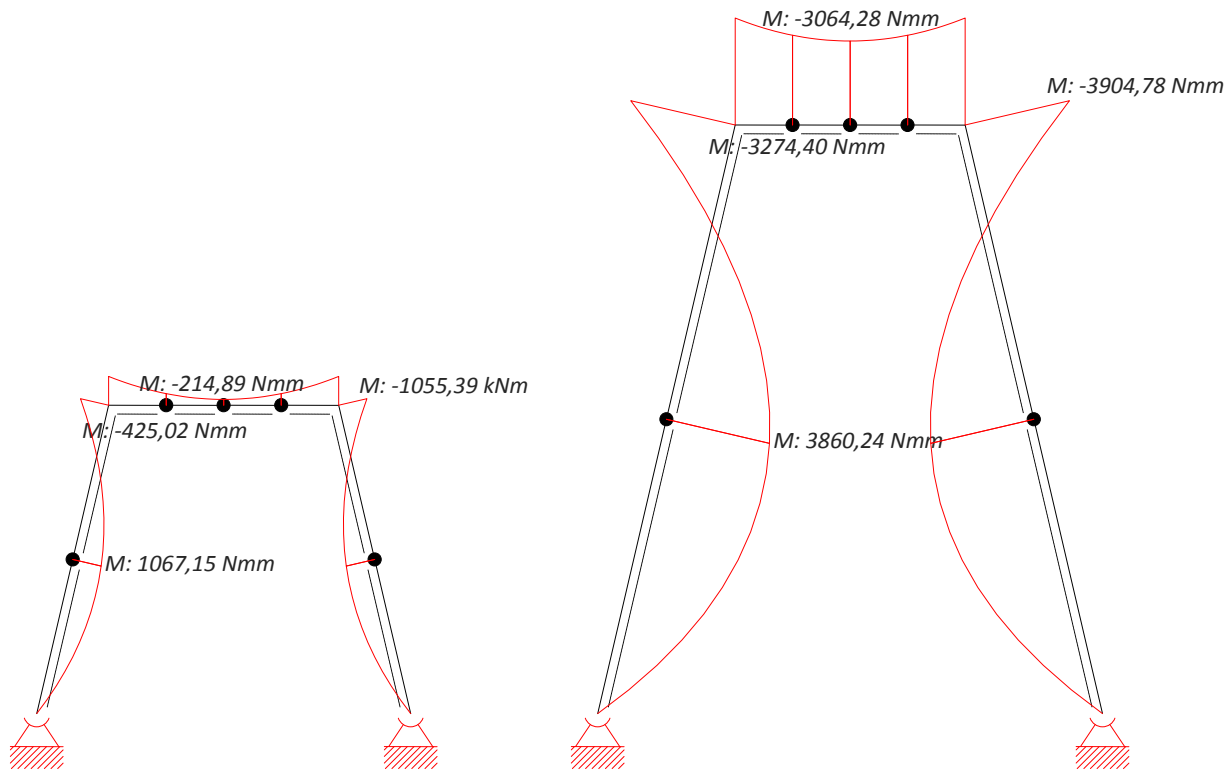


Abbildung 109: Biegemoment zufolge Einheitsbelastung

Für eine Blechbreite von einem Millimeter berechnen sich die lokalen Querbiegespannungen aus der Einheitsbelastung nach der Formel $\sigma_{y,Ed} = \frac{N_{Ed}}{t} + \frac{4 \cdot M_{Ed}}{t^2}$. Dieser Spannungswert wird anschließend mit den zuvor ermittelten Lastgrößen p skaliert.

Das Prinzip die charakteristischen Biegespannungen zufolge der Einzellastfälle durch nachträgliche Multiplikation mit den Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten auf das Bemessungslastniveau zu vergrößern, kommt in gleicher Weise beim Wandblech zur Anwendung. Die dazu erforderlichen Spannungswerte sind der Masterarbeit von Manfred Unterwiesinger BSc zu entnehmen.

Abschließend werden die gewonnenen Informationen zur Führung zweier Vergleichsspannungsnachweise infolge $\sigma_{x,Ed}$ und τ_{Ed} beziehungsweise $\sigma_{x,Ed}$, $\sigma_{y,Ed}$ und τ_{Ed} herangezogen. Das im Beispiel zugrunde gelegte Material ist der Konstruktionsstahl 1.4404.

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{240,00}{1,10} = 218,18 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{240,00}{\sqrt{3} \cdot 1,10} = 125,97 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

6.1.1 Querschnittsnachweise

6.1.1.1 Querschnittsnachweise am System exklusive Rinnenkorb

Tabelle 29: Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System exklusive Rinnenkorb

Schnittgrößen- auswertung	Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
		min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-23,5	6,9	-0,1	0,0	-1,9	4,4	23,8	0,11	Ende Fl.	23,8	0,11	Ende Fl.
		oberhalb TS	-116,4	30,1	-45,7	12,7	-2,2	3,9	116,5	0,53	Ende Fl.	123,7	0,57	Ende Fl.
		unterhalb TS	-18,5	3,2	-82,5	79,4	0,0	0,0	18,5	0,08	Ende Fl.	93,1	0,43	Ende Fl.
		unterhalb B	-43,3	46,3	-121,1	116,6	-5,0	0,0	46,3	0,21	Ende St.	147,7	0,68	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-3,4	-2,9	0,0	2,9	0,0	0,0	3,4	0,02	Ende St.	5,4	0,02	Wdbl. a.
		oberhalb TS	-2,9	0,9	-15,9	15,1	-0,6	0,3	3,1	0,01	Ende St.	16,8	0,08	Ende St.
		unterhalb TS	-3,4	-2,3	-79,3	76,3	0,0	0,0	3,4	0,02	Ende Fl.	81,0	0,37	Ende Fl.
		unterhalb B	-9,5	-9,5	-100,7	97,0	-6,1	0,0	14,2	0,07	SPkt.	106,0	0,49	Ende Fl.
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-23,1	11,5	-0,1	0,0	-2,2	5,0	23,4	0,11	Ende Fl.	23,4	0,11	Ende Fl.
		oberhalb TS	-99,4	27,9	-35,7	10,1	-1,9	3,5	99,4	0,46	Ende Fl.	105,1	0,48	Ende Fl.
		unterhalb TS	-39,9	14,6	-46,7	44,9	0,0	0,0	39,9	0,18	Ende Fl.	75,0	0,34	Ende Fl.
		unterhalb B	-68,7	113,3	-70,8	68,2	-17,1	0,0	113,3	0,52	Ende St.	122,1	0,56	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-1,9	3,8	0,0	6,5	-0,2	0,1	3,8	0,02	Ende Fl.	7,6	0,03	Wdbl. a.
		oberhalb TS	-8,9	31,7	-11,8	13,2	-1,0	0,6	31,7	0,15	Ende Fl.	39,0	0,18	Ende Fl.
		unterhalb TS	-11,4	4,2	-52,5	50,5	-5,7	2,7	11,8	0,05	Ende Fl.	59,1	0,27	Ende Fl.
		unterhalb B	0,0	0,0	-57,2	55,1	-16,5	0,0	28,5	0,13	SPkt.	62,0	0,28	SPkt.
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	0,0	0,0	0,0	0,2	-1,1	0,5	2,0	0,01	SPkt.	2,0	0,01	SPkt.
		oberhalb TS	-1,0	3,6	0,0	6,5	-4,7	2,6	8,1	0,04	SPkt.	8,3	0,04	Wdbl. a.
		unterhalb TS	-20,6	5,2	-80,8	77,7	-9,6	4,4	21,2	0,10	Ende Fl.	92,9	0,43	Ende Fl.
		unterhalb B	-6,2	-6,2	-87,2	83,9	-27,0	0,0	47,1	0,22	SPkt.	98,9	0,45	SPkt.
	max	oberhalb RK	0,0	0,0	0,0	0,2	-1,1	0,5	2,0	0,01	SPkt.	2,0	0,01	SPkt.
		oberhalb TS	-1,0	3,6	0,0	6,5	-4,7	2,6	8,1	0,04	SPkt.	8,3	0,04	Wdbl. a.
		unterhalb TS	-20,6	5,2	-80,8	77,7	-9,6	4,4	21,2	0,10	Ende Fl.	92,9	0,43	Ende Fl.
		unterhalb B	-6,2	-6,2	-87,2	83,9	-27,0	0,0	47,1	0,22	SPkt.	98,9	0,45	SPkt.
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-27,2	10,2	-0,1	0,0	-2,4	5,4	27,6	0,13	Ende Fl.	27,6	0,13	Ende Fl.
		oberhalb TS	-13,4	1,1	-0,1	0,0	-6,9	12,4	21,5	0,10	SPkt.	21,5	0,10	SPkt.
		unterhalb TS	-1,3	2,5	-78,7	75,7	-1,4	3,1	5,4	0,02	SPkt.	80,0	0,37	Ende Fl.
		unterhalb B	-21,1	10,9	-78,7	75,7	0,0	6,6	21,1	0,10	Ende St.	84,9	0,39	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-2,3	-2,3	0,0	0,0	-2,4	5,4	9,6	0,04	SPkt.	9,6	0,04	SPkt.
		oberhalb TS	-13,4	1,1	-0,1	0,0	-6,9	12,4	21,5	0,10	SPkt.	21,5	0,10	SPkt.
		unterhalb TS	-1,3	2,5	-78,7	75,7	-1,4	3,1	5,4	0,02	SPkt.	80,0	0,37	Ende Fl.
		unterhalb B	-21,1	10,9	-78,7	75,7	0,0	6,6	21,1	0,10	Ende St.	84,9	0,39	Ende Fl.

Tabelle 29: Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System exklusive Rinnenkorb – Fortsetzung

Schnittgrößen- auswertung		Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		
			min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-27,2	10,2	-0,1	0,0	-2,4	5,4	27,6	0,13	Ende Fl.	27,6	0,13	Ende Fl.
		oberhalb TS	-116,4	30,1	-45,7	12,7	-2,2	3,9	116,5	0,53	Ende Fl.	123,7	0,57	Ende Fl.
		unterhalb TS	-50,8	15,5	-55,0	52,9	-0,1	0,2	50,8	0,23	Ende Fl.	91,7	0,42	Ende Fl.
		unterhalb B	-89,9	126,3	-80,8	77,7	-20,5	0,0	126,3	0,58	Ende St.	149,3	0,68	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-27,2	10,2	-0,1	0,0	-2,4	5,4	27,6	0,13	Ende Fl.	27,6	0,13	Ende Fl.
		oberhalb TS	-116,4	30,1	-45,7	12,7	-2,2	3,9	116,5	0,53	Ende Fl.	123,7	0,57	Ende Fl.
		unterhalb TS	-50,3	16,0	-55,0	52,9	-0,1	0,2	50,3	0,23	Ende Fl.	91,2	0,42	Ende Fl.
		unterhalb B	-87,8	128,4	-80,8	77,7	-20,5	0,0	128,4	0,59	Ende St.	147,5	0,68	Ende Fl.
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-1,9	3,8	0,0	6,5	-0,2	0,1	3,8	0,02	Ende Fl.	7,6	0,03	Wdbl. a.
		oberhalb TS	-8,9	31,7	-11,8	13,2	-1,0	0,6	31,7	0,15	Ende Fl.	39,0	0,18	Ende Fl.
		unterhalb TS	-5,7	11,4	-50,1	48,2	0,0	0,0	11,4	0,05	Ende Fl.	56,7	0,26	Ende Fl.
		unterhalb B	-24,1	7,9	-78,7	75,7	0,0	6,6	24,1	0,11	Ende St.	83,2	0,38	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-1,9	3,8	0,0	6,5	-0,2	0,1	3,8	0,02	Ende Fl.	7,6	0,03	Wdbl. a.
		oberhalb TS	-8,9	31,7	-11,8	13,2	-1,0	0,6	31,7	0,15	Ende Fl.	39,0	0,18	Ende Fl.
		unterhalb TS	-4,9	12,2	-50,1	48,2	0,0	0,0	12,2	0,06	Ende Fl.	57,2	0,26	Ende Fl.
		unterhalb B	-21,1	10,9	-78,7	75,7	0,0	6,6	21,1	0,10	Ende St.	84,9	0,39	Ende Fl.

6.1.1.2 Querschnittsnachweise am System inklusive Rinnenkorb

Tabelle 30: Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System inklusive Rinnenkorb

Schnittgrößen- auswertung	Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
		min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-18,3	2,2	-0,1	0,0	-1,3	3,0	18,4	0,08	Ende Fl.	18,4	0,08	Ende Fl.
		oberhalb TS	-128,2	30,6	-45,7	12,7	-1,5	2,7	128,2	0,59	Ende Fl.	135,4	0,62	Ende Fl.
		unterhalb TS	-26,2	3,6	-72,8	70,1	-0,1	0,0	26,2	0,12	Ende Fl.	88,9	0,41	Ende Fl.
		unterhalb B	-54,4	47,3	-121,1	116,6	-6,3	0,0	54,8	0,25	Ende Fl.	155,8	0,71	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-8,9	4,1	0,0	6,5	-1,2	0,5	9,1	0,04	Ende St.	13,4	0,06	Wdbl. a.
		oberhalb TS	-9,9	-2,7	-15,9	15,1	-1,7	1,0	10,0	0,05	Ende Fl.	22,6	0,10	Ende Fl.
		unterhalb TS	-7,3	-3,3	-93,6	90,1	0,0	0,0	7,3	0,03	Ende Fl.	97,4	0,45	Ende Fl.
		unterhalb B	-16,0	-16,0	-100,7	97,0	-7,4	0,0	20,6	0,09	SPkt.	109,9	0,50	Ende Fl.
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-21,9	10,9	-0,1	0,0	-2,1	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-98,7	27,8	-35,7	10,1	-2,0	3,5	98,8	0,45	Ende Fl.	104,5	0,48	Ende Fl.
		unterhalb TS	-39,7	14,5	-46,7	44,9	0,0	0,0	39,7	0,18	Ende Fl.	74,9	0,34	Ende Fl.
		unterhalb B	-68,5	113,0	-70,8	68,2	-17,1	0,0	113,0	0,52	Ende St.	121,9	0,56	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-2,9	5,9	0,0	6,5	-0,6	0,3	5,9	0,03	Ende Fl.	8,3	0,04	Wdbl. a.
		oberhalb TS	-9,1	32,5	-11,8	13,2	-1,0	0,5	32,5	0,15	Ende Fl.	39,7	0,18	Ende Fl.
		unterhalb TS	-11,4	4,2	-52,5	50,5	-5,7	2,6	11,8	0,05	Ende Fl.	59,1	0,27	Ende Fl.
		unterhalb B	0,0	0,0	-57,2	55,1	-16,4	0,0	28,5	0,13	SPkt.	62,0	0,28	SPkt.
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-4,6	-4,6	0,0	0,2	-2,2	1,0	6,0	0,03	SPkt.	6,0	0,03	SPkt.
		oberhalb TS	-1,4	4,8	0,0	6,5	-4,6	2,6	8,0	0,04	SPkt.	8,5	0,04	Wdbl. a.
		unterhalb TS	-23,5	3,8	-80,8	77,7	-10,2	4,7	24,1	0,11	Ende Fl.	94,8	0,43	Ende Fl.
		unterhalb B	-12,7	-12,7	-87,2	83,9	-28,4	0,0	50,8	0,23	SPkt.	103,4	0,47	SPkt.
	max	oberhalb RK	-4,6	-4,6	0,0	0,2	-2,2	1,0	6,0	0,03	SPkt.	6,0	0,03	SPkt.
		oberhalb TS	-1,4	4,8	0,0	6,5	-4,6	2,6	8,0	0,04	SPkt.	8,5	0,04	Wdbl. a.
		unterhalb TS	-23,5	3,8	-80,8	77,7	-10,2	4,7	24,1	0,11	Ende Fl.	94,8	0,43	Ende Fl.
		unterhalb B	-12,7	-12,7	-87,2	83,9	-28,4	0,0	50,8	0,23	SPkt.	103,4	0,47	SPkt.
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-21,9	10,9	-0,1	0,0	-2,1	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-7,5	-1,8	-0,1	0,0	-9,4	16,8	29,3	0,13	SPkt.	29,3	0,13	SPkt.
		unterhalb TS	-1,4	2,5	-78,7	75,7	-1,5	3,1	5,4	0,02	SPkt.	80,0	0,37	Ende Fl.
		unterhalb B	-21,4	11,1	-78,7	75,7	0,0	6,7	21,4	0,10	Ende St.	85,0	0,39	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,1	4,7	8,2	0,04	SPkt.	8,2	0,04	SPkt.
		oberhalb TS	-7,5	-1,8	-0,1	0,0	-9,4	16,8	29,3	0,13	SPkt.	29,3	0,13	SPkt.
		unterhalb TS	-1,4	2,5	-78,7	75,7	-1,5	3,1	5,4	0,02	SPkt.	80,0	0,37	Ende Fl.
		unterhalb B	-21,4	11,1	-78,7	75,7	0,0	6,7	21,4	0,10	Ende St.	85,0	0,39	Ende Fl.

Tabelle 30: Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System inklusive Rinnenkorb – Fortsetzung

Schnittgrößen- auswertung		Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		
			min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-21,9	10,9	-0,1	0,0	-2,1	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-128,2	30,6	-45,7	12,7	-1,5	2,7	128,2	0,59	Ende Fl.	135,4	0,62	Ende Fl.
		unterhalb TS	-58,4	15,8	-53,4	51,4	0,0	0,1	58,4	0,27	Ende Fl.	96,8	0,44	Ende Fl.
		unterhalb B	-101,3	127,9	-80,8	77,7	-21,9	0,0	127,9	0,59	Ende St.	159,6	0,73	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-21,9	10,9	-0,1	0,0	-2,1	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-128,2	30,6	-45,7	12,7	-1,5	2,7	128,2	0,59	Ende Fl.	135,4	0,62	Ende Fl.
		unterhalb TS	-57,8	16,4	-53,4	51,4	0,0	0,1	57,8	0,26	Ende Fl.	96,3	0,44	Ende Fl.
		unterhalb B	-99,2	130,0	-80,8	77,7	-21,9	0,0	130,0	0,60	Ende St.	157,8	0,72	Ende Fl.
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-8,9	4,1	0,0	6,5	-1,2	0,5	9,1	0,04	Ende St.	13,4	0,06	Wdbl. a.
		oberhalb TS	-9,1	32,5	-11,8	13,2	-1,0	0,5	32,5	0,15	Ende Fl.	39,7	0,18	Ende Fl.
		unterhalb TS	-5,8	11,7	-50,1	48,2	0,0	0,0	11,7	0,05	Ende Fl.	56,8	0,26	Ende Fl.
		unterhalb B	-24,4	8,1	-78,7	75,7	0,0	6,7	24,4	0,11	Ende St.	83,3	0,38	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-8,9	4,1	0,0	6,5	-1,2	0,5	9,1	0,04	Ende St.	13,4	0,06	Wdbl. a.
		oberhalb TS	-9,1	32,5	-11,8	13,2	-1,0	0,5	32,5	0,15	Ende Fl.	39,7	0,18	Ende Fl.
		unterhalb TS	-5,0	12,5	-50,1	48,2	0,0	0,0	12,5	0,06	Ende Fl.	57,3	0,26	Ende Fl.
		unterhalb B	-21,4	11,1	-78,7	75,7	0,0	6,7	21,4	0,10	Ende St.	85,0	0,39	Ende Fl.

6.1.1.3 Querschnittsnachweise am abgestrebten System

Tabelle 31: Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am abgestrebten System

Schnittgrößen- auswertung	Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
		min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-3,9	-3,9	0,0	0,0	-9,2	4,0	16,5	0,08	SPkt.	16,5	0,08	SPkt.
		oberhalb TS	-49,7	-21,3	-45,7	12,7	-2,0	3,6	49,8	0,23	Ende Fl.	59,4	0,27	Wdbl. a.
		unterhalb TS	-72,7	-4,6	-55,0	52,9	0,0	0,1	72,7	0,33	Ende Fl.	110,9	0,51	Ende Fl.
		unterhalb B	-166,7	52,5	-80,8	77,7	-20,8	0,0	168,0	0,77	Ende Fl.	219,6	1,01	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-46,7	82,1	-0,1	0,0	-18,6	8,1	83,4	0,38	Ende Fl.	83,4	0,38	Ende Fl.
		oberhalb TS	-31,1	-14,6	-14,7	9,1	-5,3	9,6	35,0	0,16	Ende St.	41,6	0,19	Wdbl. a.
		unterhalb TS	-41,9	-15,8	-80,8	77,7	-9,7	4,5	42,2	0,19	Ende Fl.	108,1	0,50	Ende Fl.
		unterhalb B	-84,0	-84,0	-87,2	83,9	-27,3	0,0	96,4	0,44	SPkt.	152,9	0,70	SPkt.
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-21,2	10,5	0,0	6,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-10,9	14,6	0,0	6,5	-3,7	2,0	15,8	0,07	Ende St.	19,0	0,09	Wdbl. a.
		unterhalb TS	5,7	9,9	-78,7	75,7	-1,5	3,2	10,0	0,05	Ende Fl.	84,1	0,39	Ende Fl.
		unterhalb B	25,2	25,2	-85,8	82,6	0,0	0,6	25,2	0,12	SPkt.	100,8	0,46	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-47,2	94,9	-0,1	0,0	-20,5	9,0	96,4	0,44	Ende Fl.	96,4	0,44	Ende Fl.
		oberhalb TS	2,0	11,0	-7,6	7,2	-1,7	1,0	11,3	0,05	Ende St.	16,1	0,07	Ende St.
		unterhalb TS	1,8	20,6	-48,3	46,5	0,0	0,0	20,6	0,09	Ende Fl.	61,2	0,28	Ende Fl.
		unterhalb B	3,7	38,2	-78,7	75,7	0,0	6,9	38,9	0,18	Ende Fl.	103,5	0,47	Ende Fl.
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-2,7	-2,7	0,0	0,0	-22,5	9,8	39,1	0,18	SPkt.	39,1	0,18	SPkt.
		oberhalb TS	-9,7	14,0	0,0	6,5	-4,2	2,4	15,6	0,07	Ende St.	18,5	0,08	Wdbl. a.
		unterhalb TS	-42,6	-14,7	-80,8	77,7	-10,5	4,9	43,0	0,20	Ende Fl.	108,7	0,50	Ende Fl.
		unterhalb B	-81,5	-81,5	-87,2	83,9	-29,0	0,0	95,7	0,44	SPkt.	151,8	0,70	SPkt.
	max	oberhalb RK	-54,5	101,3	-0,1	0,0	-22,5	9,8	102,9	0,47	Ende Fl.	102,9	0,47	Ende Fl.
		oberhalb TS	-9,7	14,0	0,0	6,5	-4,2	2,4	15,6	0,07	Ende St.	18,5	0,08	Wdbl. a.
		unterhalb TS	-42,6	-14,7	-80,8	77,7	-10,5	4,9	43,0	0,20	Ende Fl.	108,7	0,50	Ende Fl.
		unterhalb B	-81,5	-81,5	-87,2	83,9	-29,0	0,0	95,7	0,44	SPkt.	151,8	0,70	SPkt.
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-21,2	10,5	0,0	6,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-49,1	52,7	-0,1	0,0	-8,0	14,4	54,7	0,25	Ende St.	54,7	0,25	Ende St.
		unterhalb TS	5,6	10,0	-78,7	75,7	-1,6	3,3	10,1	0,05	Ende Fl.	84,1	0,39	Ende Fl.
		unterhalb B	2,0	38,7	-78,7	75,7	0,0	7,1	39,4	0,18	Ende Fl.	103,9	0,48	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-21,2	10,5	0,0	6,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-49,1	52,7	-0,1	0,0	-8,0	14,4	54,7	0,25	Ende St.	54,7	0,25	Ende St.
		unterhalb TS	5,6	10,0	-78,7	75,7	-1,6	3,3	10,1	0,05	Ende Fl.	84,1	0,39	Ende Fl.
		unterhalb B	2,0	38,7	-78,7	75,7	0,0	7,1	39,4	0,18	Ende Fl.	103,9	0,48	Ende Fl.

Tabelle 31: Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am abgestrebten System – Fortsetzung

Schnittgrößen- auswertung	Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
		min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-21,2	10,5	0,0	6,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-71,0	-15,1	-45,7	12,7	-1,2	2,2	71,0	0,33	Ende Fl.	78,6	0,36	Ende Fl.
		unterhalb TS	-79,5	-2,0	-53,4	51,4	-0,2	0,1	79,5	0,36	Ende Fl.	115,8	0,53	Ende Fl.
		unterhalb B	-172,1	62,3	-80,8	77,7	-22,5	0,0	173,6	0,80	Ende Fl.	224,9	1,03	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-21,2	10,5	0,0	6,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.
		oberhalb TS	-71,0	-15,1	-45,7	12,7	-1,2	2,2	71,0	0,33	Ende Fl.	78,6	0,36	Ende Fl.
		unterhalb TS	-78,9	-1,4	-53,4	51,4	-0,2	0,1	78,9	0,36	Ende Fl.	115,3	0,53	Ende Fl.
		unterhalb B	-170,0	64,4	-80,8	77,7	-22,5	0,0	171,6	0,79	Ende Fl.	222,9	1,02	Ende Fl.
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-54,5	101,3	-0,1	0,0	-22,5	9,8	102,9	0,47	Ende Fl.	102,9	0,47	Ende Fl.
		oberhalb TS	-52,3	73,1	-0,1	0,0	-7,6	13,6	73,8	0,34	Ende Fl.	73,8	0,34	Ende Fl.
		unterhalb TS	0,6	20,7	-46,5	44,7	-0,1	0,0	20,7	0,09	Ende Fl.	59,6	0,27	Ende Fl.
		unterhalb B	-1,0	35,7	-78,7	75,7	0,0	7,1	36,5	0,17	Ende Fl.	101,6	0,47	Ende Fl.
	max	oberhalb RK	-54,5	101,3	-0,1	0,0	-22,5	9,8	102,9	0,47	Ende Fl.	102,9	0,47	Ende Fl.
		oberhalb TS	-52,3	73,1	-0,1	0,0	-7,6	13,6	73,8	0,34	Ende Fl.	73,8	0,34	Ende Fl.
		unterhalb TS	1,4	21,5	-46,5	44,7	-0,1	0,0	21,5	0,10	Ende Fl.	60,2	0,28	Ende Fl.
		unterhalb B	1,4	21,5	-46,5	44,7	-0,1	0,0	21,5	0,10	Ende Fl.	60,2	0,28	Ende Fl.

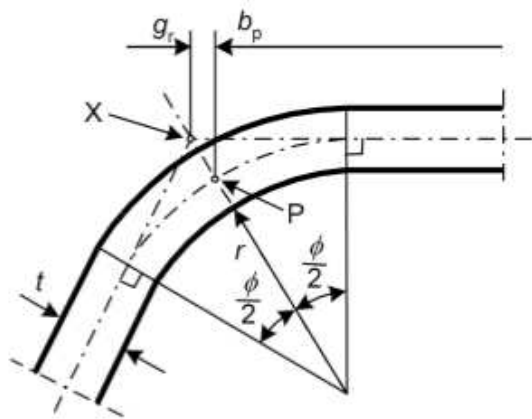
Schnittgrößen- auswertung	Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		
		min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.
$N_{Ed,MIN}$	Strebe	-27,3	-27,3	0,0	0,0	0,0	0,0	27,3	0,13	Ende Fl.	27,3	0,13	Ende Fl.
$N_{Ed,MAX}$	Strebe	73,8	73,8	0,0	0,0	0,0	0,0	73,8	0,34	Ende Fl.	73,8	0,34	Ende Fl.

6.1.2 Bauteilnachweise

Bedingt durch die geringen Materialstärken muss grundsätzlich von Querschnitten der Klasse 4 ausgegangen werden, sodass in Ergänzung zur elastischen Spannungsberechnung und Nachweisführung am Bruttoquerschnitt die Sicherheit gegen lokales Ausbeulen einzelner Querschnittsteile beziehungsweise gegen Biegeknicken auf der Basis effektiver Querschnittswerte zu gewährleisten ist. Zu deren Bestimmung kommt die Methode der effektiven Breiten nach ON-EN-1993-1-5 4 (5), ON-EN-1993-1-3 (7), sowie ON-EN-1993-1-4 (6) unter Ausschluss möglicher Profilverzerrungen, sogenanntem Distortional Buckling, zur Anwendung. Da die Lippen am freien Ende des Rippenprofils eine Stützung für das anschließende Blechfeld darstellen und auch das Wandblech innerhalb des Maßes e_{Rippe} volle Durchgängigkeit besitzt, sind alle Beulwerte k_{σ} für zweiseitig gestützte Blechfelder nach ON-EN-1993-1-5 4.4, Tabelle 4.1 (Abbildung 91) (5) zu ermitteln. Das hierfür erforderliche Normalspannungsverhältnis ψ beruht dabei auf dem in ON-EN-1993 1-3 5.1, Bild 5.1 (7) definierten Nennwert der geraden Breite b_p (Abbildung 92). In Abhängigkeit des Beulslankheitsgrades ($\bar{\lambda}_{p,red}$ bei Plattenbeulen und $\bar{\lambda}_p$ bei Biegeknicken) berechnet sich der zugehörige Effektivwert $b_{eff} = \rho \cdot b_p$ mit dem in ON-EN-1993-1-3 5.2.3 (7) angegebenen Abminderungsfaktor $\rho = \frac{0,722}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$.

Spannungsverteilung (Druck positiv)		Wirksame Breite b_{eff}				
		$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$				
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$				
		$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1 - \psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$				
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Beulwert k_{σ}	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29 \psi + 9,78 \psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$

Abbildung 110: ON-EN-1993-1-5 4.4, Tabelle 4.1 – zweiseitig gestützte, druckbeanspruchte Querschnittsteile



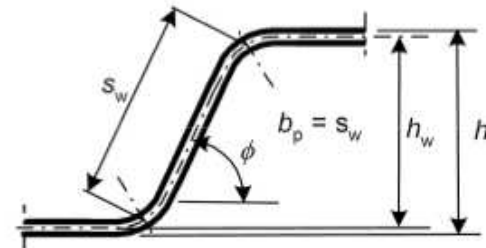
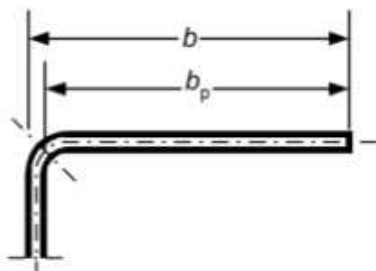
a) Mittelpunkt der Ecke oder Biegung

X ist der Schnittpunkt der Mittellinien

P ist der Mittelpunkt der Ecke

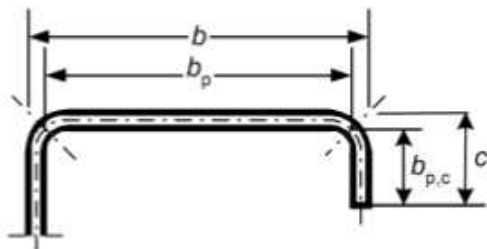
$$r_m = r + t/2$$

$$g_r = r_m \left(\tan\left(\frac{\phi}{2}\right) - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \right)$$

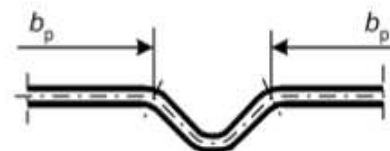


c) Nennwert der geraden Breite b_p eines Steges

(b_p = abgeschrägte Höhe s_w)



d) Nennwert der geraden Breite b_p ebener Teile, die an eine Stegsteife angrenzen



b) Nennwert der geraden Breite b_p ebener Flanschstücke

e) Nennwert der geraden Breite b_p ebener Teile, die an eine Flanschsteife angrenzen

Abbildung 111:ON-EN-1993-1-3 5.1, Bild 5.1 – Nennbreiten ebener QS-Teile b_p unter Berücksichtigung der Eckradien

Die Nachweisführung gegen lokales Beulen erfolgt innerhalb eines jeden der vier Berechnungsabschnitte für alle in 4.2.2 dargestellten Lastfallkombination auf dem tatsächlichen Spannungsniveau, wobei sich die Berechnung der effektiven Querschnittswerte in Übereinstimmung mit den Regeln der ON-EN-1993-1-5 4.4 (Punkt 4) (5) auf einen von der Bemessungsspannungsausnutzung abhängigen reduzierten Beulschlankheitsgrad

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} \text{ stützt.}$$

Dementgegen wird das Biegeknicken des Rippenstabes für den innerhalb der Beckentiefe vorliegenden, geschlossenen Verbundquerschnitt nach den Regeln der ON-EN-1993-1-4 5.4 (6), 5.5 und ON-EN-1993-1-5 4.4 (Punkt 5) (5) anhand der Effektivwerte zufolge des Beulschlankheitsgrades $\bar{\lambda}_p$ nachgewiesen. Ein Biegedrillknicken (Drillknicken) des offenen Profils unterhalb des Beckens und des Strebenquerschnittes kann durch die Anordnung von Bindeblechen an den Stegenden ausgeschlossen werden. In Analogie zur Bemessung von Pendelstützen eines Hallentragwerkes findet die Knicklänge der Rippe aufgrund der beiden Systemaussteifungen am Rinnenkopf und -boden mit dem Wert $L_{cr,Rippe} = T_{Fundament}$ in die Berechnung Eingang. Die Knicklänge der beidseitig gelenkig angeschlossenen Strebe wird mit der Strebenlänge $L_{cr,Strebe} = L_{Strebe}$ gleichgesetzt.

Die zu reduzierenden Querschnittswerte werden auf iterativem Wege bestimmt, wobei der Rechenvorgang die Erhöhung mittragender Breiten des Wandbleches nach ON-EN-1993-1-5 3.3 (5) und den Exzentrizitätseffekt einwirkender Normalkräfte infolge einer Verschiebung des Schwerpunktes berücksichtigt. Wie für die Fläche und das Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung findet auch eine Berechnung von effektiven statischen Momenten an den in 7.1 bezeichneten Spannungspunkten statt.

In Zusammenhang eines nachstehenden Beispiels soll die folgende Auflistung aller Einzelprozeduren den iterativen Prozess zur exakten Effektivwertermittlung am Rippenquerschnitt erläutern.

1) Berechnung der Beulparameter

- Normalspannungsverhältnis $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ für einzelne Blechfelder der geraden Breite b_p zufolge der einwirkenden Bemessungsschnittgrößen N_{Ed} und $M_{y,Ed}$
- Beulwert $k_\sigma = f(\psi)$ für zweiseitig gestützte, druckbeanspruchte Querschnittsteile
- Beulschlankheitsgrades $\bar{\lambda}_p$ beziehungsweise $\bar{\lambda}_{p,red}$
- Abminderungsfaktor (für die vierseitig gestützte Platte) $\rho = \frac{0,722}{\bar{\lambda}_{p(red)}} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_{p(red)}^2} \leq 1$
- effektive Breite $b_{eff} = \rho \cdot b_p$

2) Bestimmung der erhöhten mittragenden Breite zur Berücksichtigung elastischer Schubverzerrungen des Wandbleches

- $\alpha_0^* = \sqrt{\frac{A_{c,eff}}{b_0 \cdot t}} = \sqrt{\frac{b_0 - \Delta b_{eff}}{b_0}}$
- $\kappa = f(\alpha_0^*, b_0, L_e)$
- $b_{eff} = b_0 \cdot \beta_{ult}(\kappa)$

3) Ermittlung der Werte $z_{QS,eff}$, $A_{QS,eff}$, $S_{y,QS,eff}$, $I_{y,QS,eff}$ eines durch effektive Teilflächen zusammengesetzten Gesamtquerschnittes.

4) Bestimmung des Exzentrizitätsmomentes $\Delta M_{y,Ed} = N_{Ed} \cdot (z_{QS,Brutto} - z_{QS,eff})$

5) Bei einer Berechnung mit dem Beulschlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{p,red}$ ist Schritt 1 bis 4 für die modifizierten Querschnittswerte und Bemessungseinwirkungen zu wiederholen.

6) Neuberechnung des aufgrund der modifizierten Querschnittswerte und Bemessungseinwirkungen veränderten Normalspannungsverhältnisses $\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ und Iteration des Prozesses bis die Bedingung $\Delta\psi = \psi_{i-1} - \psi_i = 0$ erfüllt ist

Dem ergänzenden Beispiel liegt die MIN – min Auswertung des Querschnittes unterhalb der Trittstufe gemäß 5.1.2.3, Abbildung 90 zugrunde. Wegen der Verwendung eines reduzierten Beulschlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{p,red}$ ist Schritt 5) im Lösungsprozess mit einzubeziehen.

Tabelle 32: Eingangparameter für die Bestimmung der effektiven Biegespannungen

führend	zugehörig	Bereich	$N_{Ed,zug}$ [kN]	$V_{Ed,zug}$ [kN]	$M_{Ed,MIN}$ [kNm]
$M_{Ed,MIN}$	min	unterhalb der Trittstufe	-50,41	-0,14	-4,63

Tabelle 33: Beulparameter, Berechnungsschritt 1

Bereich (Stab)	Bereich (QS)	z_1 [mm]	z_2 [mm]	$\frac{\sigma_1}{N}$ [mm ²]	$\frac{\sigma_2}{N}$ [mm ²]	ψ_0 [-]	k_σ [-]	$\bar{\lambda}_p$ [-]	ρ [-]	t [mm]	b_p [mm]	b_{eff} [mm]	b_{e1} [mm]	b_{e2} [mm]	Δb [mm]	$z_{\Delta b}$ [mm]
unterh. TS	Flansch	154,7	154,7	-79,09	-79,09	1,00	4,00	0,71	0,84	2,0	78,3	65,5	32,8	32,8	12,8	210,3
	Steg	-54,3	153,4	-2,91	-78,61	0,04	7,54	1,42	0,48	2,0	213,6	103,1	41,5	61,5	110,5	115,0
	Wdbl. Innen	-55,6	-55,6	-2,45	-2,45	1,00	4,00	0,64	0,90	2,5	87,8	79,1	39,6	39,6	8,7	0,0
	Wdbl. außen	-55,6	-55,6	-2,45	-2,45	1,00	4,00	1,11	0,59	2,5	152,4	90,5	45,2	45,2	61,9	0,0

Tabelle 34: Bestimmung der erhöhten mittragenden Breite, Berechnungsschritt 2

Bereich (Stab)	Bereich (QS)	t_w [mm]	L_e [mm]	e_{Rippe} [mm]	α_0^* [-]	b_0 [mm]	κ [mm]	β_{ult} [-]	$b_{eff,ult}$ [mm]	$\Delta b_{eff,ult}$ [mm]
unterh. TS	Wdbl. Innen	2,5	1.742,5	500,0	0,95	89,3	0,05	0,99	87,9	0,1
	Wdbl. außen				0,78	160,7	0,07	0,97	155,5	3,1

Tabelle 35: Gesamtquerschnittswerte der zusammengesetzten effektiven Teilflächen, Berechnungsschritt 3

Bereich (Stab)	QS Teil	A [mm ²]	z [mm]	$A \cdot z$ [mm ³]	$A \cdot z^2$ [mm ⁴]	I_y [mm ⁴]
unterhalb der Trittstufe	Brutto QS	2.219,6	55,6	123.351,0	6.854.911,3	12.715.297,6
	Flansch	-25,7	210,3	-5.394,4	-1.134.176,2	0,0
	Steg	-442,0	115,0	-50.824,5	-5.844.159,5	-426.530,2
	Wandblech innen	-43,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	Wandblech außen	-309,7	0,0	0,0	0,0	0,0
	mittragende Breite	16,2	0,0	0,0	0,0	0,0
	Netto QS	1.415,1	47,4	67.132,1	-123.424,4	8.980.682,4

Tabelle 36: Exzentrizitätsmomente aus der Schwerpunktverschiebung, Berechnungsschritt 4

Bereich (Stab)	N_{Ed} [kN]	z_{Brutto} [mm]	z_{eff} [mm]	$\Delta M_{y,Ed}$ [kNm]
unterhalb der Trittstufe	-50,41	55,6	47,4	-0,41

Tabelle 37: Wiederholung der Schritte 1 bis 4, Berechnungsschritt 5

Bereich (Stab)	Bereich (QS)	z_1 [mm]	z_2 [mm]	σ_1 [mm]	σ_2 [mm]	ψ_1 [-]	k_σ [-]	$\bar{\lambda}_{p,red}$ [-]	ρ [-]	t [mm]	b_p [mm]	b_{eff} [mm]	b_{e1} [mm]	b_{e2} [mm]	Δb [mm]	$z_{\Delta b}$ [mm]
unterh. TS	Flansch	162,8	162,8	-127,07	-127,07	1,00	4,00	0,54	1,00	2,0	78,3	78,0	39,0	39,0	0,3	210,3
	Steg	-46,2	161,5	-9,67	-126,34	0,04	7,54	1,08	0,61	2,0	213,6	130,0	52,4	77,6	83,6	117,5
	Wand innen	-47,4	-47,4	-8,97	-8,97	1,00	4,00	0,13	1,00	2,5	87,8	87,8	43,9	43,9	0,0	0,0
	Wand außen	-47,4	-47,4	-8,97	-8,97	1,00	4,00	0,23	1,00	2,5	152,4	152,4	76,2	76,2	0,0	0,0

Pos. (Stab)	Pos. (QS)	t_w [mm]	L_e [mm]	e_{Rippe} [mm]	α_0^* [-]	b_0 [mm]	κ [mm]	β_{ult} [-]	$b_{eff,ult}$ [mm]	$\Delta b_{eff,ult}$ [mm]
unterh. TS	Wdbl. Innen	2,5	1.742,5	500,0	1,00	89,3	0,05	0,98	87,8	0,0
	Wdbl. außen				1,00	160,7	0,09	0,95	152,4	0,0

Bereich (Stab)	QS Teil	A [mm ²]	z [mm]	$A \cdot z$ [mm ³]	$A \cdot z^2$ [mm ⁴]	I_y [mm ⁴]
unterhalb der Trittstufe	Brutto QS	2.219,6	55,6	123.351,0	6.854.911,3	12.715.297,6
	Flansch	-0,6	210,3	-131,8	-27.706,3	0,0
	Steg	-334,4	117,5	-39.306,8	-4.619.631,2	-184.783,0
	Wandblech innen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Wandblech außen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	mittragende Breite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Netto QS	1.884,6	44,5	83.912,4	2.207.573,9	11.001.804,0

Bereich (Stab)	N_{Ed} [kN]	z_{Brutto} [mm]	z_{eff} [mm]	$\Delta M_{y,Ed}$ [kNm]
unterhalb der Trittstufe	-50,41	55,6	44,5	-0,56

Tabelle 38: Normalspannungsverhältnis ψ , Berechnungsschritt 6

Bereich (Stab)	ψ_0 [-]	ψ_1 [-]	$\Delta\psi$ [-]
unterhalb der Trittstufe	0,04	0,09	-0,0517

Tabelle 39: effektive Querschnittswerte, welche die Bedingung $\Delta\psi = 0$ erfüllen

Bereich (Stab)	QS Teil	A [mm ²]	z [mm]	A · z [mm ³]	A · z ² [mm ⁴]	I _y [mm ⁴]
unterhalb der Trittstufe	Brutto QS	2.219,6	55,6	123.351,0	6.854.911,3	12.715.297,6
	Flansch	-0,8	210,3	-158,9	-33.418,2	0,0
	Steg	-339,7	117,2	-39.802,7	-4.663.113,7	-193.695,9
	Wandblech innen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Wandblech außen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	mittragende Breite	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	effektiver QS	1.879,1	44,4	83.389,4	2.158.379,4	10.979.478,5

6.1.2.1 Bauteilnachweise am System exklusive Rinnenkorb

Tabelle 40: Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System exklusive Rinnenkorb

Schnittgrößen- auswertung		Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen									Nachweis gegen Biege- knicken	
			$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
			min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$		QS-Pkt.
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-23,5	6,9	-1,9	4,4	23,8	0,11	Ende Fl.	23,8	0,11	Ende Fl.	0,12
		oberhalb TS	-117,4	30,1	-2,2	3,9	117,5	0,54	Ende Fl.	124,7	0,57	Ende Fl.	0,59
		unterhalb TS	-18,5	3,2	0,0	3,2	18,5	0,08	Ende Fl.	93,1	0,43	Ende Fl.	0,12
		unterhalb B	-43,3	46,3	-5,0	0,0	46,3	0,21	Ende St.	147,7	0,68	Ende Fl.	0,23
	max	oberhalb RK	-3,4	-2,9	0,0	0,0	3,4	0,02	Ende St.	5,4	0,02	Wdbl. a.	0,02
		oberhalb TS	-2,9	0,9	-0,6	0,3	3,1	0,01	Ende St.	16,8	0,08	Ende St.	0,02
		unterhalb TS	-3,4	-2,3	0,0	-2,3	3,4	0,02	Ende Fl.	81,0	0,37	Ende Fl.	0,02
	unterhalb B	-9,5	-9,5	-6,1	0,0	14,2	0,07	SPkt.	106,0	0,49	Ende Fl.	0,08	
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-23,1	11,5	-2,2	5,0	23,4	0,11	Ende Fl.	23,4	0,11	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-99,4	27,9	-1,9	3,5	99,4	0,46	Ende Fl.	105,1	0,48	Ende Fl.	-
		unterhalb TS	-41,2	14,5	0,0	14,5	41,2	0,19	Ende Fl.	76,2	0,35	Ende Fl.	-
		unterhalb B	-68,7	113,3	-17,1	0,0	113,3	0,52	Ende St.	122,1	0,56	Ende Fl.	-
	max	oberhalb RK	-1,9	3,8	-0,2	0,1	3,8	0,02	Ende Fl.	7,6	0,03	Wdbl. a.	-
		oberhalb TS	-8,9	31,7	-1,0	0,6	31,7	0,15	Ende Fl.	39,0	0,18	Ende Fl.	-
		unterhalb TS	-11,4	4,2	-5,7	4,2	11,8	0,05	Ende Fl.	59,1	0,27	Ende Fl.	-
	unterhalb B	0,0	0,0	-16,5	0,0	28,5	0,13	SPkt.	62,0	0,28	SPkt.	-	
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	0,0	0,0	-1,1	0,5	2,0	0,01	SPkt.	2,0	0,01	SPkt.	-
		oberhalb TS	-1,0	3,6	-4,7	2,6	8,1	0,04	SPkt.	8,3	0,04	Wdbl. a.	-
		unterhalb TS	-20,6	5,2	-9,6	5,2	21,2	0,10	Ende Fl.	92,9	0,43	Ende Fl.	0,14
		unterhalb B	-6,2	-6,2	-27,0	0,0	47,1	0,22	SPkt.	98,9	0,45	SPkt.	0,05
	max	oberhalb RK	0,0	0,0	-1,1	0,5	2,0	0,01	SPkt.	2,0	0,01	SPkt.	-
		oberhalb TS	-1,0	3,6	-4,7	2,6	8,1	0,04	SPkt.	8,3	0,04	Wdbl. a.	-
		unterhalb TS	-20,6	5,2	-9,6	5,2	21,2	0,10	Ende Fl.	92,9	0,43	Ende Fl.	0,14
	unterhalb B	-6,2	-6,2	-27,0	0,0	47,1	0,22	SPkt.	98,9	0,45	SPkt.	0,05	
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-27,2	10,2	-2,4	5,4	27,6	0,13	Ende Fl.	27,6	0,13	Ende Fl.	0,14
		oberhalb TS	-13,4	1,1	-6,9	12,4	21,5	0,10	SPkt.	21,5	0,10	SPkt.	0,07
		unterhalb TS	-1,3	2,5	-1,4	2,5	5,4	0,02	SPkt.	80,0	0,37	Ende Fl.	0,01
		unterhalb B	-21,1	10,9	0,0	6,6	21,1	0,10	Ende St.	84,9	0,39	Ende Fl.	0,10
	max	oberhalb RK	-2,3	-2,3	-2,4	5,4	9,6	0,04	SPkt.	9,6	0,04	SPkt.	0,01
		oberhalb TS	-13,4	1,1	-6,9	12,4	21,5	0,10	SPkt.	21,5	0,10	SPkt.	0,07
		unterhalb TS	-1,3	2,5	-1,4	2,5	5,4	0,02	SPkt.	80,0	0,37	Ende Fl.	0,01
	unterhalb B	-21,1	10,9	0,0	6,6	21,1	0,10	Ende St.	84,9	0,39	Ende Fl.	0,10	

Tabelle 39: Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System exklusive Rinnenkorb – Fortsetzung

Schnittgrößen- auswertung		Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen										Nachweis gegen Biege- knicken
			$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
			min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-27,2	10,2	-2,4	5,4	27,6	0,13	Ende Fl.	27,6	0,13	Ende Fl.	0,14
		oberhalb TS	-117,4	30,1	-2,2	3,9	117,5	0,54	Ende Fl.	124,7	0,57	Ende Fl.	0,59
		unterhalb TS	-56,2	15,2	-0,1	15,2	56,2	0,26	Ende Fl.	96,3	0,44	Ende Fl.	0,33
		unterhalb B	-89,9	126,3	-20,5	0,0	126,3	0,58	Ende St.	149,3	0,68	Ende Fl.	0,46
	max	oberhalb RK	-27,2	10,2	-2,4	5,4	27,6	0,13	Ende Fl.	27,6	0,13	Ende Fl.	0,14
		oberhalb TS	-117,4	30,1	-2,2	3,9	117,5	0,54	Ende Fl.	124,7	0,57	Ende Fl.	0,59
		unterhalb TS	-55,2	15,8	-0,1	15,8	55,2	0,25	Ende Fl.	95,5	0,44	Ende Fl.	0,33
		unterhalb B	-87,8	128,4	-20,5	0,0	128,4	0,59	Ende St.	147,5	0,68	Ende Fl.	0,44
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-1,9	3,8	-0,2	0,1	3,8	0,02	Ende Fl.	7,6	0,03	Wdbl. a.	-
		oberhalb TS	-8,9	31,7	-1,0	0,6	31,7	0,15	Ende Fl.	39,0	0,18	Ende Fl.	-
		unterhalb TS	-5,7	11,4	0,0	11,4	11,4	0,05	Ende Fl.	56,7	0,26	Ende Fl.	0,03
		unterhalb B	-24,1	7,9	0,0	6,6	24,1	0,11	Ende St.	83,2	0,38	Ende Fl.	0,12
	max	oberhalb RK	-1,9	3,8	-0,2	0,1	3,8	0,02	Ende Fl.	7,6	0,03	Wdbl. a.	-
		oberhalb TS	-8,9	31,7	-1,0	0,6	31,7	0,15	Ende Fl.	39,0	0,18	Ende Fl.	-
		unterhalb TS	-4,9	12,2	0,0	12,2	12,2	0,06	Ende Fl.	57,2	0,26	Ende Fl.	0,03
		unterhalb B	-21,1	10,9	0,0	6,6	21,1	0,10	Ende St.	84,9	0,39	Ende Fl.	0,10

6.1.2.2 Bauteilnachweise am System inklusive Rinnenkorb

Tabelle 41: Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System inklusive Rinnenkorb

Schnittgrößen- auswertung		Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen									Nachweis gegen Biege- knicken	
			$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
			min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$		QS-Pkt.
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-18,3	2,2	-1,3	3,0	18,4	0,08	Ende Fl.	18,4	0,08	Ende Fl.	0,10
		oberhalb TS	-131,3	30,8	-1,5	2,7	131,3	0,60	Ende Fl.	138,5	0,63	Ende Fl.	0,66
		unterhalb TS	-26,6	3,6	-0,1	3,6	26,6	0,12	Ende Fl.	89,1	0,41	Ende Fl.	0,18
		unterhalb B	-54,4	47,3	-6,3	0,0	54,8	0,25	Ende Fl.	155,8	0,71	Ende Fl.	0,30
	max	oberhalb RK	-8,9	4,1	-1,2	0,5	9,1	0,04	Ende St.	13,4	0,06	Wdbl. a.	0,04
		oberhalb TS	-9,9	-2,7	-1,7	1,0	10,0	0,05	Ende Fl.	22,6	0,10	Ende Fl.	0,04
		unterhalb TS	-7,3	-3,3	0,0	-3,3	7,3	0,03	Ende Fl.	97,4	0,45	Ende Fl.	0,04
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-21,9	10,9	-2,1	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-98,7	27,8	-2,0	3,5	98,8	0,45	Ende Fl.	104,5	0,48	Ende Fl.	-
		unterhalb TS	-41,0	14,4	0,0	14,4	41,0	0,19	Ende Fl.	76,0	0,35	Ende Fl.	-
		unterhalb B	-68,5	113,0	-17,1	0,0	113,0	0,52	Ende St.	121,9	0,56	Ende Fl.	-
	max	oberhalb RK	-2,9	5,9	-0,6	0,3	5,9	0,03	Ende Fl.	8,3	0,04	Wdbl. a.	-
		oberhalb TS	-9,1	32,5	-1,0	0,5	32,5	0,15	Ende Fl.	39,7	0,18	Ende Fl.	-
		unterhalb TS	-11,4	4,2	-5,7	4,2	11,8	0,05	Ende Fl.	59,1	0,27	Ende Fl.	-
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-4,6	-4,6	-2,2	1,0	6,0	0,03	SPkt.	6,0	0,03	SPkt.	0,03
		oberhalb TS	-1,4	4,8	-4,6	2,6	8,0	0,04	SPkt.	8,5	0,04	Wdbl. a.	-
		unterhalb TS	-23,5	3,8	-10,2	3,8	24,1	0,11	Ende Fl.	94,8	0,43	Ende Fl.	0,16
		unterhalb B	-12,7	-12,7	-28,4	0,0	50,8	0,23	SPkt.	103,4	0,47	SPkt.	0,11
	max	oberhalb RK	-4,6	-4,6	-2,2	1,0	6,0	0,03	SPkt.	6,0	0,03	SPkt.	0,03
		oberhalb TS	-1,4	4,8	-4,6	2,6	8,0	0,04	SPkt.	8,5	0,04	Wdbl. a.	-
		unterhalb TS	-23,5	3,8	-10,2	3,8	24,1	0,11	Ende Fl.	94,8	0,43	Ende Fl.	0,16
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-21,9	10,9	-2,1	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-7,5	-1,8	-9,4	16,8	29,3	0,13	SPkt.	29,3	0,13	SPkt.	0,03
		unterhalb TS	-1,4	2,5	-1,5	2,5	5,4	0,02	SPkt.	80,0	0,37	Ende Fl.	0,01
		unterhalb B	-21,4	11,1	0,0	6,7	21,4	0,10	Ende St.	85,0	0,39	Ende Fl.	0,10
	max	oberhalb RK	0,0	0,0	-2,1	4,7	8,2	0,04	SPkt.	8,2	0,04	SPkt.	-
		oberhalb TS	-7,5	-1,8	-9,4	16,8	29,3	0,13	SPkt.	29,3	0,13	SPkt.	0,03
		unterhalb TS	-1,4	2,5	-1,5	2,5	5,4	0,02	SPkt.	80,0	0,37	Ende Fl.	0,01
		unterhalb B	-21,4	11,1	0,0	6,7	21,4	0,10	Ende St.	85,0	0,39	Ende Fl.	0,10

Tabelle 40: Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System inklusive Rinnenkorb – Fortsetzung

Schnittgrößen- auswertung		Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen										Nachweis gegen Biege- knicken
			$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
			min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-21,9	10,9	-2,1	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-131,3	30,8	-1,5	2,7	131,3	0,60	Ende Fl.	138,5	0,63	Ende Fl.	0,66
		unterhalb TS	-67,1	15,3	0,0	15,3	67,1	0,31	Ende Fl.	104,5	0,48	Ende Fl.	0,38
		unterhalb B	-101,3	127,9	-21,9	0,0	127,9	0,59	Ende St.	159,6	0,73	Ende Fl.	0,53
	max	oberhalb RK	-21,9	10,9	-2,1	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-131,3	30,8	-1,5	2,7	131,3	0,60	Ende Fl.	138,5	0,63	Ende Fl.	0,66
		unterhalb TS	-66,0	15,9	0,0	15,9	66,0	0,30	Ende Fl.	103,6	0,47	Ende Fl.	0,38
		unterhalb B	-99,2	130,0	-21,9	0,0	130,0	0,60	Ende St.	157,8	0,72	Ende Fl.	0,51
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-8,9	4,1	-1,2	0,5	9,1	0,04	Ende St.	13,4	0,06	Wdbl. a.	0,04
		oberhalb TS	-9,1	32,5	-1,0	0,5	32,5	0,15	Ende Fl.	39,7	0,18	Ende Fl.	-
		unterhalb TS	-5,8	11,7	0,0	11,7	11,7	0,05	Ende Fl.	56,8	0,26	Ende Fl.	0,03
		unterhalb B	-24,4	8,1	0,0	6,7	24,4	0,11	Ende St.	83,3	0,38	Ende Fl.	0,12
	max	oberhalb RK	-8,9	4,1	-1,2	0,5	9,1	0,04	Ende St.	13,4	0,06	Wdbl. a.	0,04
		oberhalb TS	-9,1	32,5	-1,0	0,5	32,5	0,15	Ende Fl.	39,7	0,18	Ende Fl.	-
		unterhalb TS	-5,0	12,5	0,0	12,5	12,5	0,06	Ende Fl.	57,3	0,26	Ende Fl.	0,03
		unterhalb B	-21,4	11,1	0,0	6,7	21,4	0,10	Ende St.	85,0	0,39	Ende Fl.	0,10

6.1.2.3 Bauteilnachweise am abgestrebt System

Tabelle 42: Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am abgestrebt System

Schnittgrößen- auswertung	Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen										Nachweis gegen Biege- knicken	
		$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$				
		min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.		η_{Ed}
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-3,9	-3,9	-9,2	4,0	16,5	0,08	SPkt.	16,5	0,08	SPkt.	0,03
		oberhalb TS	-49,7	-21,3	-2,0	3,6	49,8	0,23	Ende Fl.	59,4	0,27	Wdbl. a.	0,25
		unterhalb TS	-96,1	-7,5	0,0	-7,5	96,1	0,44	Ende Fl.	132,4	0,61	Ende Fl.	0,27
		unterhalb B	-181,0	57,9	-20,8	0,0	182,1	0,83	Ende Fl.	233,0	1,07	Ende Fl.	1,06
	max	oberhalb RK	-46,7	82,1	-18,6	8,1	83,4	0,38	Ende Fl.	83,4	0,38	Ende Fl.	0,21
		oberhalb TS	-31,7	-14,4	-5,3	9,5	35,5	0,16	Ende St.	42,1	0,19	Wdbl. a.	0,24
		unterhalb TS	-54,1	-17,6	-9,0	-17,6	54,4	0,25	Ende Fl.	117,7	0,54	Ende Fl.	0,22
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-21,2	10,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-10,9	14,6	-3,7	2,0	15,8	0,07	Ende St.	19,0	0,09	Wdbl. a.	-
		unterhalb TS	5,7	9,9	-1,5	9,9	10,0	0,05	Ende Fl.	84,1	0,39	Ende Fl.	-
		unterhalb B	25,2	25,2	0,0	0,6	25,2	0,12	SPkt.	100,8	0,46	Ende Fl.	-
	max	oberhalb RK	-47,2	94,9	-20,5	9,0	96,4	0,44	Ende Fl.	96,4	0,44	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	2,0	11,0	-1,7	1,0	11,3	0,05	Ende St.	16,1	0,07	Ende St.	-
		unterhalb TS	1,8	20,6	0,0	20,6	20,6	0,09	Ende Fl.	61,2	0,28	Ende Fl.	-
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-2,7	-2,7	-22,5	9,8	39,1	0,18	SPkt.	39,1	0,18	SPkt.	0,02
		oberhalb TS	-9,7	14,0	-4,2	2,4	15,6	0,07	Ende St.	18,5	0,08	Wdbl. a.	-
		unterhalb TS	-54,7	-16,4	-9,8	-16,4	55,0	0,25	Ende Fl.	118,2	0,54	Ende Fl.	0,22
		unterhalb B	-107,3	-88,2	-27,4	0,0	107,3	0,49	Ende St.	162,1	0,74	SPkt.	0,72
	max	oberhalb RK	-54,5	101,3	-22,5	9,8	102,9	0,47	Ende Fl.	102,9	0,47	Ende Fl.	0,24
		oberhalb TS	-9,7	14,0	-4,2	2,4	15,6	0,07	Ende St.	18,5	0,08	Wdbl. a.	-
		unterhalb TS	-54,7	-16,4	-9,8	-16,4	55,0	0,25	Ende Fl.	118,2	0,54	Ende Fl.	0,22
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-21,2	10,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-53,9	53,9	-7,6	14,4	58,9	0,27	Ende St.	58,9	0,27	Ende St.	0,34
		unterhalb TS	5,6	10,0	-1,6	10,0	10,1	0,05	Ende Fl.	84,1	0,39	Ende Fl.	-
		unterhalb B	2,0	38,7	0,0	7,1	39,4	0,18	Ende Fl.	103,9	0,48	Ende Fl.	-
	max	oberhalb RK	-21,2	10,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-53,9	53,9	-7,6	14,4	58,9	0,27	Ende St.	58,9	0,27	Ende St.	0,34
		unterhalb TS	5,6	10,0	-1,6	10,0	10,1	0,05	Ende Fl.	84,1	0,39	Ende Fl.	-
unterhalb B	2,0	38,7	0,0	7,1	39,4	0,18	Ende Fl.	103,9	0,48	Ende Fl.	-		

Tabelle 41: Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am abgestrebten System – Fortsetzung

Schnittgrößen- auswertung		Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen										Nachweis gegen Biege- knicken
			$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
			min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-21,2	10,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-71,0	-15,1	-1,2	2,2	71,0	0,33	Ende Fl.	78,6	0,36	Ende Fl.	0,28
		unterhalb TS	-105,8	-5,2	-0,2	-5,2	105,8	0,49	Ende Fl.	140,4	0,64	Ende Fl.	0,29
		unterhalb B	-186,9	68,8	-22,5	0,0	188,2	0,86	Ende Fl.	238,8	1,09	Ende Fl.	1,09
	max	oberhalb RK	-21,2	10,5	-2,3	5,2	21,6	0,10	Ende Fl.	21,6	0,10	Ende Fl.	-
		oberhalb TS	-71,0	-15,1	-1,2	2,2	71,0	0,33	Ende Fl.	78,6	0,36	Ende Fl.	0,28
		unterhalb TS	-104,6	-4,6	-0,2	-4,6	104,6	0,48	Ende Fl.	139,2	0,64	Ende Fl.	0,28
		unterhalb B	-183,3	70,9	-22,5	0,0	184,5	0,85	Ende Fl.	235,3	1,08	Ende Fl.	1,07
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-54,5	101,3	-22,5	9,8	102,9	0,47	Ende Fl.	102,9	0,47	Ende Fl.	0,24
		oberhalb TS	-58,0	74,6	-7,1	13,6	75,3	0,35	Ende Fl.	75,3	0,35	Ende Fl.	0,36
		unterhalb TS	0,6	20,7	-0,1	20,7	20,7	0,09	Ende Fl.	59,6	0,27	Ende Fl.	-
		unterhalb B	-1,0	35,7	0,0	7,1	36,5	0,17	Ende Fl.	101,6	0,47	Ende Fl.	-
	max	oberhalb RK	-54,5	101,3	-22,5	9,8	102,9	0,47	Ende Fl.	102,9	0,47	Ende Fl.	0,24
		oberhalb TS	-58,0	74,6	-7,1	13,6	75,3	0,35	Ende Fl.	75,3	0,35	Ende Fl.	0,36
		unterhalb TS	1,4	21,5	-0,1	21,5	21,5	0,10	Ende Fl.	60,2	0,28	Ende Fl.	-
		unterhalb B	2,0	38,7	0,0	7,1	39,4	0,18	Ende Fl.	103,9	0,48	Ende Fl.	-

Schnittgrößen- auswertung		Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen										Nachweis gegen Biege- knicken
			$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
			min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
$N_{Ed,MIN}$	Strebe	-27,3	-27,3	0,0	0,0	27,3	0,13	Ende Fl.	27,3	0,13	Ende Fl.	0,25	
$N_{Ed,MAX}$	Strebe	73,8	73,8	0,0	0,0	73,8	0,34	Ende Fl.	73,8	0,34	Ende Fl.	-	

6.1.3 Nachweis der Verbindungsmittel in der Fuge zwischen Rippe und Wandblech

Auf Wunsch der Firma Berndorf soll der Verbund zwischen Rippe und Wandblech optional durch Schweißbolzen, unterbrochene Schweißnähte oder Klebstoff hergestellt werden. Hierfür sieht das Nachweiskonzept eine Berechnung des erforderlichen Maximalabstandes der Verbindungsmittel vor. Dieser richtet sich nicht nur nach der Einzeltragfähigkeit des gewählten Verbindungsmittels, sondern auch nach einem kritischen Wert, bei welchem der freie, nicht mit dem Wandblech verbundene dazwischenliegende Bereich des Rippensteiges ausbeult. Die Ermittlung dieses Abstandsmaßes folgt aus einer mithilfe des Computerprogrammes CUF5M erstellten Bemessungstabelle, welche verschiedene Spannungszustände für eine realistische Geometrie des Rippensteiges (von $\psi = 1,00$ bis $\psi = -5,00$, inklusive und exklusive Lippe) abdeckt (siehe Abbildung 112 und Abbildung 113).

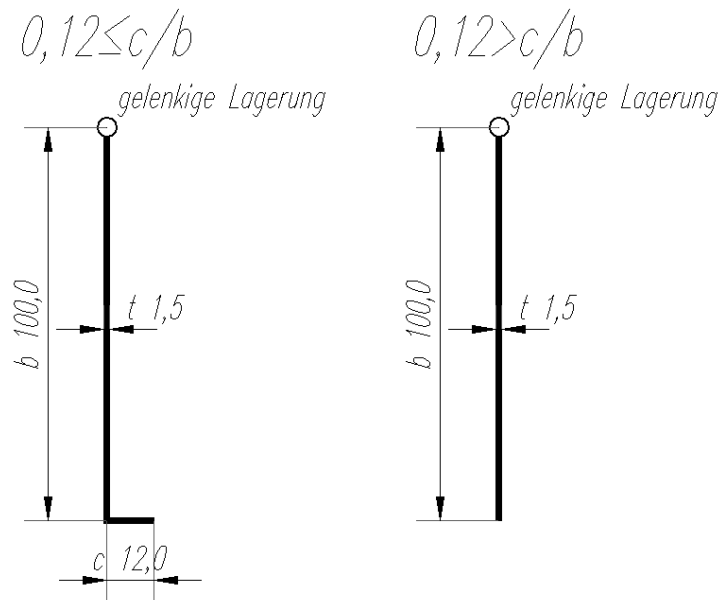


Abbildung 112: Modellbildung des freien Rippensteiges für die GNLA mittels CUF5M

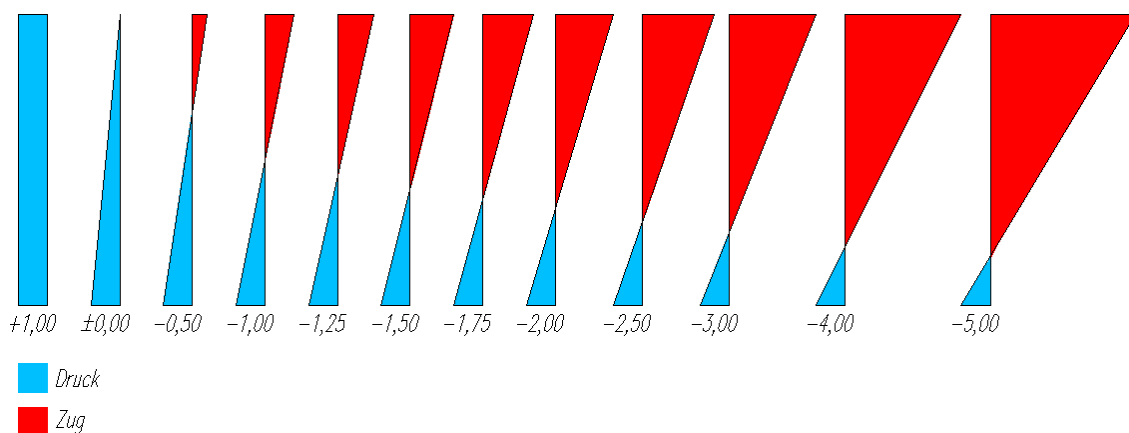


Abbildung 113: Spannungsverhältnisse innerhalb des freien Rippensteiges für die GNLA mittels CUF5M

Ausgehend von den kritischen Beulspannungen des jeweiligen Spannungszustandes wird in Abhängigkeit der Stegblechbreite und -dicke auf zugehörige Beulwerte $k_{\sigma} = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_E}$ rückgeschlossen und die entsprechende Halbwellenlänge a auf die Stegbreite $b = 100$ [mm] bezogen (bezogene Halbwellenlänge $\alpha = \frac{a}{b}$).

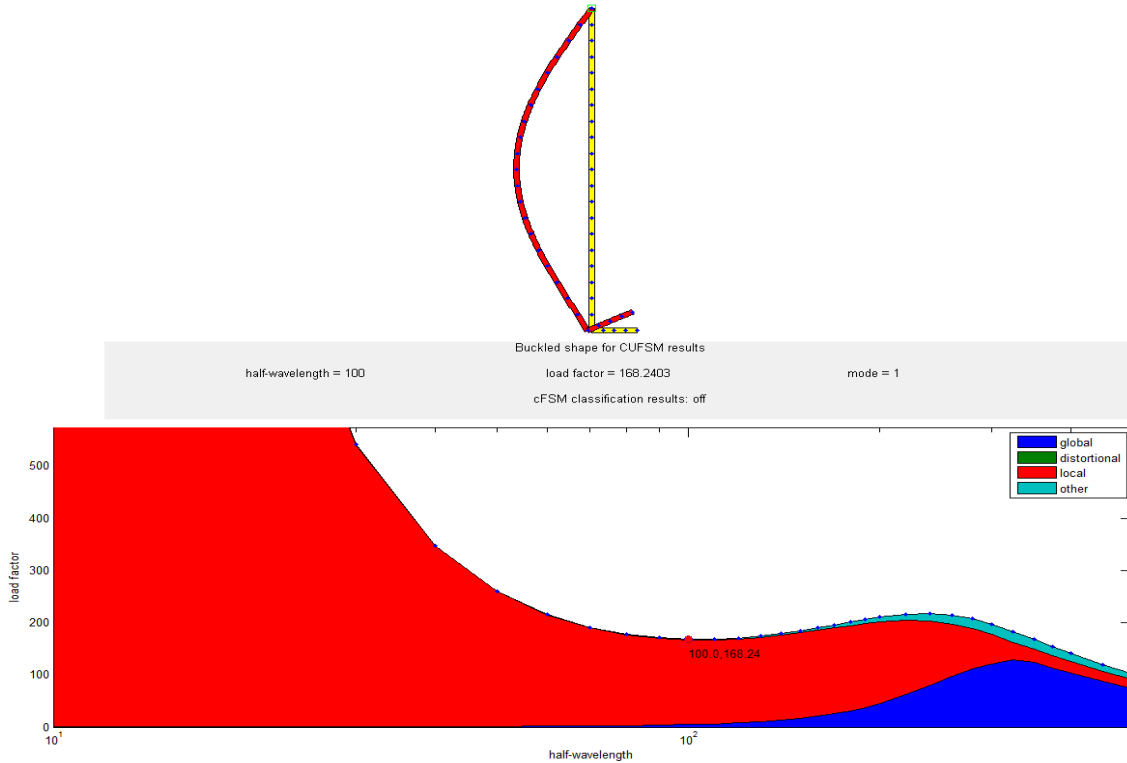


Abbildung 114: Untersuchung eines Rippensteges mit Lippe bei der Einwirkung konstanter Druckspannungen

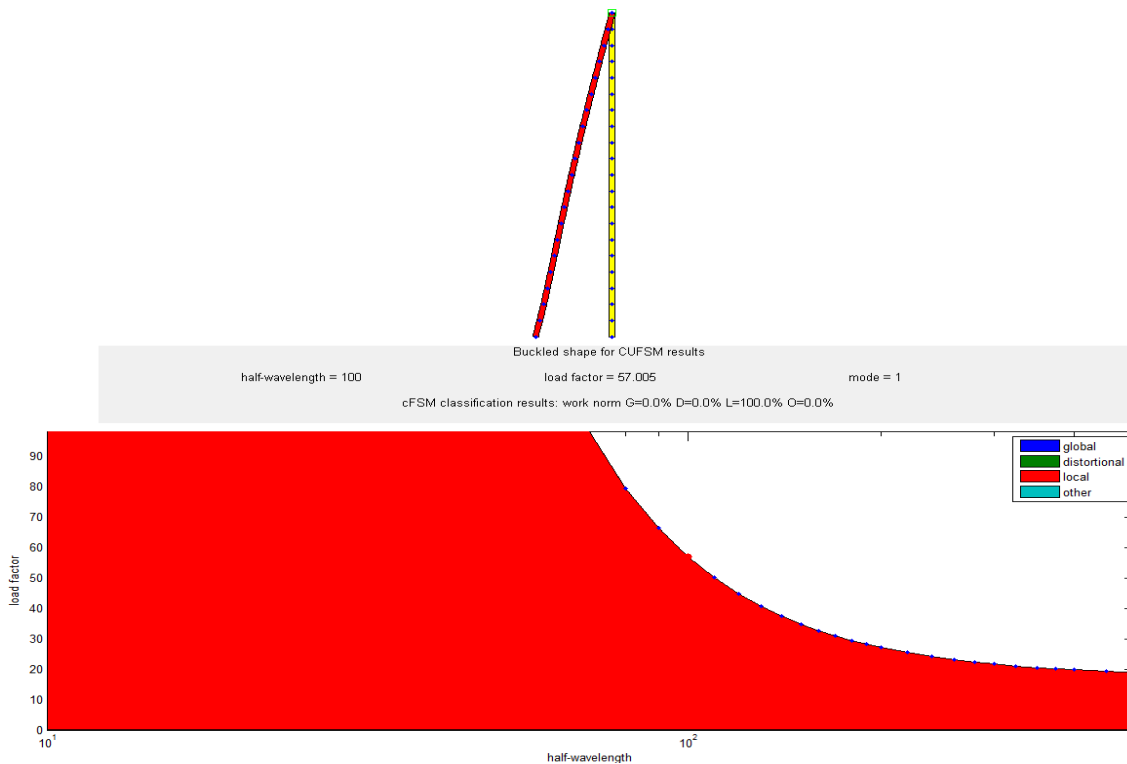


Abbildung 115: Untersuchung eines Rippensteges ohne Lippe bei der Einwirkung konstanter Druckspannungen

Tabelle 43: Beulwerte k_{σ} für Rippenstege mit $\frac{c}{b} \geq 0,12$ [–]

bezogene Halbwellenlänge α [–]	Normalspannungsverhältnis innerhalb des freien Rippensteiges ψ [–]											
	1,00	0,00	-0,50	-1,00	-1,25	-1,50	-1,75	-2,00	-2,50	-3,00	-4,00	-5,00
0,10	102,05	130,87	131,63	131,88	131,94	132,00	132,06	132,10	132,17	132,23	132,32	132,39
0,20	27,12	42,72	50,78	57,78	59,95	61,41	62,45	63,19	64,09	64,72	65,48	65,96
0,30	13,32	23,11	29,87	37,67	41,40	44,82	47,90	50,43	53,84	56,12	58,71	60,22
0,40	8,55	15,68	21,78	29,64	33,83	38,05	42,25	46,11	52,12	56,55	61,82	64,86
0,50	6,41	12,10	17,84	26,00	30,62	35,47	40,52	45,46	53,85	60,58	69,07	74,03
0,60	5,31	10,18	15,70	24,33	29,43	34,92	40,80	46,76	57,53	66,78	79,12	86,32
0,70	4,70	9,09	14,48	23,68	29,30	35,44	42,12	49,06	62,22	74,29	91,47	101,17
0,80	4,37	8,47	13,79	23,59	29,73	36,47	43,85	51,61	66,82	81,68	105,58	117,48
0,90	4,20	8,14	13,44	23,79	30,39	37,58	45,40	53,56	69,41	84,70	107,31	114,83
1,00	4,14	7,99	13,30	24,10	31,02	38,39	46,17	54,00	68,04	79,66	93,21	99,70
1,10	4,14	7,97	13,30	24,38	31,37	38,55	45,73	52,49	63,44	71,63	81,41	87,16
1,20	4,20	8,04	13,37	24,49	31,28	37,88	44,05	49,51	57,79	63,92	71,78	76,98
1,30	4,29	8,15	13,47	24,36	30,67	36,44	41,54	45,86	52,29	57,17	63,85	68,63
1,40	4,40	8,30	13,57	23,94	29,59	34,49	38,66	42,12	47,31	51,38	57,27	61,71
1,50	4,53	8,47	13,63	23,24	28,17	32,29	35,73	38,58	42,91	46,43	51,73	55,91
1,60	4,67	8,62	13,61	22,32	26,56	30,03	32,93	35,34	39,07	42,19	47,04	51,00
1,70	4,81	8,75	13,51	21,26	24,88	27,85	30,34	32,43	35,71	38,52	43,03	46,81
1,80	4,95	8,85	13,32	20,12	23,23	25,79	27,97	29,82	32,78	35,35	39,58	43,21
1,90	5,07	8,90	13,04	18,96	21,64	23,89	25,84	27,50	30,20	32,59	36,58	40,09
2,00	5,18	8,90	12,68	17,83	20,16	22,15	23,91	25,43	27,93	30,16	33,97	37,37
2,20	5,32	8,72	11,80	15,70	17,51	19,13	20,61	21,92	24,13	26,15	29,66	32,90
2,40	5,36	8,35	10,81	13,83	15,28	16,64	17,92	19,09	21,11	22,98	26,30	29,42
2,60	5,27	7,85	9,82	12,22	13,42	14,58	15,71	16,78	18,66	20,44	23,64	26,68
2,80	5,10	7,29	8,89	10,85	11,86	12,88	13,89	14,87	16,65	18,37	21,50	24,51
3,00	4,86	6,73	8,05	9,69	10,56	11,45	12,37	13,28	14,98	16,65	19,76	22,78
3,25	4,51	6,06	7,13	8,47	9,21	9,98	10,80	11,63	13,26	14,90	18,02	21,09
3,50	4,15	5,45	6,34	7,47	8,10	8,78	9,52	10,28	11,83	13,45	16,63	19,79
3,75	3,80	4,91	5,67	6,64	7,19	7,79	8,46	9,16	10,65	12,25	15,51	18,81
4,00	3,48	4,45	5,10	5,95	6,43	6,97	7,57	8,23	9,64	11,23	14,59	18,06
4,50	2,93	3,69	4,20	4,87	5,26	5,70	6,20	6,76	8,05	9,59	13,17	17,08
5,00	2,49	3,11	3,53	4,08	4,40	4,77	5,19	5,68	6,84	8,33	12,13	16,59

Tabelle 44: Beulwerte k_σ für Rippenstege mit $\frac{c}{b} < 0,12$ [-]

bezogene Halbwellenlänge α [-]	Normalspannungsverhältnis innerhalb des freien Rippensteiges ψ [-]											
	1,00	0,00	-0,50	-1,00	-1,25	-1,50	-1,75	-2,00	-2,50	-3,00	-4,00	-5,00
0,10	99,77	110,85	114,67	118,85	120,49	122,26	124,43	126,25	129,48	133,41	140,50	147,61
0,20	25,17	29,70	31,45	33,33	34,14	34,99	35,96	36,86	38,53	40,47	44,20	48,12
0,30	11,39	14,02	15,16	16,38	16,94	17,52	18,17	18,80	20,00	21,38	24,17	27,21
0,40	6,58	8,33	9,19	10,12	10,55	11,01	11,52	12,03	13,01	14,15	16,53	19,23
0,50	4,36	5,63	6,31	7,07	7,44	7,83	8,26	8,70	9,57	10,58	12,77	15,34
0,60	3,15	4,12	4,69	5,34	5,67	6,02	6,40	6,80	7,60	8,55	10,65	13,20
0,70	2,42	3,20	3,68	4,26	4,56	4,88	5,23	5,61	6,37	7,28	9,36	11,95
0,80	1,95	2,59	3,01	3,53	3,81	4,11	4,44	4,80	5,55	6,44	8,54	11,23
0,90	1,63	2,17	2,54	3,01	3,27	3,56	3,88	4,23	4,97	5,87	8,02	10,83
1,00	1,40	1,87	2,20	2,63	2,88	3,15	3,47	3,81	4,56	5,46	7,69	10,67
1,10	1,23	1,65	1,94	2,34	2,58	2,84	3,15	3,49	4,25	5,18	7,51	10,67
1,20	1,10	1,47	1,74	2,12	2,34	2,60	2,90	3,24	4,01	4,98	7,43	10,81
1,30	1,00	1,34	1,59	1,94	2,15	2,40	2,70	3,04	3,83	4,84	7,43	11,05
1,40	0,92	1,23	1,47	1,80	2,00	2,24	2,54	2,88	3,69	4,74	7,49	11,38
1,50	0,86	1,15	1,37	1,68	1,88	2,11	2,40	2,74	3,58	4,69	7,61	11,78
1,60	0,81	1,08	1,28	1,58	1,77	2,00	2,29	2,63	3,49	4,65	7,78	12,26
1,70	0,76	1,02	1,22	1,50	1,69	1,91	2,19	2,54	3,42	4,65	7,99	12,79
1,80	0,73	0,97	1,16	1,43	1,61	1,83	2,11	2,46	3,36	4,66	8,23	13,39
1,90	0,69	0,93	1,11	1,38	1,55	1,76	2,04	2,39	3,32	4,68	8,50	14,04
2,00	0,67	0,89	1,07	1,33	1,50	1,71	1,98	2,33	3,28	4,72	8,80	14,74
2,20	0,63	0,84	1,00	1,25	1,41	1,61	1,88	2,23	3,23	4,82	9,49	16,29
2,40	0,59	0,79	0,95	1,18	1,34	1,54	1,80	2,15	3,20	4,95	10,28	18,03
2,60	0,57	0,76	0,91	1,13	1,29	1,48	1,74	2,09	3,18	5,10	11,16	19,94
2,80	0,55	0,73	0,88	1,10	1,24	1,43	1,69	2,04	3,17	5,27	12,12	22,04
3,00	0,53	0,71	0,85	1,06	1,21	1,40	1,65	2,00	3,16	5,46	13,17	24,30
3,25	0,52	0,69	0,83	1,03	1,17	1,36	1,61	1,96	3,16	5,70	14,60	27,36
3,50	0,50	0,67	0,81	1,01	1,15	1,33	1,58	1,92	3,17	5,96	16,14	30,68
3,75	0,49	0,66	0,79	0,99	1,12	1,30	1,55	1,90	3,17	6,23	17,81	34,26
4,00	0,49	0,65	0,78	0,97	1,11	1,28	1,53	1,87	3,17	6,51	19,60	38,10
4,50	0,47	0,63	0,76	0,95	1,08	1,25	1,49	1,84	3,20	7,08	23,54	46,52
5,00	0,46	0,62	0,74	0,93	1,06	1,23	1,47	1,81	3,22	7,67	27,94	55,96

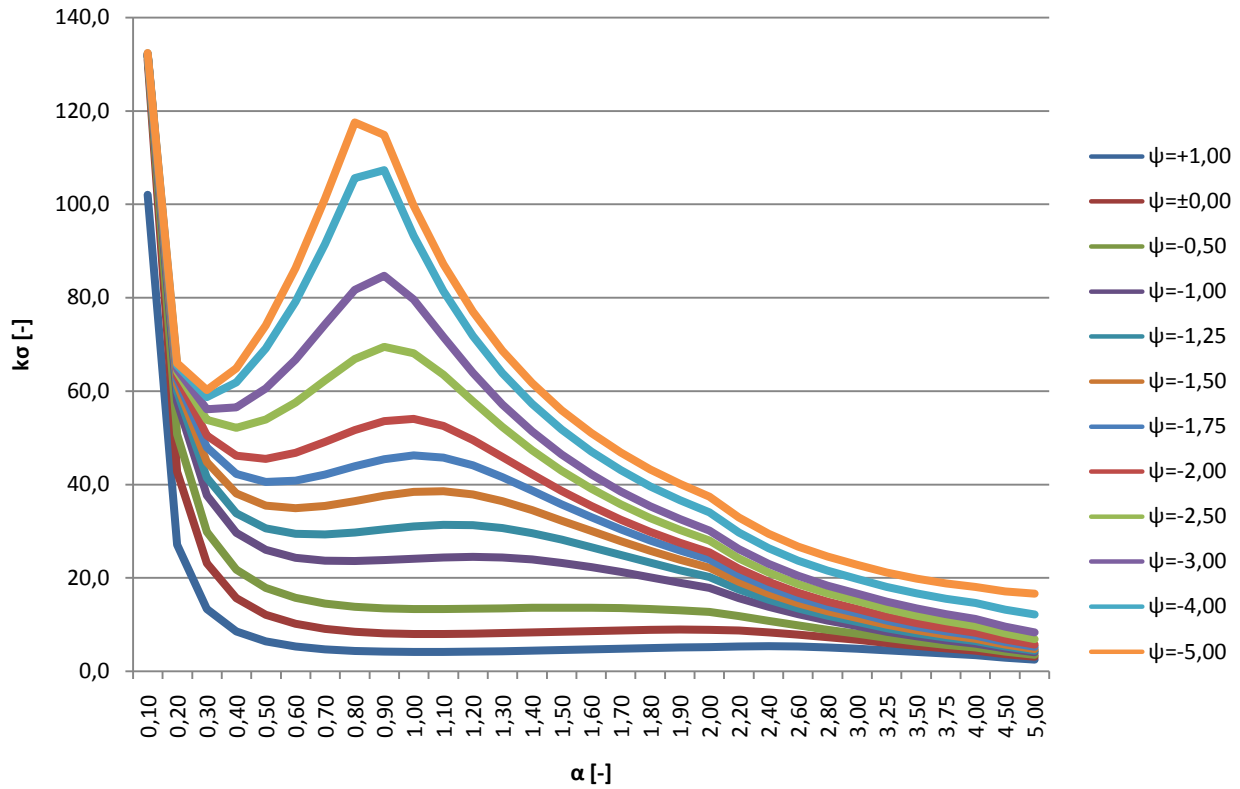


Abbildung 116: Graphische Darstellung der Beulwerte k_σ für Rippenstege mit $\frac{c}{b} \geq 0,12$ [-]

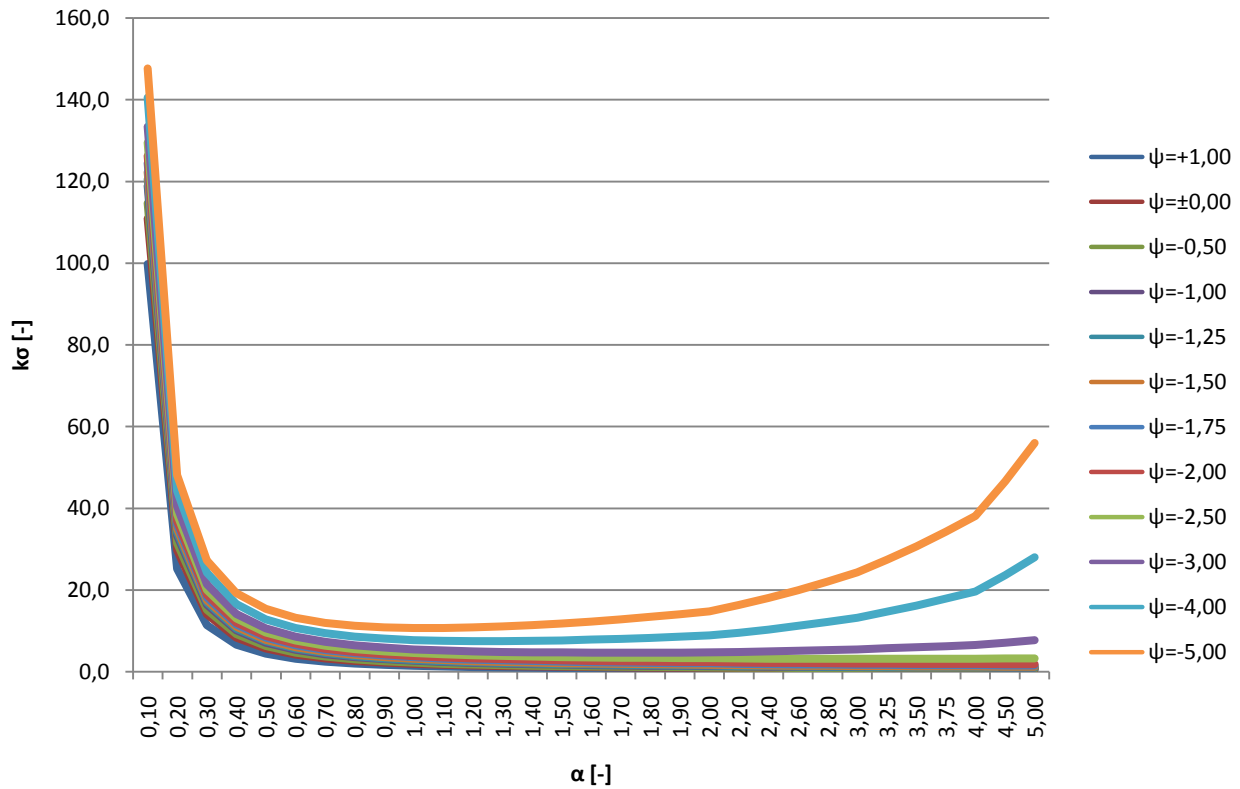


Abbildung 117: Graphische Darstellung der Beulwerte k_σ für Rippenstege mit $\frac{c}{b} < 0,12$ [-]

Zur Bemessung werden dem im Rippensteg tatsächlich vorhandenen Spannungsverhältnis die Beulwerte des in der Tabelle nächst höher gelegenen Quotienten zugeordnet und daraus die Schlankheiten $\bar{\lambda}_p$, sowie die entsprechenden Beultragfähigkeit $\sigma_{Rd,Beulen} = \rho \cdot f_{yd}$ nach der Methode der reduzierten Spannungen aller Halbwellenlängen ermittelt. Unter Berücksichtigung der Steggeometrie berechnet sich der hierfür erforderliche Abminderungsfaktor entweder nach der Funktion beidseitig gehaltener Teilbleche $\rho = \frac{0,722}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$ für Verhältnisse $\frac{c}{b} \geq 0,12$ oder entsprechend einseitig gehaltener Bleche $\rho = \frac{1,000}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,231}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$ bei Unterschreiten der Grenzbedingung. Der kritische Abstand des Verbindungsmittels zufolge Beulen ergibt sich schließlich aus einem Vergleich zwischen der maximal im Steg einwirkenden Bemessungsdruckspannung und der entsprechenden kritischen Beultragfähigkeit zugehörigen Halbwellenlänge $a = \alpha \cdot b$.

Während sich der bemessungsrelevante Abstand der Verbindungsmittel am Querschnitt inklusive Wandlech aus dem Minimum von a und dem anhand der maximal übertragbaren Schubspannung ermittelten Maß $a_\tau = \frac{\tau_{Rk}}{t_{Ed,Fuge} \cdot \gamma_{M2}}$ ergibt, müssen die freien Stege der Rippe unterhalb des Beckens, sowie des Strebenprofils kontinuierlich durch Bindebleche über die Länge a zusammengehalten werden.

Einer beispielhaften Berechnung von a_{cr} für den unterhalb der Trittstufe vorliegenden Fall $\frac{c}{b} = \frac{12,0}{213,58} = 0,06 < 0,12$ sind bei einem angenommenen Spannungsverhältnis von $\psi = \frac{55,00}{-100,00} = -0,55$ die Beulwerte der vierten Spalte aus Tabelle 40 zugrunde zu legen und die reduzierten Spannungswiderstände mit dem Faktor $\rho = \frac{1,000}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,231}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$ zu bestimmen. Mit den in Tabelle 41 angeführten Spannungswiderständen folgt aus der maximal einwirkenden Druckspannung von $\sigma_{Ed,com} = -100,00 \left[\frac{N}{mm^2} \right] < \sigma_{Rd,com} = -105,79 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ der gesuchte Abstand $a_{cr} = 0,60 \cdot 213,58 = 128,15 \text{ [mm]}$.

Tabelle 45: Spannungswiderstände bei variablem Verbindungsmittelabstand

α [-]	k_{σ} [-]	λ_p [-]	ρ [-]	σ_{Rd} $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$
0,10	131,6	0,36	1,00	218,18
0,20	50,8	0,69	0,96	209,76
0,30	29,9	1,00	0,77	167,84
0,40	21,8	1,28	0,64	139,36
0,50	17,8	1,55	0,55	119,82
0,60	15,7	1,80	0,48	105,79
0,70	14,5	2,03	0,44	95,31
0,80	13,8	2,24	0,40	87,24
0,90	13,4	2,44	0,37	80,89
1,00	13,3	2,63	0,35	75,79
1,10	13,3	2,79	0,33	71,65
1,20	13,4	2,95	0,31	68,24
1,30	13,5	3,09	0,30	65,39
1,40	13,6	3,21	0,29	63,00
1,50	13,6	3,33	0,28	60,98
1,60	13,6	3,43	0,27	59,25
1,70	13,5	3,53	0,26	57,76
1,80	13,3	3,62	0,26	56,47
1,90	13,0	3,70	0,25	55,35
2,00	12,7	3,77	0,25	54,37
2,20	11,8	3,89	0,24	52,74
2,40	10,8	3,99	0,24	51,46
2,60	9,8	4,08	0,23	50,43
2,80	8,9	4,15	0,23	49,59
3,00	8,0	4,22	0,22	48,91
3,25	7,1	4,28	0,22	48,21
3,50	6,3	4,34	0,22	47,65
3,75	5,7	4,38	0,22	47,19
4,00	5,1	4,42	0,21	46,81
4,50	4,2	4,48	0,21	46,22
5,00	3,5	4,52	0,21	45,79

6.1.3.1 Verbindungsmittelabstände am System exklusive Rinnenkorb

Tabelle 46: Nachweis der Verbindungsmittel am System exklusive Rinnenkorb

Schnittgrößenauswertung		Bereich	t_{Ed} [$\frac{N}{mm}$]	e_{cr} [mm]	e_r [mm]	e [mm]
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	7,7	-	516,4	516,4
		oberhalb TS	7,5	-	534,0	534,0
		unterhalb TS	-0,1	-	64.976,7	64.976,7
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	0,0	554,5	612.405,8	554,5
		oberhalb TS	-1,1	554,5	3.646,6	554,5
		unterhalb TS	0,0	1.067,9	161.767,5	1.067,9
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	8,8	-	453,5	453,5
		oberhalb TS	6,7	-	598,9	598,9
		unterhalb TS	-0,1	-	52.717,6	52.717,6
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	-0,3	554,5	12.190,1	554,5
		oberhalb TS	-2,0	188,5	2.010,0	188,5
		unterhalb TS	-10,5	-	382,7	382,7
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-2,0	554,5	1.993,0	554,5
		oberhalb TS	-9,0	188,5	446,0	188,5
		unterhalb TS	-17,5	-	228,6	228,6
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
	max	oberhalb RK	-2,0	554,5	1.993,0	554,5
		oberhalb TS	-9,0	188,5	446,0	188,5
		unterhalb TS	-17,5	-	228,6	228,6
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	9,5	-	419,5	419,5
		oberhalb TS	23,8	-	168,4	168,4
		unterhalb TS	5,7	1.067,9	705,9	705,9
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
	max	oberhalb RK	9,5	554,5	419,5	419,5
		oberhalb TS	23,8	-	168,4	168,4
		unterhalb TS	5,7	1.067,9	705,9	705,9
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5

Tabelle 46: Nachweis der Verbindungsmittel am System exklusive Rinnenkorb – Fortsetzung

Schnittgrößenauswertung		Bereich	t_{Ed} [$\frac{N}{mm}$]	e_{cr} [mm]	e_r [mm]	e [mm]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	9,5	-	419,5	419,5
		oberhalb TS	7,5	-	534,0	534,0
		unterhalb TS	0,4	-	9.294,8	9.294,8
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	9,5	-	419,5	419,5
		oberhalb TS	7,5	-	534,0	534,0
		unterhalb TS	0,4	-	9.278,5	9.278,5
		unterhalb B	0,0	-	-	-
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-0,3	554,5	12.190,1	554,5
		oberhalb TS	-2,0	188,5	2.010,0	188,5
		unterhalb TS	0,0	1.067,9	1.385.160,3	1.067,9
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
	max	oberhalb RK	-0,3	554,5	12.190,1	554,5
		oberhalb TS	-2,0	188,5	2.010,0	188,5
		unterhalb TS	0,0	640,7	1.385.160,3	640,7
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5

6.1.3.2 Verbindungsmittel am System inklusive Rinnenkorb

Tabelle 47: Nachweis der Verbindungsmittel am System inklusive Rinnenkorb

Schnittgrößenbewertung		Bereich	t_{Ed} [$\frac{N}{mm}$]	e_{cr} [mm]	e_r [mm]	e [mm]
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	5,2	-	764,8	764,8
		oberhalb TS	5,1	-	777,2	777,2
		unterhalb TS	-0,2	-	25.170,2	25.170,2
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	-2,2	554,5	1.819,2	554,5
		oberhalb TS	-3,3	554,5	1.202,0	554,5
		unterhalb TS	0,1	1.067,9	72.567,6	1.067,9
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	8,4	-	478,4	478,4
		oberhalb TS	6,8	-	591,2	591,2
		unterhalb TS	0,0	-	128.834,6	128.834,6
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	-1,1	554,5	3.541,0	554,5
		oberhalb TS	-1,9	188,5	2.112,9	188,5
		unterhalb TS	-10,4	-	383,9	383,9
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-3,9	554,5	1.031,6	554,5
		oberhalb TS	-8,9	188,5	450,9	188,5
		unterhalb TS	-18,7	-	213,8	213,8
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
	max	oberhalb RK	-3,9	554,5	1.031,6	554,5
		oberhalb TS	-8,9	188,5	450,9	188,5
		unterhalb TS	-18,7	-	213,8	213,8
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	8,4	-	478,4	478,4
		oberhalb TS	32,3	554,5	123,7	123,7
		unterhalb TS	5,7	1.067,9	699,7	699,7
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
	max	oberhalb RK	8,4	554,5	478,4	478,4
		oberhalb TS	32,3	554,5	123,7	123,7
		unterhalb TS	5,7	1.067,9	699,7	699,7
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5

Tabelle 47: Nachweis der Verbindungsmittel am System inklusive Rinnenkorb – Fortsetzung

Schnittgrößenauswertung		Bereich	t_{Ed} [$\frac{N}{mm}$]	e_{cr} [mm]	e_r [mm]	e [mm]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	8,4	-	478,4	478,4
		oberhalb TS	5,1	-	777,2	777,2
		unterhalb TS	0,1	-	35.212,9	35.212,9
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	8,4	-	478,4	478,4
		oberhalb TS	5,1	-	777,2	777,2
		unterhalb TS	0,1	-	35.145,6	35.145,6
		unterhalb B	0,0	-	-	-
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-2,2	554,5	1.819,2	554,5
		oberhalb TS	-1,9	188,5	2.112,9	188,5
		unterhalb TS	0,0	1.067,9	84.948,7	1.067,9
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
	max	oberhalb RK	-2,2	554,5	1.819,2	554,5
		oberhalb TS	-1,9	188,5	2.112,9	188,5
		unterhalb TS	0,0	640,7	84.948,7	640,7
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5

6.1.3.3 Verbindungsmittel am abgestrebt System

Tabelle 48: Nachweis der Verbindungsmittel am abgestrebt System

Schnittgrößenauswertung		Bereich	t_{Ed} [$\frac{N}{mm}$]	e_{cr} [mm]	e_r [mm]	e [mm]
$N_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-16,3	554,5	245,5	245,5
		oberhalb TS	6,9	554,5	576,7	554,5
		unterhalb TS	0,1	106,8	27.355,5	106,8
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	-32,8	554,5	121,8	121,8
		oberhalb TS	18,3	554,5	218,2	218,2
		unterhalb TS	-16,7	256,3	239,5	239,5
		unterhalb B	0,0	99,8	-	99,8
$N_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	9,2	-	434,2	434,2
		oberhalb TS	-7,0	-	568,2	568,2
		unterhalb TS	5,9	-	676,4	676,4
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	-36,2	554,5	110,3	110,3
		oberhalb TS	-3,3	-	1.217,4	1.217,4
		unterhalb TS	0,0	-	152.833,2	152.833,2
		unterhalb B	0,0	-	-	-
$V_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	-39,7	554,5	100,7	100,7
		oberhalb TS	-8,1	-	493,1	493,1
		unterhalb TS	-18,1	256,3	221,5	221,5
		unterhalb B	0,0	110,9	-	110,9
	max	oberhalb RK	-39,7	554,5	100,7	100,7
		oberhalb TS	-8,1	-	493,1	493,1
		unterhalb TS	-18,1	256,3	221,5	221,5
		unterhalb B	0,0	110,9	-	110,9
$V_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	9,2	-	434,2	434,2
		oberhalb TS	27,4	554,5	146,0	146,0
		unterhalb TS	6,1	-	654,8	654,8
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	9,2	-	434,2	434,2
		oberhalb TS	27,4	554,5	146,0	146,0
		unterhalb TS	6,1	-	654,8	654,8
		unterhalb B	0,0	-	-	-

Tabelle 48: Nachweis der Verbindungsmittel am abgestrebt System – Fortsetzung

Schnittgrößenbewertung		Bereich	t_{Ed} [$\frac{N}{mm}$]	e_{cr} [mm]	e_r [mm]	e [mm]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	9,2	-	434,2	434,2
		oberhalb TS	4,2	388,1	960,0	388,1
		unterhalb TS	-0,3	85,4	11.510,9	85,4
		unterhalb B	0,0	-	-	-
	max	oberhalb RK	9,2	-	434,2	434,2
		oberhalb TS	4,2	388,1	960,0	388,1
		unterhalb TS	-0,3	85,4	11.504,6	85,4
		unterhalb B	0,0	-	-	-
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	-39,7	554,5	100,7	100,7
		oberhalb TS	25,9	554,5	154,7	154,7
		unterhalb TS	-0,1	-	43.155,7	43.155,7
		unterhalb B	0,0	554,5	-	554,5
	max	oberhalb RK	-39,7	554,5	100,7	100,7
		oberhalb TS	25,9	554,5	154,7	154,7
		unterhalb TS	-0,1	-	43.155,7	43.155,7
		unterhalb B	0,0	-	-	-

Schnittgrößenbewertung	Bereich	t_{Ed} [$\frac{N}{mm}$]	e_{cr} [mm]	e_r [mm]	e [mm]
$N_{Ed,MIN}$	Strebe	0,0	536,2	-	536,2
$N_{Ed,MAX}$	Strebe	0,0	-	-	-

6.2 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit – SLS

Die Gebrauchstauglichkeit wird analog zum Grenzzustand der Tragfähigkeit, allerdings auf charakteristischem Lastniveau nachgewiesen. Der Systemschnittkraft- und Verformungsberechnung liegen dabei die effektiven Querschnittssteifigkeiten aus den ULS Ergebnissen infolge lokalen Beulens zugrunde. Ausschlaggebend ist hier das minimale Flächenträgheitsmoment 2. Ordnung aus der MIN – min beziehungsweise MAX – min Auswertung nach dem Biegemoment und der Normalkraft.

Tabelle 49: Effektive Querschnittswerte am System exklusive Rinnenkorb

Schnittgrößenbewertung		Position	effektive Querschnittswerte zufolge Beulen		
			A_{eff} [mm ²]	z_{eff} [mm]	$I_{y,eff}$ [mm ⁴]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	1.163,4	36,1	2.197.325,6
		oberhalb TS	1.790,9	23,3	2.711.318,7
		unterhalb TS	2.109,0	51,1	11.868.410,2
		unterhalb B	602,6	68,5	784.456,0
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	1.163,4	36,1	2.197.325,6
		oberhalb TS	1.793,4	23,4	2.730.835,9
		unterhalb TS	2.219,6	55,6	12.715.297,6
		unterhalb B	602,6	68,5	784.456,0

Tabelle 50: Effektive Querschnittswerte am System inklusive Rinnenkorb

Schnittgrößenbewertung		Position	effektive Querschnittswerte zufolge Beulen		
			A_{eff} [mm ²]	z_{eff} [mm]	$I_{y,eff}$ [mm ⁴]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	1.163,4	36,1	2.197.325,6
		oberhalb TS	1.786,2	23,1	2.676.393,1
		unterhalb TS	2.064,6	49,5	11.588.957,8
		unterhalb B	602,6	68,5	784.456,0
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	1.163,4	36,1	2.197.325,6
		oberhalb TS	1.793,4	23,4	2.730.835,9
		unterhalb TS	2.219,6	55,6	12.715.297,6
		unterhalb B	602,6	68,5	784.456,0

Tabelle 51. Effektive Querschnittswerte am abgestrebt System

Schnittgrößenbewertung		Position	effektive Querschnittswerte zufolge Beulen		
			A_{eff} [mm ²]	z_{eff} [mm]	$I_{y,eff}$ [mm ⁴]
$M_{Ed,MIN}$	min	oberhalb RK	1.163,4	36,1	2.197.325,6
		oberhalb TS	1.793,4	23,4	2.730.835,9
		unterhalb TS	1.879,1	44,4	10.979.478,5
		unterhalb B	578,8	67,1	750.423,2
$M_{Ed,MAX}$	min	oberhalb RK	1.163,4	36,1	2.197.325,6
		oberhalb TS	1.661,6	25,3	2.652.661,0
		unterhalb TS	2.219,6	55,6	12.715.297,6
		unterhalb B	602,6	68,5	784.456,0

Schnittgrößenbewertung		Position	effektive Querschnittswerte zufolge Beulen		
			A_{eff} [mm ²]	z_{eff} [mm]	$I_{y,eff}$ [mm ⁴]
$N_{Ed,MIN}$		Strebe	688,4	74,5	905.770,2
$N_{Ed,MAX}$		Strebe	688,4	74,5	905.770,2

Tabelle 52: Maßgebende effektive Querschnittswerte für die Schnittkraft- und Verformungsberechnung im SLS

System	Position	effektive Querschnittswerte zufolge Beulen		
		A_{eff} [mm ²]	z_{eff} [mm]	$I_{y,eff}$ [mm ⁴]
System zwischen der Abstrebung	oberhalb RK	1.163,4	36,1	2.197.325,6
	oberhalb TS	1.786,2	23,1	2.676.393,1
	unterhalb TS	2.064,6	49,5	11.588.957,8
	unterhalb B	602,6	68,5	784.456,0
abgestrebt System	oberhalb RK	1.163,45	36,13	2.197.325,63
	oberhalb TS	1.661,60	25,30	2.652.661,00
	unterhalb TS	1.879,15	44,38	10.979.478,46
	unterhalb B	578,76	67,05	750.423,23
	Strebe	688,37	36,13	905.770,21

6.2.1 Spannungs- und Verformungsnachweise

Da sich alle Spannungsnachweise im Vergleich zur Tragfähigkeit nur um die Größe der Teilsicherheitsbeiwerte von Einwirkungen und Materialwiderständen unterscheiden, wird im Folgenden nur auf den Verformungsnachweis eingegangen. Diesbezüglich sind neben der globalen Rippenverformung (Verformung der Einzelrippe um die Schrägstellung des abgestrebten Systems erweitert) die zugehörigen Verschiebungen des Wandbleches, sowie die Summe der beiden Werte angeführt. Die Bestimmung der Plattenverformungen erfolgt analog 6.1 durch Multiplikation der Ergebnisse aus den Einzellastfällen mit den entsprechenden Teilsicherheitsbeiwerten.

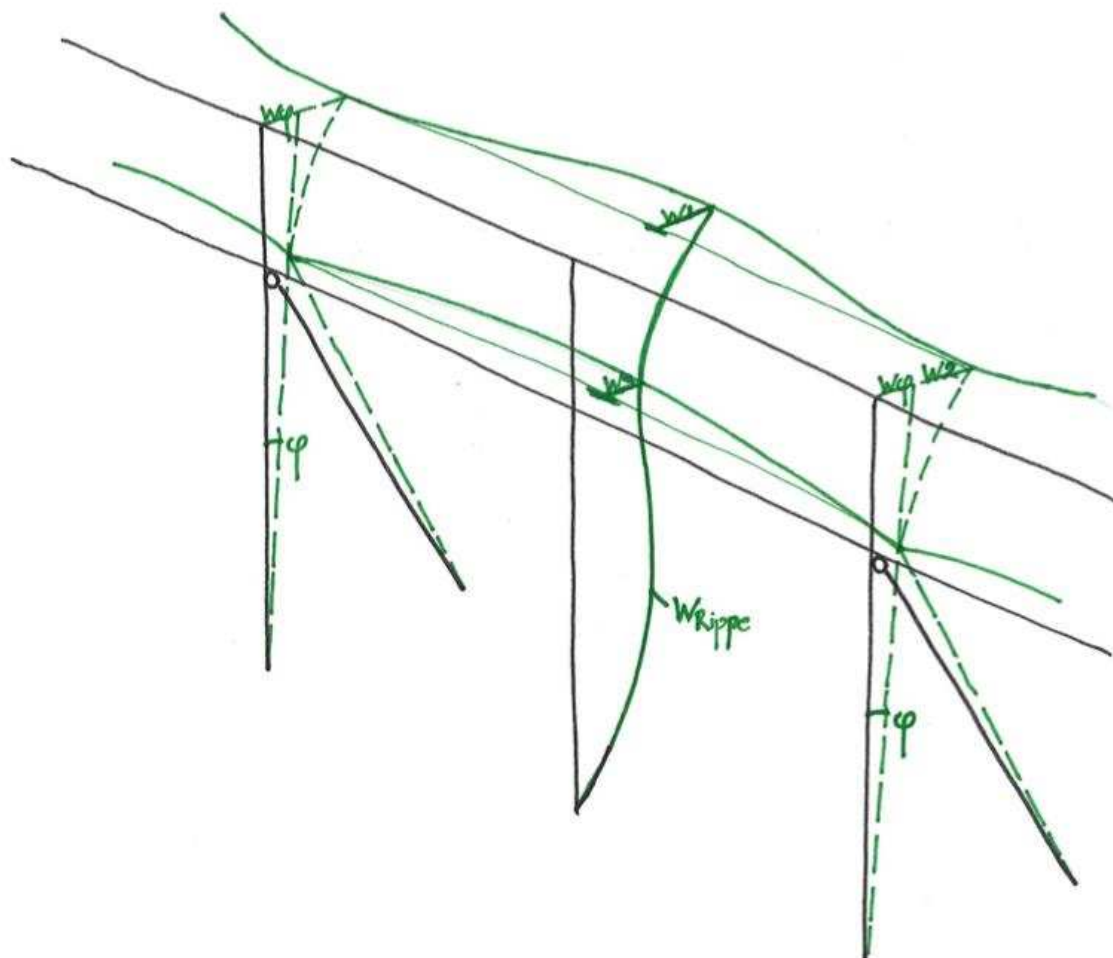


Abbildung 118: Globale Rippenverformung

6.2.1.1 Verformungsnachweis am System exklusive Rinnenkorb

Auswertung	Bereich	lokal					global				
		T [m]	LK	$w_{Ed,Rippe}$ [mm]	$w_{Ed,Wandb}$ [mm]	$\sum w_{Ed}$ [mm]	T [m]	LK	$w_{Ed,Rippe}$ [mm]	$w_{Ed,Wandb}$ [mm]	$\sum w_{Ed}$ [mm]
MIN	oberhalb RK	0,00	71	-1,55	0,00	-1,55	0,00	79	-3,36	0,00	-3,36
	oberhalb TS	1,01	35	-1,93	-0,79	-2,72	0,77	41	-3,13	-0,09	-3,22
	unterhalb TS	1,20	35	-1,86	-0,14	-2,00	1,20	41	-2,81	-0,14	-2,96
	unterhalb B	2,20	35	-0,47	0,00	-0,47	2,20	41	-0,63	0,00	-0,63
MAX	oberhalb RK	0,35	3	0,29	0,05	0,34	0,00	5	0,65	0,00	0,65
	oberhalb TS	0,81	3	0,33	0,00	0,33	0,35	5	0,64	0,05	0,69
	unterhalb TS	1,20	3	0,29	0,05	0,34	1,20	5	0,50	0,05	0,55
	unterhalb B	2,20	67	0,06	0,00	0,06	2,20	5	0,08	0,00	0,08

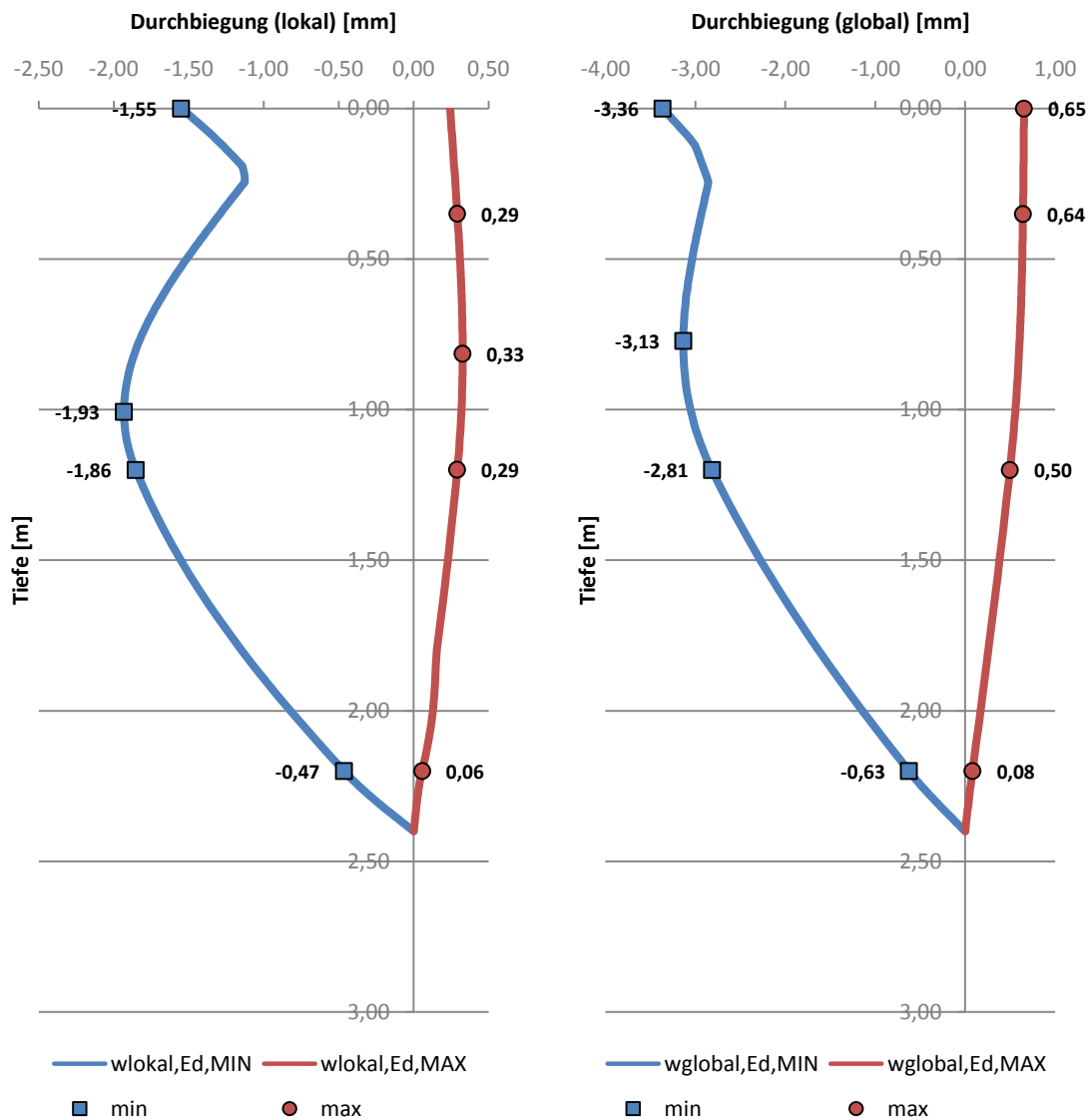


Abbildung 119: Verformungsumhüllende am System exklusive Rinnenkorb

6.2.1.2 Verformungsnachweis am System inklusive Rinnenkorb

Auswertung	Bereich	lokal					global				
		T [m]	LK	$w_{Ed,Rippe}$ [mm]	$w_{Ed,Wandb}$ [mm]	$\sum w_{Ed}$ [mm]	T [m]	LK	$w_{Ed,Rippe}$ [mm]	$w_{Ed,Wandb}$ [mm]	$\sum w_{Ed}$ [mm]
MIN	oberhalb RK	0,00	71	-1,60	0,00	-1,60	0,00	79	-3,41	0,00	-3,41
	oberhalb TS	1,01	39	-2,10	-0,79	-2,88	0,84	47	-3,26	0,00	-3,26
	unterhalb TS	1,20	39	-2,02	-0,14	-2,16	1,20	47	-2,96	-0,14	-3,10
	unterhalb B	2,20	39	-0,50	0,00	-0,50	2,20	47	-0,66	0,00	-0,66
MAX	oberhalb RK	0,35	5	0,26	0,05	0,31	0,00	5	0,63	0,00	0,63
	oberhalb TS	0,90	3	0,30	0,00	0,30	0,35	5	0,61	0,05	0,66
	unterhalb TS	1,20	3	0,27	0,05	0,32	1,20	3	0,46	0,05	0,52
	unterhalb B	2,20	67	0,05	0,00	0,05	2,20	3	0,08	0,00	0,08

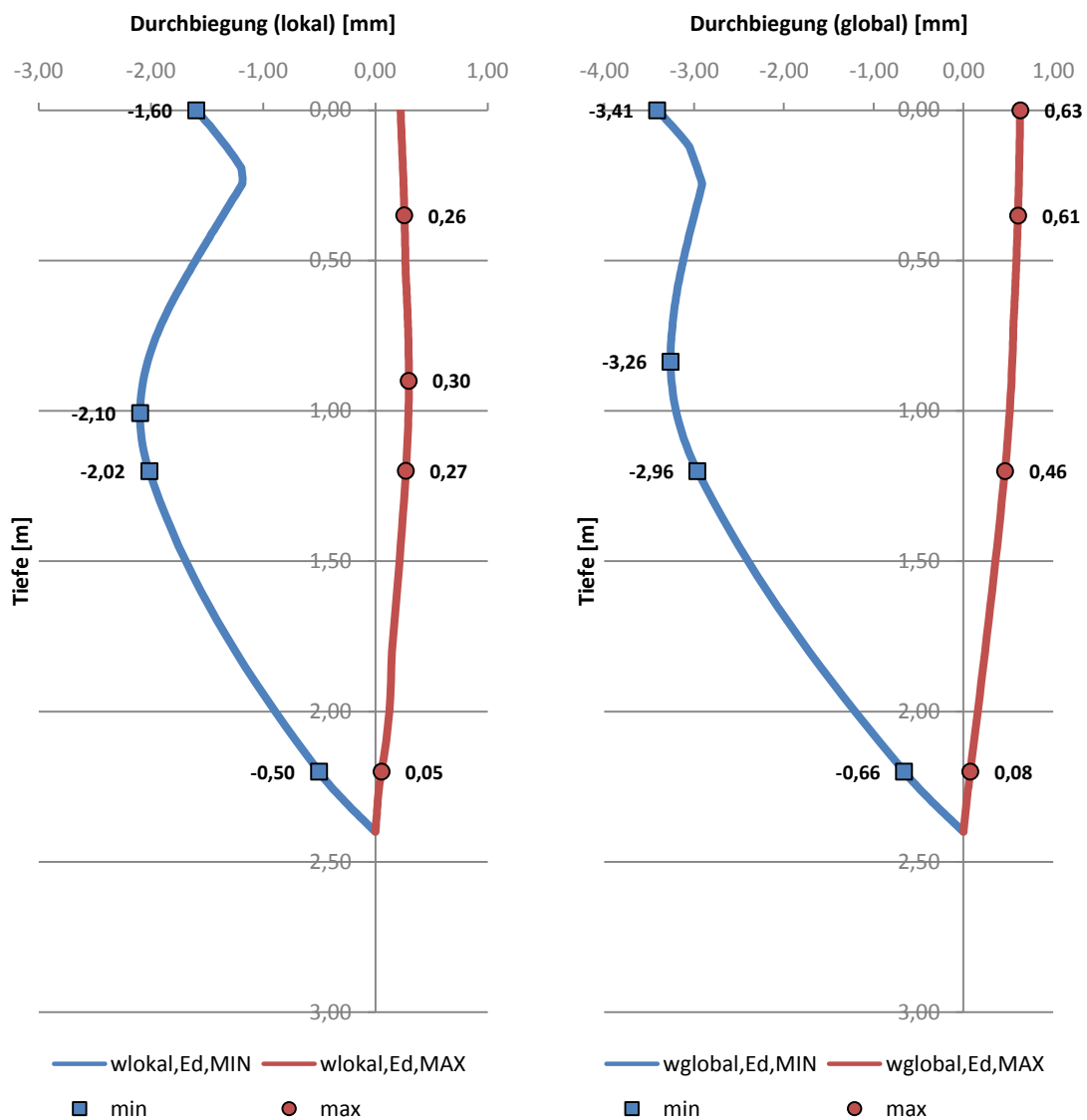


Abbildung 120: Verformungsumhüllende am System inklusive Rinnenkorb

6.2.1.3 Verformungsnachweis am abgestreikten System

Auswertung	Bereich	lokal				
		T [m]	LK	$w_{Ed,Rippe}$ [mm]	$w_{Ed,Wandblech}$ [mm]	$\sum w_{Ed}$ [mm]
MIN	oberhalb RK	0,00	79	-3,43	0,00	-3,43
	oberhalb TS	0,94	47	-1,75	0,00	-1,75
	unterhalb TS	1,20	47	-1,69	-0,14	-1,83
	unterhalb B	2,20	47	-0,47	0,00	-0,47
MAX	oberhalb RK	0,00	5	0,50	0,00	0,50
	oberhalb TS	1,20	67	0,39	-0,57	-0,18
	unterhalb TS	1,45	67	0,42	-0,12	0,29
	unterhalb B	2,20	67	0,12	0,00	0,12

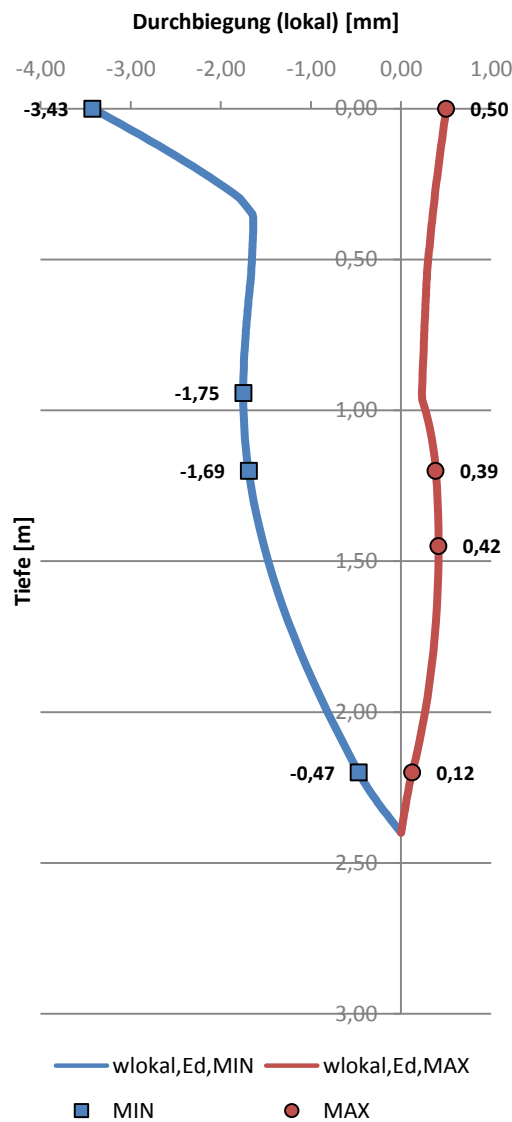


Abbildung 121: Verformungsumhüllende am abgestreikten System

6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

6.3.1 Nachweise am System exklusive Rinnenkorb

Tabelle 53: Zusammenfassung der Nachweise im ULS für das System exklusive Rinnenkorb

Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		
	min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.
oberhalb des Rinnenkorbes	-27,2	11,5	-0,1	6,5	-2,4	5,4	27,6	0,13	Ende Fl.	27,6	0,13	Ende Fl.
oberhalb der Trittstufe	-116,4	31,7	-45,7	15,1	-6,9	12,4	116,5	0,53	Ende Fl.	123,7	0,57	Ende Fl.
unterhalb der Trittstufe	-50,8	16,0	-82,5	79,4	-9,6	4,4	50,8	0,23	Ende Fl.	93,1	0,43	Ende Fl.
unterhalb des Beckens	-89,9	128,4	-121,1	116,6	-27,0	6,6	128,4	0,59	Ende St.	149,3	0,68	Ende Fl.

Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen										Nachweis gegen Biegeknicken
	$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
oberhalb des Rinnenkorbes	-27,2	11,5	-2,4	5,4	27,6	0,13	Ende Fl.	27,6	0,13	Ende Fl.	0,14
oberhalb der Trittstufe	-117,4	31,7	-6,9	12,4	117,5	0,54	Ende Fl.	124,7	0,57	Ende Fl.	0,59
unterhalb der Trittstufe	-56,2	15,8	-9,6	15,8	56,2	0,26	Ende Fl.	96,3	0,44	Ende Fl.	0,33
unterhalb des Beckens	-89,9	128,4	-27,0	6,6	128,4	0,59	Ende St.	149,3	0,68	Ende Fl.	0,46

Bereich	$t_{Ed} \left[\frac{N}{mm} \right]$	$e_{cr} [mm]$	$e_{\tau} [mm]$	$e [mm]$
oberhalb des Rinnenkorbes	9,5	554,5	419,5	419,5
oberhalb der Trittstufe	23,8	188,5	168,4	168,4
unterhalb der Trittstufe	5,7	640,7	228,6	228,6
unterhalb des Beckens	0,0	554,5	-	554,5

Tabelle 54: Zusammenfassung des Verformungsnachweises im SLS für das System exklusive Rinnenkorb

Bereich	$w_{Ed,Rippe} [mm]$	$w_{Ed,Wandblech} [mm]$	$\sum w_{Ed} [mm]$
oberhalb des Rinnenkorbes	3,36	0,05	3,36
oberhalb der Trittstufe	3,13	0,79	3,22
unterhalb der Trittstufe	2,81	0,14	2,96
unterhalb des Beckens	0,63	0,00	0,63

6.3.2 Nachweise am System inklusive Rinnenkorb

Tabelle 55: Zusammenfassung der Nachweise im ULS für das System inklusive Rinnenkorb

Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		
	min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.
oberhalb des Rinnenkorbes	-21,9	10,9	-0,1	6,5	-2,2	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.
oberhalb der Trittstufe	-128,2	32,5	-45,7	15,1	-9,4	16,8	128,2	0,59	Ende Fl.	135,4	0,62	Ende Fl.
unterhalb der Trittstufe	-58,4	16,4	-93,6	90,1	-10,2	4,7	58,4	0,27	Ende Fl.	97,4	0,45	Ende Fl.
unterhalb des Beckens	-101,3	130,0	-121,1	116,6	-28,4	6,7	130,0	0,60	Ende St.	159,6	0,73	Ende Fl.

Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen										Nachweis gegen Biegeknicken
	$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
oberhalb des Rinnenkorbes	-21,9	10,9	-2,2	4,7	22,2	0,10	Ende Fl.	22,2	0,10	Ende Fl.	0,10
oberhalb der Trittstufe	-131,3	32,5	-9,4	16,8	131,3	0,60	Ende Fl.	138,5	0,63	Ende Fl.	0,66
unterhalb der Trittstufe	-67,1	15,9	-10,2	15,9	67,1	0,31	Ende Fl.	104,5	0,48	Ende Fl.	0,38
unterhalb des Beckens	-101,3	130,0	-28,4	6,7	130,0	0,60	Ende St.	159,6	0,73	Ende Fl.	0,53

Bereich	$t_{Ed} \left[\frac{N}{mm} \right]$	$e_{cr} [mm]$	$e_{\tau} [mm]$	$e [mm]$
oberhalb des Rinnenkorbes	8,4	554,5	478,4	478,4
oberhalb der Trittstufe	32,3	188,5	123,7	123,7
unterhalb der Trittstufe	5,7	640,7	213,8	213,8
unterhalb des Beckens	0,0	554,5	-	554,5

Tabelle 56: Zusammenfassung des Verformungsnachweises im SLS für das System inklusive Rinnenkorb

Bereich	$w_{Ed,Rippe} [mm]$	$w_{Ed,Wandblech} [mm]$	$\sum w_{Ed} [mm]$
oberhalb des Rinnenkorbes	3,41	0,05	3,41
oberhalb der Trittstufe	3,26	0,79	3,26
unterhalb der Trittstufe	2,96	0,14	3,10
unterhalb des Beckens	0,66	0,00	0,66

6.3.3 Nachweise am abgestrebt System

Tabelle 57: Zusammenfassung der Nachweise im ULS für das abgestrebt System

Bereich	$\sigma_{x,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{y,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,Ed}(\sigma_x, \sigma_y, \tau) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		
	min	max	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.
oberhalb des Rinnenkorbes	-54,5	101,3	-0,1	6,5	-22,5	9,8	102,9	0,47	Ende Fl.	102,9	0,47	Ende Fl.
oberhalb der Trittstufe	-71,0	73,1	-45,7	12,7	-8,0	14,4	73,8	0,34	Ende Fl.	78,6	0,36	Ende Fl.
unterhalb der Trittstufe	-79,5	21,5	-80,8	77,7	-10,5	4,9	79,5	0,36	Ende Fl.	115,8	0,53	Ende Fl.
unterhalb des Beckens	-172,1	64,4	-87,2	83,9	-29,0	7,1	173,6	0,80	Ende Fl.	224,9	1,03	Ende Fl.
Strebe	-27,3	73,8	0,0	0,0	0,0	0,0	73,8	0,34	Ende Fl.	73,8	0,34	Ende Fl.

Bereich	Nachweise gegen lokales Beulen										Nachweis gegen Biegeknicken
	$\sigma_{x,eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\tau_{eff,Ed} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$		$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			$\sigma_{v,eff,Ed}(\sigma_{x,eff}, \sigma_y, \tau_{eff}) \left[\frac{N}{mm^2} \right]$			
	min	max	min	max	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	$\sigma_{v,Ed}$	$\eta_{v,Ed}$	QS-Pkt.	
oberhalb des Rinnenkorbes	-54,5	101,3	-22,5	9,8	102,9	0,47	Ende Fl.	102,9	0,47	Ende Fl.	0,24
oberhalb der Trittstufe	-71,0	74,6	-7,6	14,4	75,3	0,35	Ende Fl.	78,6	0,36	Ende Fl.	0,36
unterhalb der Trittstufe	-105,8	21,5	-9,8	21,5	105,8	0,49	Ende Fl.	140,4	0,64	Ende Fl.	0,29
unterhalb des Beckens	-186,9	70,9	-27,4	7,1	188,2	0,86	Ende Fl.	238,8	1,09	Ende Fl.	1,09
Strebe	-27,3	73,8	0,0	0,0	73,8	0,34	Ende Fl.	73,8	0,34	Ende Fl.	0,25

Bereich	$t_{Ed} \left[\frac{N}{mm} \right]$	$e_{cr} [mm]$	$e_r [mm]$	$e [mm]$
oberhalb des Rinnenkorbes	9,2	554,5	100,7	100,7
oberhalb der Trittstufe	27,4	388,1	146,0	146,0
unterhalb der Trittstufe	6,1	85,4	221,5	85,4
unterhalb des Beckens	0,0	99,8	-	99,8
Strebe	0,0	536,2	-	536,2

Tabelle 58: Zusammenfassung des Verformungsnachweises im SLS für das abgestrebt System

Bereich	$w_{Ed,Rippe} [mm]$	$w_{Ed,Wandblech} [mm]$	$\sum w_{Ed} [mm]$
oberhalb des Rinnenkorbes	3,43	0,00	3,43
oberhalb der Trittstufe	1,75	0,57	1,75
unterhalb der Trittstufe	1,69	0,14	1,83
unterhalb des Beckens	0,47	0,00	0,47

7. Schlussbemerkung

Die Möglichkeit zur Optimierung der Beckenwandkonstruktion ist erst durch die Miteinbeziehung der Steifigkeiten von Rinnenkopf und -boden, die Aufstellung eines realistischen Lastmodells, sowie durch eine detailreiche Nachweisführung zufolge aller minimalen und maximalen führenden und zugehörigen Schnittkräfte gegeben. Anhand der Ergebnisse des angeführten Beispiels kann man erkennen, dass die bisherige Ausführung aller Systeme zwischen den Streben noch Tragreserven (mindestens dreißig Prozent) birgt und durch Verringerung der Materialdicke oder Vergrößerung des Rippenabstandes verbessert werden kann.

Infolge der Querbiegung kommt es am abgestrebten System im Bereich unterhalb des Beckens zu einem Überschreiten der zulässigen Spannungen. Möglichkeiten diesem Umstand Rechnung zu tragen, liegen in der Wahl einer höheren Materialgüte, Ausführung der Rippe mit einer stärkeren Blechdicke oder Ausschalten der Querbiegung durch Abschottung des Profils vom Erddruck. Letzteres ist dabei die effektivste Lösung.

Bei der Ausführung der Beckenwandkonstruktion nach den innerhalb dieses Dokumentes getroffenen Angaben und Randbedingungen liefern die programmierten Excel Tabellen zur Schnittkraft- und Verformungsberechnung stets rechentechnisch korrekte und zur weiteren Querschnittsbemessung verwendbare Ergebnisse.

Aufgrund der Komplexität des Stabilitätsverhaltens von dünnwandigen Querschnitten trifft dies für die Tabellen der Querschnittsbemessung nur eingeschränkt zu. Da die Norm keine ausreichenden Angaben zur Untersuchung von Forminstabilität angibt, können neben den Querschnittsnachweisen ausschließlich die Bauteilnachweise gegen Beulen und Biegeknicken geführt werden. Es liegt daher in der Verantwortung des Benutzers nur solche Querschnitte zu berechnen für die derartige Versagensformen zutreffen (siehe Anhang A 1).

Betreffend Verbindungsmittel lässt sich generell feststellen, dass unterbrochene Kehlnähte ($l = 30,0$ [mm]), Schweißbolzen ($d = 7,0$ [mm]), sowie unterbrochene Klebeverbindungen (Sikafast 5000-Serie) vergleichbare Schubtragfähigkeiten erreichen. Überlegungen zur Dauerhaftigkeit sind stets separat anzustellen.

8. Quellenverzeichnis

1. **Eberhard Häuslschmidt, Gunther Lenz, Thomas Lorenz, Gregory Pilz, Günther Orthofer, Thomas Pfeiler, Thomas Reichl, Andreas Wörgötter.** RuckZuck 5, 2D Stabstatikprogramm mit Querschnitts- und Materialdatenbank, Studentenversion. s.l. : 2004 Mursoft Wörgötter, Kump OEG, Grafenbergstr. 47/13c, 8010 Graz, Austria, 2008.
2. **Berndorf Bäderbau.** [Online] [Zitat vom: 24. Mai 2010.] www.berndorf-baederbau.com.
3. **Dipl. Ing. Karl Angerer, Berndorf Metall- und Bäderbau GmbH & Co KG.** Statische Berechnung für Edelstahlschwimmbecken, System Berndorf Bäderbau. 1997.
4. **GmbH, Berndorf Metall- und Bäderbau.** Dokumentation und Erläuterungen zum Rechenprogramm STBCKN.3 für die statische Berechnung von Schwimmbecken. 1992.
5. **CEN, Europäisches Komitee für Normung.** ÖNORM EN1993: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile. 2007.
6. —. ÖNORM EN1993: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-4: Allgemeine Bemessungsregeln - Ergänzende Regeln zur Anwendung von nichtrostenden Stählen. 2007.
7. —. ÖNORM EN1993: Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-3: Allgemeine Regeln - Ergänzende Regeln für kaltgeformte dünnwandige Bauteile und Bleche. 2007.
8. —. ÖNORM EN1990: Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung. 2003.
9. —. ÖNORM EN1991: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-1 Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht, Nutzlasten im Hochbau. 2006.
10. —. ÖNORM EN1991: Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 4 Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter. 2008.
11. **Schafer, B.W., Ádány, S.** Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods. Eighteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Orlando, FL. : s.n., Oktober 2006.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ausführungsskizze der gegenwärtigen Freibadkonstruktion	2
Abbildung 2:	Rippe R11.....	4
Abbildung 3:	Rippe R11 inklusive Verbindungsflaschen	5
Abbildung 4:	Rippe R8.....	6
Abbildung 5:	Rippe R3.....	6
Abbildung 6:	Lastfall 1 (für Freibandanlagen)	8
Abbildung 7:	Lastfall 2 (für Hallenbadanlagen)	8
Abbildung 8:	Freibad inklusive Aufbeton – bisheriges statisches System.....	9
Abbildung 9:	Freibad exklusive Aufbeton – bisheriges statisches System.....	10
Abbildung 10:	Hallenbad inklusive Aufbeton – bisheriges statisches System	10
Abbildung 11:	Hallenbad exklusive Aufbeton – bisheriges statisches System.....	11
Abbildung 12:	Freibad inklusive Aufbeton – neues statisches System	12
Abbildung 13:	Freibad exklusive Aufbeton – neues statisches System.....	13
Abbildung 14:	Hallenbad inklusive Aufbeton – neues statisches System	13
Abbildung 15:	Hallenbad exklusive Aufbeton – neues statisches System	14
Abbildung 16:	Steifigkeitsbedingte Systemgliederung, Bemessungsabschnitte	15
Abbildung 17:	Rippenquerschnitt oberhalb des Rinnenkorbes.....	16
Abbildung 18:	Rippenquerschnitt oberhalb der Trittstufe.....	16
Abbildung 19:	Rippenquerschnitt unterhalb der Trittstufe	17
Abbildung 20:	Querschnitt unterhalb des Beckens	17
Abbildung 21:	Rechenmodell zur Ermittlung der Auflagersteifigkeiten	18
Abbildung 22:	Rechenmodell zur Steifigkeitsermittlung am Rinnenkopf.....	19
Abbildung 23:	Rinnenkopf.....	19
Abbildung 24:	Mittelung der mittragenden Breiten.....	20
Abbildung 25:	Verformung Rinnenkopf	22
Abbildung 26:	Rechenmodell – abgestrebttes System	22
Abbildung 27:	Normalkraft zufolge Einheitsbelastung	22
Abbildung 28:	Biegemoment zufolge Einheitsbelastung.....	23
Abbildung 29:	Verformung zufolge Einheitsbelastung.....	23
Abbildung 30:	Fachwerkverband unterhalb der Überlaufrinne für Längen von $e_{Strebe} \leq 3000 [mm]$	24
Abbildung 31:	Systemskizze des Fachwerkverbandes.....	24
Abbildung 32:	Vereinfachung des Fachwerkverbandes für die interne Berechnung.....	24
Abbildung 33:	Rechenmodell zur Steifigkeitsermittlung am Rinnenboden	24
Abbildung 34:	Anrechenbare, effektive Querschnittsteile des Rinnenbodens.....	25
Abbildung 35:	Biegemoment zufolge Einheitsbelastung.....	27
Abbildung 36:	Durchbiegung aus Biegebeanspruchung	27
Abbildung 37:	Durchbiegung am vereinfachten Fachwerkverband	27
Abbildung 38:	Durchbiegung am Ausgangssystem.....	27
Abbildung 39:	Einflussbreiten bei gerader Rippenanzahl innerhalb der Länge e_{Strebe}	28
Abbildung 40:	Einflussbreiten bei ungerader Rippenanzahl innerhalb der Länge e_{Strebe}	29
Abbildung 41:	Belastungsabhängige Systemgliederung, Berechnungsabschnitte	29
Abbildung 42:	Lastbild – aktiver Erddruck, System exklusive Rinnenkorb.....	31
Abbildung 43:	Lastbild – aktiver Erddruck, System inklusive Rinnenkorb	32
Abbildung 44:	Lastbild – aktiver Erddruck, abgestrebttes System	32
Abbildung 45:	Lastbild – Erdruhedruck, System exklusive Rinnenkorb	33
Abbildung 46:	Lastbild – Erdruhedruck, System inklusive Rinnenkorb	34
Abbildung 47:	Lastbild – Erdruhedruck, abgestrebttes System	34
Abbildung 48:	Lastbild – Wasserdruck im Becken, alle Systeme.....	35

Abbildung 49:	Lastbild – Wasserdruck in der Rinne, System inklusive Rinnenkorb	36
Abbildung 50:	Lastbild – Wasserdruck in der Rinne, abgestrebttes System	37
Abbildung 51:	Lastbild – Verkehrslast Rinnenkopf, System exklusive Rinnenkorb	38
Abbildung 52:	Lastbild – Verkehrslast Rinnenkopf, System inklusive Rinnenkorb	39
Abbildung 53:	Lastbild – Verkehrslast Rinnenkopf, abgestrebttes System	40
Abbildung 54:	Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, System exklusive Rinnenkorb	41
Abbildung 55:	Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, System inklusive Rinnenkorb	42
Abbildung 56:	Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, abgestrebttes System	42
Abbildung 57:	Lastbild – Erdruchdruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, System exklusive Rinnenkorb	43
Abbildung 58:	Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, System inklusive Rinnenkorb	44
Abbildung 59:	Lastbild – aktiver Erddruck zufolge Verkehrslast Rinnenkopf, abgestrebttes System	44
Abbildung 60:	Lastbild – Verkehrslast an der Trittstufe, alle Systeme	45
Abbildung 61:	Lastbild – Temperatur, alle Systeme	46
Abbildung 62:	Lastbild – Reaktionskräfte aus sekundären Tragsystemen	47
Abbildung 63:	Kraft- und Weggrößen am System exklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 1a	59
Abbildung 64:	Kraft- und Weggrößen am System exklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 1a (RuckZuck)	59
Abbildung 65:	Kraft- und Weggrößen am System inklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 1a	60
Abbildung 66:	Kraft- und Weggrößen am System inklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 1a (RuckZuck)	60
Abbildung 67:	Kraft- und Weggrößen am abgestrebtten System zufolge Lastfall 1a	61
Abbildung 68:	Kraft- und Weggrößen am abgestrebtten System zufolge Lastfall 1a (RuckZuck)	61
Abbildung 69:	Kraft- und Weggrößen am System inklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 3	62
Abbildung 70:	Kraft- und Weggrößen am System inklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 3 (RuckZuck)	62
Abbildung 71:	Kraft- und Weggrößen am abgestrebtten System zufolge Lastfall 3	63
Abbildung 72:	Kraft- und Weggrößen am abgestrebtten System zufolge Lastfall 3 (RuckZuck)	63
Abbildung 73:	Kraft- und Weggrößen am System inklusive und exklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 6	64
Abbildung 74:	Kraft- und Weggrößen am System inklusive und exklusive Rinnenkorb zufolge Lastfall 6 (RuckZuck)	64
Abbildung 75:	Kraft- und Weggrößen am abgestrebtten System zufolge Lastfall 6	65
Abbildung 76:	Kraft- und Weggrößen am abgestrebtten System zufolge Lastfall 6 (RuckZuck)	65
Abbildung 77:	Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $N_{Ed,MIN}$)	69
Abbildung 78:	Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $N_{Ed,MAX}$)	70
Abbildung 79:	Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $V_{Ed,MIN}$)	71
Abbildung 80:	Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $V_{Ed,MAX}$)	72
Abbildung 81:	Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $M_{Ed,MIN}$)	73
Abbildung 82:	Schnittkraftumhüllende am System exklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $M_{Ed,MAX}$)	74
Abbildung 83:	Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $N_{Ed,MIN}$)	75
Abbildung 84:	Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $N_{Ed,MAX}$)	76
Abbildung 85:	Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $V_{Ed,MIN}$)	77
Abbildung 86:	Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $V_{Ed,MAX}$)	78
Abbildung 87:	Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $M_{Ed,MIN}$)	79
Abbildung 88:	Schnittkraftumhüllende am System inklusive Rinnenkorb (Auswertung nach $M_{Ed,MAX}$)	80
Abbildung 89:	Schnittkraftumhüllende am abgestrebtten System (Auswertung nach $N_{Ed,MIN}$)	81
Abbildung 90:	Schnittkraftumhüllende am abgestrebtten System (Auswertung nach $N_{Ed,MAX}$)	82
Abbildung 91:	Schnittkraftumhüllende am abgestrebtten System (Auswertung nach $V_{Ed,MIN}$)	83
Abbildung 92:	Schnittkraftumhüllende am abgestrebtten System (Auswertung nach $V_{Ed,MAX}$)	84
Abbildung 93:	Schnittkraftumhüllende am abgestrebtten System (Auswertung nach $M_{Ed,MIN}$)	85
Abbildung 94:	Schnittkraftumhüllende am abgestrebtten System (Auswertung nach $M_{Ed,MAX}$)	86
Abbildung 95:	Rippentypen	87
Abbildung 96:	EN-ON-1993-1-3 5.2, Tabelle 5.1, maximale Breiten-Dicken-Verhältnisse	88
Abbildung 97:	ON-EN-1993-1-4 5.2, Bild 5.1, Maximale Breite-zu-Dicke-Verhältnisse	89
Abbildung 98:	Geometrieparameter, Rippe Typ 1	90
Abbildung 99:	Geometrieparameter, Rippe Typ 2	91
Abbildung 100:	Geometrieparameter, Rippe Typ 3	92

Abbildung 101:	Geometrieparameter, Rippe Typ 4.....	93
Abbildung 102:	Spannungspunkte – Rippe, Typ 1.....	94
Abbildung 103:	Spannungspunkte – Rippe, Typ 2.....	94
Abbildung 104:	Spannungspunkte – Rippe Typ 3.....	95
Abbildung 105:	Spannungspunkte – Rippe, Typ 4.....	95
Abbildung 106:	Querbiegung – Modellbildung.....	96
Abbildung 107:	Einheitsbelastung am Rippenquerschnitt.....	98
Abbildung 108:	Normalkraft zufolge Einheitsbelastung.....	98
Abbildung 109:	Biegemoment zufolge Einheitsbelastung.....	99
Abbildung 110:	ON-EN-1993-1-5 4.4, Tabelle 4.1 – zweiseitig gestützte, druckbeanspruchte Querschnittsteile.....	106
Abbildung 111:	ON-EN-1993-1-3 5.1, Bild 5.1 – Nennbreiten ebener QS-Teile b_p unter Berücksichtigung der Eckradien.....	107
Abbildung 112:	Modellbildung des freien Rippensteges für die GNLA mittels CUFSM.....	119
Abbildung 113:	Spannungsverhältnisse innerhalb des freien Rippensteges für die GNLA mittels CUFSM.....	119
Abbildung 114:	Untersuchung eines Rippensteges mit Lippe bei der Einwirkung konstanter Druckspannungen.....	120
Abbildung 115:	Untersuchung eines Rippensteges ohne Lippe bei der Einwirkung konstanter Druckspannungen.....	120
Abbildung 116:	Graphische Darstellung der Beulwerte k_σ für Rippenstege mit $\frac{c}{b} \geq 0,12$ [–].....	123
Abbildung 117:	Graphische Darstellung der Beulwerte k_σ für Rippenstege mit $\frac{c}{b} < 0,12$ [–].....	123
Abbildung 118:	Globale Rippenverformung.....	134
Abbildung 119:	Verformungsumhüllende am System exklusive Rinnenkorb.....	135
Abbildung 120:	Verformungsumhüllende am System inklusive Rinnenkorb.....	136
Abbildung 121:	Verformungsumhüllende am abgestrebten System.....	137

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mechanische Werkstoffeigenschaften nach ON-EN-1993-1-4 2.....	7
Tabelle 2:	Teilsicherheitsbeiwerte nach ON-EN-1993-1-4 5.1.....	7
Tabelle 3:	Mittragende Breiten des Wandbleches	15
Tabelle 4:	Mittragende Breiten von Wand- und Rinnenblech	20
Tabelle 5:	Effektive Breiten von Wand und Rinnenblech zufolge Beulen	20
Tabelle 6:	Steifigkeitsberechnung am Rinnenkopf (Feldquerschnitt).....	21
Tabelle 7:	Steifigkeitsberechnung am Rinnenkopf (Stützquerschnitt).....	21
Tabelle 8:	Effektive Querschnittswerte des Horizontalverbandes.....	25
Tabelle 9:	Mittragende Breiten von Wand- und Bodenblech der Rinne.....	25
Tabelle 10:	Effektive Breiten von Wand- und Bodenblech der Rinne	26
Tabelle 11:	Steifigkeitsberechnung am Rinnenboden – Eingangsparemeter.....	26
Tabelle 12:	Steifigkeitsberechnung am Rinnenboden	26
Tabelle 13:	Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Freibadanlagen.....	48
Tabelle 14:	Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Tragfähigkeit von Hallenbadanlagen	52
Tabelle 15:	Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von Freibadanlagen	54
Tabelle 16:	Lastfallkombinationen für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit von Hallenbadanlagen	56
Tabelle 17:	Auswertung der Lagerreaktionen am System zwischen den Streben	66
Tabelle 18:	Auswertung der Lagerreaktionen am abgestrebten System	66
Tabelle 19:	Auswertung der Schnittgrößen nach der Normalkraft – maßgebende und zugehörige Kraftgrößen.....	66
Tabelle 20:	Auswertung der Schnittgrößen nach der Querkraft – maßgebende und zugehörige Kraftgrößen.....	66
Tabelle 21:	Auswertung der Schnittgrößen dem Biegemoment – maßgebende und zugehörige Kraftgrößen.....	66
Tabelle 22:	Auswertung nach den Verformungen am abgestrebten System	67
Tabelle 23:	Auswertung nach den Verformungen am System zwischen den Abstreben	67
Tabelle 24:	Auflagerkräfte am System exklusive Rinnenkorb	68
Tabelle 25:	Auflagerkräfte am System inklusive Rinnenkorb	68
Tabelle 26:	Auflagerkräfte am abgestrebten System.....	68
Tabelle 27:	Eingangsparemeter für die Bestimmung der lokalen Biegespannungen.....	97
Tabelle 28:	Maßgebende Lastfallkombinationen für die Bestimmung der lokalen Biegespannungen.	97
Tabelle 29:	Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System exklusive Rinnenkorb	100
Tabelle 30:	Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System inklusive Rinnenkorb	102
Tabelle 31:	Querschnittsnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am abgestrebten System	104
Tabelle 32:	Eingangsparemeter für die Bestimmung der effektiven Biegespannungen	110
Tabelle 33:	Beulparameter, Berechnungsschritt 1	110
Tabelle 34:	Bestimmung der erhöhten mittragenden Breite, Berechnungsschritt 2	110
Tabelle 35:	Gesamtquerschnittswerte der zusammengesetzten effektiven Teilflächen, Berechnungsschritt 3	110
Tabelle 36:	Exzentrizitätsmomente aus der Schwerpunktverschiebung, Berechnungsschritt 4	111
Tabelle 37:	Wiederholung der Schritte 1 bis 4, Berechnungsschritt 5	111
Tabelle 38:	Normalspannungsverhältnis ψ , Berechnungsschritt 6	111
Tabelle 39:	effektive Querschnittswerte, welche die Bedingung $\Delta\psi = 0$ erfüllen.....	112
Tabelle 40:	Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System exklusive Rinnenkorb	113
Tabelle 41:	Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am System inklusive Rinnenkorb	115
Tabelle 42:	Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit am abgestrebten System	117
Tabelle 43:	Beulwerte k_σ für Rippenstege mit $\frac{c}{b} \geq 0,12$ [–]	121
Tabelle 44:	Beulwerte k_σ für Rippenstege mit $\frac{c}{b} < 0,12$ [–]	122
Tabelle 45:	Spannungswiderstände bei variablem Verbindungsmittelabstand	125
Tabelle 46:	Nachweis der Verbindungsmittel am System exklusive Rinnenkorb.....	126
Tabelle 47:	Nachweis der Verbindungsmittel am System inklusive Rinnenkorb	128
Tabelle 48:	Nachweis der Verbindungsmittel am abgestrebten System	130

Tabelle 49:	Effektive Querschnittswerte am System exklusive Rinnenkorb.....	132
Tabelle 50:	Effektive Querschnittswerte am System inklusive Rinnenkorb	132
Tabelle 51:	Effektive Querschnittswerte am abgestrehten System.....	133
Tabelle 52:	Maßgebende effektive Querschnittswerte für die Schnittkraft- und Verformungsberechnung im SLS	133
Tabelle 53:	Zusammenfassung der Nachweise im ULS für das System exklusive Rinnenkorb.....	138
Tabelle 54:	Zusammenfassung des Verformungsnachweises im SLS für das System exklusive Rinnenkorb	138
Tabelle 55:	Zusammenfassung der Nachweise im ULS für das System inklusive Rinnenkorb	139
Tabelle 56:	Zusammenfassung des Verformungsnachweises im SLS für das System inklusive Rinnenkorb	139
Tabelle 57:	Zusammenfassung der Nachweise im ULS für das abgestrehte System	140
Tabelle 58:	Zusammenfassung des Verformungsnachweises im SLS für das abgestrehte System.....	140

A 1. Anhang

Im Folgenden soll das Instabilitätsverhalten aller vier Rippentypen anhand geometrisch nichtlinearer Analysen für verschiedene Spannungszustände unter Zuhilfenahme des Computerprogrammes CUF5M (elastic buckling analysis of thin-walled members by finite strip method, Ben Schafer) (11) untersucht werden. Darüberhinaus findet ein Vergleich zwischen den nichtlinear und den nach effektiven Breiten ermittelten Querschnittstragfähigkeiten gemäß ON-EN-1993-1-5 (5) statt. Dazu kommt die Methode der reduzierten Spannungen zum Einsatz, wodurch sich aufgrund der unterschiedlichen Berechnungsverfahren gewisse Unstimmigkeiten ergeben.

Von dem mittels CUF5M berechneten Laststeigerungsfaktor kann unter Anwendung der in ON-EN-1993-1-5 Anhang B (Punkt 1), (Punkt 2), (Punkt 3) (5) getroffenen Festlegungen auf einen reduzierten Spannungswiderstand geschlossen werden (σ_{Rd}). Im Zuge dessen geht der positive Effekt weniger stabilitätsgefährdeter Blechfelder (mit geringer Schlankheit und/oder Biegebeanspruchung) verloren. Ein Vergleich mit den Widerständen der effektiven Querschnitte ($\sigma_{Rd,eff}$), ist somit nur eingeschränkt möglich und führt nur im Falle von nahezu identen Abmessungen aller Einzelquerschnittsteile und konstanter Normalkrafteinwirkung zu geeigneten Ergebnissen (markierte Werte in den Tabellen). Wird der Spannungswiderstand des nach Norm berechneten effektiven Querschnittes jedoch ebenfalls zufolge des kleinsten Abminderungsbeiwertes aller Blechfelder bestimmt ($\sigma_{Rd,min}$), so muss dieser die CUF5M Ergebnisse stets unterschreiten.

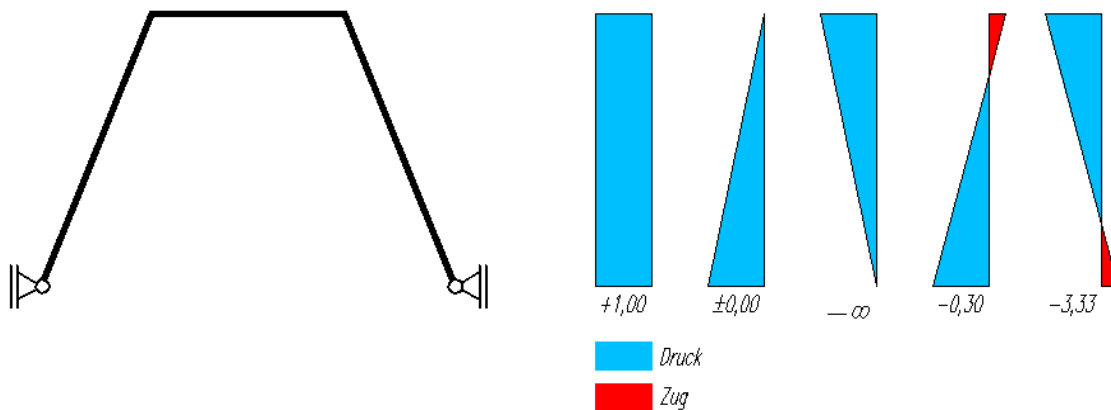


Abbildung A 1: Modellierung des Rippenquerschnittes in CUF5M und untersuchte Spannungszustände

Folgende Abschnitte beinhalten CUFSM-Ergebnisse und Tragfähigkeitsvergleiche für alle in 5.2 beschriebenen Rippentypen. Die Festlegung der dazu verwendeten Rippengeometrie findet in Anlehnung an den bestehenden Typ R11 (gemäß 1.3.1) sowohl für Querschnitte ober- als auch unterhalb der Trittstufe mit baupraktisch maximalen Verhältniswerten von $\frac{b}{t} \leq 140$ und $\frac{h}{t} \leq 70$ beziehungsweise $\frac{h}{t} \leq 140$ statt. Dies ermöglicht die Ausführung des genannten Referenzquerschnittes ($h_{R11} = 210 \text{ [mm]} = 140 \cdot t$) mit der seitens Berndorf Bäderbau gewünschten minimalen Blechdicke von $t = 1,5 \text{ [mm]}$. Die zugrundegelegten Materialeigenschaften beziehen sich auf den Konstruktionsstahl 1.4404.

Die Ergebnisbilder stellen die der kleinsten kritischen Normalspannung zugehörige Versagenseigenform für die bis zur maximalen Bauteillänge untersuchten Sinus-Halbwellenlängen von $a = 1,0 \text{ [mm]}$ bis $a = 2.500,0 \text{ [mm]}$ dar. Es zeigt sich dabei, dass der minimale kritische Laststeigungsfaktor für alle Fälle stets mit einem lokalen Beulen in Verbindung steht und die farbliche Darstellung der Modalkomposition nicht ganz zutreffend ist. Exemplarisch wird dies durch die zugehörige Versagensform des zweiten Minimums im Spannungsplot für die Rippe Typ 1c (A 1.1.3, Abbildung A 13) bestätigt.

Für Rippenquerschnitte mit Sicke im Flansch empfiehlt sich die Anordnung von Querschotten im Abstand von $a = 800,0 \text{ [mm]}$ bis $a = 1.000,0 \text{ [mm]}$. Dies kann auch mittels der horizontal angeordneten Zwischenrippen ohne Mehraufwand bewerkstelligt werden. Eine saubere Verbindung zur Vertikalrippe ist dabei jedoch Voraussetzung.

A 1.1 Vergleichsrechnungen an der Rippe Typ 1

A 1.1.1 Rippe Typ 1a

$$\frac{b}{t} = 140, \frac{b_{St}}{b} = 0, \frac{h}{t} = 140$$

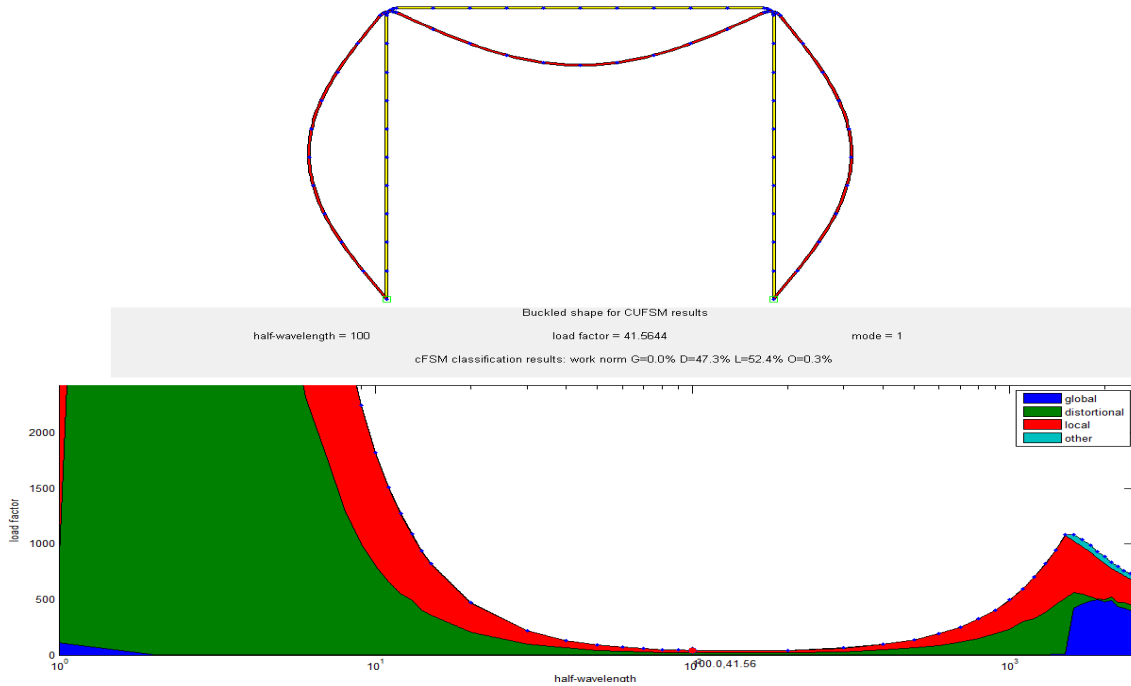


Abbildung A 2: Versagensform der Rippe Typ 1a bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

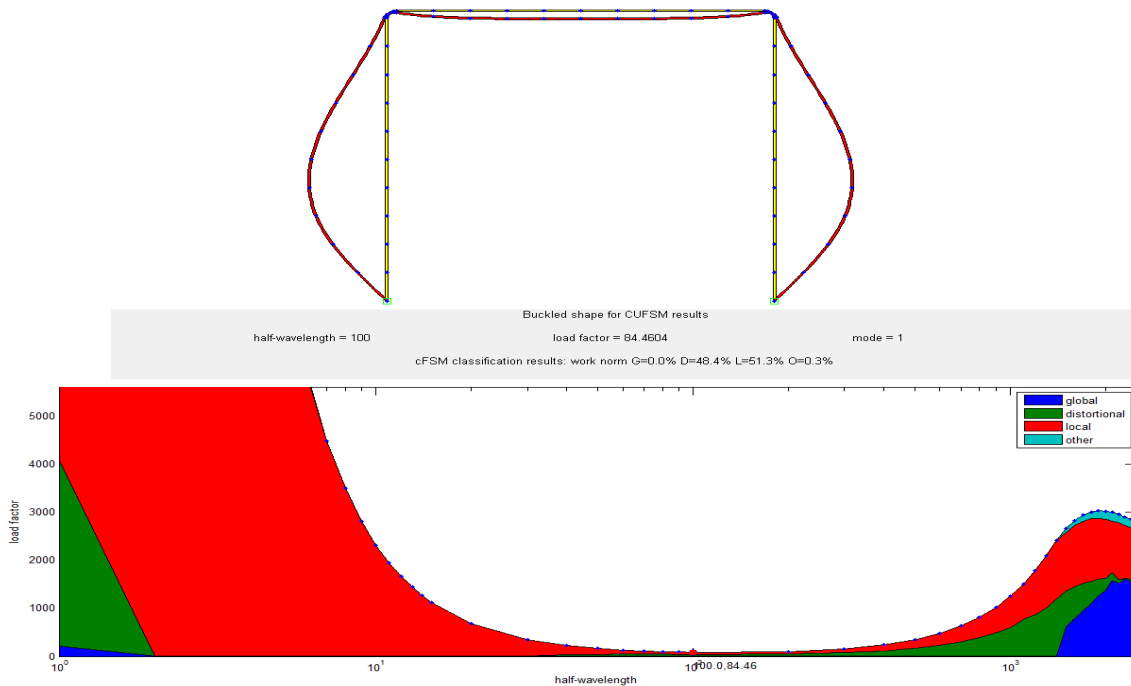


Abbildung A 3: Versagensform der Rippe Typ 1a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

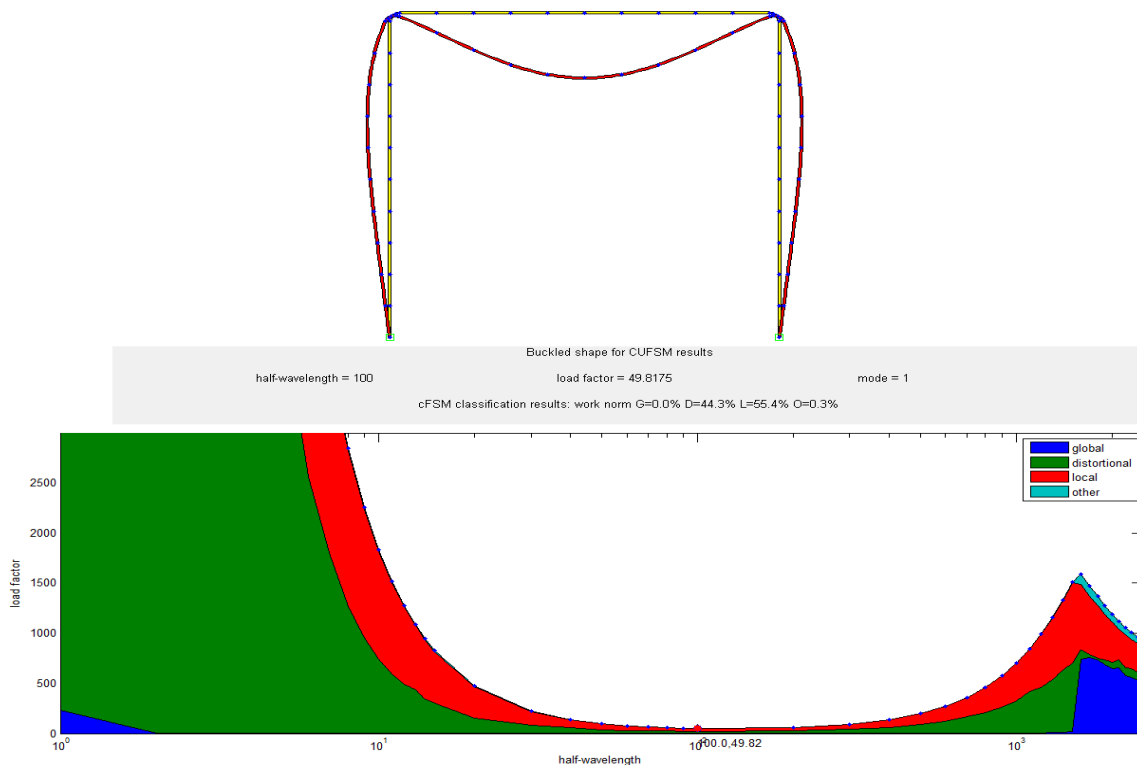


Abbildung A 4: Versagensform der Rippe Typ 1a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

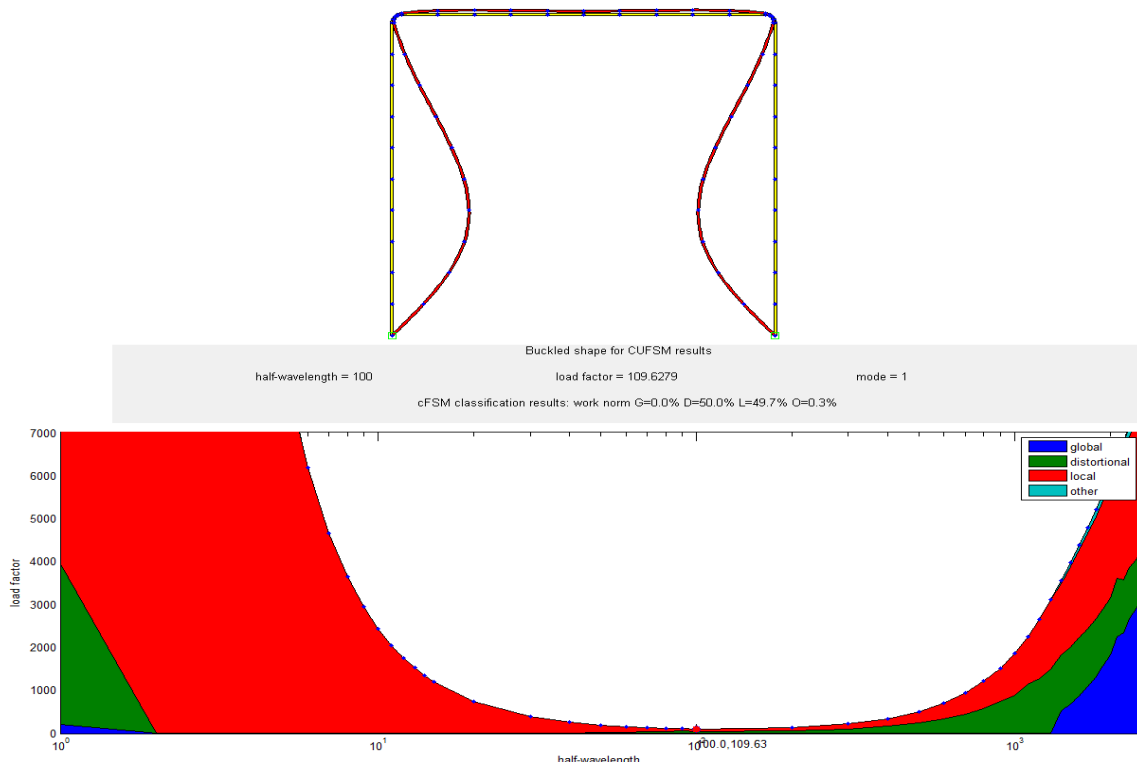


Abbildung A 5: Versagensform der Rippe Typ 1a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

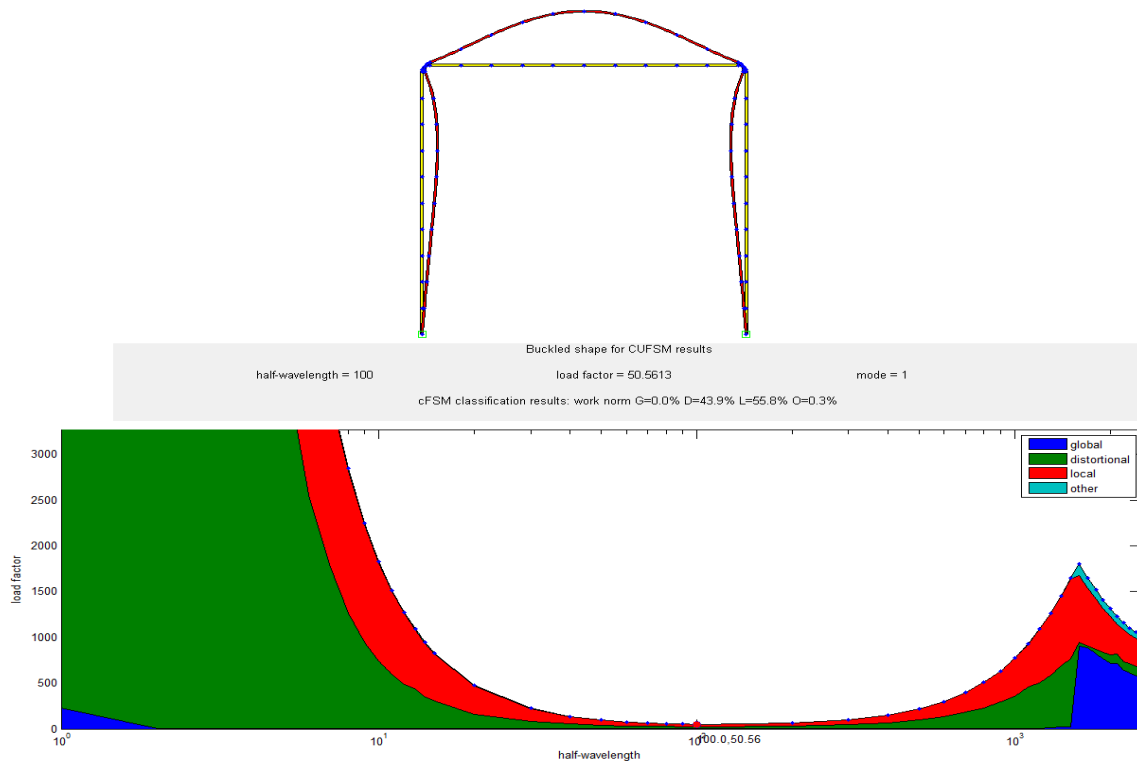


Abbildung A 6: Versagensform der Rippe Typ 1a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 1: Spannungswiderstände der Rippe Typ 1a

σ_{St} $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$	σ_F $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}}$ [-]	a [mm]	σ_{cr} $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$	λ_{cr} [-]	ρ [-]	σ_{Rd} $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff}$ $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min}$ $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$	δ_{eff} [-]	δ_{min} [-]
-1,00	-1,00	1,00	100,00	41,5644	2,40	0,30	71,91	68,63	69,07	0,05	0,04
-1,00	0,00	0,00	100,00	84,4604	1,69	0,41	99,36	98,16	69,44	0,01	0,30
0,00	-1,00	$-\infty$	100,00	49,8175	2,19	0,33	78,19	83,11	69,44	-0,06	0,11
-1,00	0,30	-0,30	100,00	109,6279	1,48	0,46	111,52	110,41	97,70	0,01	0,12
0,30	-1,00	-3,33	100,00	50,5613	2,18	0,33	78,72	85,68	69,44	-0,09	0,12

A 1.1.2 Rippe Typ 1b

$$\frac{b}{t} = 140, \frac{b_{St}}{b} = 0, \frac{h}{t} = 70$$

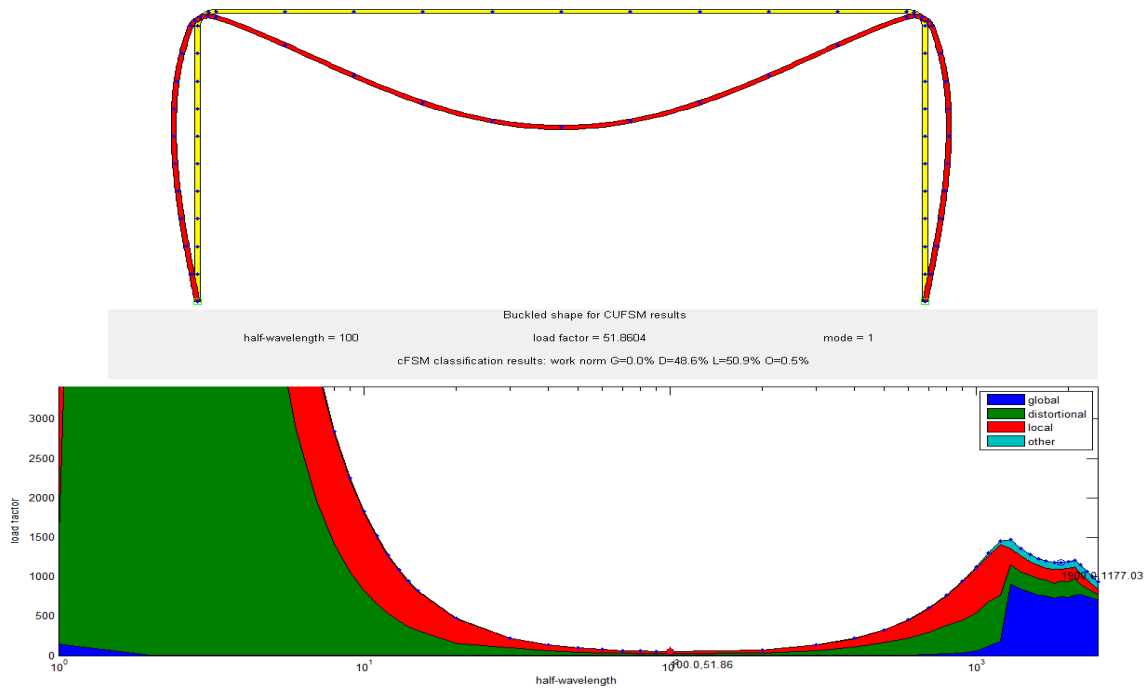


Abbildung A 7: Versagensform der Rippe Typ 1b bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

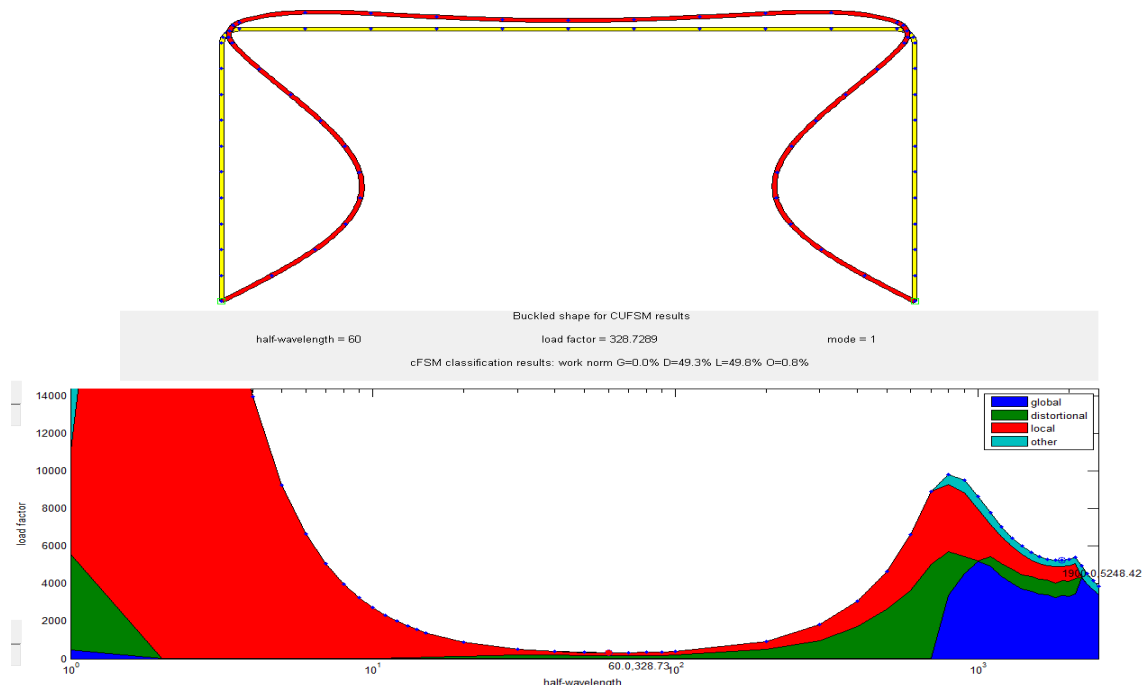


Abbildung A 8: Versagensform der Rippe Typ 1b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

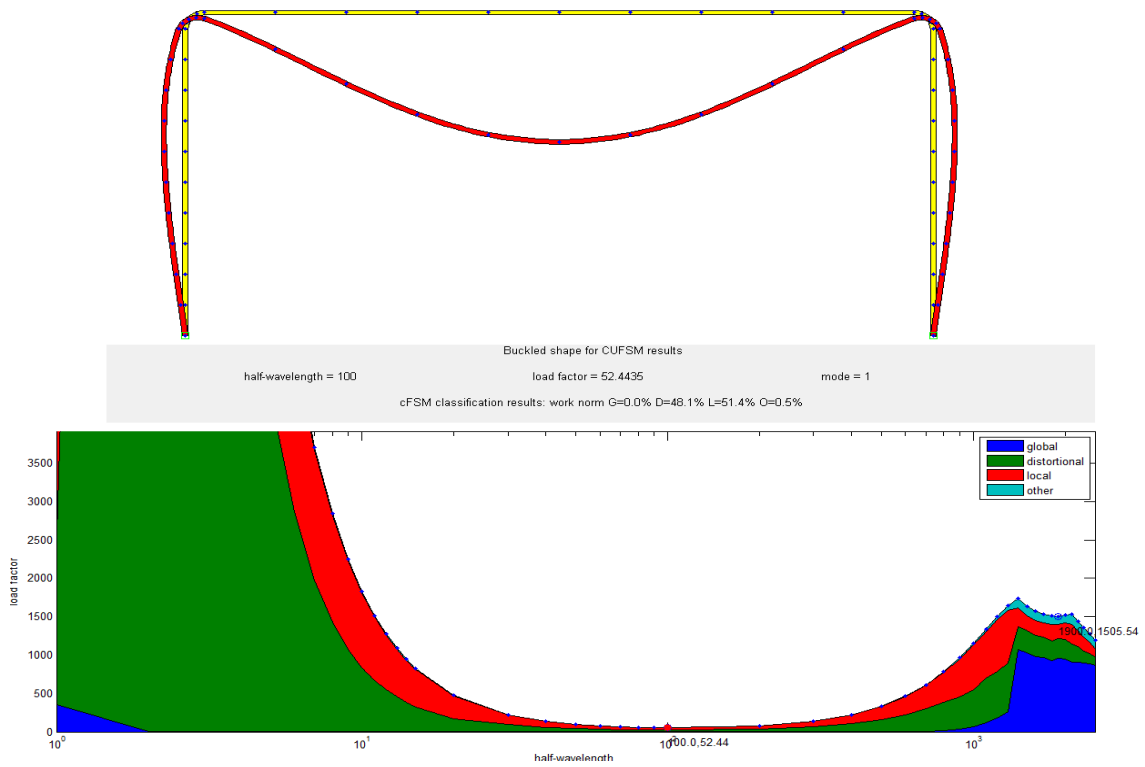


Abbildung A 9: Versagensform der Rippe Typ 1b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

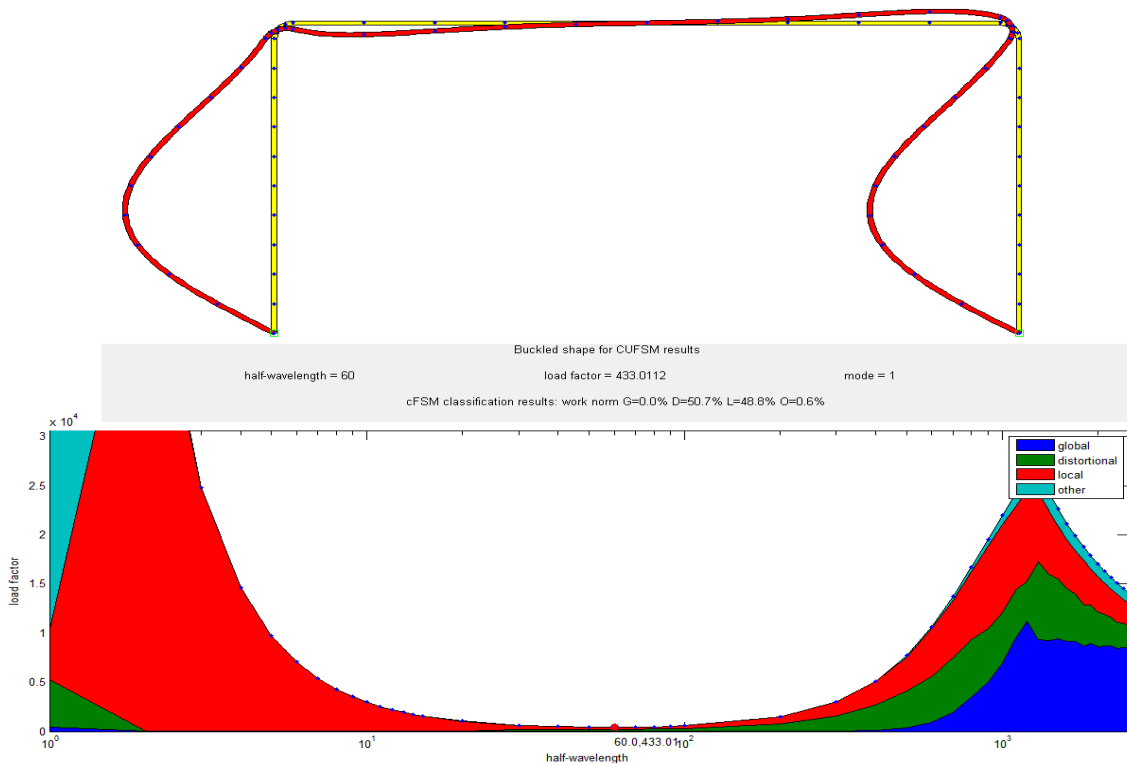


Abbildung A 10: Versagensform der Rippe Typ 1b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

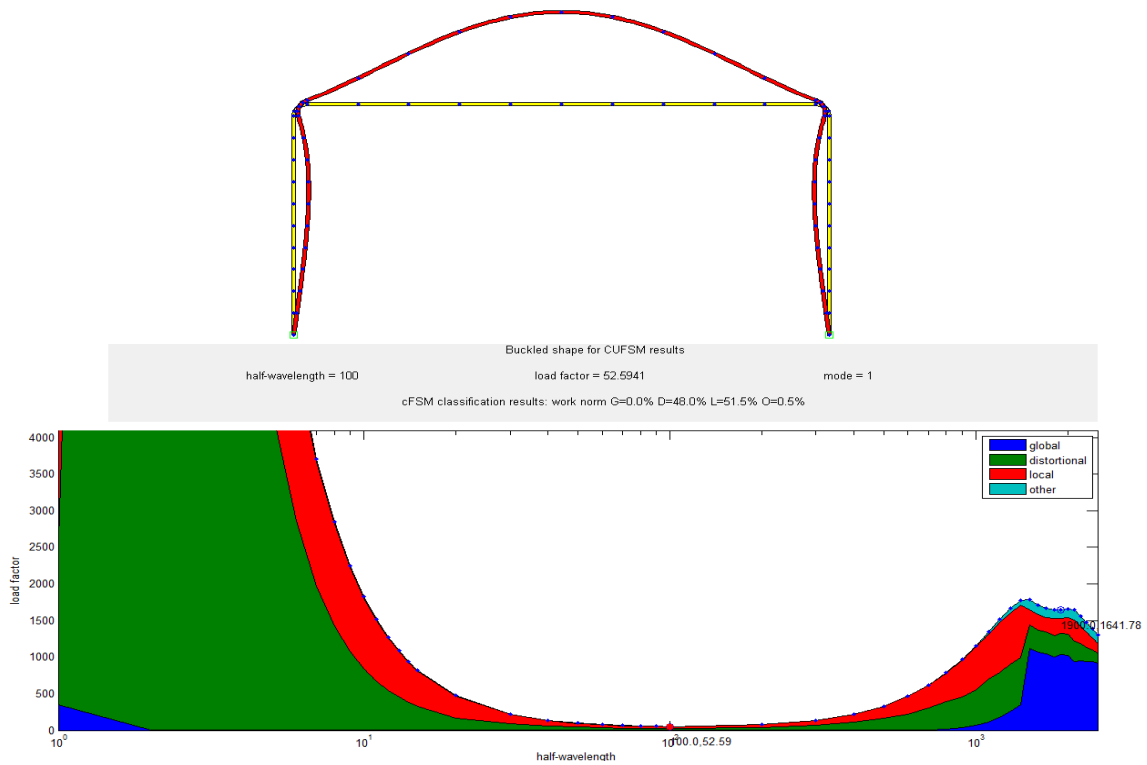


Abbildung A 11: Versagensform der Rippe Typ 1b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 2: Spannungswiderstände der Rippe Typ 1b

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	100,00	51,8604	2,15	0,33	79,64	91,11	69,44	-0,14	0,13
-1,00	0,00	0,00	60,00	328,7289	0,85	0,73	175,75	169,67	69,44	0,03	0,60
0,00	-1,00	$-\infty$	100,00	52,4435	2,14	0,33	80,05	93,32	69,44	-0,17	0,13
-1,00	0,30	-0,30	60,00	433,0112	0,74	0,81	194,74	187,32	183,41	0,04	0,06
0,30	-1,00	-3,33	100,00	52,5941	2,14	0,33	80,16	96,05	69,44	-0,20	0,13

A 1.1.3 Rippe Typ 1c

$$\frac{b}{t} = 140, \frac{b_{St}}{b} = \frac{1}{4'} \frac{h}{t} = 140$$

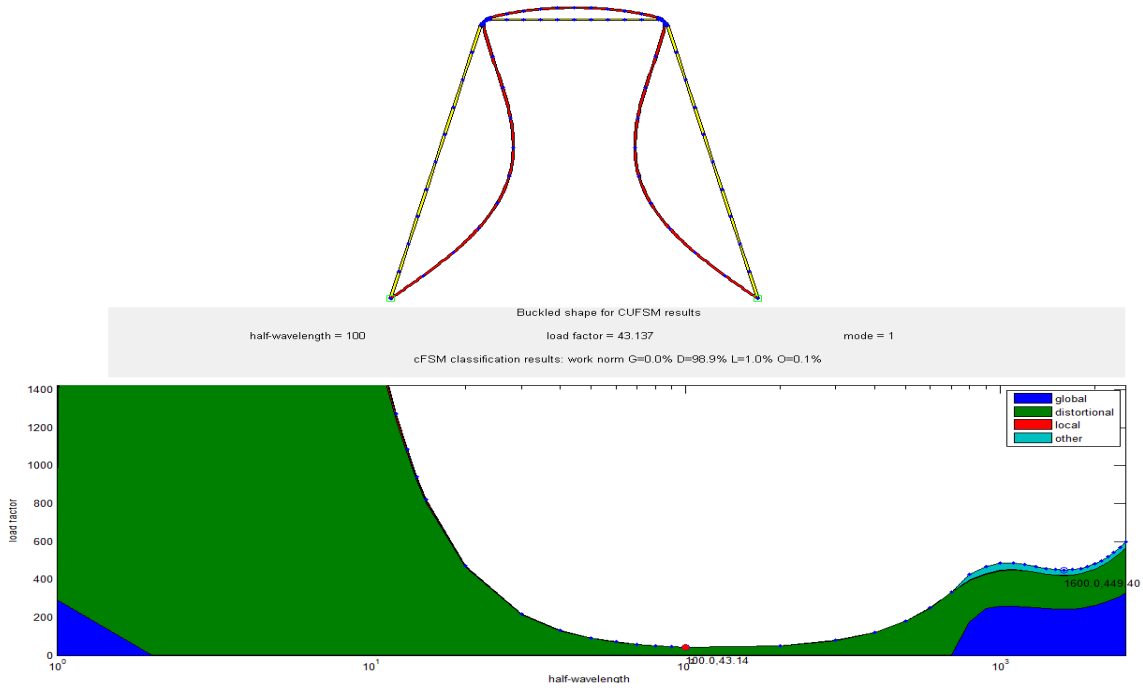


Abbildung A 12: Versagensform der Rippe Typ 1c bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

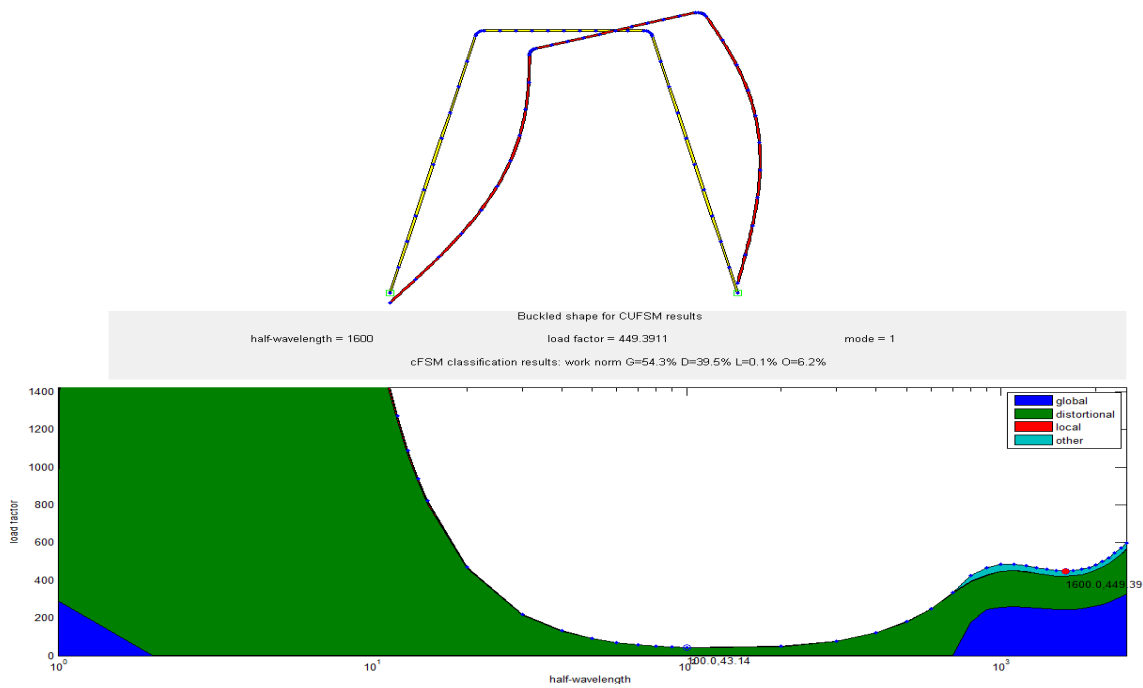


Abbildung A 13: Versagensform der Rippe Typ 1c bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$ (zweites Minimum)

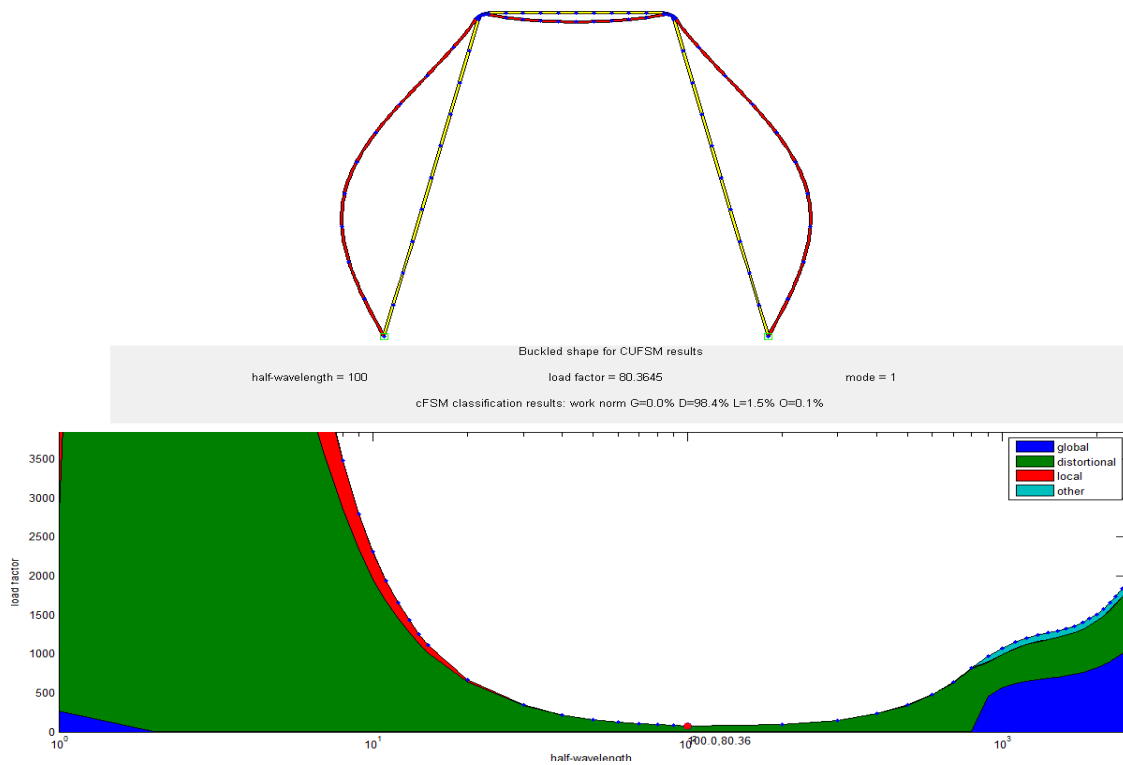


Abbildung A 14: Versagensform der Rippe Typ 1c bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

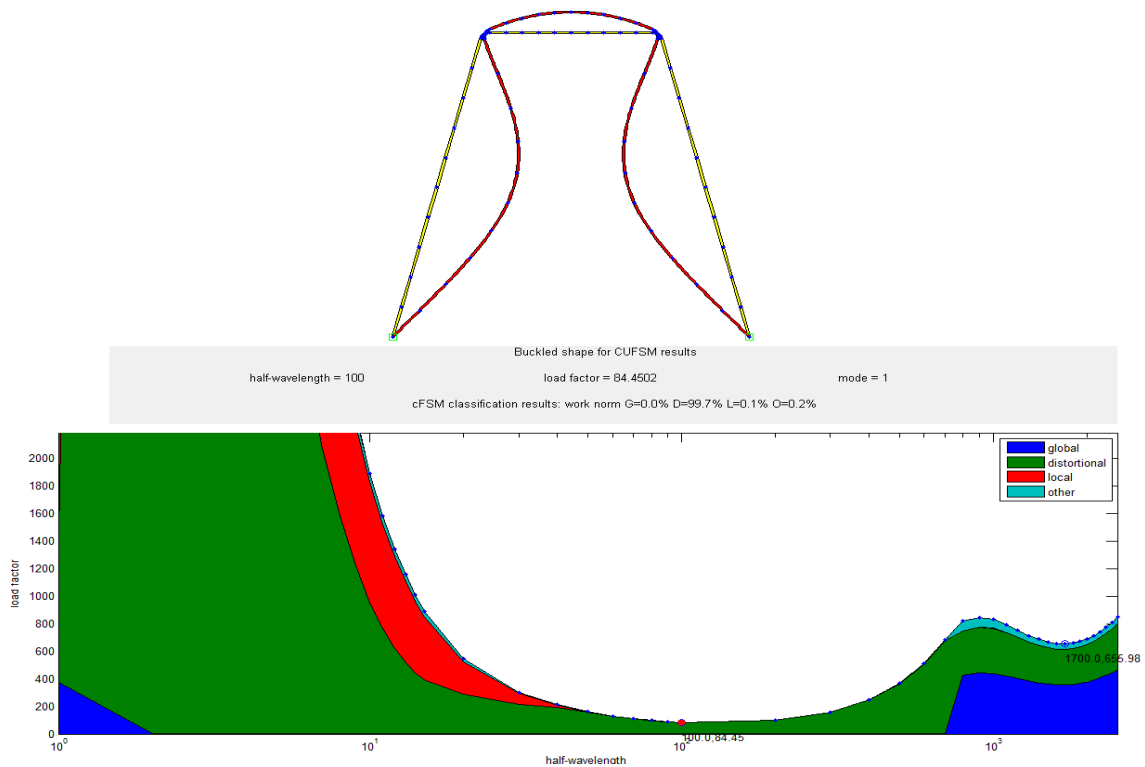


Abbildung A 15: Versagensform der Rippe Typ 1c bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

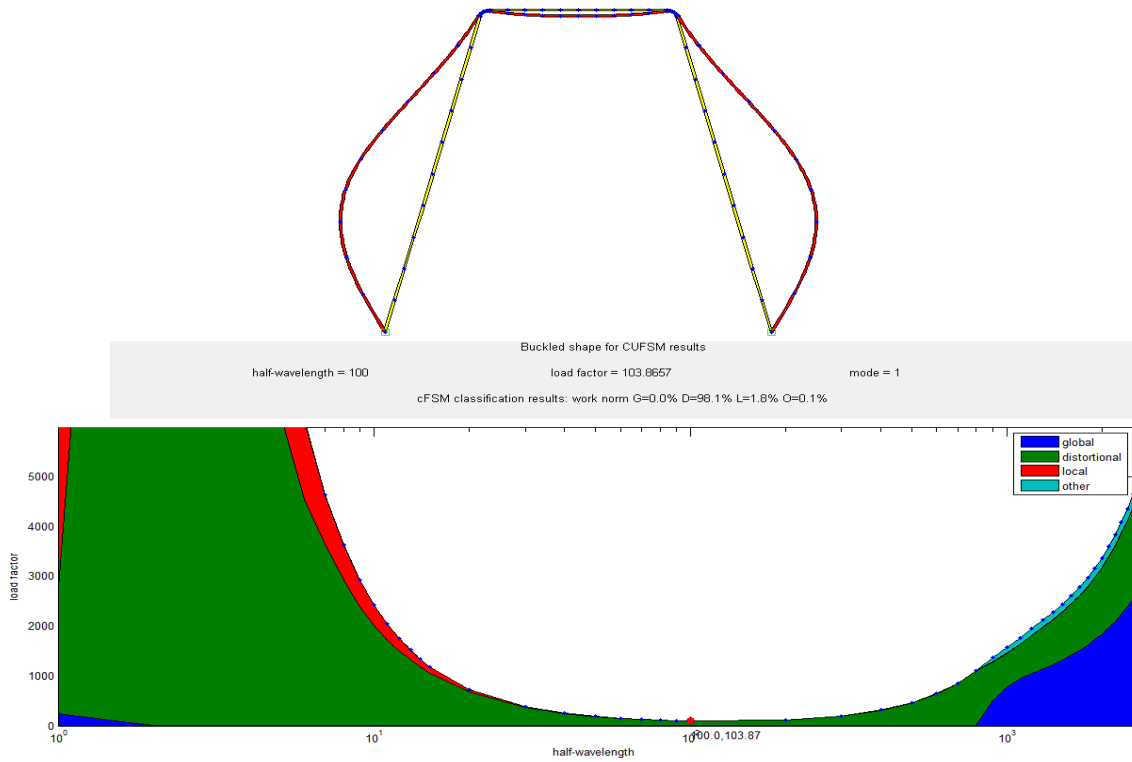


Abbildung A 16: Versagensform der Rippe Typ 1c bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

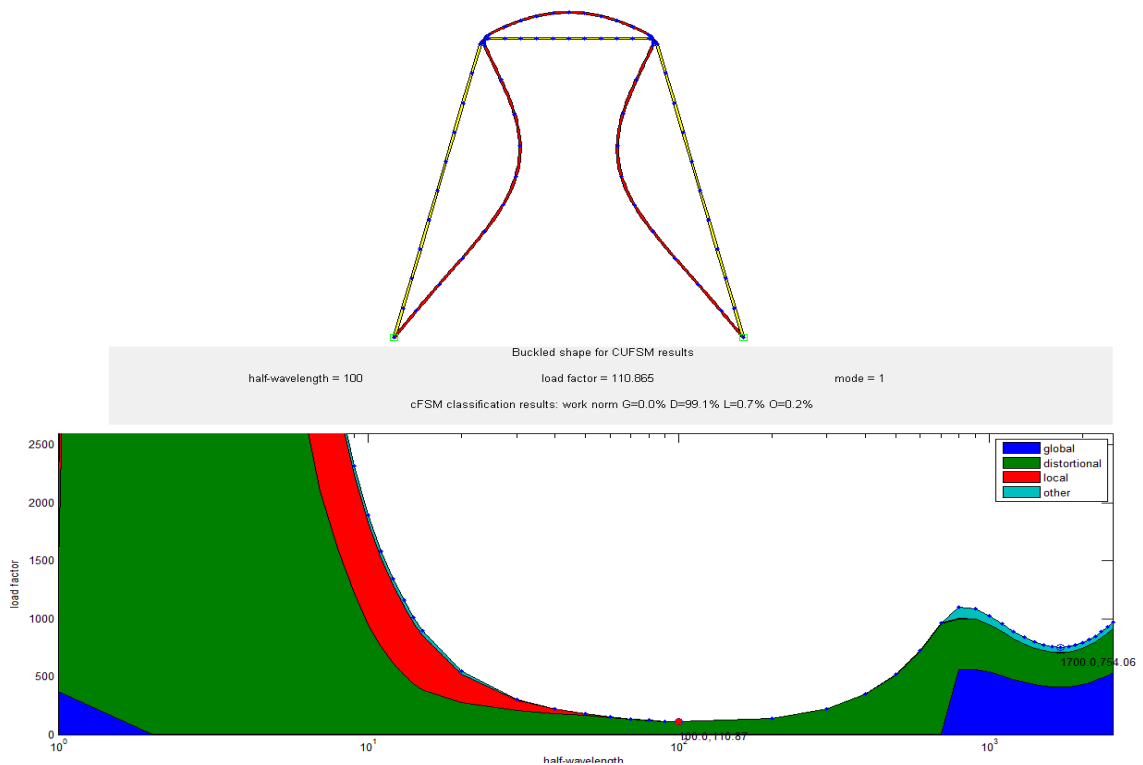


Abbildung A 17: Versagensform der Rippe Typ 1c bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 3: Spannungswiderstände der Rippe Typ 1c

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	100,00	43,137	2,36	0,30	73,16	65,14	72,25	0,11	0,01
-1,00	0,00	0,00	100,00	80,3645	1,73	0,40	97,17	95,61	85,90	0,02	0,12
0,00	-1,00	$-\infty$	100,00	84,4502	1,69	0,41	99,35	113,86	93,30	-0,15	0,06
-1,00	0,30	-0,30	100,00	103,8657	1,52	0,45	108,91	108,11	94,20	0,01	0,14
0,30	-1,00	-3,33	100,00	110,8650	1,47	0,47	112,07	121,95	90,33	-0,09	0,19

A 1.1.4 Rippe Typ 1d

$$\frac{b}{t} = 140, \frac{b_{St}}{b} = \frac{1}{4} \frac{h}{t} = 70$$

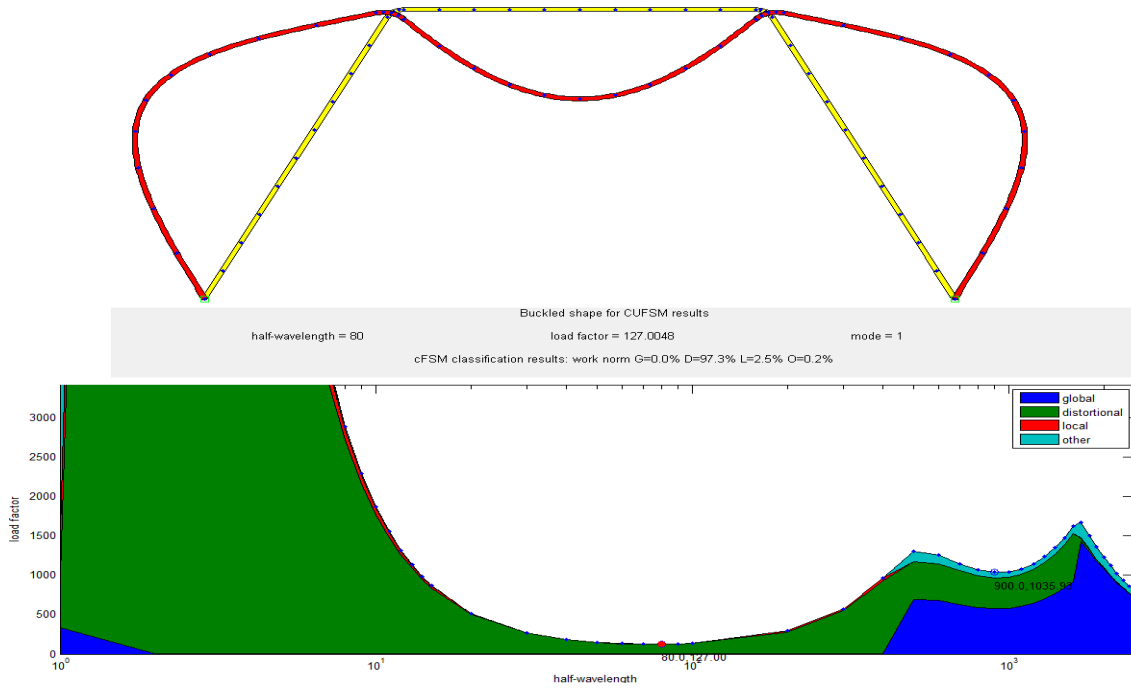


Abbildung A 18: **Versagensform der Rippe Typ 1d bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$**

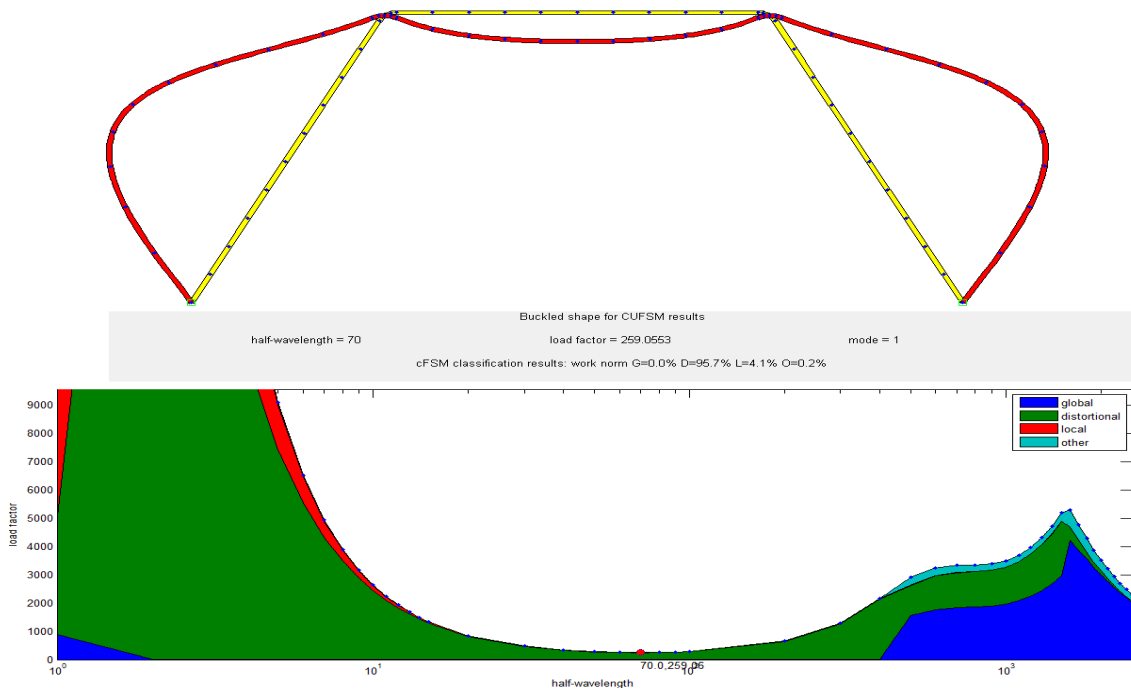


Abbildung A 19: **Versagensform der Rippe Typ 1d bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$**

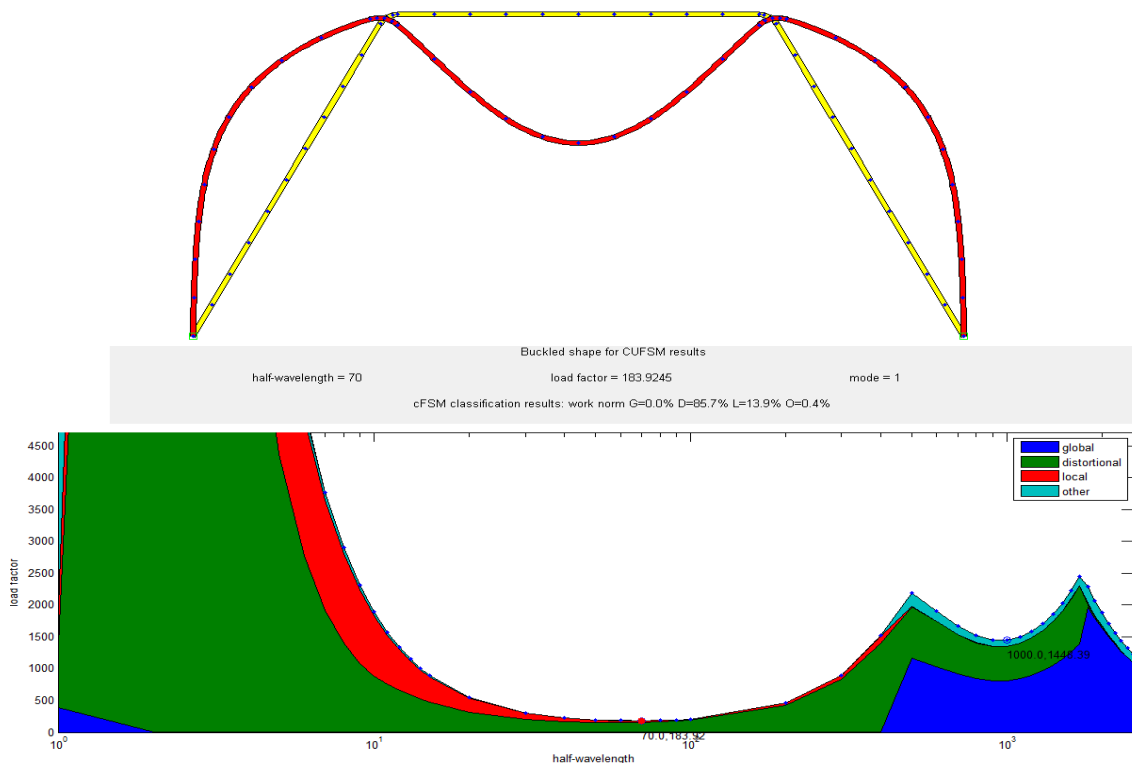


Abbildung A 20: Versagensform der Rippe Typ 1d bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

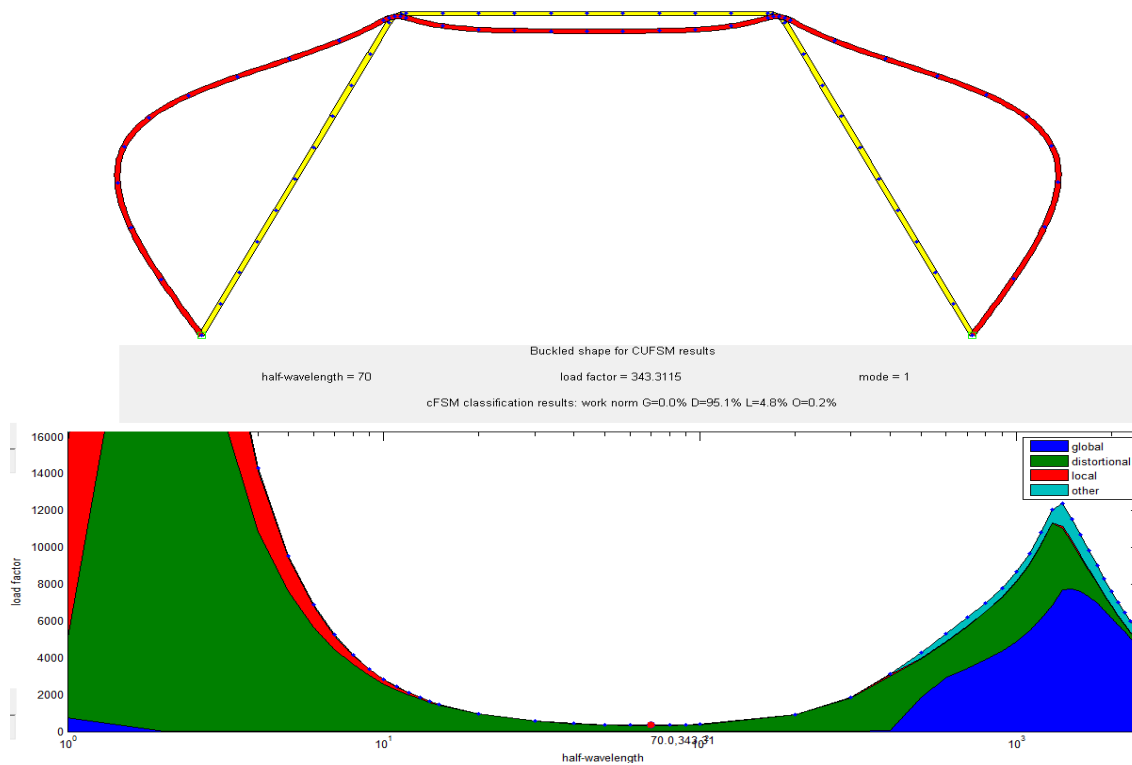


Abbildung A 21: Versagensform der Rippe Typ 1d bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

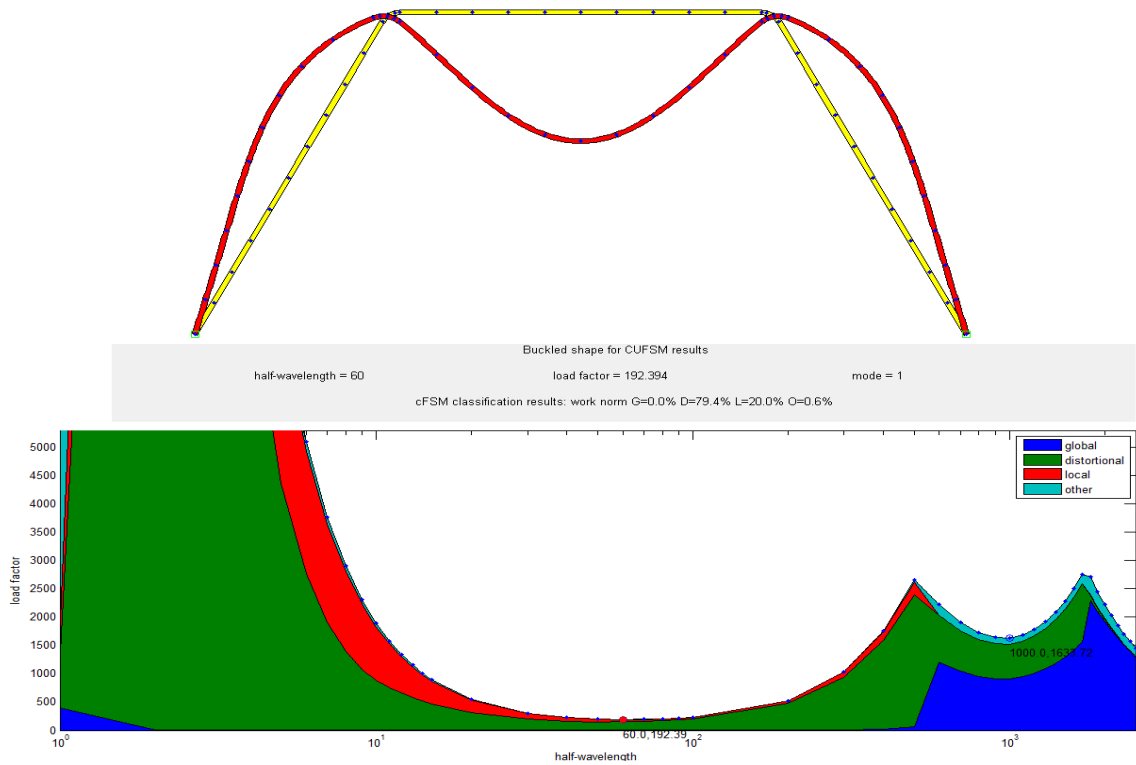


Abbildung A 22: Versagensform der Rippe Typ 1d bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 4: Spannungswiderstände der Rippe Typ 1d

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	80,00	127,0048	1,37	0,50	118,90	115,23	118,37	0,03	0,00
-1,00	0,00	0,00	70,00	259,0553	0,96	0,67	160,11	155,58	128,82	0,03	0,20
0,00	-1,00	$-\infty$	70,00	183,9245	1,14	0,58	139,20	142,98	128,82	-0,03	0,07
-1,00	0,30	-0,30	70,00	343,3115	0,84	0,74	178,68	172,03	166,05	0,04	0,07
0,30	-1,00	-3,33	60,00	192,3940	1,12	0,59	141,84	147,38	128,82	-0,04	0,09

A 1.2 Vergleichsrechnungen an der Rippe Typ 2

A 1.2.1 Rippe Typ 2a

$$\frac{b}{t} = 180, \frac{b_{St}}{b} = 0, \frac{h}{t} = 140$$

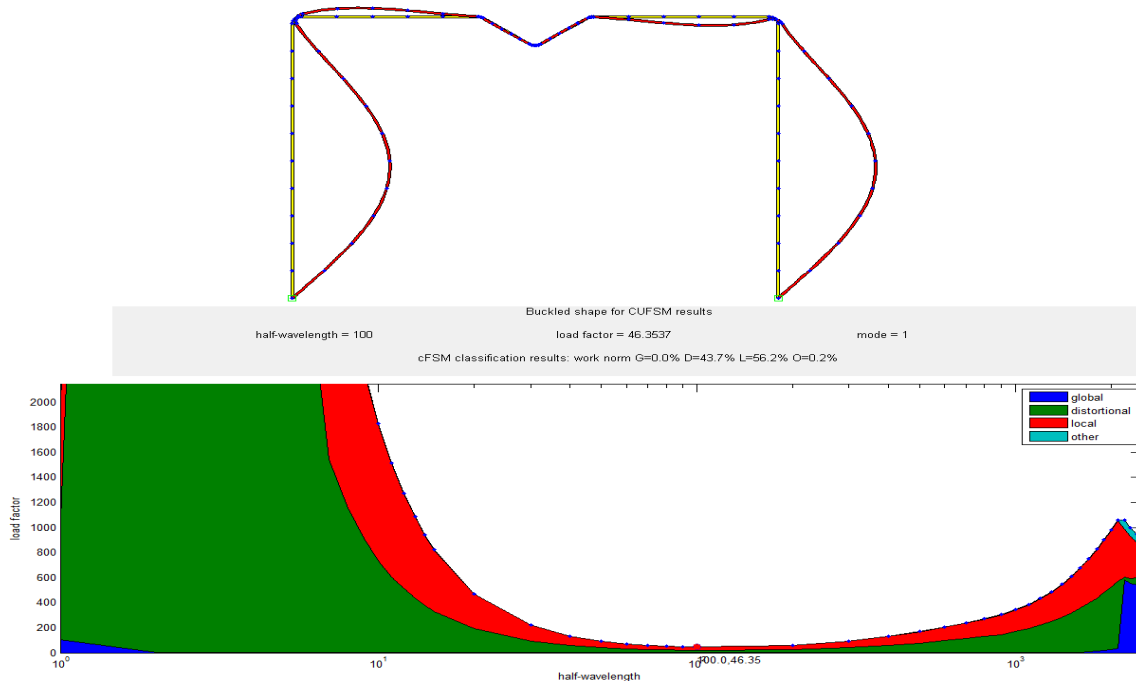


Abbildung A 23: Versagensform der Rippe Typ 2a bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

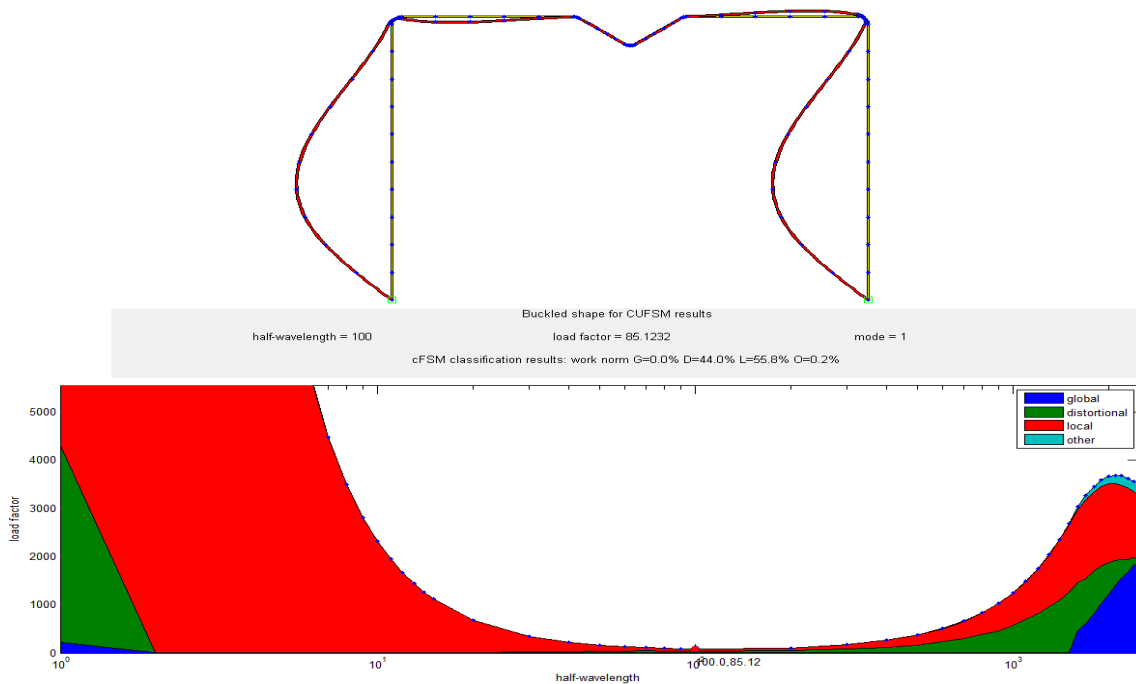


Abbildung A 24: Versagensform der Rippe Typ 2a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

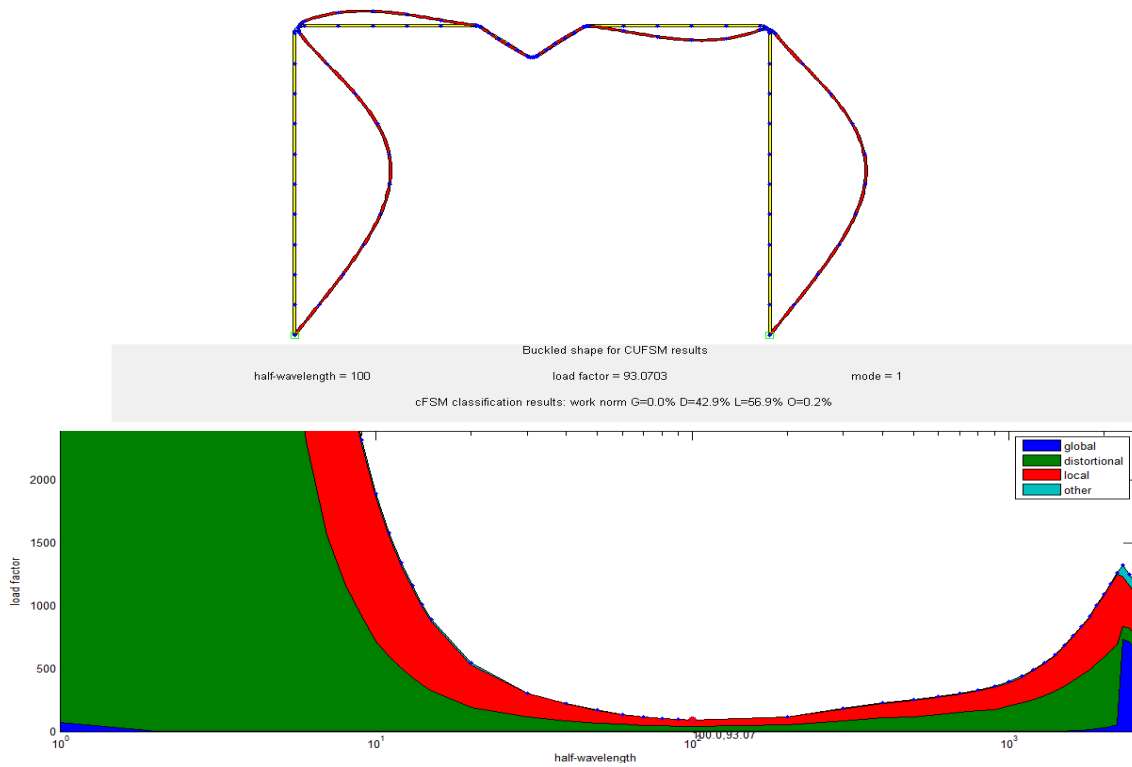


Abbildung A 25: Versagensform der Rippe Typ 2a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

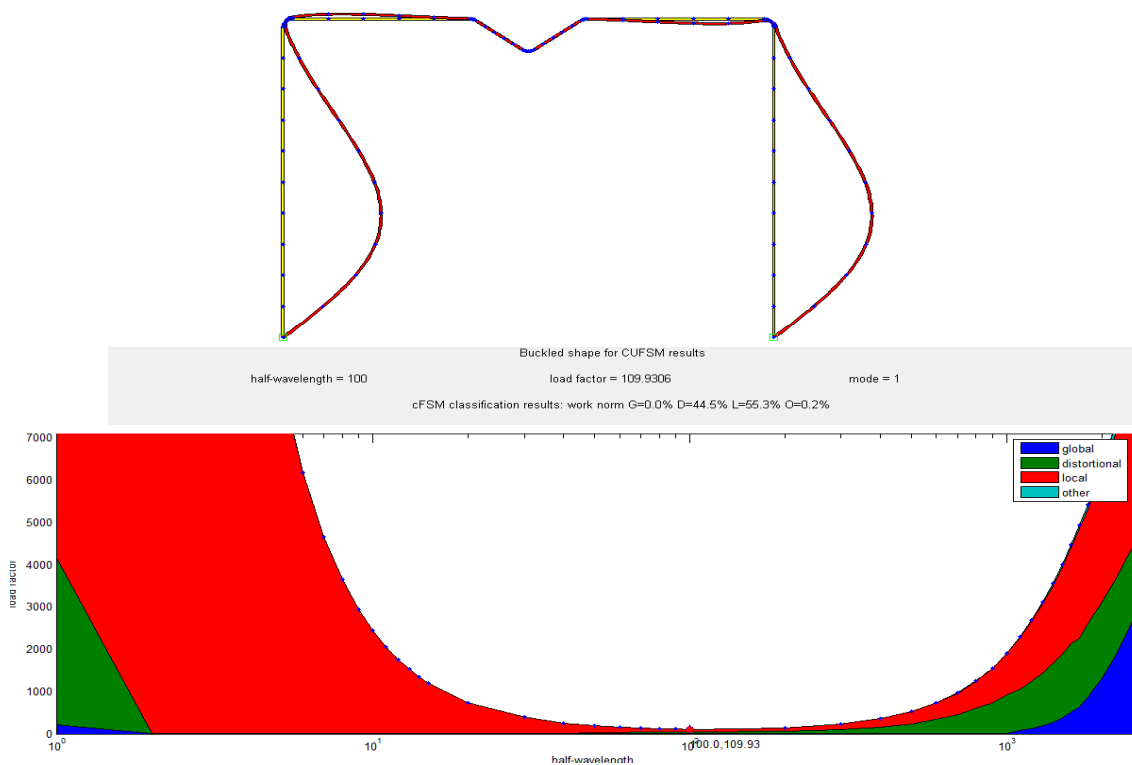


Abbildung A 26: Versagensform der Rippe Typ 2a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

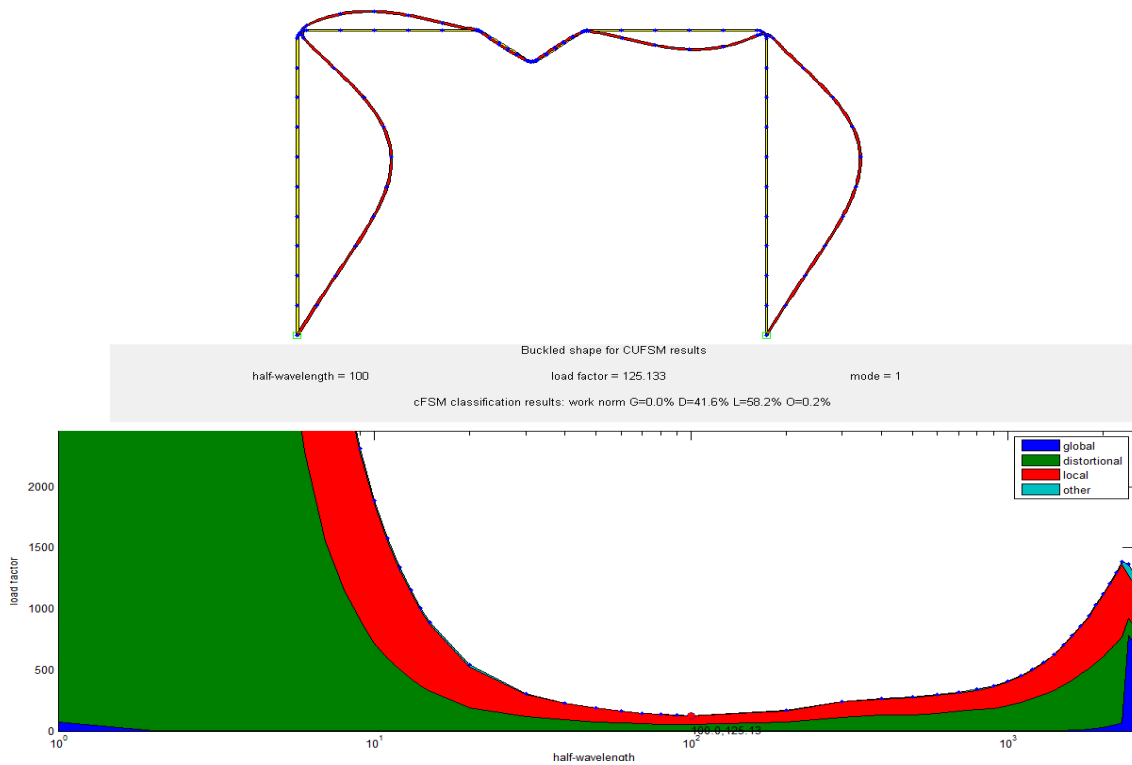


Abbildung A 27: Versagensform der Rippe Typ 2a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 5: Spannungswiderstände der Rippe Typ 2a

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	100,00	46,3537	2,28	0,32	75,63	77,29	75,58	-0,02	0,00
-1,00	0,00	0,00	100,00	85,1232	1,68	0,42	99,70	98,62	91,13	0,01	0,09
0,00	-1,00	$-\infty$	100,00	93,0703	1,61	0,43	103,75	141,01	96,76	-0,36	0,07
-1,00	0,30	-0,30	100,00	109,9306	1,48	0,47	111,65	110,43	98,11	0,01	0,12
0,30	-1,00	-3,33	100,00	125,1330	1,38	0,49	118,14	146,28	92,87	-0,24	0,21

A 1.2.2 Rippe Typ 2b

$$\frac{b}{t} = 180, \frac{b_{St}}{b} = 0, \frac{h}{t} = 70$$

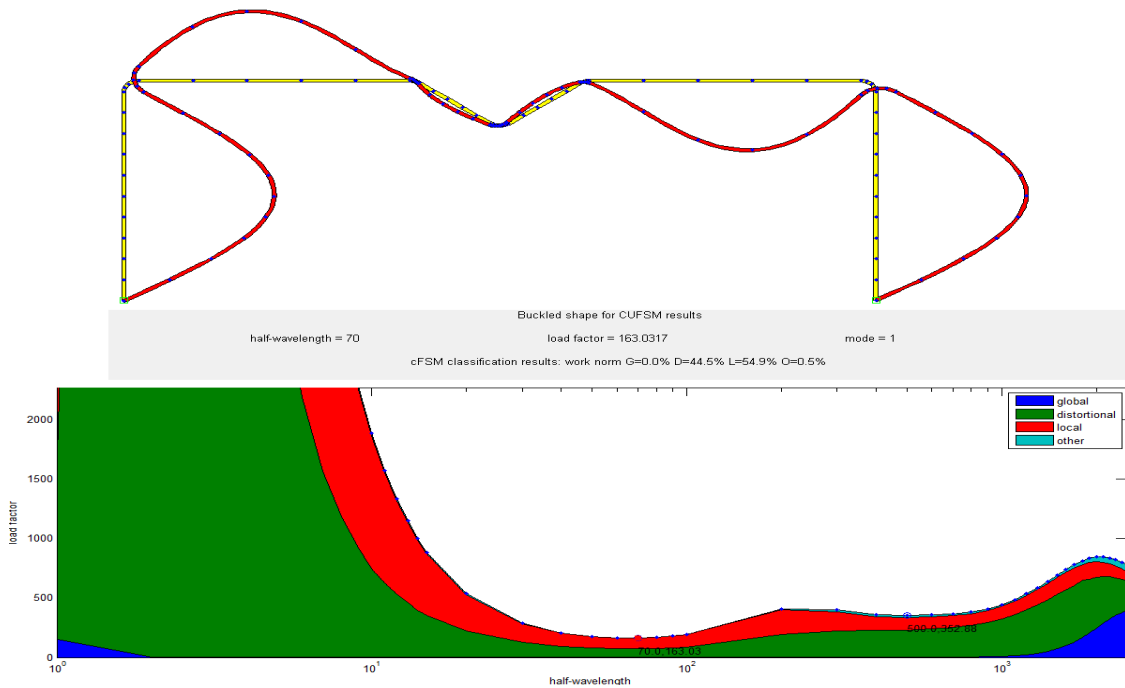


Abbildung A 28: **Versagensform der Rippe Typ 2b bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$**

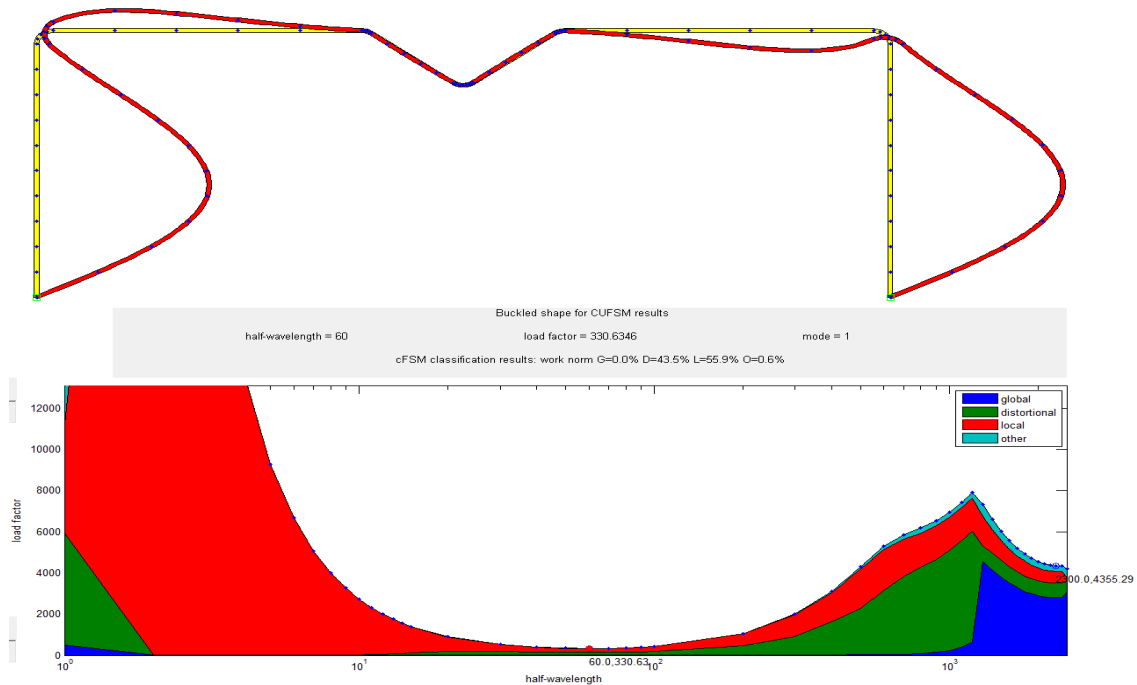


Abbildung A 29: **Versagensform der Rippe Typ 2b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$**

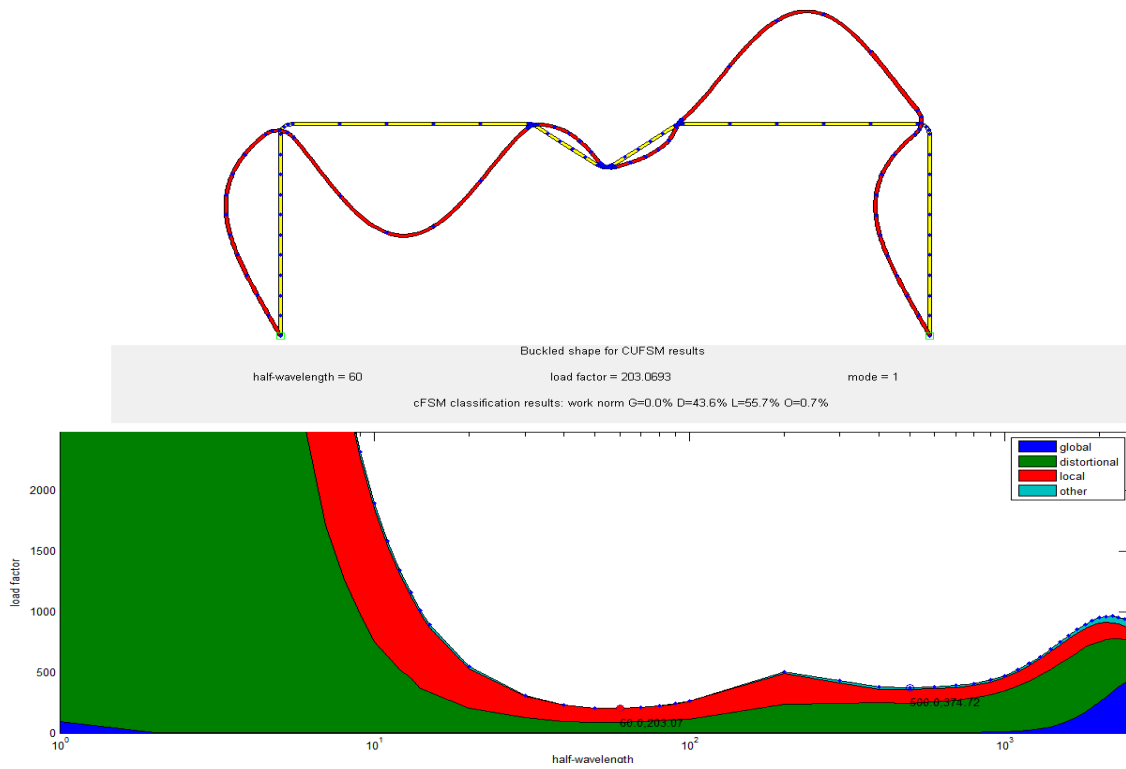


Abbildung A 30: Versagensform der Rippe Typ 2b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

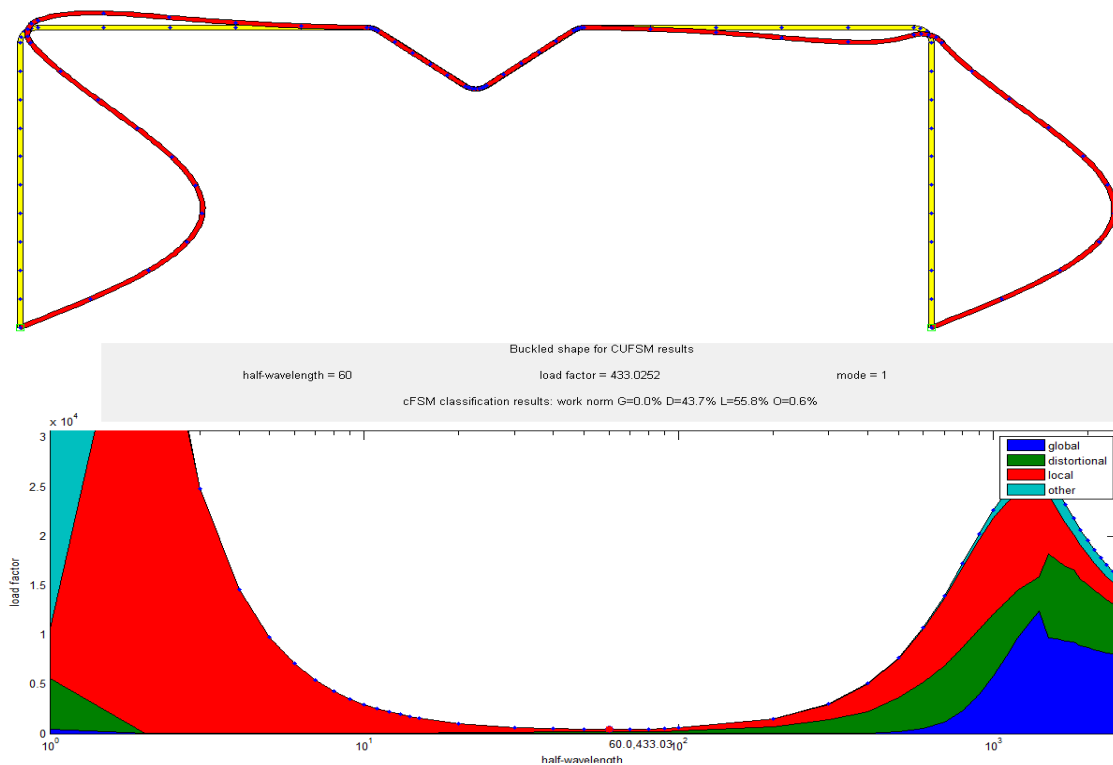


Abbildung A 31: Versagensform der Rippe Typ 2b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

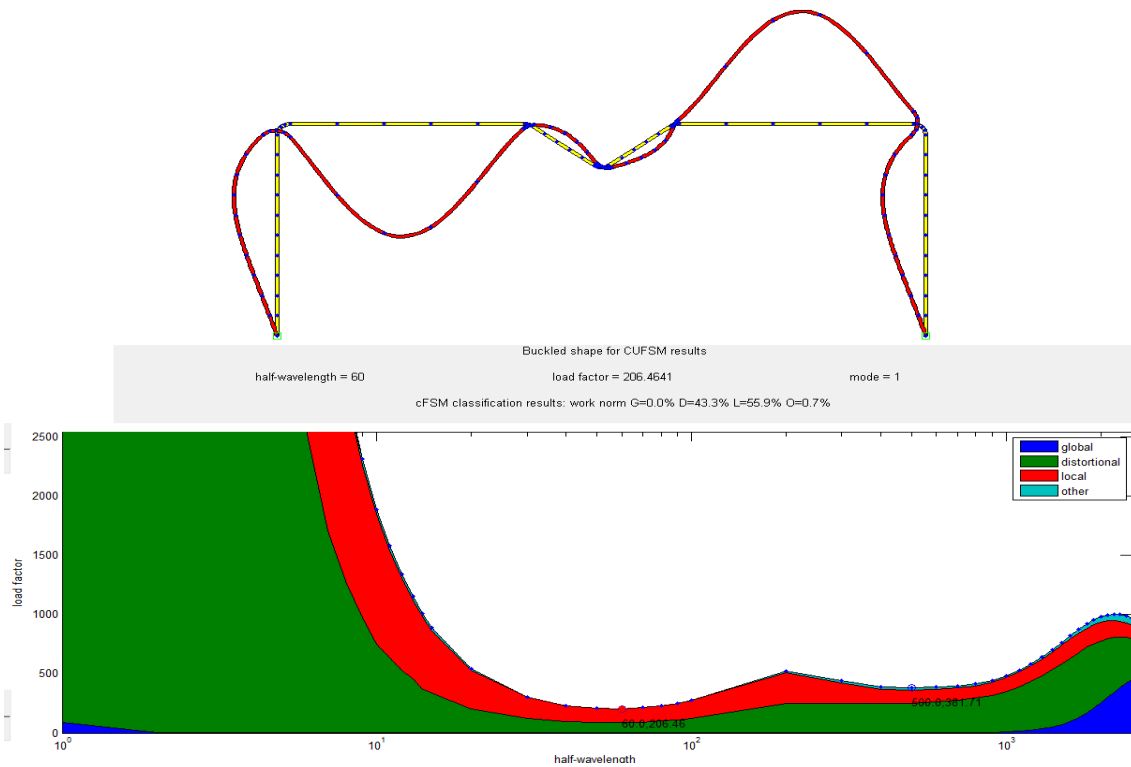


Abbildung A 32: Versagensform der Rippe Typ 2b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 6: Spannungswiderstände der Rippe Typ 2b

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	70,00	163,0317	1,21	0,55	132,33	136,80	129,61	-0,03	0,02
-1,00	0,00	0,00	60,00	330,6346	0,85	0,73	176,14	170,24	129,61	0,03	0,26
0,00	-1,00	$-\infty$	60,00	203,0693	1,09	0,60	145,05	159,13	129,61	-0,10	0,11
-1,00	0,30	-0,30	60,00	433,0252	0,74	0,81	194,75	188,01	183,81	0,03	0,06
0,30	-1,00	-3,33	60,00	206,4641	1,08	0,61	146,04	161,41	129,61	-0,11	0,11

A 1.2.3 Rippe Typ 2c

$$\frac{b}{t} = 180, \frac{b_{St}}{b} = \frac{1}{4} \frac{h}{t} = 140$$

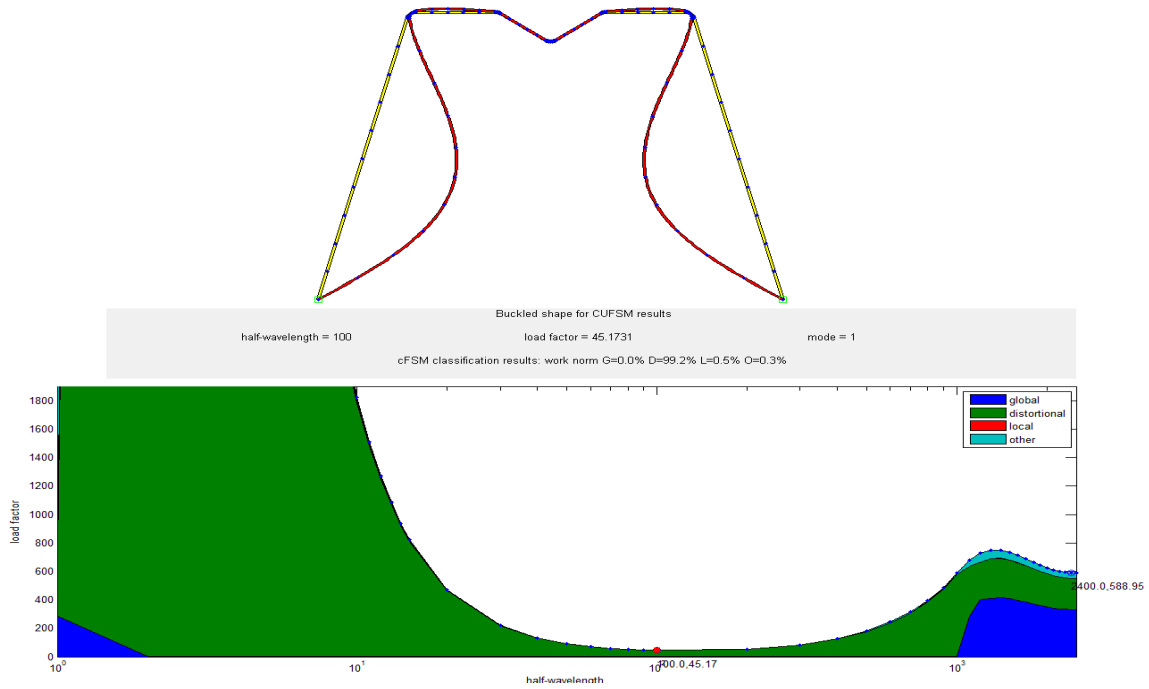


Abbildung A 33: Versagensform der Rippe Typ 2c bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

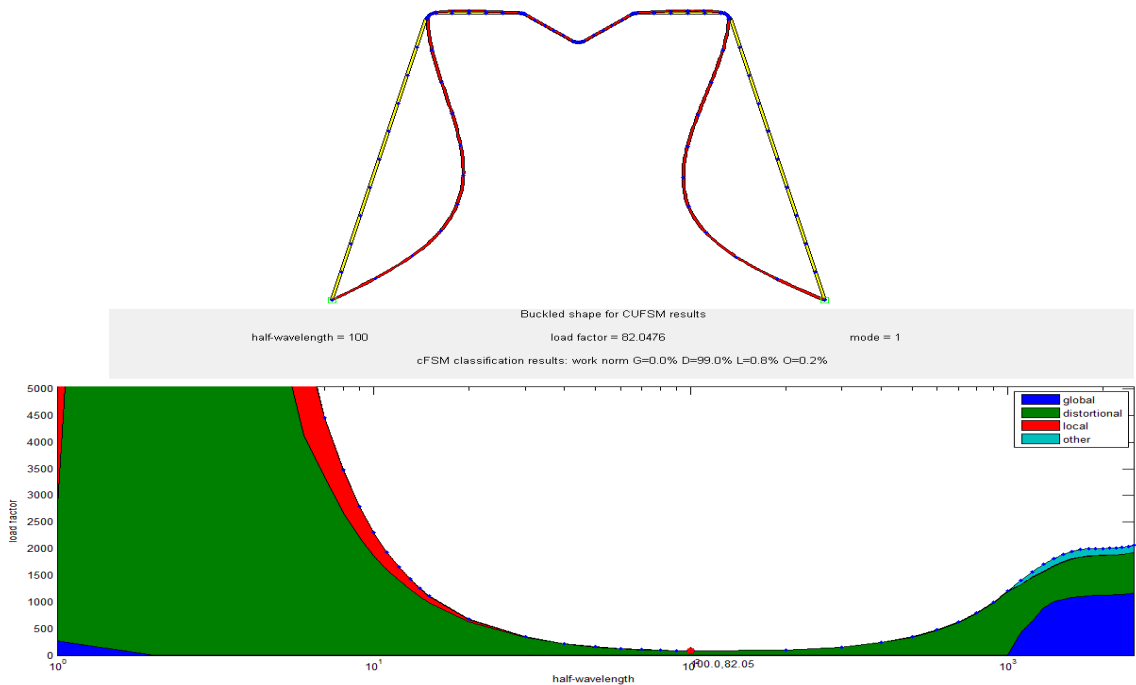


Abbildung A 34: Versagensform der Rippe Typ 2c bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

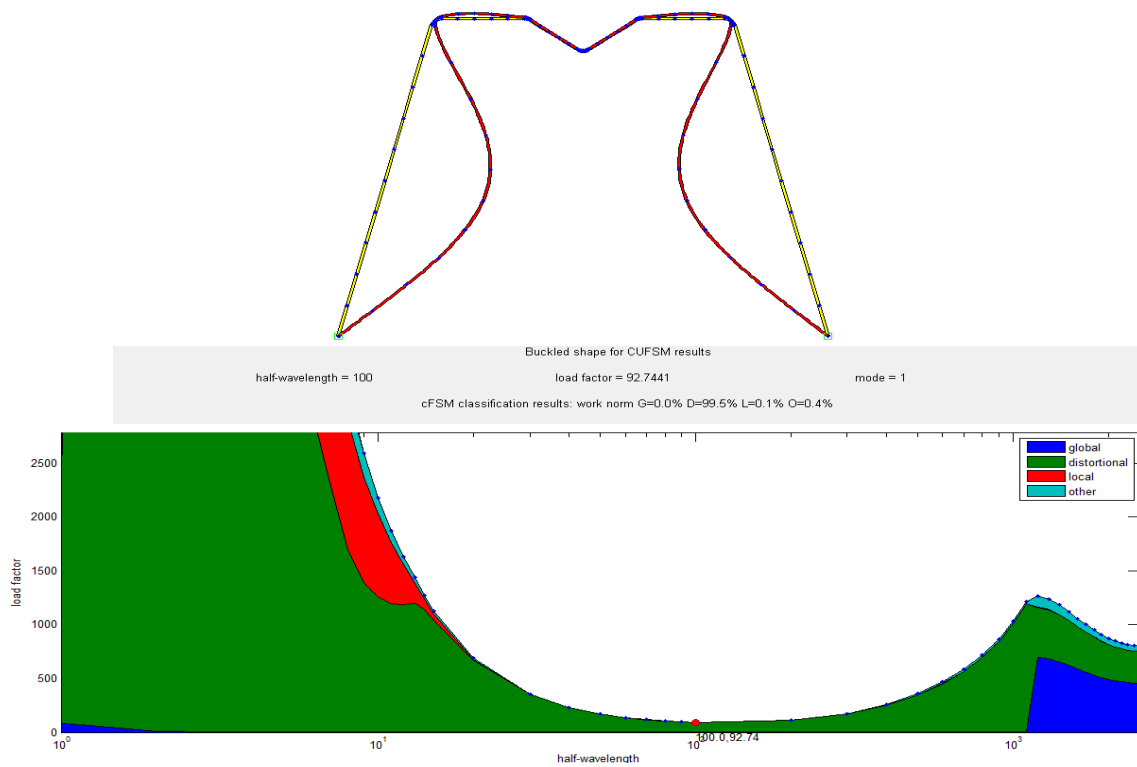


Abbildung A 35: Versagensform der Rippe Typ 2c bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

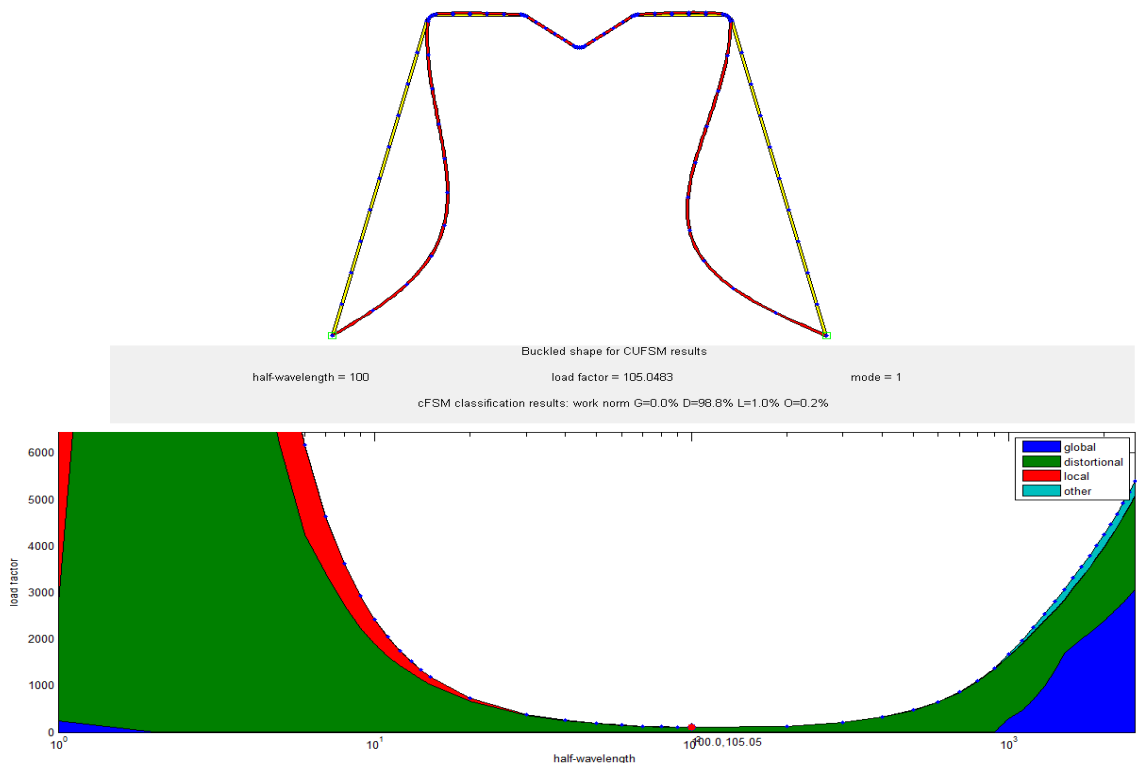


Abbildung A 36: Versagensform der Rippe Typ 2c bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

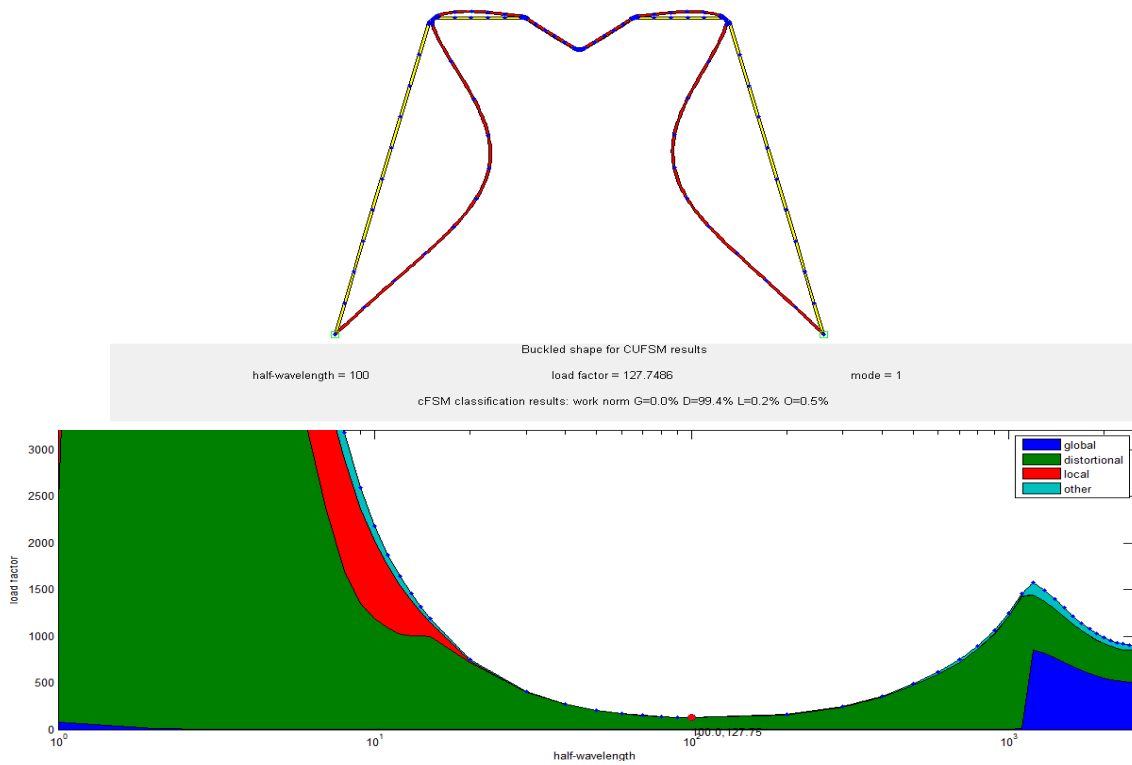


Abbildung A 37: Versagensform der Rippe Typ 2c bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 7: Spannungswiderstände der Rippe Typ 2c

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	100,00	45,1731	2,30	0,31	74,74	76,73	75,44	-0,03	0,01
-1,00	0,00	0,00	100,00	82,0476	1,71	0,41	98,08	96,14	88,26	0,02	0,10
0,00	-1,00	$-\infty$	100,00	92,7441	1,61	0,43	103,58	174,80	95,59	-0,69	0,08
-1,00	0,30	-0,30	100,00	105,0483	1,51	0,46	109,45	107,84	94,96	0,01	0,13
0,30	-1,00	-3,33	100,00	127,7486	1,37	0,50	119,21	182,81	86,74	-0,53	0,27

7.1.4 Rippe Typ 2d

$$\frac{b}{t} = 180, \frac{b_{St}}{b} = \frac{1}{4} \frac{h}{t} = 70$$

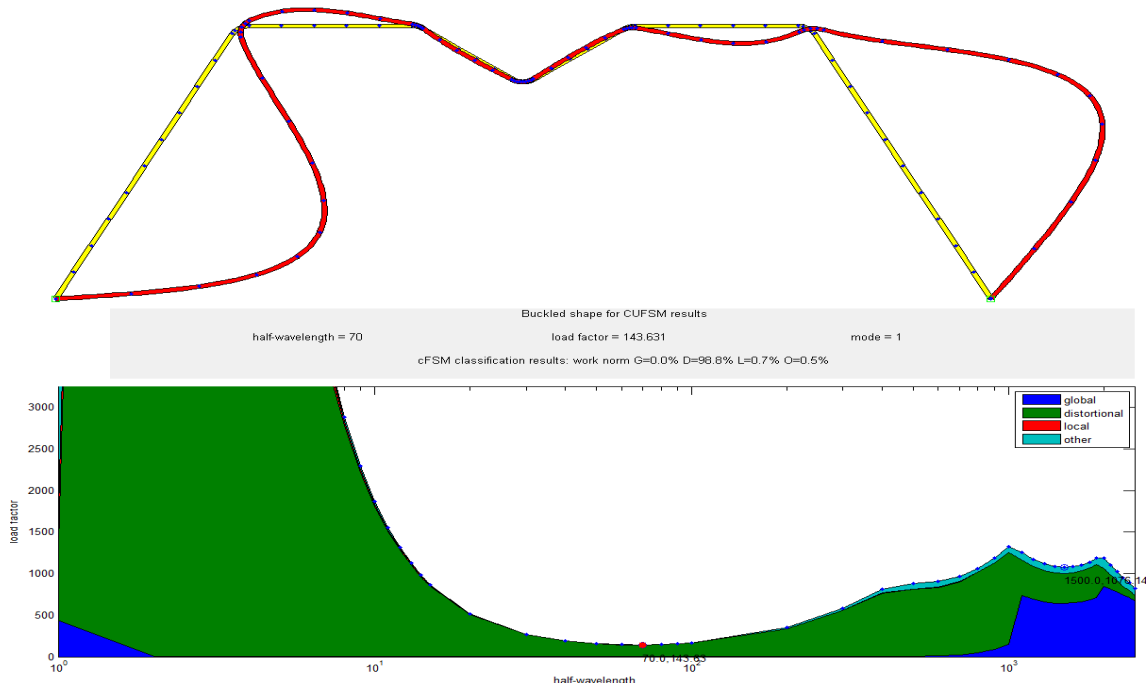


Abbildung A 38: Versagensform der Rippe Typ 2d bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

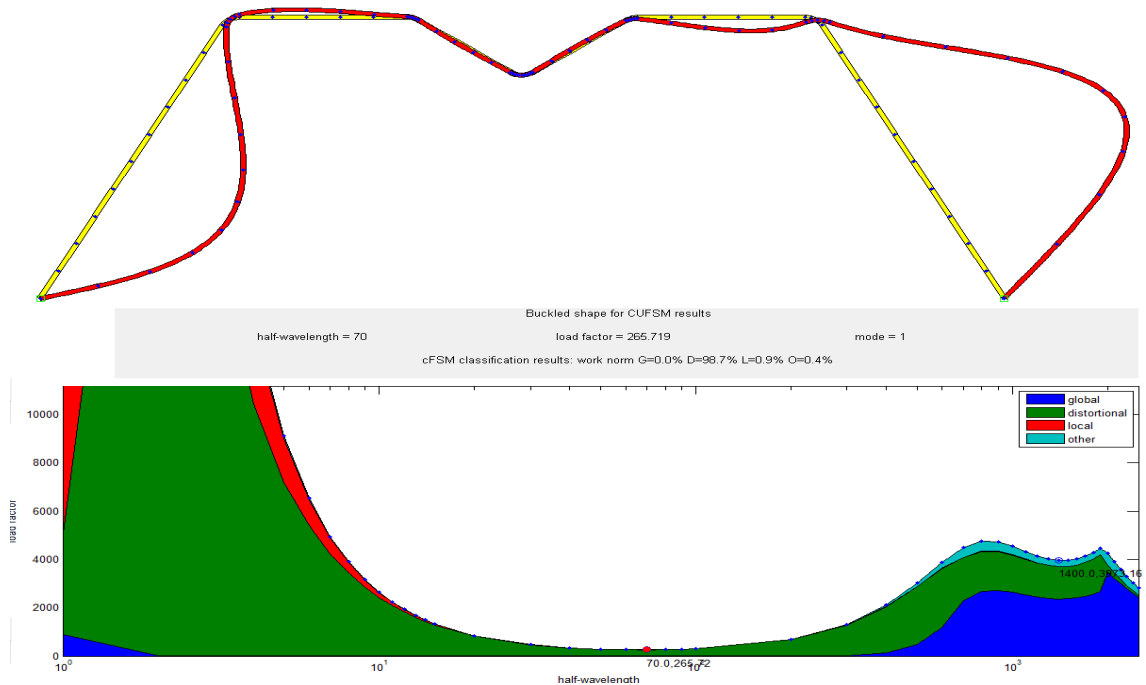


Abbildung A 39: Versagensform der Rippe Typ 2d bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

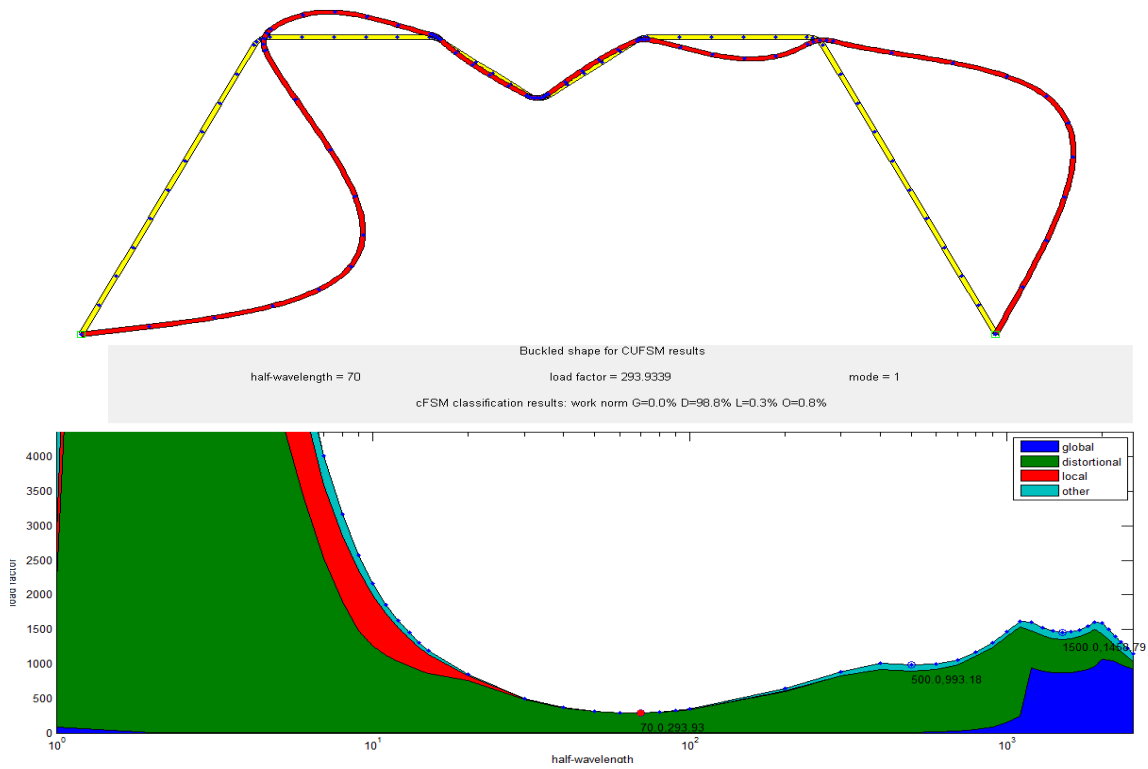


Abbildung A 40: Versagensform der Rippe Typ 2d bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

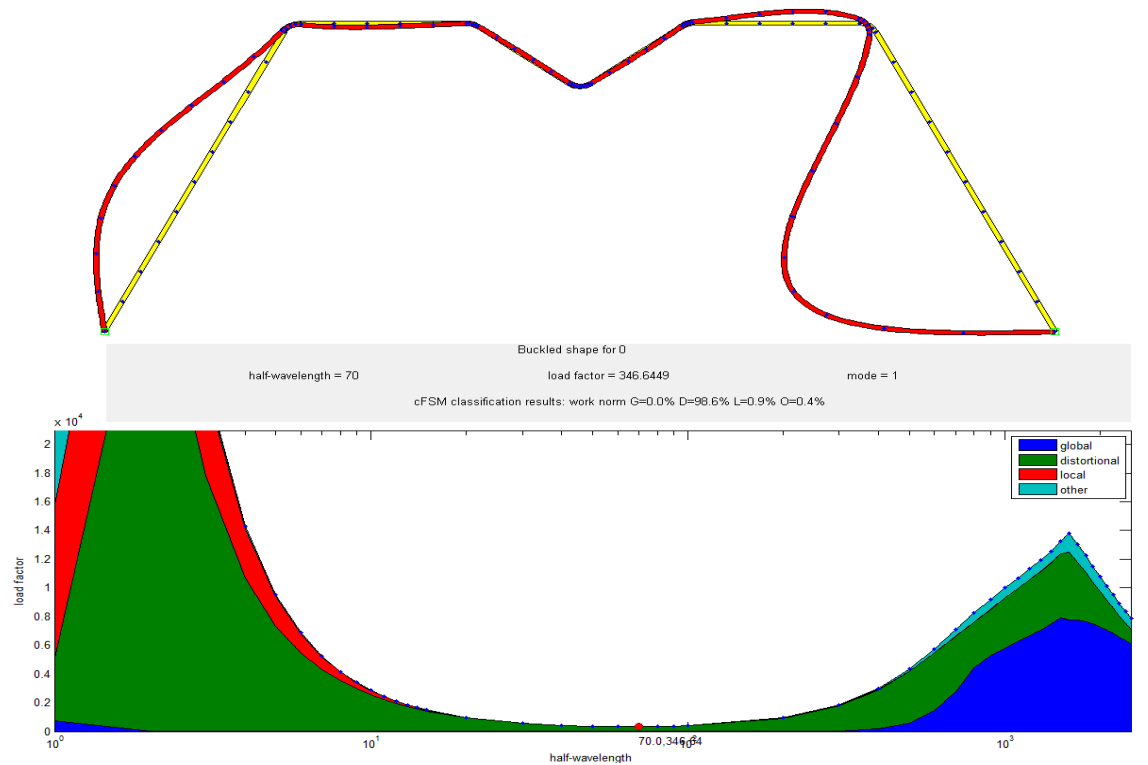


Abbildung A 41: Versagensform der Rippe Typ 2d bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

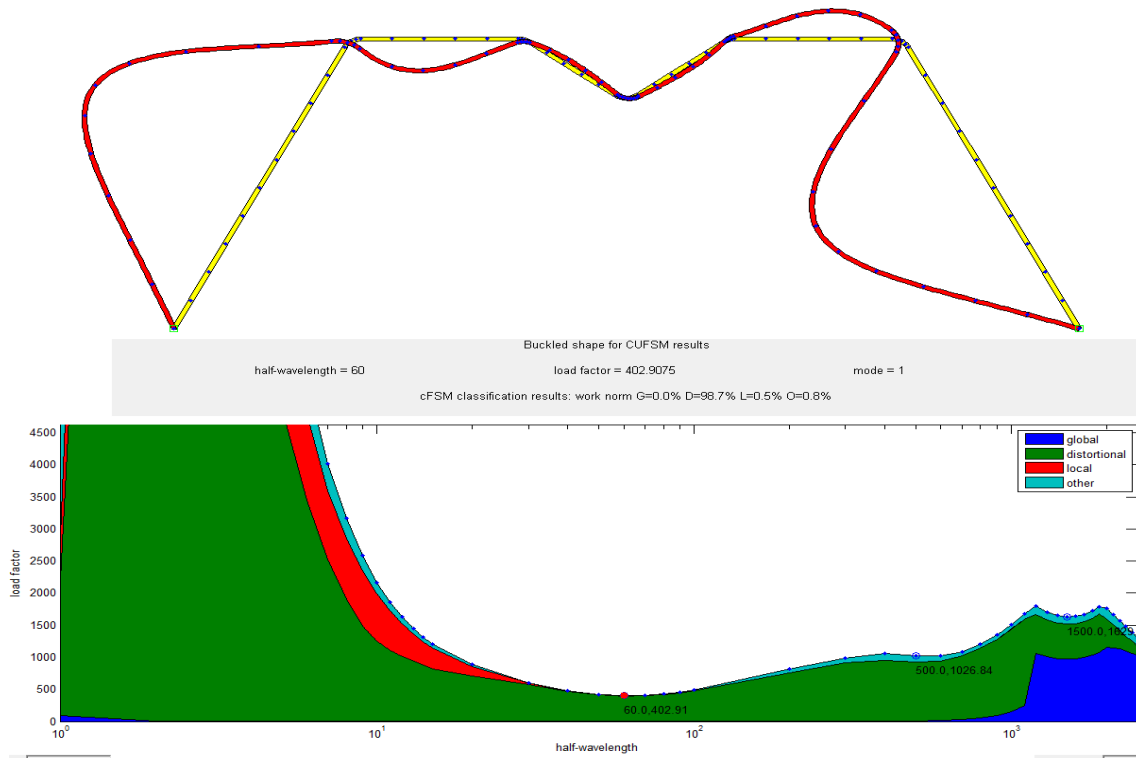


Abbildung A 42: Versagensform der Rippe Typ 2d bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 8: Spannungswiderstände der Rippe Typ 2d

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	70,00	143,3610	1,29	0,52	125,28	124,15	126,41	0,01	0,01
-1,00	0,00	0,00	70,00	265,7190	0,95	0,67	161,74	156,40	152,35	0,03	0,06
0,00	-1,00	∞	70,00	293,9339	0,90	0,70	168,30	211,80	154,17	-0,26	0,08
-1,00	0,30	-0,30	70,00	346,6449	0,83	0,75	179,34	172,66	166,81	0,04	0,07
0,30	-1,00	-3,33	60,00	402,9075	0,77	0,79	189,70	215,31	164,80	-0,14	0,13

A 1.3 Vergleichsrechnung an der Rippe Typ 3

A 1.3.1 Rippe Typ 3a

$$\frac{b}{t} = 140, \frac{b_{St}}{b} = \frac{1}{4'} \frac{h}{t} = 140, \frac{h_{St,1}}{h} = \frac{1}{4}$$

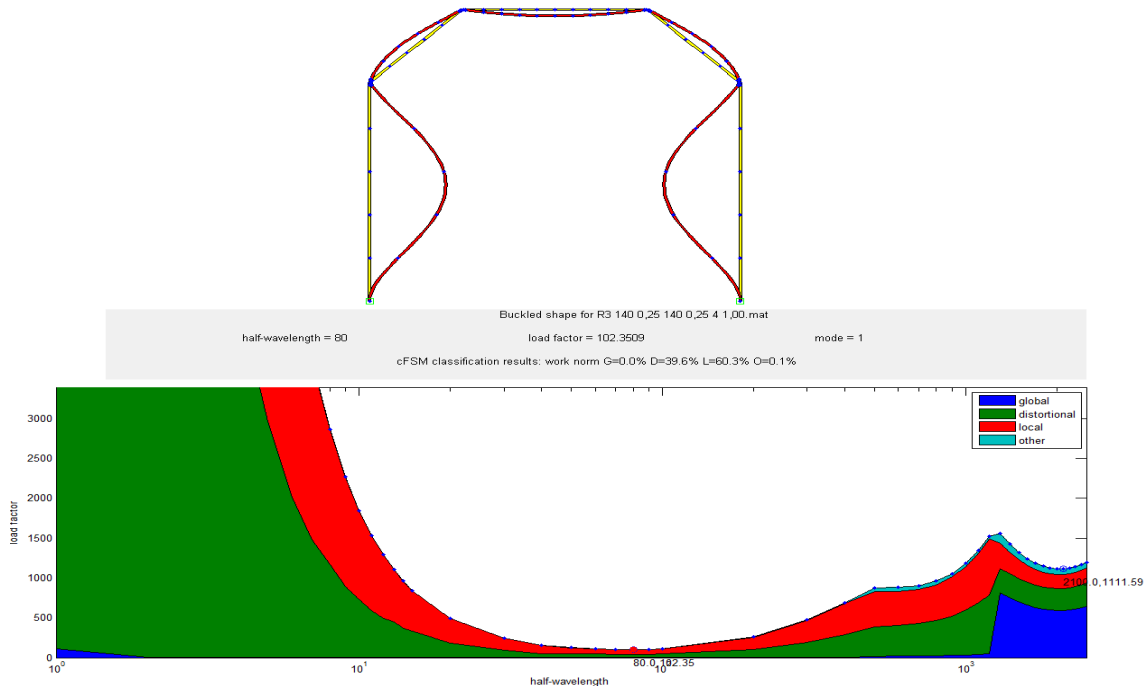


Abbildung A 43: Versagensform der Rippe Typ 3a bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

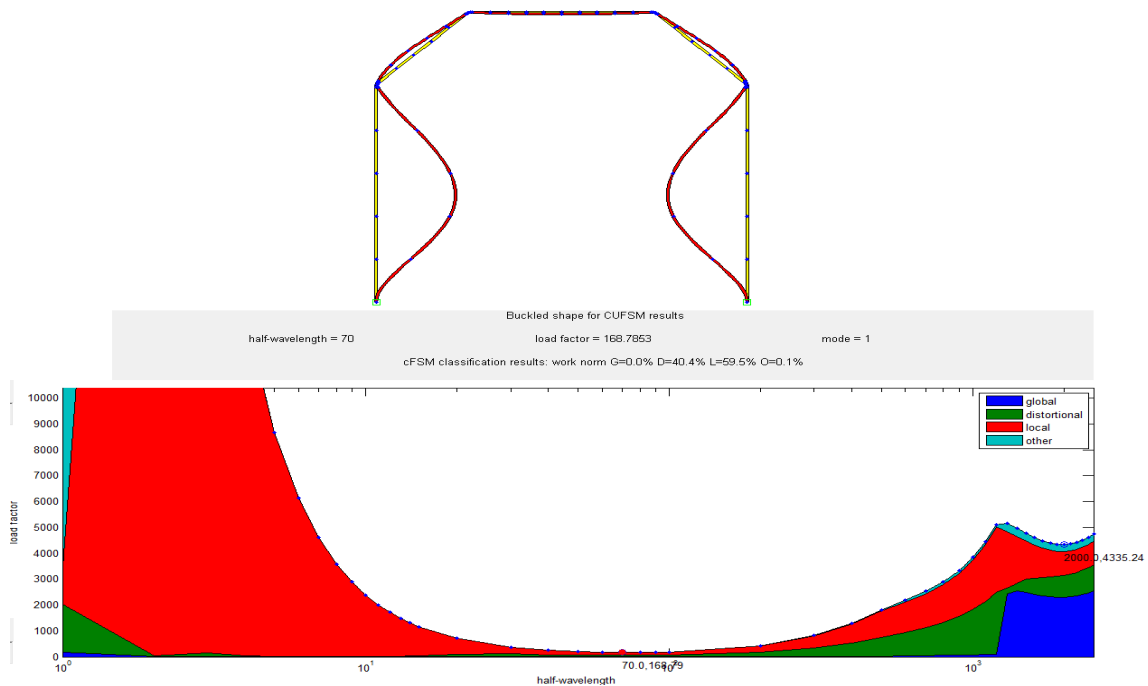


Abbildung A 44: Versagensform der Rippe Typ 3a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

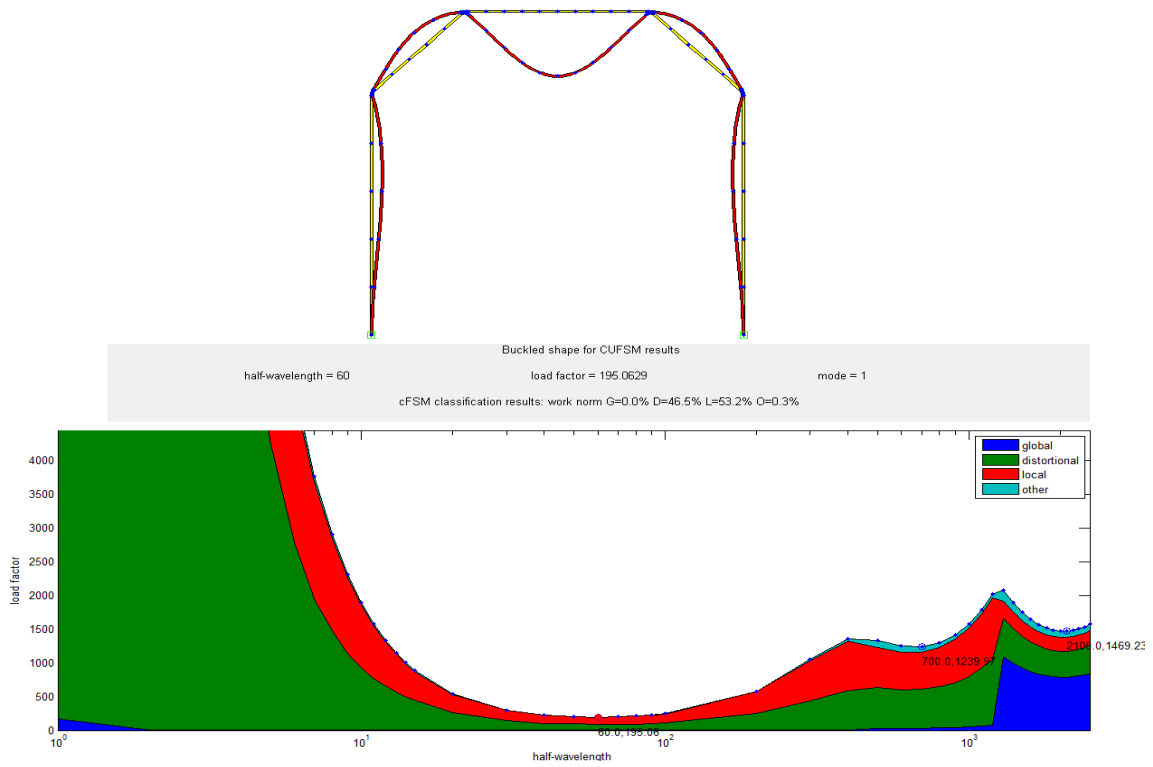


Abbildung A 45: Versagensform der Rippe Typ 3a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

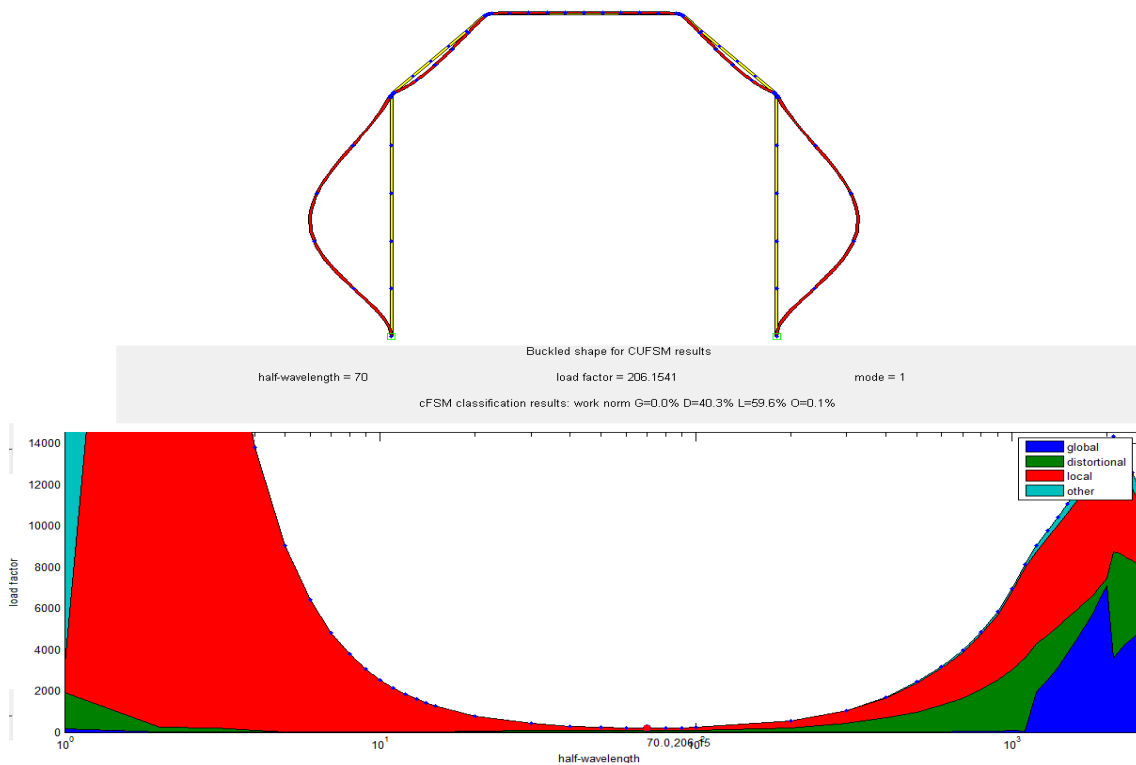


Abbildung A 46: Versagensform der Rippe Typ 3a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

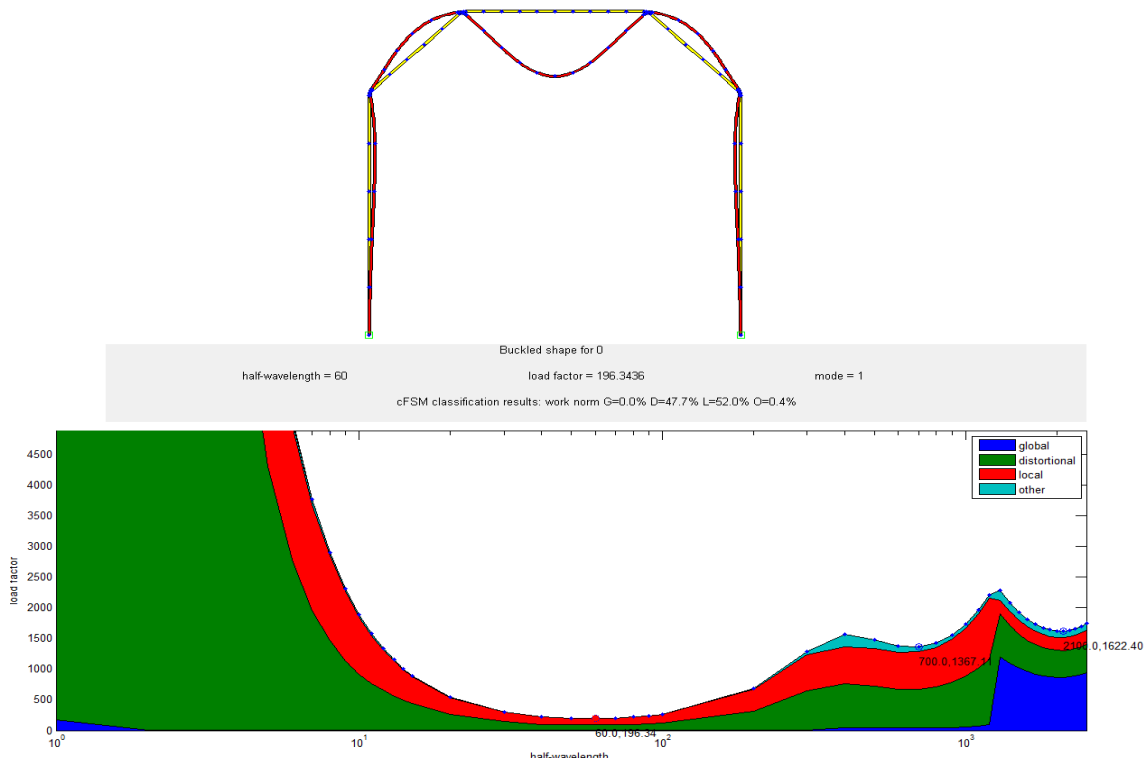


Abbildung A 47: Versagensform der Rippe Typ 3a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 9: Spannungswiderstände der Rippe Typ 3a

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	0,00	102,3509	1,53	0,45	108,20	92,34	94,67	0,15	0,13
-1,00	0,00	0,00	0,00	168,7853	1,19	0,56	134,28	110,37	109,22	0,18	0,19
0,00	-1,00	∞	0,00	195,0629	1,11	0,59	142,65	151,84	108,78	-0,06	0,24
-1,00	0,30	-0,30	0,00	206,1541	1,08	0,61	145,95	122,59	114,01	0,16	0,22
0,30	-1,00	-3,33	0,00	196,3436	1,11	0,60	143,04	155,58	127,83	-0,09	0,11

A 1.3.2 Rippe Typ 3b

$$\frac{b}{t} = 140, \frac{b_{St}}{b} = \frac{1}{4} \frac{h}{t} = 70, \frac{h_{St,1}}{h} = \frac{1}{2}$$

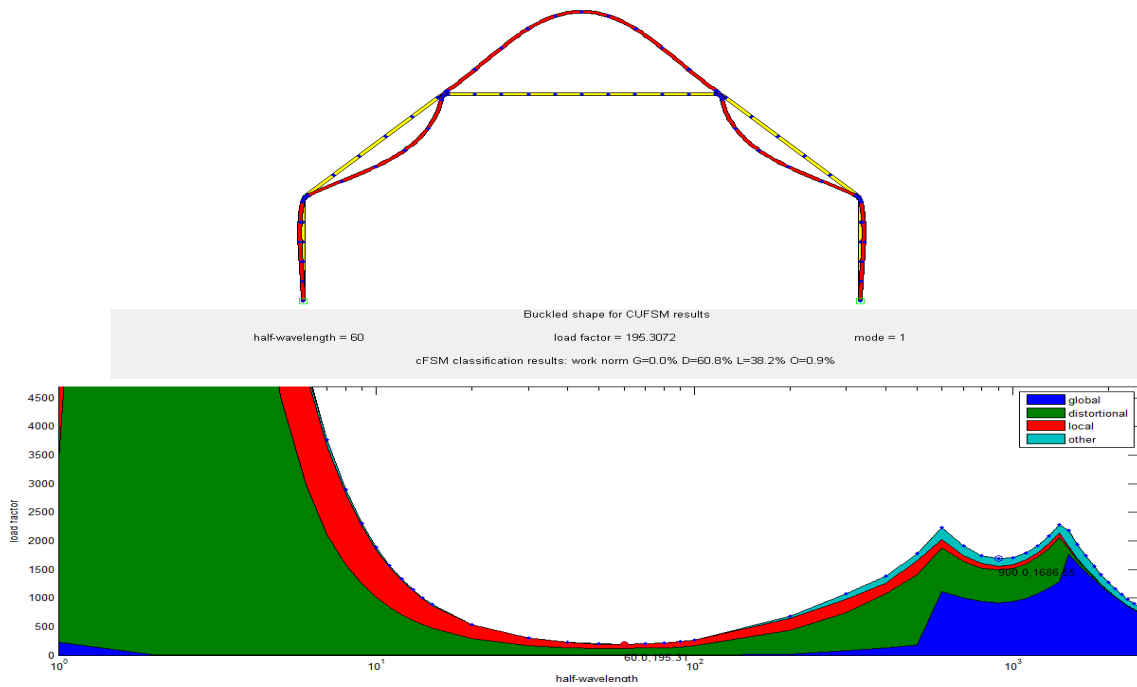


Abbildung A 48: Versagensform der Rippe Typ 3b bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

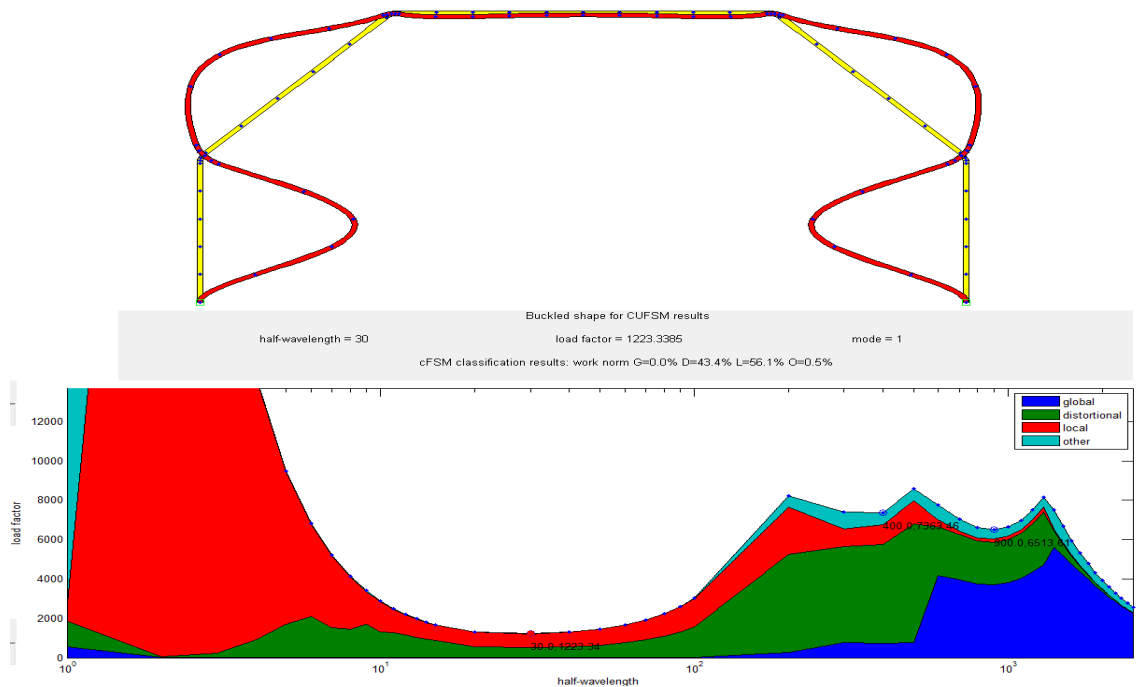


Abbildung A 49: Versagensform der Rippe Typ 3b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

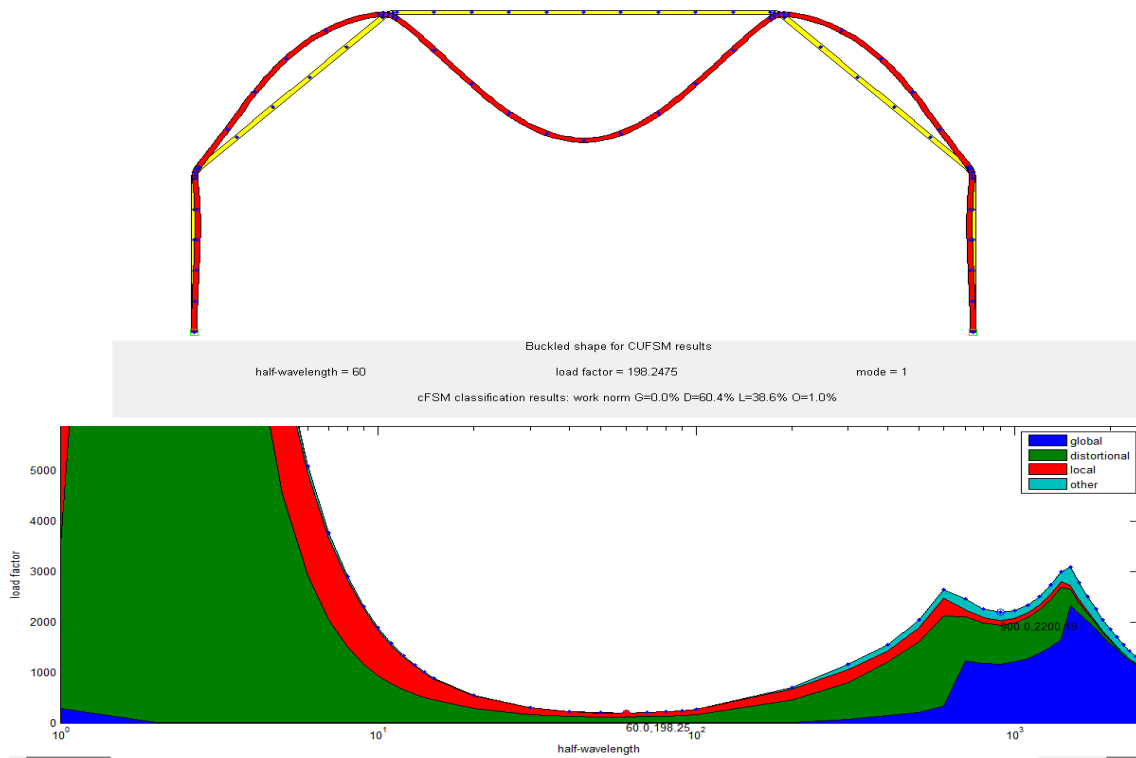


Abbildung A 50: Versagensform der Rippe Typ 3b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

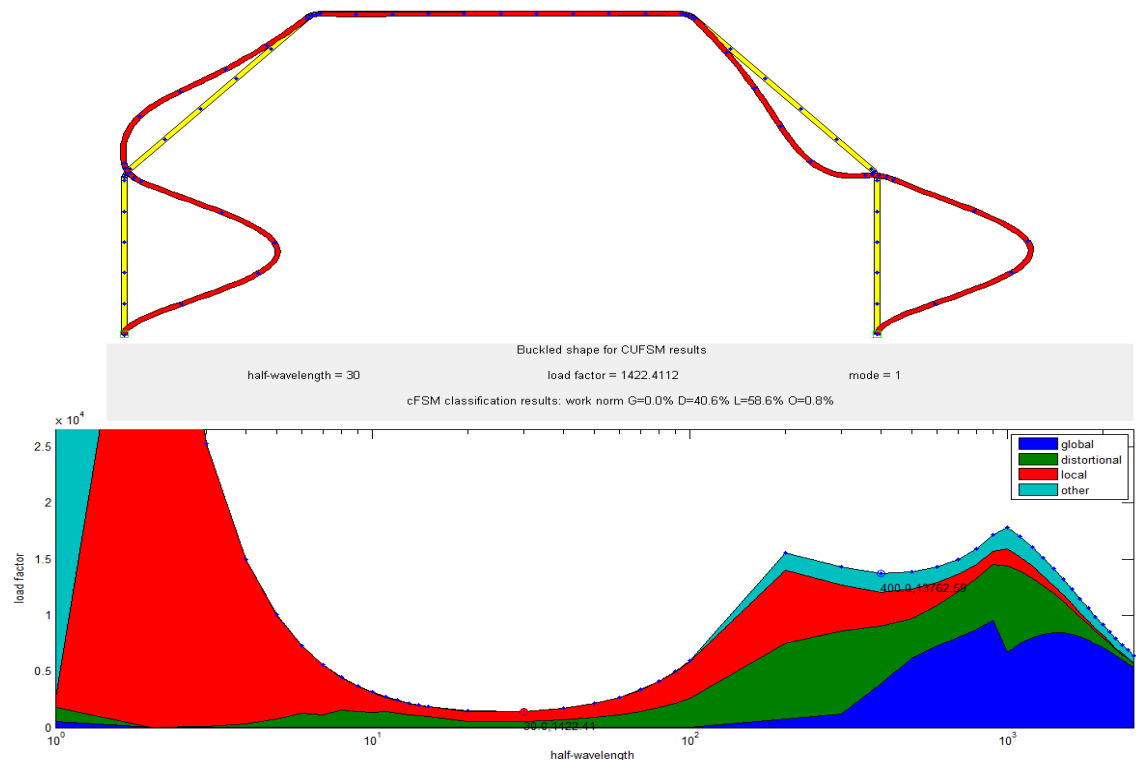


Abbildung A 51: Versagensform der Rippe Typ 3b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

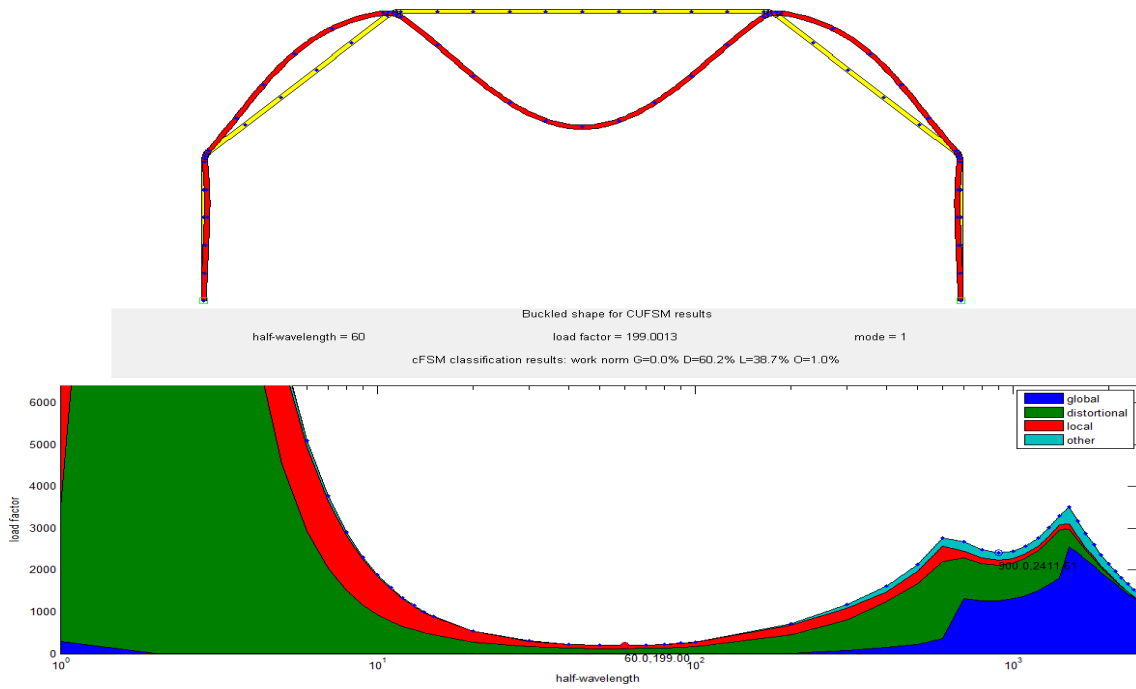


Abbildung A 52: Versagensform der Rippe Typ 3b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 10: Spannungswiderstände der Rippe Typ 3b

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	0,00	195,3072	1,11	0,59	142,73	145,33	127,83	-0,02	0,10
-1,00	0,00	0,00	0,00	1.223,3385	0,44	1,00	240,00	235,59	127,83	0,02	0,47
0,00	-1,00	∞	0,00	198,2475	1,10	0,60	143,61	154,86	127,83	-0,08	0,11
-1,00	0,30	-0,30	0,00	1.422,4112	0,41	1,00	240,00	240,00	240,00	0,00	0,00
0,30	-1,00	-3,33	0,00	199,0013	1,10	0,60	143,84	157,89	127,83	-0,10	0,11

A 1.4 Vergleichsrechnung an der Rippe Typ 4

A 1.4.1 Rippe Typ 4a

$$\frac{b}{t} = 180, \frac{b_{St}}{b} = \frac{1}{4} \frac{h}{t} = 140, \frac{h_{St,1}}{h} = \frac{1}{4}$$

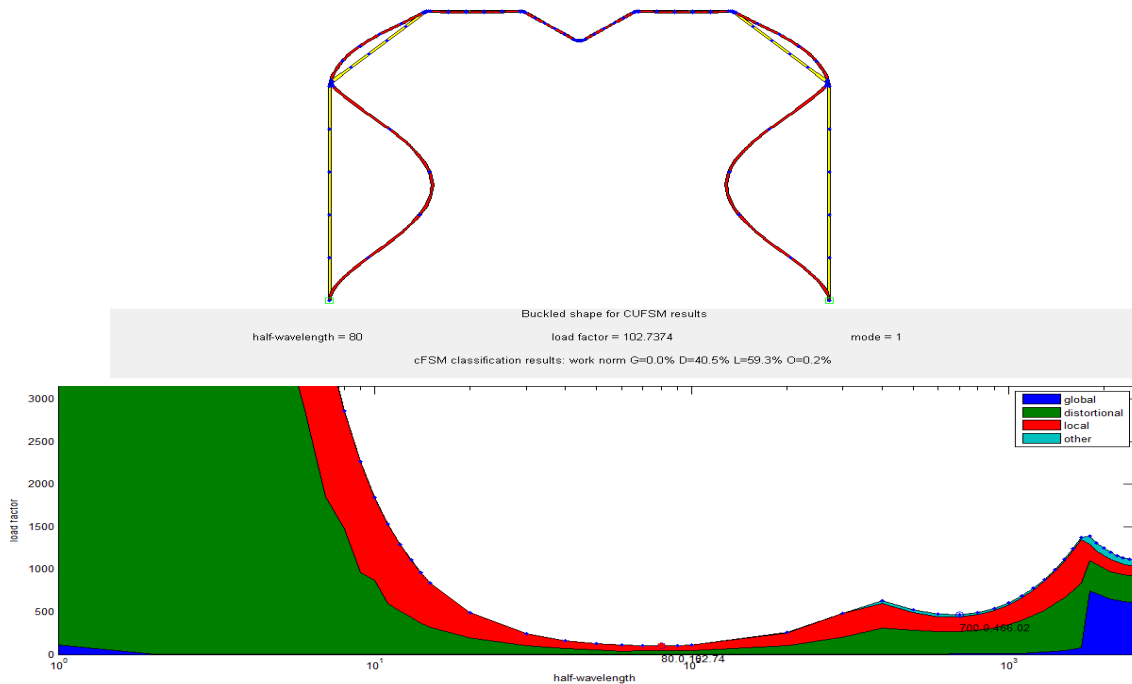


Abbildung A 53: Versagensform der Rippe Typ 4a bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

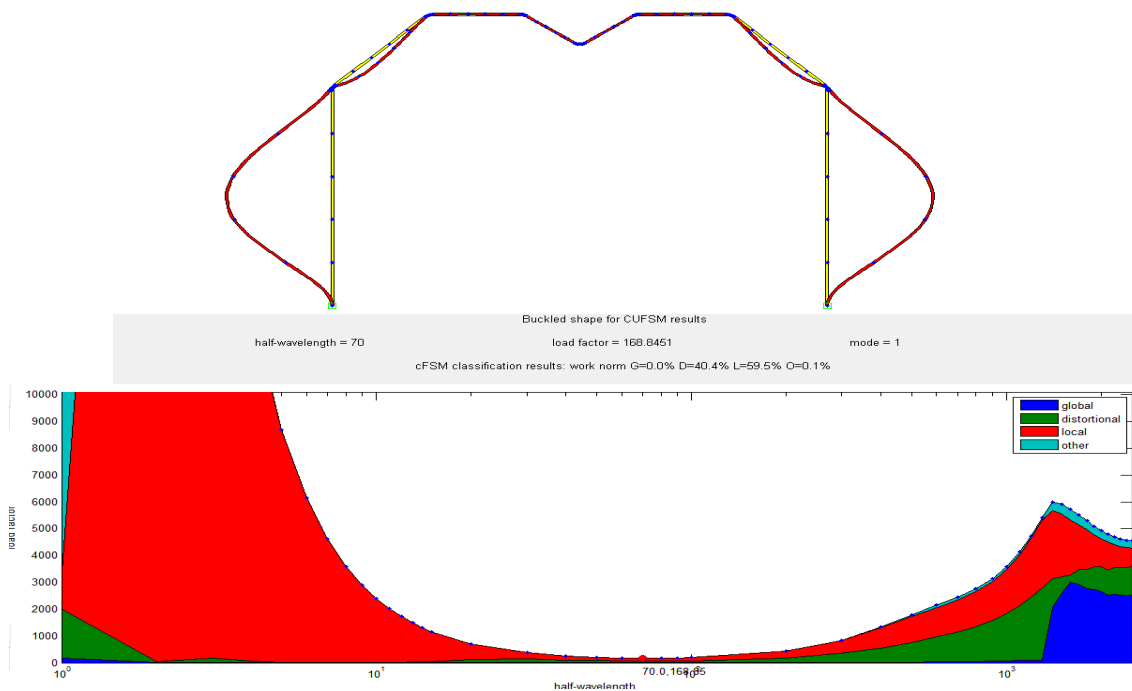


Abbildung A 54: Versagensform der Rippe Typ 4a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

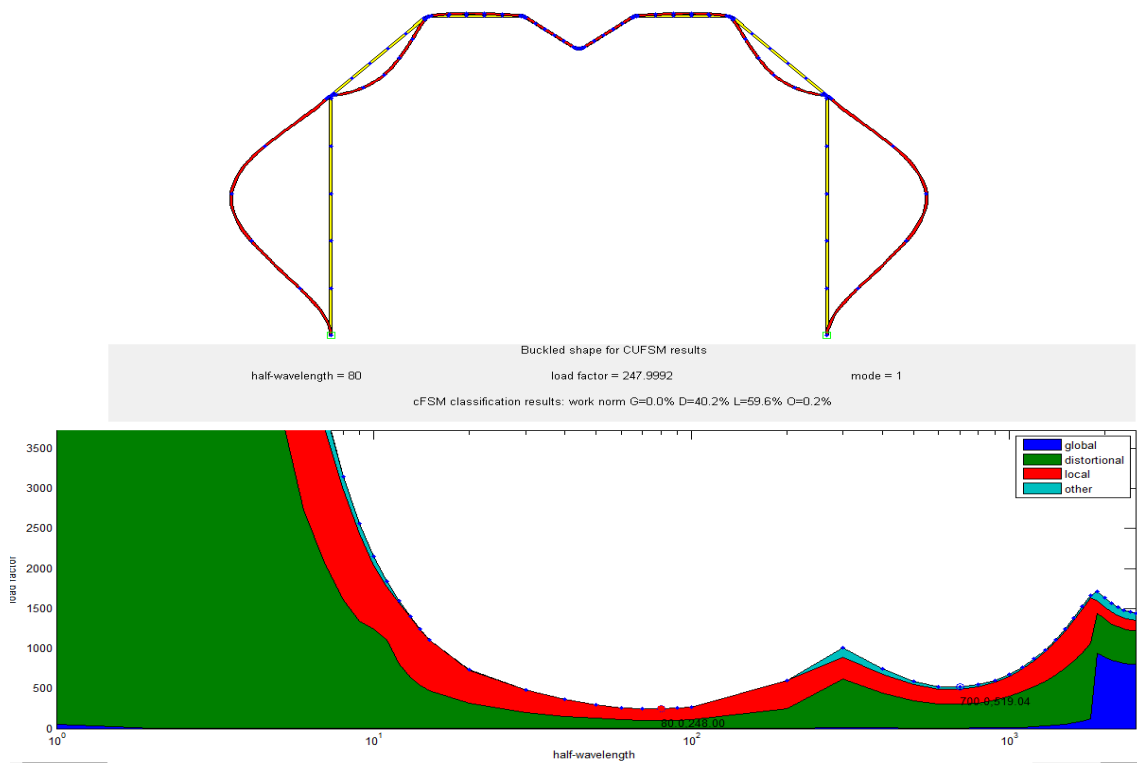


Abbildung A 55: Versagensform der Rippe Typ 4a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

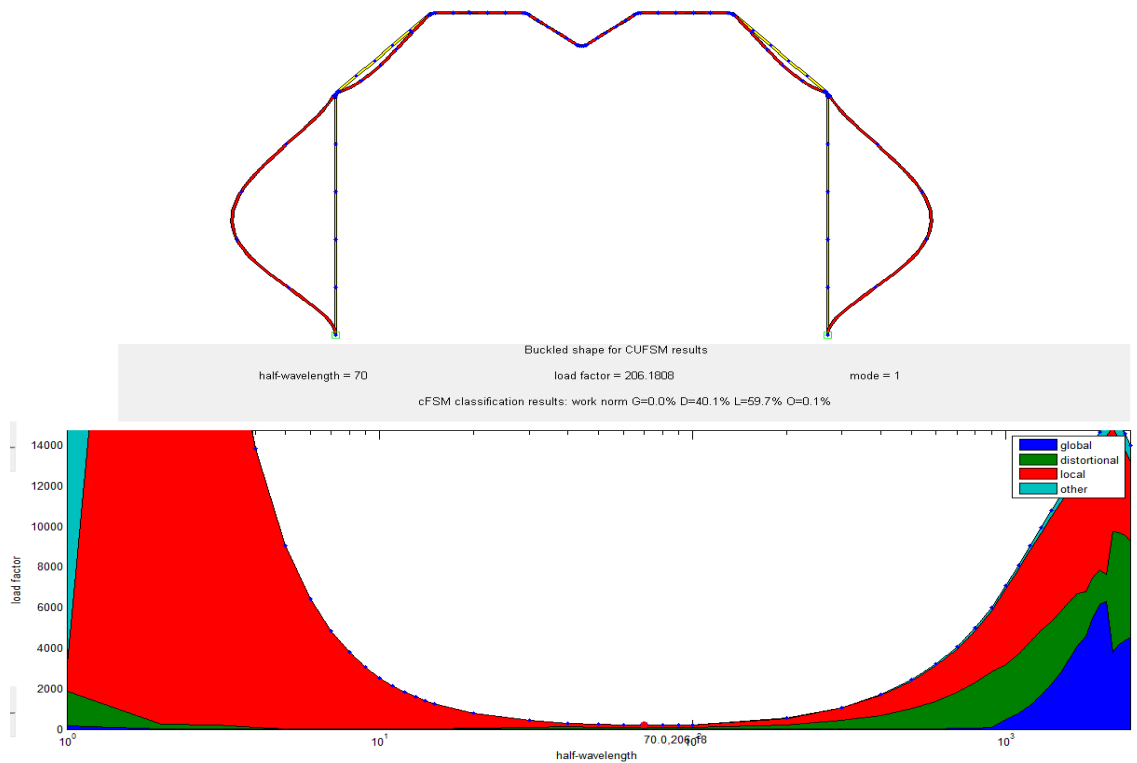


Abbildung A 56: Versagensform der Rippe Typ 4a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

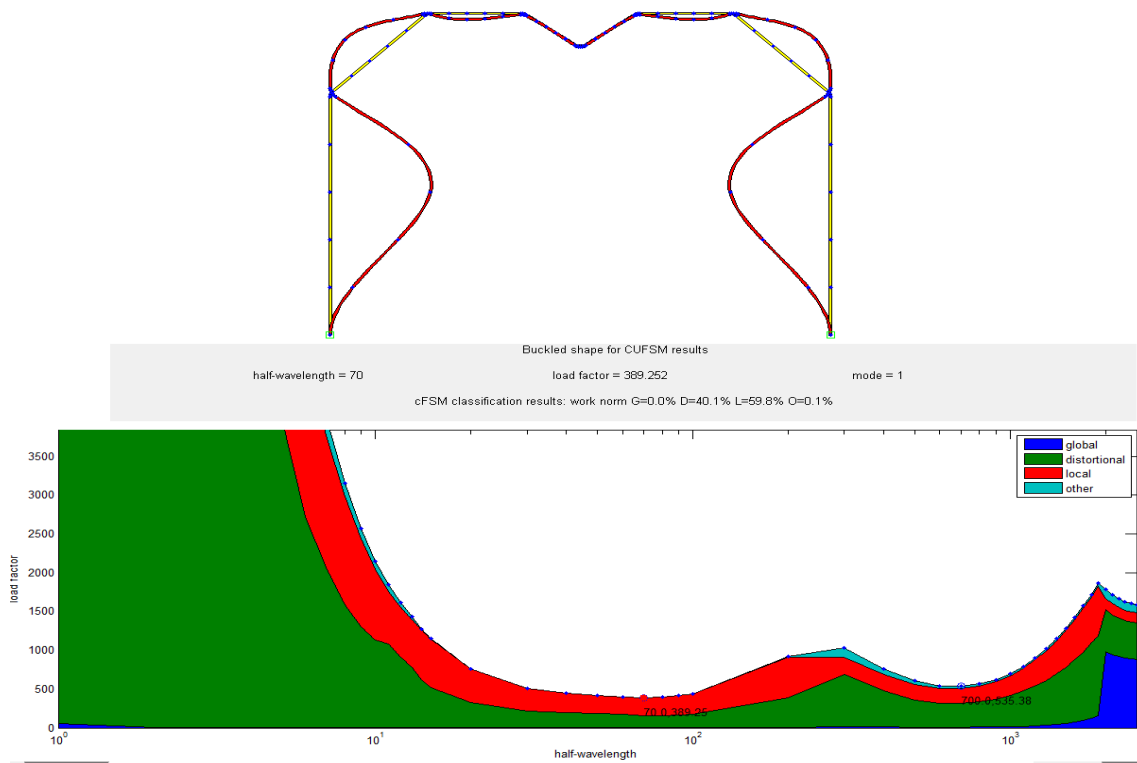


Abbildung A 57: Versagensform der Rippe Typ 4a bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 11: Spannungswiderstände der Rippe Typ 4a

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	0,00	102,7374	1,53	0,45	108,38	91,12	98,08	0,16	0,10
-1,00	0,00	0,00	0,00	168,8451	1,19	0,56	134,30	110,40	109,33	0,18	0,19
0,00	-1,00	∞	0,00	247,9992	0,98	0,66	157,34	201,87	99,60	-0,28	0,37
-1,00	0,30	-0,30	0,00	206,1808	1,08	0,61	145,96	122,61	114,08	0,16	0,22
0,30	-1,00	-3,33	0,00	289,2520	0,91	0,70	167,25	205,00	129,43	-0,23	0,23

A 1.4.2 Rippe Typ 4b

$$\frac{b}{t} = 180, \frac{b_{St}}{b} = \frac{1}{4}, \frac{h}{t} = 70, \frac{h_{St,1}}{h} = \frac{1}{2}$$

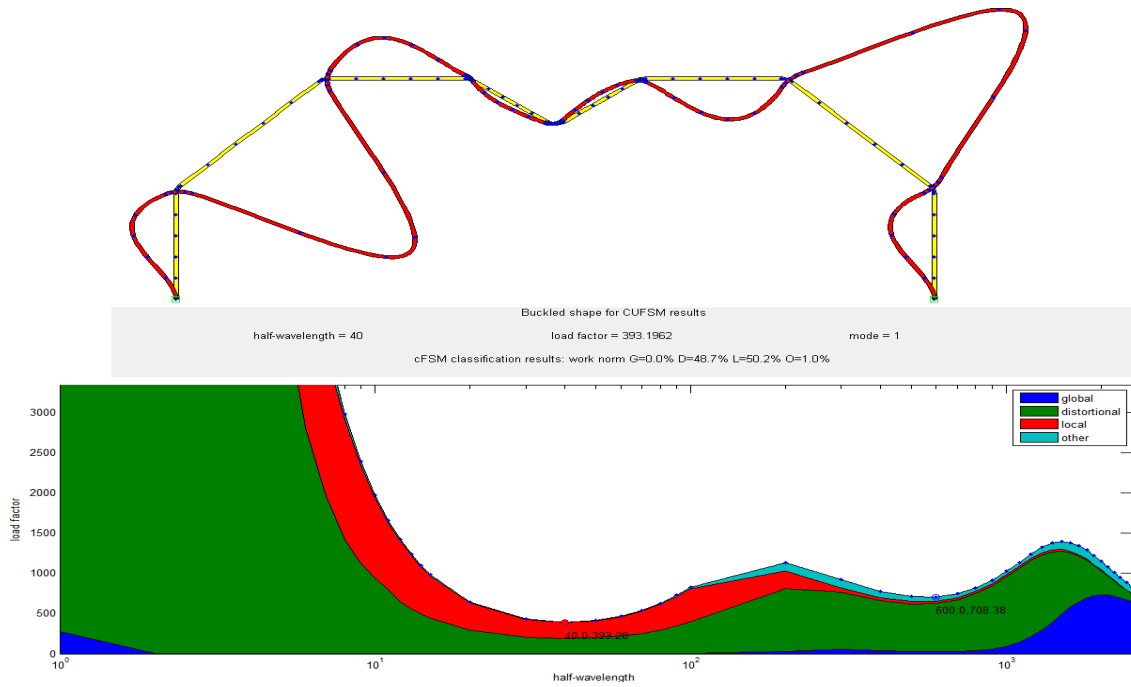


Abbildung A 58: Versagensform der Rippe Typ 4b bei konstanter Druckeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = +1,00$

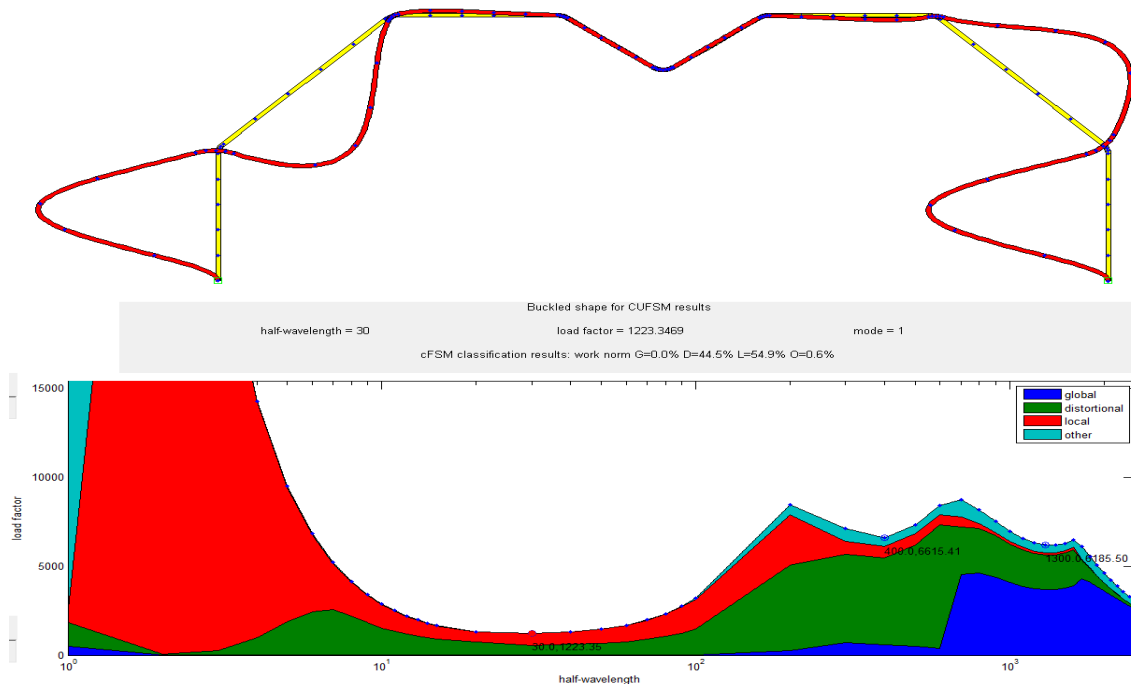


Abbildung A 59: Versagensform der Rippe Typ 4b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = \pm 0,00$

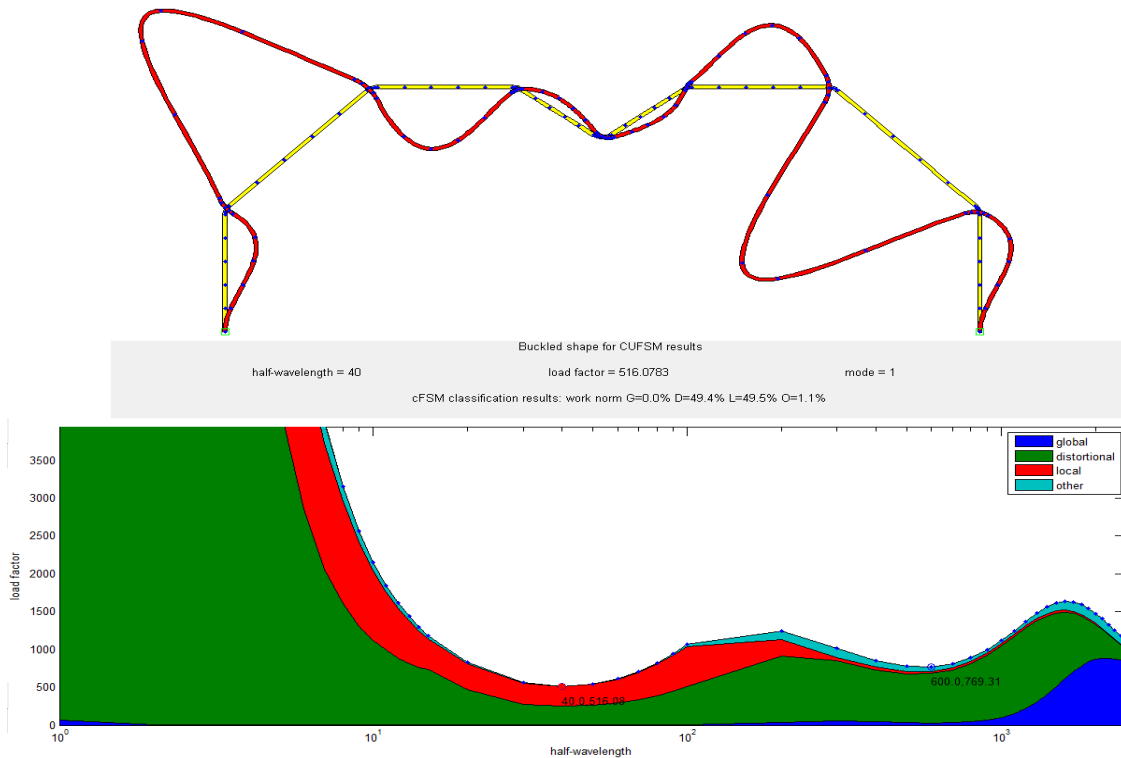


Abbildung A 60: Versagensform der Rippe Typ 4b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -\infty$

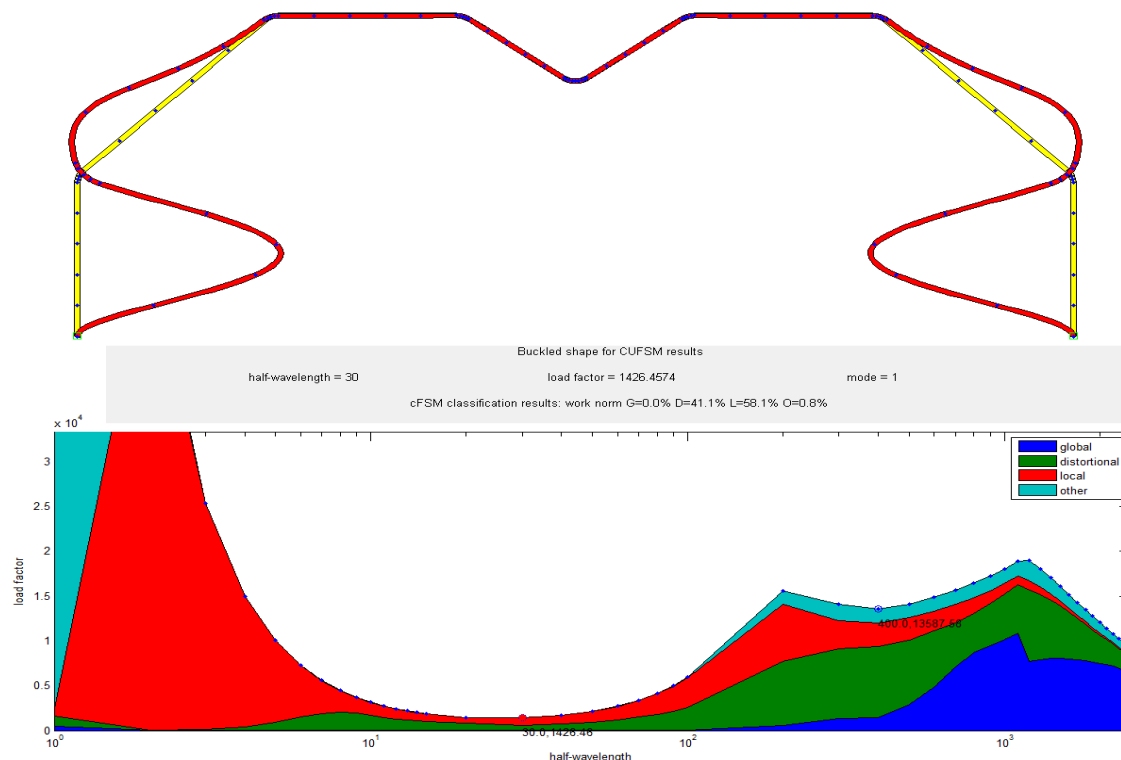


Abbildung A 61: Versagensform der Rippe Typ 4b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -0,30$

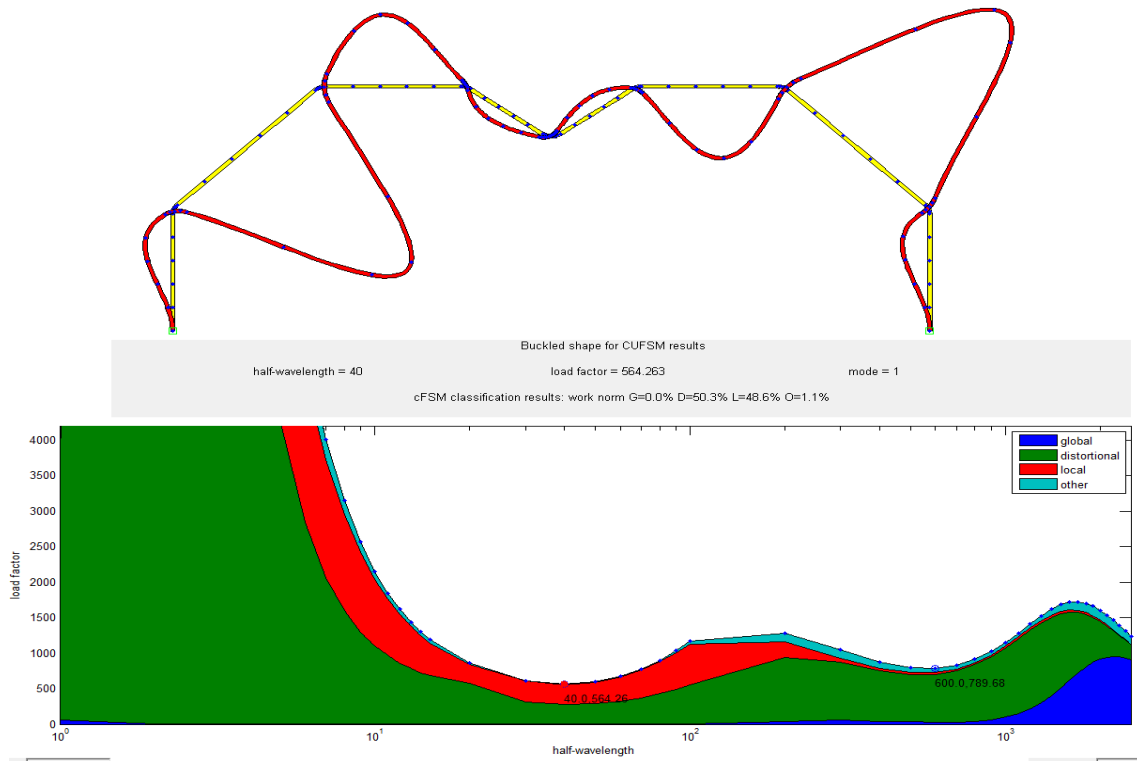


Abbildung A 62: Versagensform der Rippe Typ 4b bei Biegeeinwirkung $\psi = \frac{\sigma_F}{\sigma_{St}} = -3,33$

Tabelle A 12: Spannungswiderstände der Rippe Typ 4b

$\sigma_{St} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_F \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\psi_{\frac{\sigma_F}{\sigma_{St}}} [-]$	$a [mm]$	$\sigma_{cr} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\lambda_{cr} [-]$	$\rho [-]$	$\sigma_{Rd} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,eff} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\sigma_{Rd,min} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	$\delta_{eff} [-]$	$\delta_{min} [-]$
-1,00	-1,00	1,00	0,00	393,1962	0,78	0,78	188,00	204,55	170,41	-0,09	0,09
-1,00	0,00	0,00	0,00	1.223,3469	0,44	1,00	240,00	234,79	214,01	0,02	0,11
0,00	-1,00	∞	0,00	516,0783	0,68	0,86	207,18	215,93	188,40	-0,04	0,09
-1,00	0,30	-0,30	0,00	1.426,4574	0,41	1,00	240,00	240,00	240,00	0,00	0,00
0,30	-1,00	-3,33	0,00	564,2630	0,65	0,89	213,56	219,24	194,78	-0,03	0,09

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe:

D – Diplom-, Masterarbeiten/Dissertationen | F – Forschungsberichte
S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | V – Vorträge, Tagungen

Institutskenzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik
10 – Labor für Konstruktiven Ingenieurbau

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl