

Diplomarbeit

Master`s Thesis

Last– und Tragmodelle für Eisenbahnbrücken mit orthotroper Platte

Ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von
Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Josef Fink
und
Ao.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Francesco Aigner

Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau (E212)
der technischen Universität Wien

eingereicht an der technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

FEGERL Markus
E 610 / 0325032
Heinrichs Nr. 9
3962 Heinrichs

KAINZ Martina
E 610 / 0325029
Hauptstraße 39
3842 Thaya

Wien, Oktober 2007

DANKSAGUNG

Wir möchten an dieser Stelle all jenen danken, die uns in den letzten Jahren so tatkräftig unterstützt haben. Ohne nun eine Reihung in der Wichtigkeit vorzunehmen, möchten wir die wichtigsten Begleiter, Helfer und Freunde der letzten Jahre aufzählen.

Herrn Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Josef Fink und Herrn Ao.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr.techn. Francesco Aigner des Institutes für Tragkonstruktionen – Stahlbau möchten wir danken, dass sie uns bei unserer Diplomarbeit so gut betreut und unterstützt haben.

Besonders herzlichen Dank gilt unseren Studienkollegen und Freunden Frau Sonja Dallinger, Herrn Christoph Grömer, Herrn Stefan Gloimüller, Herrn Andreas Kainz und Herrn Johannes Eitelberger, die uns mit Motivation und Hilfestellungen stets beigestanden haben.

Zum Schluss gilt unser Dank noch unseren Freunden Frau Kornelia Göll-Pregesbauer, Herrn Martin Pregesbauer, Herrn Istvan Szakacs und Herrn Josef Zellner die uns auf unterschiedlichste Art und Weise bei der Fertigstellung dieser Arbeit behilflich waren.

KURZFASSUNG

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Berechnung einer einfeldrigen, eingleisigen Eisenbahnbrücke mit orthotroper Fahrbahn.

Das globale Tragsystem entspricht einem 70 m gespannten Einfeldträger. Das lokale System wird von einer orthotropen Platte gebildet. Dieses lokale System wird in dieser Diplomarbeit näher untersucht. Die geführten Nachweise erfolgen ohne Berücksichtigung der Haupttragwirkung. Dabei werden die drei untersuchten Bauteile – das Deckblech, die Längsrippen und die Querträger – berechnet. Diese Bauteile werden mit unterschiedlichen statischen Modellen abgebildet und nachgewiesen. Die Berechnungen erfolgen für verschiedene Querträgerabstände und für drei verschiedene Aufteilungsvarianten des Verkehrslastmodells LM 71.

Zuerst wird das Deckblech behandelt, welches als Durchlaufträger in Querrichtung abgebildet wird. Die Berechnung dieses Bauteils erfolgt mit dem ungünstigsten der drei modellierten Verkehrslastbilder (LM 71) und wird für drei Querträgerabstände berechnet.

Danach werden die Längsrippen behandelt. Diese werden nach zwei verschiedenen Modellen, Durchlaufträger- und Trägerrostmodell, abgebildet und untersucht. Bei der Berechnung werden die Querträgerabstände variiert und das Verkehrslastmodell LM 71 verschieden aufgeteilt. Danach werden neben den Einflusslinien die Schnittgrößen und die Spannungen in den maßgebenden Schnitten verglichen und für die Begründung der erhaltenen Ergebnisse aufbereitet. Das sich daraus ergebende Resultat zeigt, dass die Einflussflächen, die Schnittgrößen und die berechneten Spannungen aus der Trägerrostberechnung größere Werte liefern als jene der Durchlaufträgerberechnung. Das ergibt sich dadurch, dass beim Trägerrostsystem die benachbarten Längsrippen mitwirken.

Der dritte Bauteil, der Querträger, wird als Einfeldträger abgebildet. Dieser Bauteil wird ebenfalls für die Verkehrslastbilder – LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2} – und die unterschiedlichen Querträgerabstände berechnet. Als Ergebnis dieser Berechnung zeigt sich, dass der Querträgersteg eine Dicke von mehr als 20 mm aufweisen muss, damit der Ermüdungsnachweis erfüllt wird. Laut der ÖNORM EN 1993-2 [11] wird eine Empfehlung der Querträgerstegdicke von max. 20 mm angegeben. Diese Empfehlung muss hier unberücksichtigt bleiben.

ABSTRACT

This master's thesis deals with the calculation of a single-way track railway bridge. The main structural system is a single-span girder with a 70 m span length, whereas the secondary structural system is a girder grid. This system consists of longitudinal and transversal girders and is the main component of this master's thesis.

In this thesis, the three main components are calculated. First, the cover plate which is calculated as continuous beam, second, the longitudinal girder is calculated as a continuous beam or as a girder grid, and finally, the transversal girder is calculated as a single-span beam. Furthermore, three different railway loading cases and three different transversal girder intervals are considered.

First, the cover plate is calculated as a continuous beam. In this calculation, only one loading case and three different transversal girder intervals are considered. The different results are compared and summarized in the last chapter.

Second, there are two different structural systems for the longitudinal girder: the continuous beam and the girder grid. The girder grid modeling leads to a higher stress level than continuous beam modeling. Therefore, for a correct calculation, a girder grid calculation has to be applied. In the girder grid, the neighbored longitudinal girders also carry loads and interact with other ones. This is why the girder grid results are higher than those resulting from the continuous beam calculation.

Last, the transversal girder is calculated as a single-span beam. As a result of these calculations we can summarize that the transversal girder web needs a thickness exceeding 20 mm. There is a recommendation of a maximum thickness of 20 mm concerning to ÖNORM EN 1993-2 [11], but this thickness is not enough to satisfy the fatigue verification.

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	15
1.1	Aufgabenstellung	15
1.2	Zielsetzung.....	16
2.	Einwirkungen auf Eisenbahnbrücken	17
2.1	Übersicht über die Einwirkungen.....	17
2.2	Ständige Einwirkungen	17
2.2.1	Tragwerkseigengewicht (G_1).....	20
2.2.1.1	Eigengewicht des Deckbleches.....	20
2.2.1.2	Eigengewicht der Längsrippen	21
2.2.1.3	Eigengewicht der Querträger.....	22
2.2.2	Ausbaulast (G_2).....	23
2.2.2.1	Ausbaulast für das Deckblech	23
2.2.2.2	Ausbaulast für die Längsrippen	24
2.2.3	Lastverteilung durch Schienen, Schwellen und Schotterbett	25
2.2.3.1	Lastverteilung in Längsrichtung.....	25
2.2.3.2	Lastverteilung in Querrichtung.....	26
2.3	Veränderliche Einwirkungen	28
2.3.1	Lastmodell LM 71.....	28
2.3.2	Lastbild LM 71 _{aufg1}	28
2.3.3	Lastbild LM 71 _{aufg2}	29
2.3.4	Lastverteilung durch Schienen, Schwellen und Schotterbett	30
2.3.4.1	Lastverteilung in Längsrichtung.....	30
2.3.4.2	Lastverteilung in Querrichtung.....	30
2.4	Beiwerte und Faktoren	32
2.4.1	Lastklassenbeiwert α	32
2.4.2	Dynamischer Beiwert Φ	32
2.4.2.1	Dynamischer Beiwert für das Deckblech und die Längsrippen.....	32
2.4.2.2	Dynamischer Beiwert für die Querträger	33
2.4.3	Schadenäquivalenzfaktor λ	33
2.4.3.1	Schadenäquivalenzfaktor für das Deckblech	33
2.4.3.2	Schadenäquivalenzfaktor für die Längsrippen	34
2.4.3.3	Schadenäquivalenzfaktor für die Querträger.....	34
2.4.4	Teilsicherheitsbeiwerte γ	35
2.5	Grenzzustände und Lastkombinationen.....	35
2.5.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit	35
2.5.1.1	Beiwerte für die Nachweise ULS bzw. FLS.....	35

2.5.1.2	Kombinationsregeln für den Tragfähigkeitsnachweis ULS.....	36
2.5.1.3	Kombinationsregeln für den Ermüdungsnachweis FLS	37
2.5.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	37
3.	Querschnitte.....	38
3.1	Übersicht.....	38
3.1.1	Konstruktion	38
3.1.2	Materialkennwerte.....	40
3.2	Querschnitte bei 2,5 m Querträgerabstand	40
3.2.1	Querschnittsabmessungen	40
3.2.1.1	Abmessungen des Brückenquerschnittes	40
3.2.1.2	Abmessungen der Längsrippen	41
3.2.1.3	Abmessungen der Querträger	42
3.2.2	Längsrippen	43
3.2.2.1	Mittragende Breiten der Längsrippen	43
3.2.2.2	Querschnittswerte der Längsrippen	46
3.2.3	Querträger.....	49
3.2.3.1	Mittragende Breiten der Querträger	49
3.2.3.2	Querschnittswerte der Querträger.....	50
3.3	Querschnitte bei 3,5 m Querträgerabstand	51
3.3.1	Querschnittsabmessungen	51
3.3.1.1	Abmessungen des Brückenquerschnittes	51
3.3.1.2	Abmessungen der Längsrippen	52
3.3.1.3	Abmessungen der Querträger	53
3.3.2	Längsrippen	54
3.3.2.1	Mittragende Breiten der Längsrippen	54
3.3.2.2	Querschnittswerte der Längsrippen	57
3.3.3	Querträger.....	60
3.3.3.1	Mittragende Breiten der Querträger	60
3.3.3.2	Querschnittswerte der Querträger.....	61
4.	Statisches System & Schnittgrößenermittlung	63
4.1	Schnittgrößen für das Deckblech	63
4.1.1	Durchlaufträger	63
4.1.1.1	Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	64
4.1.1.2	Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis FLS.....	65
4.2	Schnittgrößen für die Längsrippen	66
4.2.1	Durchlaufträgersystem.....	66
4.2.1.1	Einflusslinien.....	67
4.2.1.2	Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	68
4.2.1.3	Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis FLS.....	73

4.2.2	Trägerrostsystem	74
4.2.2.1	Einflusslinien	75
4.2.2.2	Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	82
4.2.2.3	Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis FLS	84
4.3	Schnittgrößen für die Querträger	85
4.3.1	Einfeldträger	85
4.3.1.1	Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	90
4.3.1.2	Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis FLS	94
5.	Spannungsnachweise	99
5.1	Spannungsnachweise für das Deckblech	99
5.1.1	Durchlaufträger	99
5.1.1.1	Tragfähigkeitsnachweis ULS für das Deckblech	99
5.1.1.2	Ermüdungsnachweis FLS für das Deckblech	100
5.2	Spannungsnachweise für die Längsrippen	101
5.2.1	Durchlaufträgersystem	101
5.2.1.1	Tragfähigkeitsnachweis ULS für die Längsrippen	101
5.2.1.2	Ermüdungsnachweis FLS für die Längsrippen	102
5.2.2	Trägerrostsystem	104
5.2.2.1	Tragfähigkeitsnachweis ULS für die Längsrippen	105
5.2.2.2	Ermüdungsnachweis FLS für die Längsrippen	106
5.3	Spannungsnachweise für die Querträger	112
5.3.1	Einfeldträger	112
5.3.1.1	Tragfähigkeitsnachweis ULS für die Querträger	112
5.3.1.2	Ermüdungsnachweis FLS für die Querträger	119
5.4	Nachweis der Vergleichsspannungen	129
5.4.1	Nachweispunkt A1	130
5.4.2	Nachweispunkt A2	131
6.	Gegenüberstellung der Ergebnisse	133
6.1	Ergebnisse für die Längsrippen	133
6.1.1	Einflusslinien	133
6.1.1.1	Querkräfte	133
6.1.1.2	Momente	137
6.1.2	Tragfähigkeitsnachweis ULS	141
6.1.2.2	Spannungen	150
6.1.3	Ermüdungsnachweis FLS	156
6.1.3.1	Schnittgrößen	156
6.1.3.2	Spannungen	159
6.2	Ergebnisse für die Querträger	168

6.2.1	Tragfähigkeitsnachweis ULS	168
6.2.1.1	Schnittgrößen	168
6.2.1.2	Spannungen	174
6.2.2	Ermüdungsnachweis FLS	184
6.2.2.1	Schnittgrößen	185
6.2.2.2	Spannungen	191
7.	Schlussfolgerungen.....	203
7.1	Längsrippen	203
7.1.1	Einflusslinien	203
7.1.2	Spannungsnachweise.....	204
7.2	Querträger.....	206
7.2.1	Schnittgrößen.....	206
7.2.2	Spannungsnachweise.....	207
8.	Anhang.....	209
8.1	Literaturverzeichnis	209
8.2	Abbildungsverzeichnis	210
8.3	Tabellenverzeichnis	218

FORMELZEICHEN

Zeichen in Klammerausdrücken stellen die Bezeichnung laut Norm dar.

a	Schwellenabstand (siehe Abb. 12)
A_{1c}, A_{2c}	Teilflächen im ersten und zweiten Lasteinleitungspunkt der Querträger (siehe Abb. 90)
$A_{\text{Brutto}}^{1\&4}, A_{\text{Brutto}}^{2\&3}$	Geometrische Querschnittsflächen der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22 und Abb. 23 bzw. Abb. 30 und Abb. 31)
$A_{\text{Feld}}^{1\&4}, A_{\text{Feld}}^{2\&3}$	Effektive Querschnittsflächen im Feldquerschnitt der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22 bzw. Abb. 23)
$A_{G1}^{1\&4}, A_{G1}^{2\&3}$	Auflagerkräfte infolge Eigengewicht G_1 der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Tab. 27)
$A_{G2}^{1\&4}, A_{G2}^{2\&3}$	Auflagerreaktionen infolge Ausbaulast G_2 der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Tab. 28)
$A1_{G2}, A2_{G2}, A3_{G2}$ $B1_{G2}, B21_{G2}, B3_{G2}$	Auflagerkräfte zur Berechnung der Querverteilungsfaktoren für die Ausbaulast (siehe Abb. 08)
$A1_{LM}, A2_{LM}, A3_{LM}$ $B1_{LM}, B2_{LM}, B3_{LM}$	Auflagerkräfte zur Berechnung der Querverteilungsfaktoren für den Verkehrslastfall (siehe Abb. 13)
$A_{\text{StegGesamt}}$	Gesamtstegquerschnittsfläche der Querträger ohne Berücksichtigung von Ausnehmungen (siehe Abb. 25 und Abb. 33)
$A_{\text{StegEffektiv}}$	Effektivstegquerschnitt der Querträger unter Berücksichtigung der Ausnehmungen (siehe Abb. 25 und Abb. 33)
$A_{\text{QT Effektiv}}^{1\&4}$ $A_{\text{Stütz}}^{1\&4}, A_{\text{Stütz}}^{2\&3}$	Effektivquerschnittsfläche der Querträger (siehe Abb. 25 u. Abb. 33) Effektive Querschnittsflächen im Stützquerschnitt der Längsrippen 1&4 / 2&3 (siehe Abb. 22 und Abb. 23 bzw. Abb. 30 und Abb. 31)
A_{Zahn}	Querschnittsfläche im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 88 und Abb. 90)
$l/h/b$	Länge/ Höhe/ Breite einer Betonschwelle (siehe Tab. 04)
b_{01}, b_{02}, b_{03}	Teilgurtbreiten der Längsrippen (siehe Abb. 21)
b_1, b_2, b_3	Teillängen zwischen erster und zweiter Längsrippe (im 1. Zahn) (siehe Abb. 77)
b_{1c}, b_{2c}	Teillängen im ersten und zweiten Lasteinleitungspunkt der Querträger (siehe Abb. 89)
b_B	Breite im Bereich des Stegausschnittes (siehe Abb. 89)
b_{DB}	Breite des Deckblechstreifens (siehe Kap.5.1.1)
b_{eff}	mittragende Teilgurtbreiten der Querträger (siehe Kap.3.2.3.1.b)
$b_{\text{eff.01f}}, b_{\text{eff.02f}}, b_{\text{eff.03f}}$	mittragende Teilgurtbreiten der Längsrippen im Feld- bzw. Stützbereich (siehe Kap.3.2.3.1.b)
$b_{\text{eff.01s}}, b_{\text{eff.02s}}, b_{\text{eff.03s}}$	mittragende Teilgurtbreiten der Längsrippen im Stützbereich (siehe Kap.3.2.3.1.b)
b_{Gesamt}	Gesamtquerschnittsbreite (siehe Abb. 02 und Tab. 02)
b_{Rand}	Randbalkenbreite (siehe Abb. 02 und Tab. 02)
b_m	mittragende Obergurtbreite der Querträger (siehe Kap.3.2.3.1.b)
b_{Schotter}	Schotterbettbreite von 4,40m (siehe Tab. 02)
e_E	Randachsabstand der ersten Längsrippe (siehe Abb. 17)
e_{HT}	Hauptträgerabstand (siehe Tab. 10)
$e_{LR}, l_1, (e_{LS})$	Achsabstand der Längsrippen zueinander (siehe Abb. 17, Abb. 13 und Abb. 15)
$e_{QT}, (e_{\text{crossb}})$	Abstand der Querträger bzw. Stützweite der Längsrippen (siehe Tab. 02)
f_y	Streckgrenze (siehe Kap.3.1.2)
G_1	charakteristisches Bauteilseigengewicht (siehe Kap.2.2.1.1)
$G_{1.DB}$	charakteristisches Eigengewicht des Deckbleches (siehe Tab. 03)

$G_{1.LR}$	charakteristisches Eigengewicht der Längsrippen (siehe Abb. 05)
$G_{1.LR1}, G_{1.LR2}$	charakteristisches Eigengewicht der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 05)
$G_{1.QT}$	charakteristisches Eigengewicht der Querträger (siehe Abb. 06)
G_2	charakteristischer Wert der Ausbaulast (siehe Kap.2.2.2.1)
$G_{2.DB}$	charakteristischer Wert der Ausbaulast für die Berechnung des Deckbleches (Flächenlast, siehe Tab. 04)
$G_{2.LR}$	charakteristischer Wert der Ausbaulast für die Berechnung der Längsrippen (Linienlast, siehe Tab. 05)
G_d	Bemessungswert einer ständigen Einwirkung
G_{gl}	charakteristisches Eigengewicht der Schienen (siehe Tab. 04 und Tab. 05)
G_k	charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung
G_s	charakteristische Last des Schotterbettes (siehe Tab. 04 u. Tab. 05)
h_{Nenn}	Schotterbetthöhe (siehe Tab. 04 und Tab. 05)
h_{Zahn}	Höhe des 1. Zahns im Querträger (siehe Abb. 90)
$I_{yBrutto}^{1&4}, I_{yBrutto}^{2&3}$	Gesamtträgheitsmoment der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22 und Abb. 23 bzw. Abb. 30 und Abb. 31)
$I_{yFeld}^{1&4}, I_{yFeld}^{2&3}$	Effektives Trägheitsmoment im Feldbereich der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22 und Abb. 23 bzw. Abb. 30 und Abb. 31)
$I_{yStütz}^{1&4}, I_{yStütz}^{2&3}$	Effektives Trägheitsmoment im Stützbereich der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22 und Abb. 23 bzw. Abb. 30 und Abb. 31)
I_{yQT}	Effektives Trägheitsmoment der Querträger unter Berücksichtigung der Ausnehmungen (siehe Abb. 25 und Abb. 33)
$L_{DB}^{Stütz}, L_{DB}^{Feld}$	Spannweiten im Stütz- und Feldbereich des Deckbleches zur Berechnung von λ_{DB} (siehe Kap.2.4.3.1)
L_e	Effektive Länge des Momentenabschnittes zur Berechnung der mittragenden Obergurtbreite der Querträger (siehe Kap.3.2.3.1.b)
L_{ef}, L_{es}	Effektive Länge des Momentenabschnittes im Feld- oder Stützbereich zur Berechnung der mittragenden Teilgurtbreiten der Längsrippen für den Feld- und Stützbereich (siehe Kap.3.2.2.1.b)
L_Φ	maßgebende Länge zur Berechnung des dynamischen Beiwertes (siehe Kap.2.4.2)
$L_{\Phi LR}$	maßgebende Länge zur Berechnung von $\Phi_{2.LR}$ für die Längsrippen (siehe Kap.2.4.2.1)
$L_{\Phi QT}$	maßgebende Länge zur Berechnung von $\Phi_{2.QT}$ für die Querträger (siehe Kap.2.4.2.2)
$L_{Links} = L_{Rechts}$	größte Spannweiten des Deckbleches in Querrichtung (siehe Abb. 08)
$L_{LR}^{Stütz}, L_{LR}^{Feld}$	Spannweiten im Stütz- und Feldbereich der Längsrippen zur Berechnung von λ_{LR} (siehe Kap.2.4.3.2)
$LM 71$	Lastmodell 71 (siehe Abb. 09)
$LM 71_{aufg1}$	Lastbild 71, mit verschmierten Einzellasten (siehe Abb. 10)
$LM 71_{aufg2}$	Lastbild 71 unter Berücksichtigung der Auswirkung der Längsverteilung der Einzellasten durch Schienen, Schwellen und Schotterbett (siehe Abb. 11)
L_{QT}	Spannweite der Querträger zur Berechnung von λ_{QT} (siehe Kap.2.4.3.3)
$\min m_y, \max m_y$	minimales und maximales Moment des Deckbleches für den Ermüdungsnachweis (siehe Abb. 38)

$\min M_y, \max M_y$	minimales und maximales Moment der Längsrippen / Querträger für den Ermüdungsnachweis
$\max A_{LM}^{1&4}, \max A_{LM}^{2&3}$	Belastende Auflagerreaktionen der Längsrippen aus den Verkehrslastbildern für den Querträger (für FLS, siehe Tab. 29)
$\min A_{LM}^{1&4}, \min A_{LM}^{2&3}$	Entlastende Auflagerreaktionen der Längsrippen aus den Verkehrslastbildern für den Querträger (für FLS, siehe Tab. 30)
M_{1y}, M_y	Moment an der Stelle 1 / Feldbereich im Querträger für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (siehe Tab. 33 und Tab. 34)
M_V	Versatzmoment für den 1. Zahn der Querträger
$M_{y,Stütz}, M_{y,Feld}$	Stütz und Feldmoment der Längsrippen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (siehe Tab. 22)
$m_{yStütz}, m_{yFeld}$	Stütz und Feldmoment des Deckbleches für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (siehe Tab. 19)
$P1, P2$	Lokale Lasteinleitungskräfte aus den Längsrippen in die Querträger für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (siehe Tab. 36)
Q_d	Bemessungswert einer veränderlichen Einwirkung
Q_{G2}	Einheitslast zur Berechnung der Querverteilungsfaktoren für die Ausbaulast (siehe Abb. 08)
$Q_{k,1}$	char. Wert einer führenden veränderlichen Einwirkung 1 (Leiteinwirkung, siehe Kap.2.5.1.2)
$Q_{k,i}$	char. Wert einer nicht führenden veränderlichen Einwirkung (Begleiteinwirkung, siehe Kap.2.5.1.2)
Q_{LM}	Einheitslast zur Berechnung der Querverteilungsfaktoren für den Verkehrslastfall (siehe Abb. 13)
Q_{vi}	Einzellast auf jeder Schiene nach LM 71 (siehe Abb. 12)
$S_{oBrutto}^{1&4}, S_{oBrutto}^{2&3}$	Oberer Randabstand des Schwerpunktes der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22, Abb. 23 bzw. Abb. 30, Abb. 31)
$S_{oFeld}^{1&4}, S_{oFeld}^{2&3}$	Oberer Randabstand des Schwerpunktes in Feldmitte der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22, Abb. 23, Abb. 30 und Abb. 31)
S_{oQT}	Oberer Randabstand des Schwerpunktes der Querträger (siehe Abb. 25 und Abb. 33)
$S_{oStütz}^{1&4}, S_{oStütz}^{2&3}$	Oberer Randabstand des Schwerpunktes im Stützbereich der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22, Abb. 23 bzw. Abb. 30, Abb. 31)
$S_{uBrutto}^{1&4}, S_{uBrutto}^{2&3}$	Unterer Randabstand des Schwerpunktes der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22, Abb. 23 bzw. Abb. 30, Abb. 31)
$S_{uFeld}^{1&4}, S_{uFeld}^{2&3}$	Unterer Randabstand des Schwerpunktes in Feldmitte der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22, Abb. 23 bzw. Abb. 30, Abb. 31)
S_{uQT}	Unterer Randabstand des Schwerpunktes der Querträger (siehe Abb. 25 und Abb. 33)
$S_{uStütz}^{1&4}, S_{uStütz}^{2&3}$	Unterer Randabstand des Schwerpunktes im Stützquerschnitt der Längsrippen 1&4 bzw. 2&3 (siehe Abb. 22, Abb. 23 bzw. Abb. 30, Abb. 31)
S_{Zahn}	Statisches Moment der Querträger im Bereich zwischen erster und zweiter Längsrippe
T	Schubkraft im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 90)
T_1, T_2, T_3	Teilschubkräfte im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 90)
t_1, t_2, t_3	Teilschubkräfte pro Längeneinheit im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 90)
$t_{DB}, (t_D)$	Dicke des Deckbleches (siehe Abb. 15 und Abb. 17)
$t_f, (t_{f,crossb})$	Untergurtdicke der Querträger (siehe Abb. 15 und Abb. 17)

$t_{LR}, (t_{stiff})$	Stegblechdicke der Längsrippe (siehe Abb. 15 und Abb. 17)
$t_w, (t_{w,crossb})$	Stegblechdicke der Querträger (siehe Abb. 15 und Abb. 17)
V_z, V_{1z}	Querkraft an der Stelle 1/ im Auflagerbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS der Querträger (siehe Tab. 30 und Tab. 31)
W_{DB}	Widerstandsmoment des Deckblechstreifens
W_{Zahn}	Widerstandsmoment im 1. Zahn der Querträger
Z_i	Abstand vom Schwerpunkt eines Bauteils zur jeweiligen Nachweisebene i für die Ermüdungsnachweise

Griechische Formelzeichen

α	Lastklassenbeiwert (siehe Kap.2.4.1)
$\beta_{1f}, \beta_{2f}, \beta_{3f},$ $\beta_{1s}, \beta_{2s}, \beta_{3s}$	Abminderungsfaktor zur Berechnung der mittragenden Breiten der Längsrippen im Feld- und Stützbereich (siehe Kap.3.2.2.1.b und Kap.3.2.3.1.b)
β	Abminderungsfaktor zur Berechnung der mittragenden Obergurtbreite der Querträger
ε	$\sqrt{\frac{f_y(235)}{f_y}}$
Φ_2	dynamischer Beiwert (siehe Kap.2.4.2)
Φ_{2DB}, Φ_{2LR}	dynamischer Beiwert für das Deckblech und die Längsrippen (siehe Kap.2.4.2.1)
Φ_{2QT}	dynamischer Beiwert für die Querträger (siehe Kap.2.4.2.2)
γ	Teilsicherheitsbeiwert (siehe Kap.2.4.4)
γ_{Ff}	Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungslasten (siehe Kap.2.4.4)
γ_G	Teilsicherheitsbeiwert für ständige Einwirkungen (siehe Tab. 14)
γ_{Mf}	Teilsicherheitsbeiwert für den Ermüdungswiderstand (siehe Kap.2.4.4)
$\gamma_Q, \gamma_{Q,1}, \gamma_{Q,i}$	Teilsicherheitsbeiwert für veränderliche Einwirkungen (siehe Kap.2.5.1.2)
$\gamma_{Schotter}$	Wichte des Schotters in kN/m^3 (siehe Tab. 04 und Tab. 05)
$\gamma_{Schwelle}$	Wichte der Betonschwellen inkl. Schienenbefestigungen (siehe Tab. 04 und Tab. 05)
γ_{Stahl}	Wichte des Stahls (siehe Tab. 03)
$\kappa, \kappa_{if}, \kappa_{is}$	Faktoren für die weitere Berechnung von β, β_{if} und β_{is} (siehe Kap.3.2.2.1.b und Kap.3.3.2.1.b)
λ	Schadenäquivalenzfaktor (siehe Kap.2.4.3)
λ_1	Spannweitenbeiwert, der neben dem Typ der Einflusslinie und der Spannweite auch den der Schädigungsberechnung zugrunde liegenden Verkehr berücksichtigt (siehe Kap.2.4.3)
λ_2	Verkehrsstärkebeiwert, welcher die unterschiedliche Größe des Verkehrsaufkommens berücksichtigt (siehe Kap.2.4.3)
λ_3	Nutzungsdauerbeiwert, der die unterschiedlichen Annahmen für die Nutzungsdauer berücksichtigt (siehe Kap.2.4.3)
λ_4	Beiwert, der die Anzahl der Gleise auf der Brücke berücksichtigt (siehe Kap.2.4.3)
λ_{DB}	Schadenäquivalenzfaktor für das Deckblech (siehe Kap.2.4.3.1)
λ_{LR}	Schadenäquivalenzfaktor für die Längsrippen (siehe Kap.2.4.3.2)

λ_{\max}	Maximalwert des Schadenäquivalenzfaktors (siehe Kap.2.4.3)
λ_{QT}	Schadenäquivalenzfaktor für die Querträger (siehe Kap.2.4.3.3)
σ_{1b}, σ_{2b}	Biegenormalspannungen im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 89 und Abb. 91)
σ_{1c}, σ_{2c}	Druckspannungen infolge lokaler Lasteinleitungen im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 89 und Abb. 91)
σ_{1v}	Vergleichsspannung an der Stelle 1 im Querträger (siehe Tab. 62)
$\sigma_{1xo}, \sigma_{1xu}$	Obere und untere Normalspannung im Bereich der 1. Längsrippe (siehe Tab. 60)
$\sigma_{1Zahn}, \sigma_{2Zahn}$	Resultierende Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (siehe Tab. 63)
σ_{xo}, σ_{xu}	Obere und untere Normalspannung im Querträger (siehe Tab. 58)
$\sigma_{xoFeld}, \sigma_{xuFeld}$	Obere und untere Normalspannungen im Feldbereich der Längsrippen (siehe Tab. 44)
$\sigma_{xoStütz}, \sigma_{xuStütz}$	Obere und untere Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen (siehe Tab. 44)
τ_1	Schubspannung im Bereich der 1. Längsrippe (siehe Tab. 61)
τ_a	Schubspannungen im Auflagerbereich der QT (siehe Tab. 59)
τ_{Zahn}	Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (siehe Tab. 64)
$\Delta M_{1y}, \Delta M_y$	Momentendifferenz der Querträger an der Stelle 1 / im Feldbereich für den Ermüdungsnachweis (siehe Tab. 39)
$\Delta M_{y,0.2L}$	Momentendifferenz im Bereich 0,2L der Längsrippen für den Ermüdungsnachweis FLS (siehe Tab. 22)
$\Delta M_{y.Stütz}, \Delta M_{y.Feld}$	Momentendifferenz im Stütz- und Feldbereich der Längsrippen für den Ermüdungsnachweis FLS (siehe Tab. 22)
Δm_y	Momentendifferenz des Deckbleches für den Ermüdungsnachweis FLS (siehe Abb. 38 und Tab. 19)
ΔM_v	Differenz des Versatzmomentes im 1. Zahn der Querträger für den Ermüdungsnachweis (siehe Abb. 93)
$\Delta P_1, \Delta P_2$	Lokale Lasteinleitungsdifferenzen im 1. Zahn der Querträger für den Ermüdungsnachweis FLS (siehe Abb. 93)
$\Delta \sigma_{1c}, \Delta \sigma_{2c}$	Ermüdungswirksame Druckspannungen infolge lokaler Lasteinleitungen im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 94)
$\Delta \sigma_b$	Ermüdungswirksame Biegenormalspannungen im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 94)
ΔT	Schubkraftdifferenz im 1. Zahn der Querträger für den Ermüdungsnachweis FLS (siehe Abb. 93)
$\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3$	Teilschubkraftdifferenzen pro Längeneinheit im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 93 und Abb. 94)
$\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3$	Teilschubkraftdifferenzen im 1. Zahn der Querträger (siehe Abb. 93 und Abb. 94)
ΔV_{1z}	Querkraftdifferenz im Bereich der ersten Längsrippe für den Ermüdungsnachweis FLS
ΔV_z	Querkraftdifferenz im Auflagerbereich der Querträger für den Ermüdungsnachweis FLS
ΔG_s	char. Last der vorgespannten Betonschwellen inkl. Schienenbefestigung (siehe Tab. 04 und Tab. 05)
$\Delta \sigma_{Ei}, \Delta \tau_{Ei}$	schadenäquivalente konstante Spannungsschwingbreite bezogen auf 2×10^6 Schwingspiele, für die jeweilige Ebene i (siehe Kap.2.5.1.3)

$\Delta\sigma_{pi}$, $\Delta\tau_{pi}$	Bezugswert der Spannungsschwingbreite für die Ebene i (siehe Kap.2.5.1.3)
$\Delta\sigma_{ci}$, $\Delta\tau_{ci}$	Bezugswert für die Ermüdungsfestigkeit bei 2×10^6 Schwingspielen für die jeweilige Ebene i (siehe Kap.2.5.1.3)

Abkürzungen

DB	Abkürzung für Deckblech
DT	Abkürzung für Durchlaufträgerberechnung
HT	Abkürzung für Hauptträger
LR	Abkürzung für Längsrippen
TR	Abkürzung für Trägerrostberechnung
QT	Abkürzung für Querträger

Die inhaltliche Verantwortlichkeit wurde zwischen den Autoren wie folgt aufgeteilt:

- Fegerl Markus Kap.2, Kap.3, Kap.5 und Kap.6
- Kainz Martina Kap.1, Kap.2, Kap.4, Kap.6 und Kap.7

1. Einleitung

Die Abb. 01 zeigt eine Übersicht des verwendeten Brückenquerschnittes. Es handelt sich um eine einfeldrige, eingleisige Eisenbahnbrücke mit orthotroper Fahrbahnplatte. Das globale Tragsystem ist ein Einfeldträger und die lokale Tragwirkung wird von der orthotropen Platte bestimmt, welche in dieser Arbeit näher untersucht wird.

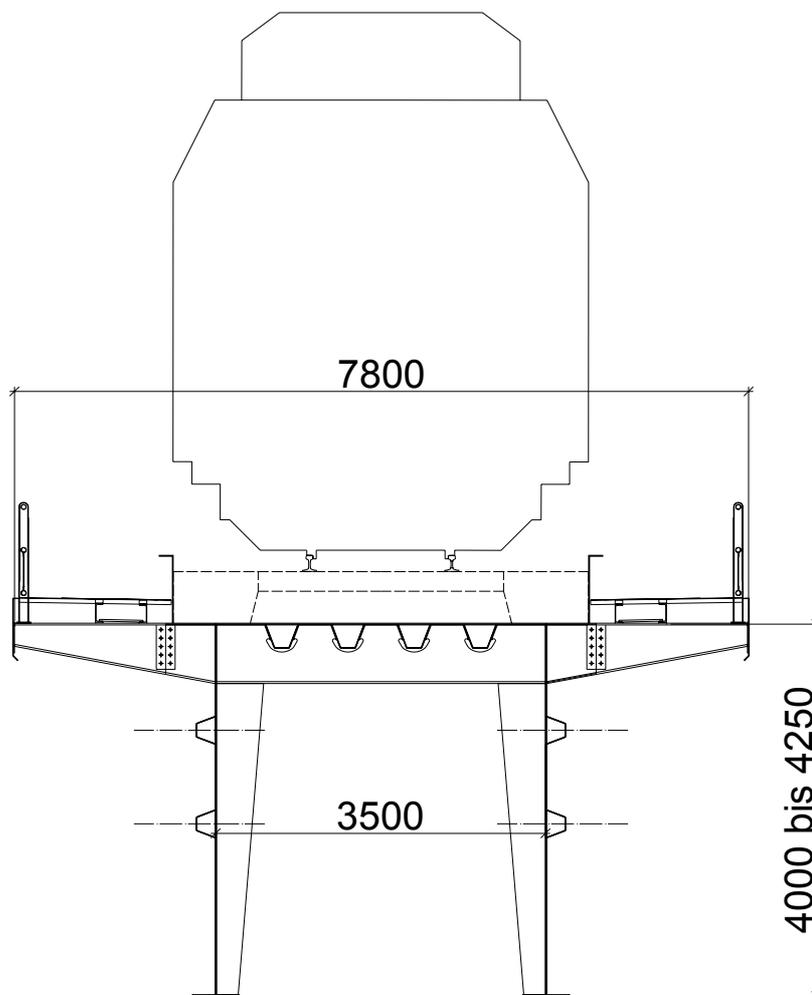


Abb. 01 Querschnitt einer eingleisigen Eisenbahnbrücke

1.1 Aufgabenstellung

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit besteht darin, eine Stahlbrücke mit orthotroper Fahrbahnplatte durchzurechnen. Die für die Aufgabenstellung gewählte Brücke ist eine eingleisige Einfeldträgerbrücke (siehe Abb. 01). Es werden die drei Bauteile – das Deckblech, die Längsrippen und die Querträger – modelliert und nachgewiesen. Für diese Bauteile werden mögliche statische Modelle untersucht. Zusätzlich wird der Querträgerabstand variiert, und für das Lastmodell LM 71 werden drei verschiedene Lastbilder – LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2} – untersucht.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, die drei Bauteile der orthotropen Platte – das Deckblech, die Längsrippen und den Querträger – zu untersuchen und die Ergebnisse miteinander zu vergleichen. Dabei werden die verschiedenen Ergebnisse aus den unterschiedlichen Lastbildern des Lastmodells 71 (LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2}) und den unterschiedlichen Querträgerabständen untersucht.

Das Hauptaugenmerk liegt beim Vergleich der beiden Berechnungsmodelle, der Durchlaufträger- und der Trägerrostberechnung, für die Längsrippen. Ermittelt wird der prozentuelle Größenunterschied zwischen den beiden Berechnungsmethoden. Die Ergebnisse werden miteinander verglichen und beurteilt.

2. Einwirkungen auf Eisenbahnbrücken

Die Autoren Dipl.-Ing. Markus Riel und Dipl.-Ing. Andreas Wiesinger verfassten die Diplomarbeit „Vereinfachte Last- und Tragmodelle für Eisenbahnbrücken auf der Grundlage aktueller Eurocodes“ [16]. Ihre Diplomarbeit stellt Grundlage für weiterführende Untersuchungen in dieser Arbeit dar. Mit Erlaubnis der Autoren werden Teile dieses Kapitels aus deren Diplomarbeit übernommen.

2.1 Übersicht über die Einwirkungen

Dieses Kapitel zeigt eine Übersicht der verwendeten, derzeit aktuellen Normen, welche die Einwirkungen auf Eisenbahnbrücken betreffen. Die ÖNORM EN 1990 [1] unterscheidet hinsichtlich zeitlicher Veränderungen der Einwirkungen wie folgt:

- ständige Einwirkungen (G)
- veränderliche Einwirkungen (Q)
- außergewöhnliche Einwirkungen (A)

Diese Einteilung wird auch in den weiteren Ausführungen verwendet. In Tab. 01 sind alle verwendeten Einwirkungen mit den entsprechenden Normenverweisen angeführt.

Einwirkung	Normen & Verweise
Ständige Einwirkungen	ÖNORM EN 1991-1-1 [4] ÖNORM B 1991-1-1 [5]
Veränderliche Einwirkungen aus dem Zugverkehr	ÖNORM EN 1991-2 [6] ÖNORM B 1991-2 [7] ÖNORM EN 1990 A1 [2] ÖNORM B 1990-2 [3]

Tab. 01 Ständige und veränderliche Einwirkungen

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem Tragfähigkeitsnachweis und dem Ermüdungsnachweis. Beim Tragfähigkeitsnachweis werden die Einwirkungen Eigengewicht (G₁), Ausbaulast (G₂) und Verkehrslastfall (LM 71) berücksichtigt. Die Einwirkungen aus Wind und Temperatur bleiben in dieser Arbeit unberücksichtigt, da der Ermüdungsnachweis den maßgebenden Nachweis darstellt. Beim Ermüdungsnachweis haben klimatische Einwirkungen und außergewöhnliche Einwirkungen keine Bedeutung, da allein der Verkehrslastfall eingeht.

Die ständigen und veränderlichen Einwirkungen, die für diese Diplomarbeit benötigt und verwendet werden, werden in den nachfolgenden Unterkapiteln näher beschrieben.

2.2 Ständige Einwirkungen

Die ständigen Einwirkungen können der ÖNORM EN 1991-1-1 [4] und der ÖNORM B 1991-1-1 [5] entnommen werden. Es ist im Rahmen dieser Diplomarbeit erforderlich, folgende Unterteilung zu treffen:

- Tragwerkseigengewicht (G₁)
- Ausbaulast (G₂)

Diese beiden Unterbegriffe G_1 und G_2 der ständigen Einwirkungen werden nachfolgend näher beschrieben.

Die in Abb. 02 dargestellten Querschnitte sind Grundlage der folgenden Lastaufstellungen. Die Querschnitte sind aus Symmetriegründen jeweils nur zur Hälfte dargestellt.

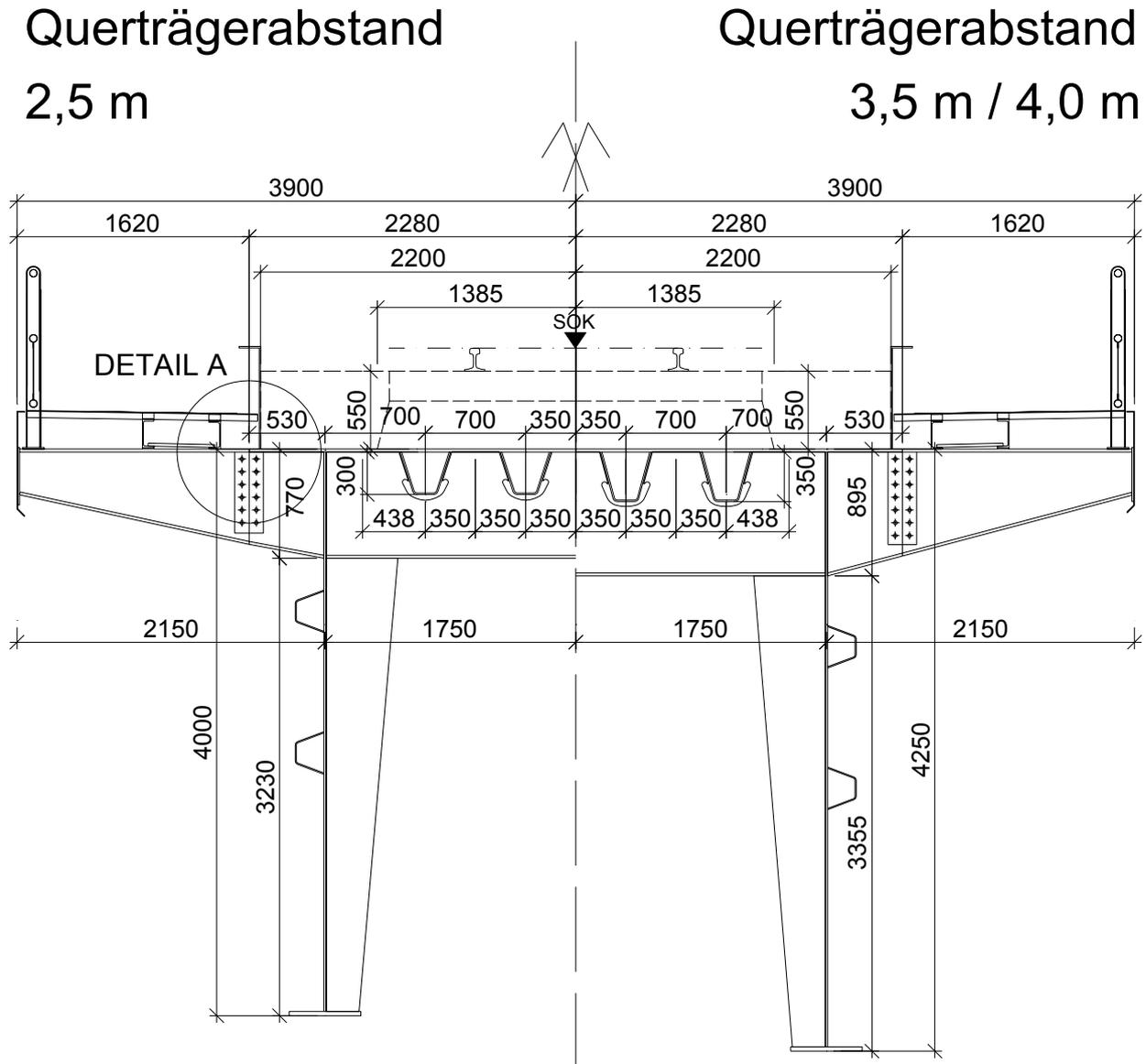


Abb. 02 Brückenquerschnitte bei 2,5 m / 3,5 m / 4,0 m Querträgerabstand

In Abb. 02 sind zwei verschiedene Querschnitte dargestellt, jener für 2,5 m und für 3,5 m Querträgerabstand. Für 4,0 m Querträgerabstand wird kein neuer Querschnitt konstruiert, sondern die Abmessungen des Querschnittes bei 3,5 m Querträgerabstand übernommen.

Detail A

laut ÖBB Regeldetail

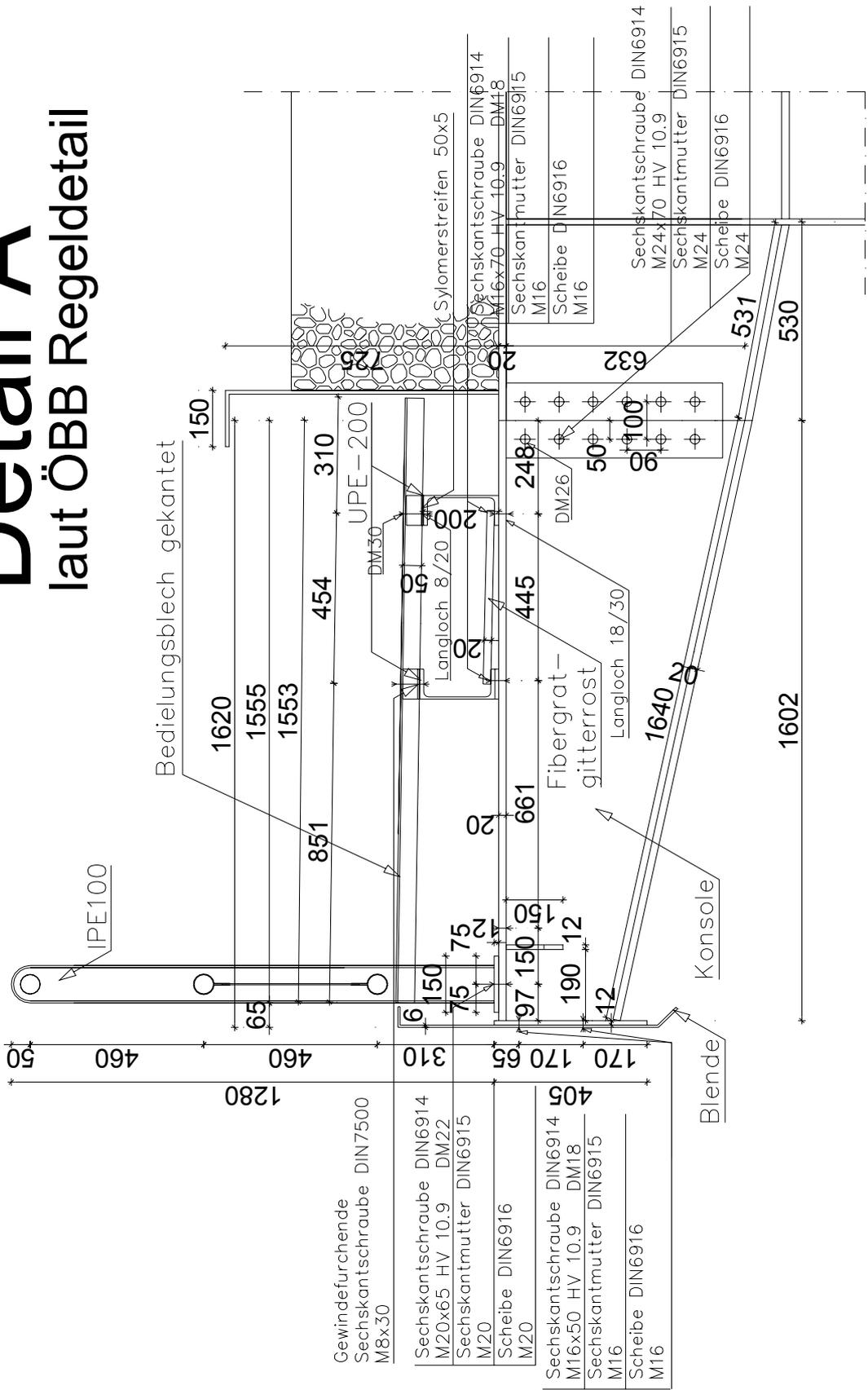


Abb. 03 Detail A laut ÖBB Regeldetailplanung [18]

In Tab. 02 sind die verwendeten Querschnittsabmessungen der Brückenquerschnitte aufgelistet.

Querschnittsabmessungen		
Stützweite der Brücke	$L =$	70m
Abstand der Hauptträger	$e_{HT} =$	3,5m
Abstand der Querträger	$e_{QT} =$	2,5m / 3,5m / 4,0m
Achsabstand der Längsrippen	$e_{LR} =$	700 mm
Randabstand der Längsrippen	$e_E =$	700 mm
Querträgerhöhe (ohne Deckblech)	$h_{QT} =$	750 mm / 875 mm
Längsrippenhöhe (ohne Deckblech)	$h_{LR} =$	300 mm / 350 mm
Blechdicke des Deckbleches	$t_{DB} =$	20 mm
Stegblechdicke der Trapezhohlsteifen	$t_{LR} =$	10 mm
Stegblechdicke der Querträger	$t_W =$	22 mm / 25 mm
Untergurtblechdicke der Querträger	$t_f =$	20 mm
Schotterbettbreite	$b_{Schotter} =$	4400 mm
Randbalkenbreite	$b_{Rand} =$	1620 mm
Gesamtquerschnittsbreite	$b_{Gesamt} =$	7800 mm
Schotterbetthöhe	$h_{Schotter} =$	550 mm

Tab. 02 Zusammenfassung der Abmessungen der Brückenquerschnitte

2.2.1 Tragwerkseigengewicht (G_1)

Im folgenden Unterkapitel werden die Stahleigengewichte der jeweiligen Brückenbauteile angegeben.

Für die Berechnung des Eigengewichtes der Längsrippen wird das Deckblech als Teil dieses Eigengewichtes berücksichtigt. Aus diesem Grund wird für die Berechnung des Querträgereigengewichtes das Deckblech nicht mehr berücksichtigt.

2.2.1.1 Eigengewicht des Deckbleches

In Tab. 03 ist die charakteristische Eigengewichtslast des Deckbleches angegeben. Diese Last ($G_{1,DB}$) wird für die Berechnung des Deckbleches verwendet. Ansonsten wird, wie bereits oben erwähnt, das Eigengewicht des Deckbleches als Teil des Eigengewichtes der Längsrippen berücksichtigt.

Eigengewicht des Deckbleches				
Last	Bemerkung		charakteristische Last vertikal	
Deckblech	Wichte:	$\gamma_{\text{Stahl}} = 78,5 \text{ kN/m}^3$	$G_{1,DB} =$	1,6 kN/m ²
	Dicke:	$t_{DB} = 20 \text{ mm}$		

Tab. 03 Lastaufstellung $G_{1,DB}$

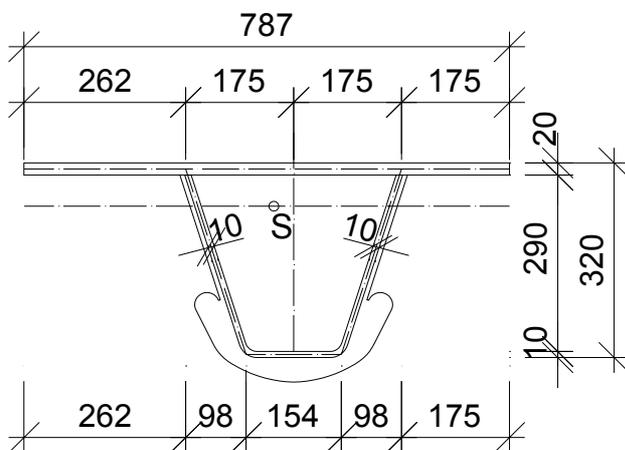
2.2.1.2 Eigengewicht der Längsrippen

Die Eigengewichte der einzelnen Längsrippen werden mit dem Programm SOFISTIK berechnet und mit dem Programm DUENQ kontrolliert.

2.2.1.2.a Eigengewicht der Längsrippen bei 2,5 m Querträgerabstand

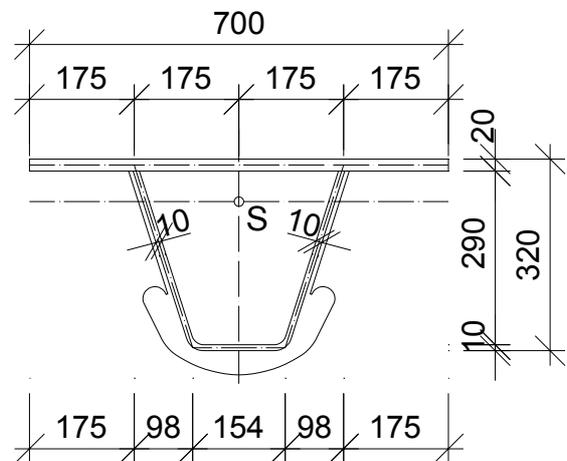
In Abb. 04 sind die charakteristischen Eigengewichtslasten der Längsrippen für 2,5 m Querträgerabstand angegeben. Die Abbildungen zeigen die Gesamtquerschnitte der einzelnen Längsrippen. Der zugehörige Brückenquerschnitt ist in Abb. 02 dargestellt.

Längsrippen 1&4



$G_{1,LR1} = 1,86 \text{ kN/m}$

Längsrippen 2&3



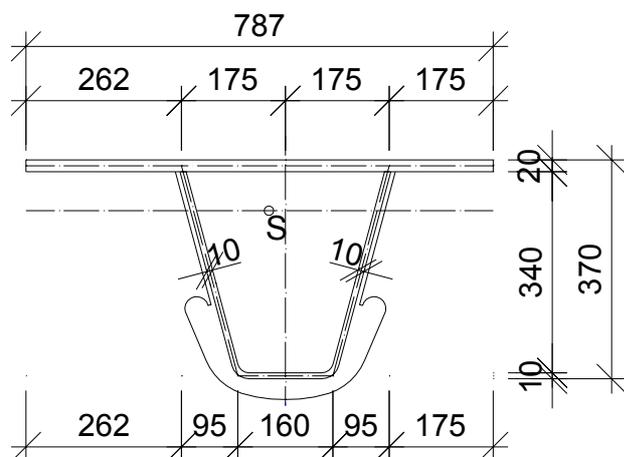
$G_{1,LR2} = 1,72 \text{ kN/m}$

Abb. 04 Eigengewichte ($G_{1,LR}$) und Abmessungen der Längsrippen bei $e_{QT} = 2,5 \text{ m}$

2.2.1.2.b Eigengewicht der Längsrippen bei 3,5 m Querträgerabstand

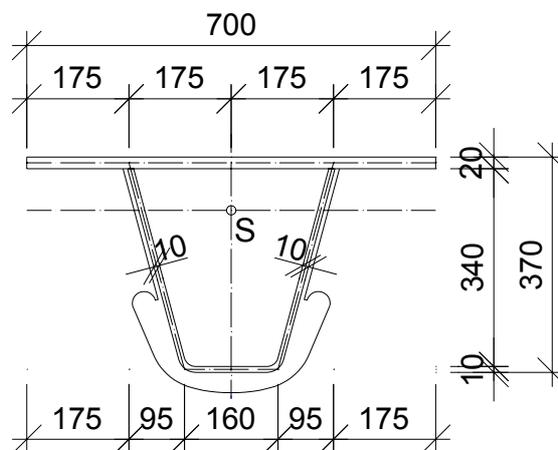
In Abb. 05 sind die charakteristischen Eigengewichtslasten der Längsrippen bei 3,5 m Querträgerabstand angegeben. Die Abbildungen zeigen die Gesamtquerschnitte der einzelnen Längsrippen. Der zugehörige Brückenquerschnitt ist in Abb. 02 dargestellt.

Längsrippen 1&4



$$G_{1,LR1} = 1,94 \text{ kN/m}$$

Längsrippen 2&3



$$G_{1,LR2} = 1,80 \text{ kN/m}$$

Abb. 05 Eigengewichte ($G_{1,LR}$) und Abmessungen der Längsrippen bei $e_{QT} = 3,5 \text{ m}$

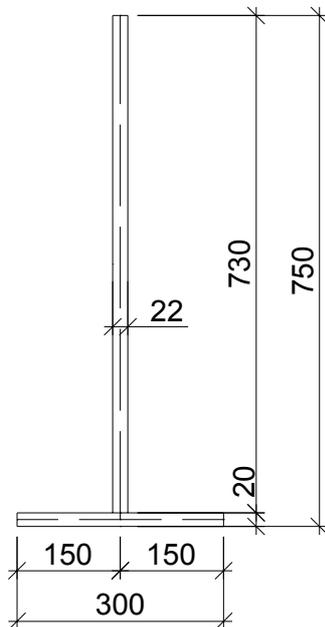
2.2.1.3 Eigengewicht der Querträger

Das Eigengewicht der Querträger wird mit dem Programm SOFISTIK berechnet und mit dem Programm DUENQ kontrolliert.

In Abb. 06 sind die charakteristischen Eigengewichtslasten der Querträger ohne Deckblech angegeben. Diese Eigengewichte werden für die Bemessung der Längsrippen und der Querträger benötigt. Das Eigengewicht des Deckbleches wird als Teil des Eigengewichtes der Längsrippen berücksichtigt. Die Ermittlung der Querschnittswerte der Querträger erfolgt unter Berücksichtigung der mittragenden Breiten des Deckbleches.

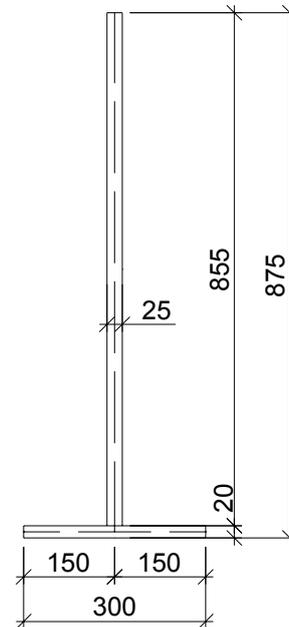
Die Abmessungen der Querträger ohne Deckblech sind in Abb. 06 dargestellt. Der zugehörige Brückenquerschnitt ist in Abb. 02 gezeigt.

2,5 m Querträgerabstand



$$G_{1.QT} = 1,77 \text{ kN/m}$$

3,5 m Querträgerabstand



$$G_{1.QT} = 2,19 \text{ kN/m}$$

Abb. 06 Eigengewichte ($G_{1.QT}$) und Abmessungen der Querträger (ohne Deckblech)

2.2.2 Ausbaulast (G₂)

Die Lastausbreitung der Ausbaulast ist für das Deckblech und für die Längsrippen verschieden. Aus diesem Grund müssen diese Lastaufstellungen zweimal durchgeführt werden. Für das Deckblech sind Flächenlasten erforderlich und für die Längsrippen werden Linienlasten benötigt.

Die nachfolgenden Kapiteln 2.2.2.1 und 2.2.2.2 enthalten diese Lastaufstellungen.

2.2.2.1 Ausbaulast für das Deckblech

In der Tab. 04 sind die charakteristischen Ausbaulasten des Deckbleches angegeben. Da für das Deckblech Flächenlasten benötigt werden, wird in Tab. 04 die entsprechende Lastaufstellung durchgeführt.

Ausbaulast für das Deckblech				
Last	Bemerkung		charakteristische Last vertikal	
Schotterbett	Wichte :	$\gamma_{\text{Schotter}} = 20 \text{ kN/m}^3$	$G_s =$	11,0 kN/m ²
	Höhe:	$h_{\text{Nenn}} = 0,55 \text{ m}$		
Vorgespannte Betonschwellen inkl. Schienenbefestigung	Wichte:	$\gamma_{\text{Schwelle}} = 25 \text{ kN/m}^3$	$\Delta G_s =$	1,05 kN/m ²
	l/h/b:	260/21/26 cm		
Schienen	2 Stk. UIC 60	1,2kN/m : 2,77m	$G_{\text{gl}} =$	0,43 kN/m ²
			$\Sigma G_{2,DB} =$	12,5 kN/m²

Tab. 04 Lastaufstellung $G_{2,DB}$

2.2.2.2 Ausbaulast für die Längsrippen

In Tab. 05 sind die charakteristischen Ausbaulasten für die Längsrippen angegeben. Die Breite des Schotterbettes ist in RVE 06.00.01 [14] unabhängig von der Brückenart mit 4,40 m angegeben. Der Abstand der Gleisachse bis zur Schotterbetteinfassung beträgt 2,20 m.

In dieser Arbeit werden gerade Brücken ($R = \infty$) behandelt, das heißt, die Schotterbetthöhe in Brückenquerrichtung ist konstant. Für die Wichte sind laut ÖNORM EN 1991-1-1 [4] und ÖNORM B 1991-2 [7] 20 kN/m³ anzusetzen.

Das Eigengewicht von zwei Schienen ist in der ÖNORM EN 1991-1-1 [4] mit 1,2 kN/m angegeben.

Ausbaulast für die Längsrippen				
Last	Bemerkung		Charakteristische Vertikallast	
Schotterbett	Wichte :	$\gamma_{\text{Schotter}} = 20 \text{ kN/m}^3$	$G_s =$	48,4 kN/m
	Breite :	$b_{\text{Schotter}} = 4,40 \text{ m}$		
	Höhe:	$h_{\text{Nenn}} = 0,55 \text{ m}$		
Vorgespannte Betonschwellen inkl. Schienenbefestigung	Wichte:	$\gamma_{\text{Schwelle}} = 25 \text{ kN/m}^3$	$\Delta G_s =$	1,0 kN/m
	l/h/b:	260/21/26 cm		
Schienen	2 Stk. UIC 60		$G_{gl} =$	1,2 kN/m
			$\Sigma G_{2.LR} =$	50,6 kN/m

Tab. 05 Lastaufstellung $G_{2.LR}$

Das Schwelleneigengewicht wird als verschmierte Gleichlast von 4,8 kN/m laut ÖNORM EN 1991-1-1 [4] über die Brückenlänge angesetzt. An der Stelle der Betonschwelle kommt es zu einer Gewichtsreduktion des Schotterbettes. Dieser Umstand wird berücksichtigt, indem ein Teil der Schwelle mit dem Eigengewicht des Schotterbettes berechnet und der Rest ΔG_s als Gleichlast angesetzt wird:

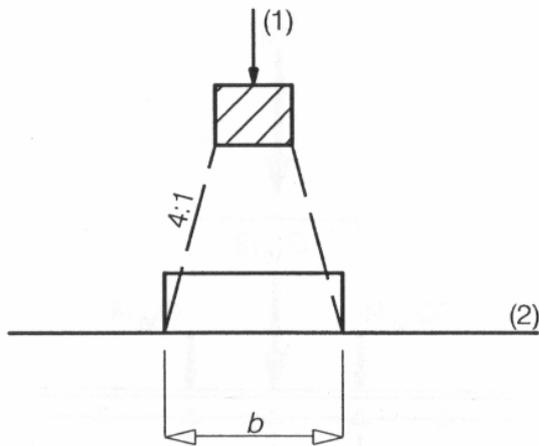
$$\Delta G_s = G \cdot \frac{\gamma_{\text{Schwelle}} - \gamma_{\text{Schotter}}}{\gamma_{\text{Schwelle}}} = 4,8 \cdot \frac{(25 - 20)}{25} = 0,96 \text{ kN/m} \sim 1 \text{ kN/m}$$

2.2.3 Lastverteilung durch Schienen, Schwellen und Schotterbett

2.2.3.1 Lastverteilung in Längsrichtung

Für die Berechnung ist die Lastverteilung in Längsrichtung nach Abb. 07 zu berücksichtigen. In der ÖNORM EN 1991-2 [6] gilt die Oberkante der Fahrbahnplatte als Bezugsebene. Dieses Bezugsniveau wird in dieser Diplomarbeit beibehalten.

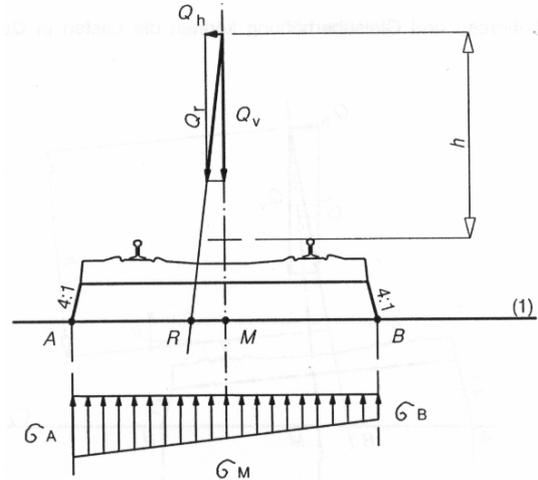
Längsverteilung



Legende:

- (1) Last auf Schwelle
- (2) Bezugsebene

Querverteilung



Legende:

- (1) Bezugsebene

Abb. 07 Längs- und Querverteilung der Lasten durch Schienen, Schwellen und Schotterbett

Schwelle	Abmessungen [cm]
Schwellenachsabstand	60
Schwellenbreite	26
Schwellenhöhe	21
Schwellenlänge	260

Tab. 06 Abmessungen der Schwellen nach ÖNORM B 1991-2 [7]

2.2.3.2 Lastverteilung in Querrichtung

Bei Brücken mit Schotterbett und ohne Gleisüberhöhung können die Lasten in Querrichtung entsprechend Abb. 07 verteilt werden.

Für die weitere Berechnung wird die Belastung aus der Ausbaulast ($G_{2,LR}$) nach dem Hebelsgesetz (Einfeldträgerkette) querverteilt (siehe Abb. 08).

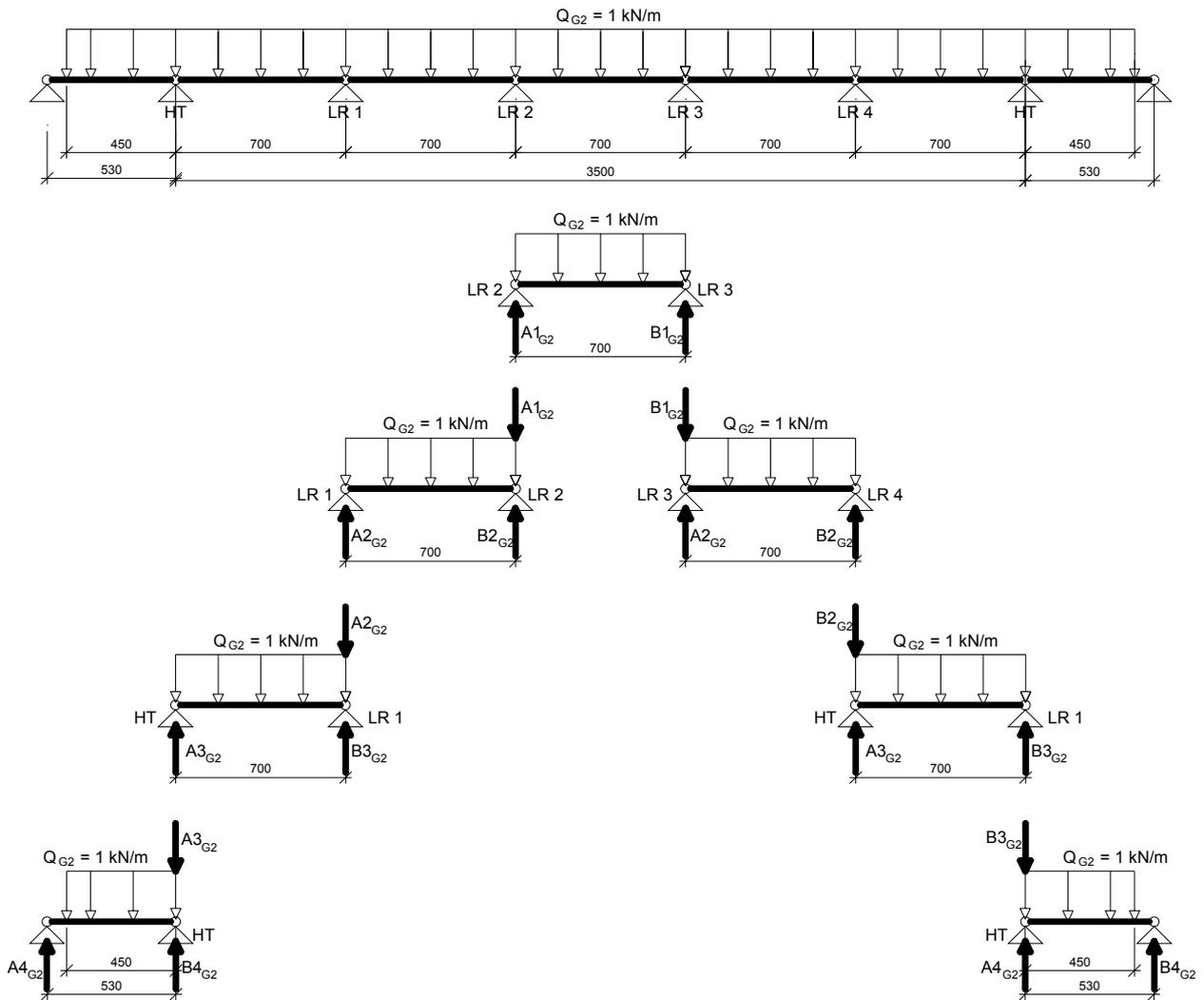


Abb. 08 Hebelgesetz zur Querverteilung der Ausbaulast $G_{2.LR}$

Nach Kalibrierung der erhaltenen Ergebnisse zu 1,0 kN, ergeben sich folgende Querverteilungsfaktoren (siehe Tab. 07):

Bauteil	Faktor
	0,0434
HT	0,1384
LR1	0,1591
LR2	0,1591
LR3	0,1591
LR4	0,1591
HT	0,1384
	0,0434
SUMME	1,0000

Tab. 07 Querverteilungsfaktoren für die Ausbaulast $G_{2.LR}$

2.3 Veränderliche Einwirkungen

Die veränderlichen Einwirkungen aus dem Zugverkehr sind der ÖNORM EN 1991-2 [6] und der ÖNORM B 1991-2 [7] zu entnehmen. Die dort angegebenen Lasten stellen keine tatsächlichen Lasten dar, sondern diese wurden so gewählt, dass sie die Einwirkungen des Zugverkehrs möglichst wirklichkeitsgetreu wiedergeben. Es wird zwischen Vertikal- und Horizontallasten unterschieden, die jeweils durch Lastmodelle definiert werden. Zu den Horizontallasten zählen Fliehkräfte, Kräfte aus Seitenstoß und Einwirkungen aus Anfahren und Bremsen. Diese horizontalen Einwirkungen werden in der vorliegenden Berechnung nicht berücksichtigt.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird das Lastmodell LM 71 untersucht. Dessen Einzellastbereich wird auf drei verschiedenen Arten modelliert. Die daraus resultierenden Lastbilder – LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2} – werden im Folgenden näher erläutert.

2.3.1 Lastmodell LM 71

Das Lastmodell LM 71 stellt den statischen Anteil der Einwirkungen aus dem Regelverkehr dar und wirkt als Vertikallast auf das Gleis. Die Lastanordnung der charakteristischen Vertikallasten ist in der Abb. 09 dargestellt.

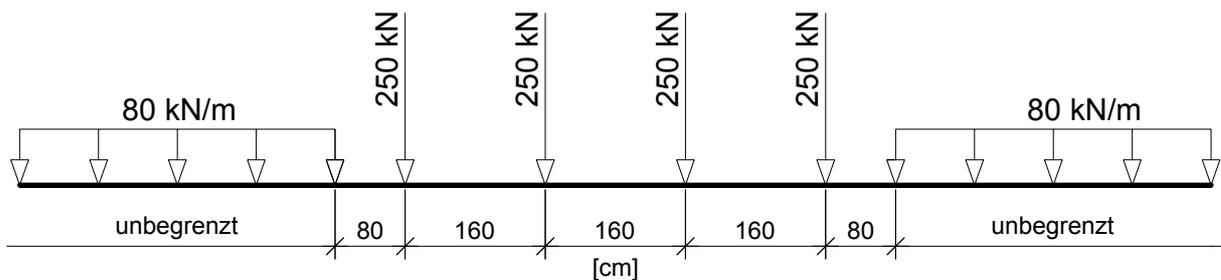


Abb. 09 Lastmodell LM 71

Aus dem Lastmodell LM 71 werden die beiden Lastbilder LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2} abgeleitet. Diese neuen Lastbilder werden nachfolgend gezeigt.

2.3.2 Lastbild LM 71_{aufg1}

Das Lastbild LM 71_{aufg1} ergibt sich durch die gleichmäßige Verteilung der vier Einzelasten des Lastmodelles LM 71 auf eine Länge von 6,4 m (siehe Abb. 10). Damit ergibt sich eine resultierende Gleichlast von:

$$\frac{1000\text{kN}}{6.4\text{m}} = 156 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

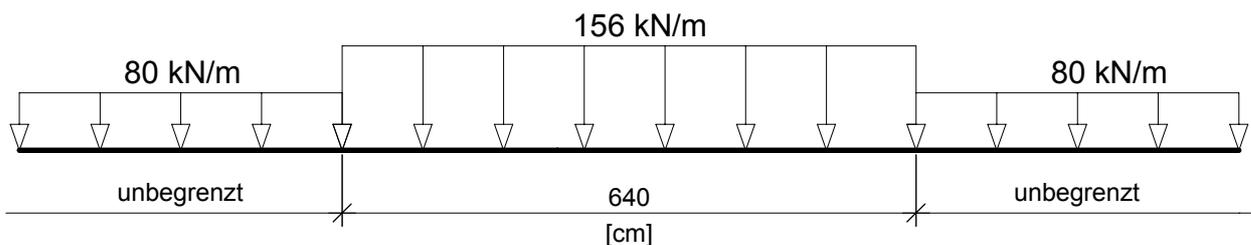


Abb. 10 Lastbild LM 71_{aufg1}

2.3.3 Lastbild LM 71_{aufg2}

Eine genauere Aufteilung des Lastmodells LM 71 stellt das Lastbild LM 71_{aufg2} dar. Dabei werden die Lasten über die Schienen, Schwellen und das Schotterbett nach Kap.2.3.4 längsverteilt.

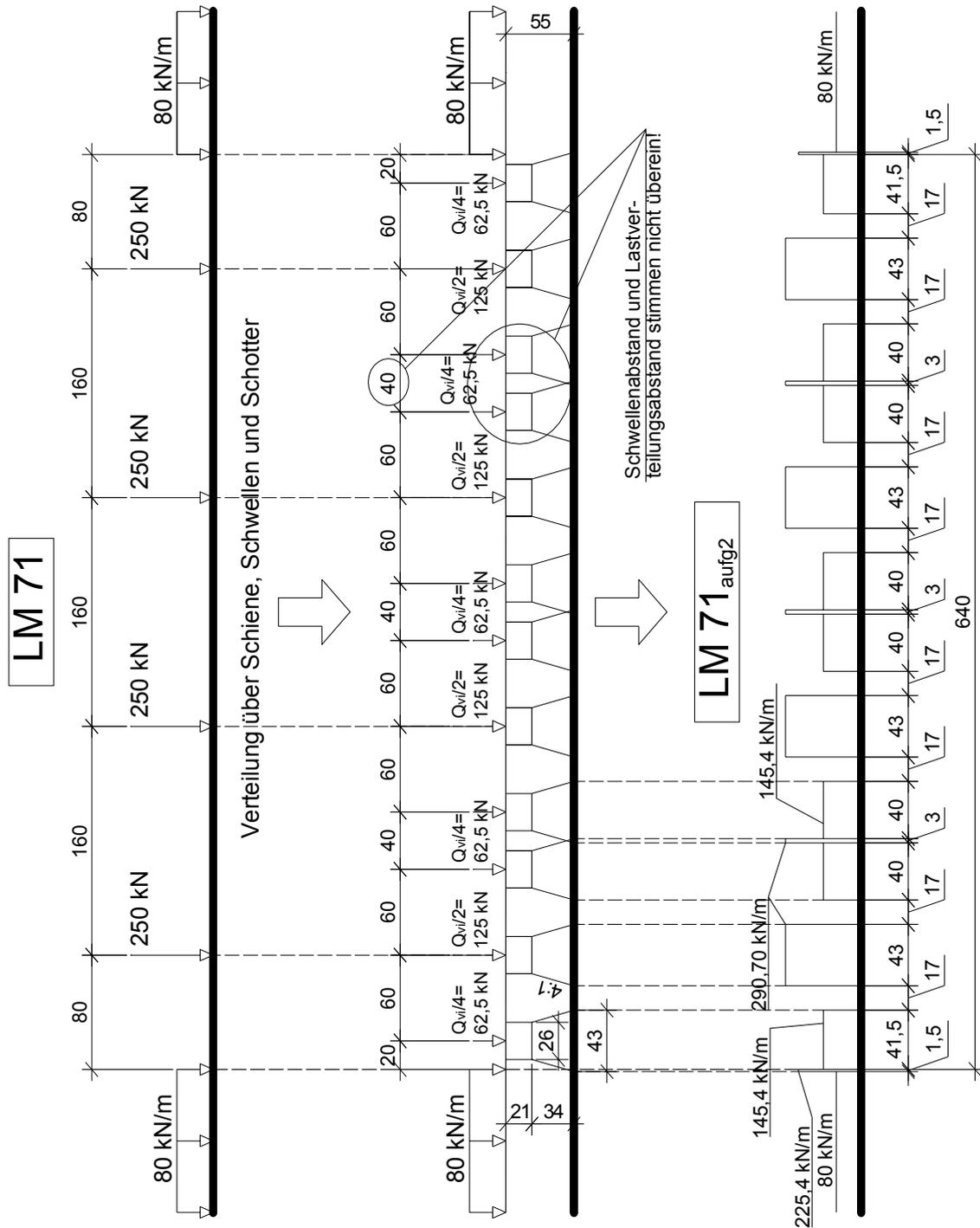


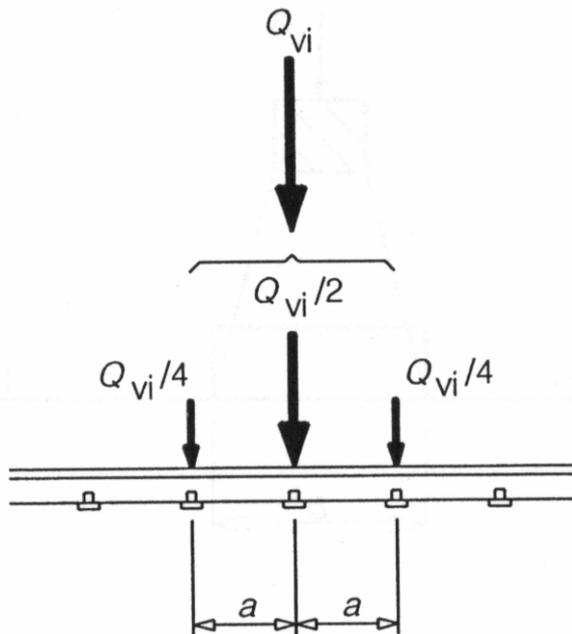
Abb. 11 Ermittlung des Lastbildes LM 71_{aufg2}

2.3.4 Lastverteilung durch Schienen, Schwellen und Schotterbett

2.3.4.1 Lastverteilung in Längsrichtung

2.3.4.1.a Für eine Einzellast:

Eine Einzellast darf über drei Schienenstützpunkte nach Abb. 12 verteilt werden. Diese Aufteilung ist Grundlage der Abb. 11.



Legende:

- Q_{vi} Einzellast auf jeder Schiene nach LM 71
- a Abstand der Schienenstützpunkte (60 cm laut ÖNORM B 1991-2 [7])

Abb. 12 Längsverteilung einer Einzel- oder Radlast durch die Schiene

Da die Einzellast aus dem Verkehrslastmodell LM 71 nicht immer exakt über einer Schwelle steht, und der Schwellenraster von 60 cm nicht mit dem Lastabstand des Lastmodells LM 71 (160 cm) zusammenfällt, sind die Verhältnisse der Abb. 12 nicht immer gegeben. Sie gelten vielmehr nur dann, wenn die Radlast exakt über der Schiene steht. Nach ausführlichen Überlegungen wird jedoch das Modell nach Abb. 12 für die weitere Berechnung verwendet.

2.3.4.1.b Für eine Linienlast:

Die Schwellenlasten der Verkehrslastbilder – LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2} – werden gemäß Abb. 07 längsverteilt.

2.3.4.2 Lastverteilung in Querrichtung

Grundsätzlich gilt bei der Querverteilung der veränderlichen Einwirkungen auch die in Abb. 07 angegebene Verteilung unter einem Winkel von 4:1 von der Schwelle ausgehend.

Für die weitere Berechnung werden auch für die veränderlichen Einwirkungen Querverteilungsfaktoren ermittelt. Diese werden analog zu den Querverteilungsfaktoren für die ständigen Einwirkungen mittels Hebelsgesetz (Einfeldträgerkette) berechnet (siehe Abb. 13).

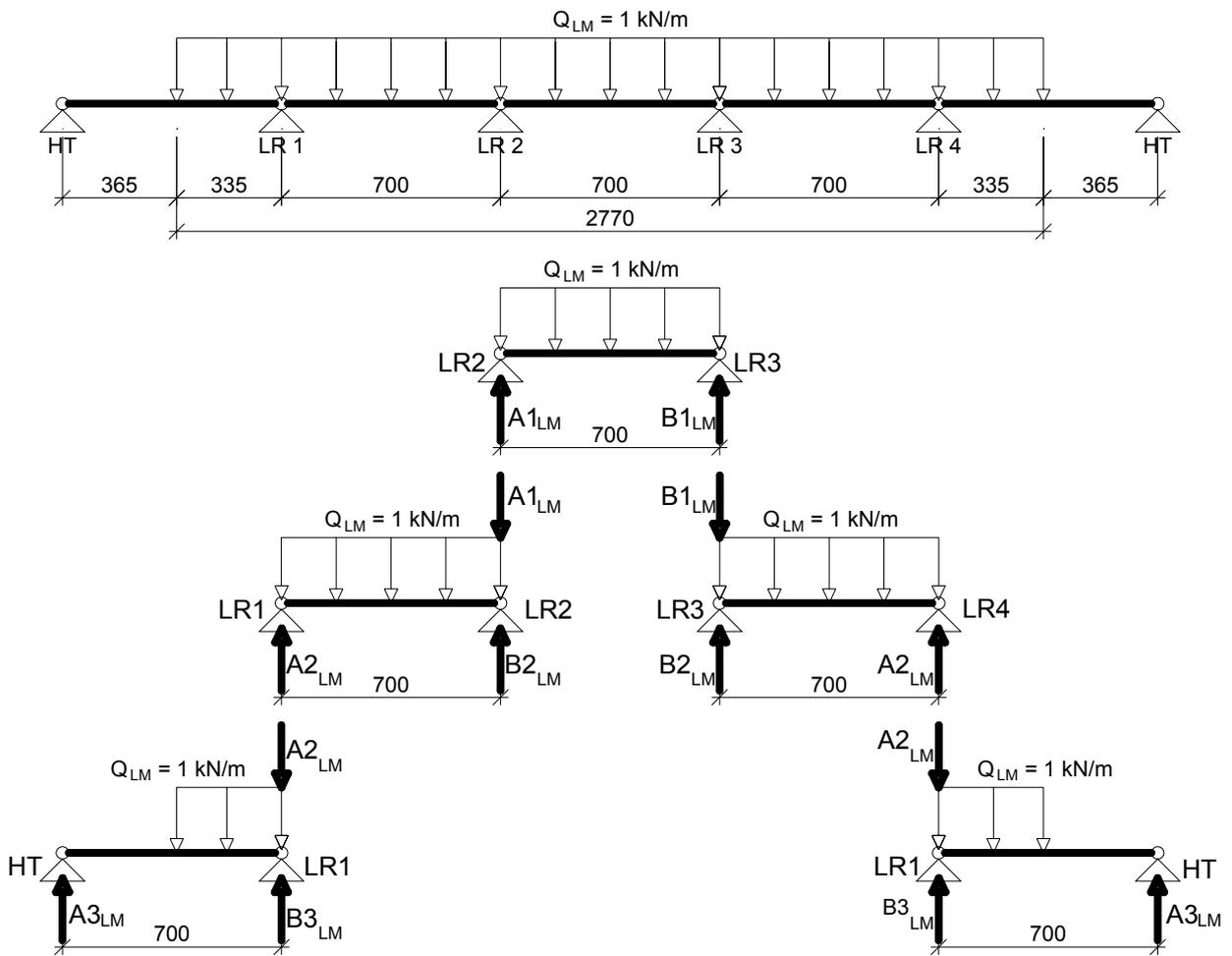


Abb. 13 Hebelgesetz zur Querverteilung der veränderlichen Lasten

Nach der Kalibrierung der erhaltenen Ergebnisse zu 1,0 kN, ergeben sich folgende Querverteilungsfaktoren für die veränderlichen Lasten (siehe Tab. 08):

Bauteil	Faktor
HT	0,0289
LR1	0,2184
LR2	0,2527
LR3	0,2527
LR4	0,2184
HT	0,0289
SUMME	1,0000

Tab. 08 Querverteilungsfaktoren für die veränderlichen Lasten

2.4 Beiwerte und Faktoren

2.4.1 Lastklassenbeiwert α

Auf Strecken mit leichterem oder schwererem Verkehr als dem Regelverkehr sind die Vertikallasten nach Abb. 09 bzw. die daraus abgeleiteten Lastbilder (Abb. 10 und Abb. 11) mit dem Lastklassenbeiwert α zu multiplizieren. Auf Normalspurstrecken der ÖBB ist generell mit $\alpha = 1,21$ zu rechnen. Dieser Wert ist für die Bemessungslasten des Tragfähigkeitsnachweises ULS zu berücksichtigen, jedoch nicht für die Ermüdungslasten.

2.4.2 Dynamischer Beiwert Φ

Der dynamische Beiwert Φ berücksichtigt laut ÖNORM EN 1991-2 [6] unter anderem die Vergrößerung von Beanspruchungen im Tragwerk.

In ÖNORM EN 1991-2 [6] sind Entscheidungskriterien angegeben ob eine dynamische Berechnung durchgeführt werden muss oder nicht. In dieser Diplomarbeit wird davon ausgegangen, dass keine gesonderte dynamische Berechnung erforderlich ist. In diesem Fall ist eine statische Berechnung mit den Lastbildern LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2} durchzuführen, wobei die Ergebnisse mit dem dynamischen Beiwert Φ (und mit dem Lastklassenbeiwert α) multipliziert werden müssen (siehe Kap.5).

Der Faktor ist gemäß der Instandhaltungsqualität des Gleises wie folgt für sorgfältig instand gehaltene Gleise (Regelfall der ÖBB) anzusetzen:

$$\Phi_2 = \frac{1.44}{\sqrt{L_\Phi - 0.2}} + 0.82 \quad \text{mit: } 1,0 \leq \Phi_2 \leq 1,67 \quad (1)$$

L_Φ Maßgebende Länge in [m] zur Berechnung von Φ_2

2.4.2.1 Dynamischer Beiwert für das Deckblech und die Längsrippen

Exemplarisch wird die Berechnung des dynamischen Beiwertes für 3,5 m Querträgerabstand durchgeführt.

Der dynamische Beiwert errechnet sich zu:

$$e_{QT} = 3.5 \text{ m} \quad \text{Abstand der Querträger}$$

$$L_{\Phi LR} = 3 \cdot e_{QT} \quad \text{3-facher Abstand der Querträger}$$

$$\Phi_{2LR} = \frac{1.44}{\sqrt{L_{\Phi LR} - 0.2}} + 0.82 \quad \Phi_{2LR} = 1.294$$

Für die unterschiedlichen Querträgerabstände ergeben sich die in der Tab. 09 angeführten dynamischen Beiwerte.

Abstand der Querträger	Dynamischer Beiwert $\Phi_{2LR} = \Phi_{2DB}$
2,5 m	1,387
3,5 m	1,294
4,0 m	1,261

Tab. 09 Dynamische Beiwerte für das Deckblech und die Längsrippen

2.4.2.2 Dynamischer Beiwert für die Querträger

Der dynamische Beiwert errechnet sich für die Querträger folgendermaßen:

$$e_{HT} = 3.5 \text{ m} \quad \text{Abstand der Hauptträger}$$

$$L_{\Phi QT} = 2 \cdot e_{HT} \quad \text{2-fache Stützweite der Querträger}$$

$$\Phi_{2QT} = \frac{1.44}{\sqrt{L_{\Phi QT} - 0.2}} + 0.82 \quad \Phi_{2QT} = 1.409$$

Für einen Hauptträgerabstand von 3,5 m ergibt sich der dynamische Beiwert der Querträger laut Tab. 10.

Abstand der Hauptträger	Dynamischer Beiwert Φ_{2QT}
3,5 m	1,409

Tab. 10 Dynamischer Beiwert der Querträger

2.4.3 Schadenäquivalenzfaktor λ

Der Schadenäquivalenzfaktor λ ist laut der ÖNORM EN 1993-2 [11], für Eisenbahnbrücken bis zu 100 m Spannweite in der Regel aus $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \lambda_4 < \lambda_{max}$ zu ermitteln.

Dabei entspricht λ_1 einem Spannweitenbeiwert, der neben dem Typ der Einflusslinie und der Spannweite, auch den der Schädigungsberechnung zugrunde liegenden Verkehr berücksichtigt. λ_2 ist der Verkehrsstärkebeiwert, dieser berücksichtigt die unterschiedliche Größe des Verkehrsaufkommens. λ_3 ist ein Nutzungsdauerbeiwert, der die unterschiedlichen Annahmen für die Nutzungsdauer berücksichtigt. Der Beiwert λ_4 berücksichtigt die Anzahl der Gleise auf der Brücke. Der letzte Anteil des Schadenäquivalenzfaktors λ_{max} stellt eine obere Begrenzung des λ - Wertes infolge der Dauerfestigkeit dar.

Die Werte ergeben sich laut der ÖNORM EN 1993-2 [11] zu:

$$\lambda_2 = 1,0 \quad \text{für } 25 \cdot 10^6 \text{ t / Gleis}$$

$$\lambda_3 = 1,0 \quad \text{für Nutzungsdauer 100 Jahre}$$

$$\lambda_4 = 1,0 \quad \text{für eingleisige Brücken}$$

Für die weiteren Berechnungen dieser Diplomarbeit bedeutet dies, dass der schadenäquivalente Faktor λ für die Brücke bzw. die Brückenbauteile nur noch von λ_1 abhängig und mit λ_{max} beschränkt ist. λ_1 bzw. λ_{max} werden der ÖNORM EN 1993-2, Tab.9.4 [11] entnommen.

2.4.3.1 Schadenäquivalenzfaktor für das Deckblech

Die ÖNORM EN 1993-2 [11] gibt für den Schadenäquivalenzfaktor des Deckbleches keine Angaben, somit wird mit dem maximalen Wert des Faktors gerechnet. Damit beträgt der Schadenäquivalenzfaktor des Deckbleches $\lambda_{DB} = 1,40$.

2.4.3.2 Schadenäquivalenzfaktor für die Längsrippen

Die Berechnung des Schadenäquivalenzfaktors der Längsrippen wird exemplarisch für 3,5 m Querträgerabstand durchgeführt. Alle weiteren Ergebnisse sind in der Tab. 11 zusammengestellt.

$e_{QT} = 3.5 \text{ m}$ Abstand der Querträger oder Stützweite der Längsrippen

$$L_{LR}^{\text{Stütz}} = \frac{e_{QT} + e_{QT}}{2} \quad L_{LR}^{\text{Stütz}} = 3.5\text{m}$$

Nach der Tab. 9.4 der ÖNORM EN 1993-2 [11] entspricht $\lambda_1 = \lambda_{LR} = 1,31 < \lambda_{\max} = 1,40$.

Für die unterschiedlichen Querträgerabstände ergeben sich folgende Schadenäquivalenzfaktoren (siehe Tab. 11):

Abstand der Querträger	Schadenäquivalenzfaktoren λ_{LR}
2,5m	1,40
3,0m	1,40
3,5m	1,31
4,0m	1,16

Tab. 11 Schadenäquivalenzfaktoren für die Längsrippen

Aus der Tab. 11 erkennt man, dass bei einem größeren Querträgerabstand der Schadenäquivalenzfaktor günstiger wird. Da dieser Faktor eine bedeutende Rolle bei dem Ermüdungsnachweis spielt, welcher den maßgebenden Nachweis darstellt, sieht man, dass Querträgerabstände von 3,0 m und kleiner keine wirtschaftlichen Ergebnisse mehr liefern können. Diese Aussage wird in den nachfolgenden Kapiteln nachgewiesen.

2.4.3.3 Schadenäquivalenzfaktor für die Querträger

Die Berechnung des Schadenäquivalenzfaktors für die Querträger wird exemplarisch für 3,5 m Querträgerabstand gezeigt.

$e_{QT} = 3.5 \text{ m}$ Abstand der Querträger oder Stützweite der Längsrippen

$$L_{QT} = 2.0 \cdot e_{QT} \quad L_{QT} = 7.0 \text{ m}$$

Laut der Tab. 9.4 aus der ÖNORM EN 1993-2 [11] entspricht $\lambda_1 = \lambda_{QT} = 1,02 < \lambda_{\max} = 1,40$.

Die Schadenäquivalenzfaktoren für die verschiedenen Querträgerabstände sind in Tab. 12 angegeben.

Abstand der Querträger	Schadenäquivalenzfaktoren λ_{QT}
2,5m	1,07
3,5m	1,02
4,0m	0,99

Tab. 12 Schadenäquivalenzfaktoren für die Querträger

2.4.4 Teilsicherheitsbeiwerte γ

Die Teilsicherheitsbeiwerte sind der ÖNORM EN 1990 A1 [2], Tab. A.2.4(B) zu entnehmen. Die verwendeten Beiwerte sind bei der Zusammenstellung der jeweiligen Lastkombinationen angeführt (siehe Kap. 2.5).

2.5 Grenzzustände und Lastkombinationen

2.5.1 Grenzzustände der Tragfähigkeit

In dieser Diplomarbeit werden folgende Grenzzustände der Tragfähigkeit untersucht:

- a) **STR**: Versagen oder übermäßige Verformungen des Tragwerks oder seiner Teile einschließlich der Unterbauten. Wobei die Tragfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen entscheidend ist.
- b) **FAT**: Ermüdungsversagen des Tragwerkes oder seiner Teile.

Die Nachweise STR und FAT werden in den nachfolgenden Kapiteln laut Tab. 13 abgekürzt.

Beschreibung	Bezeichnung nach der ÖNORM EN 1990 [1]	Verwendete Bezeichnung
Versagen des Tragwerks oder seiner Teile, wobei die Tragfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen entscheidend ist	STR	ULS (ultimate-limit-state)
Ermüdungsversagen des Tragwerkes oder seiner Teile	FAT	FLS (fatigue-limit-state)

Tab. 13 Bezeichnungen der geführten Nachweise

2.5.1.1 Beiwerte für die Nachweise ULS bzw. FLS

In Tab. 14 sind alle für diese Diplomarbeit benötigten Beiwerte und Faktoren zusammengefasst. Dabei sind die Nachweise ULS und FLS angeführt, welche in dieser Arbeit untersucht werden.

Einwirkung		ULS ¹			FLS		
		γ	Φ_2	α	γ	Φ_2	λ
Ständige Einwirkungen	Wirkung ungünstig	1,35	-	-	-	-	-
	Wirkung günstig	(1,0)	-	-	-	-	-
Veränderliche Einwirkungen aus dem Zugverkehr	Vertikal-lasten LM 71	1,45	Formel (1) siehe 2.4.2	1,21 siehe 2.4.1	1,0	Formel (1) siehe 2.4.2	Formel (6) siehe 2.4.3

Tab. 14 Beiwerte für die Nachweise ULS und FLS

In der nachfolgenden Tab. 15 sind die Quellen der in Tab. 14 angeführten Beiwerte aufgelistet.

Beiwert / Faktoren	Quelle
γ für ULS	ÖNORM EN 1990 A1 [2], Tab. A.2.4(B)
Φ_2 für ULS und FLS	ÖNORM EN 1991-2 [6], 6.4.5.2
α für ULS	ÖNORM B 1991-2 [7], 4.2.2.2
λ	ÖNORM EN 1993-2 [11], 9.5.3

Tab. 15 Quellen für die Beiwerte in Tab. 14

2.5.1.2 Kombinationsregeln für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Die Einwirkungskombination für eine ständige oder vorübergehende Bemessungssituation ohne Vorspannung ist in der ÖNORM EN 1990 [1] wie folgt angegeben:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} * G_{k,j} + \gamma_{Q,1} * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} * \psi_{0,i} * Q_{k,i} \quad (2)$$

Die einzelnen Angaben bedeuten:

$G_{k,j}$ charakteristischer Wert einer ständigen Einwirkung j

$Q_{k,1}$ char. Wert einer führenden veränderlichen Einwirkung 1 (Leiteinwirkung)

$Q_{k,i}$ char. Wert einer nicht führenden veränderlichen Einwirkung (Begleiteinwirkung)

¹ Da im Rahmen dieser Diplomarbeit mit dem Maximum einer veränderlichen Einwirkung (LM 71) gerechnet wird, kann auf die Angabe des Kombinationsbeiwertes ψ in der Formel (3) verzichtet werden.

- $\gamma_{G,j}$ Teilsicherheitsbeiwert für die ständige Einwirkung G_j
 $\gamma_{Q,1}$ Teilsicherheitsbeiwert für die führende veränderliche Einwirkung Q_1
 $\gamma_{Q,i}$ Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen Q_i
 $\psi_{0,i}$ Kombinationsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen

Als Verkehrseinwirkung werden für die Nachweise ULS bzw. FLS alternativ das Lastmodell LM 71 bzw. die Lastbilder LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2} angesetzt.

2.5.1.3 Kombinationsregeln für den Ermüdungsnachweis FLS

In der ÖNORM EN 1993-2 [11] ist ein vereinfachtes Ermüdungslastmodell für Eisenbahnbrücken angegeben. Dabei ist in der Regel das Lastmodell LM 71 einschließlich des dynamischen Beiwertes Φ_2 anzuwenden. Der Lastklassenbeiwert α wird beim Ermüdungsnachweis nicht berücksichtigt. Für dieses vereinfachte Modell wird die auf $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel bezogene schadenäquivalente Spannungsschwingbreite wie folgt ermittelt:

$$\Delta\sigma_E = \gamma_{Ff} \cdot \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\sigma_P \qquad \Delta\sigma_P = |\sigma_{Pmax} - \sigma_{Pmin}| \qquad (3)$$

Die Schreibweise der ÖNORM EN 1993-2 [11] wird geringfügig geändert ($\Delta\sigma_{E2}$), da es für das Kap.5 (Spannungsnachweise) vorteilhaft ist. Die Berechnung erscheint somit einfacher und nachvollziehbarer.

Es bedeuten:

- $\Delta\sigma_E, \Delta\tau_E$ schadenäquivalente Spannungsschwingbreite
 γ_{Ff} Teilsicherheitsbeiwert für die ermüdungswirksame Spannungsdifferenz (Einwirkungsseite)
 λ Schadenäquivalenzfaktor (siehe Kap.2.4.3)
 Φ_2 dynamischer Beiwert (siehe Kap.2.4.2)
 $\Delta\sigma_P, \Delta\tau_P$ Bezugswert der Spannungsschwingbreite

Für die Schubspannungsdifferenz gilt analog:

$$\Delta\tau_E = \gamma_{Ff} \cdot \lambda \cdot \Phi_2 \cdot \Delta\tau_P \qquad \Delta\tau_P = |\tau_{Pmax} - \tau_{Pmin}| \qquad (4)$$

2.5.2 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit (Spannungsnachweis) wird in dieser Diplomarbeit nicht untersucht, da die Bemessung nach dem Rechenverfahren E–E erfolgt, und somit nicht erforderlich ist.

3. Querschnitte

In der folgenden Berechnung werden die in der Abb. 14 dargestellten Bezeichnungen verwendet.

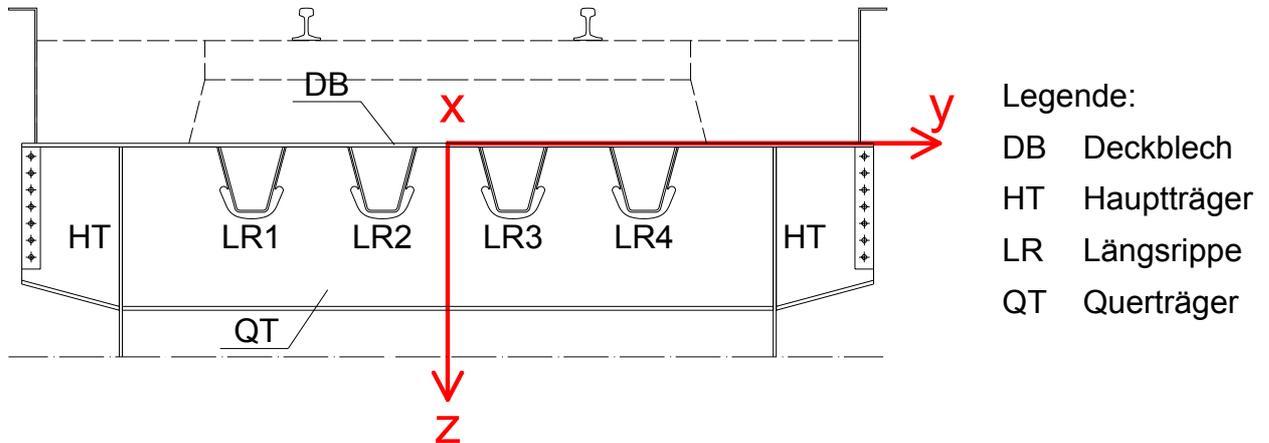


Abb. 14 Bezeichnungen der Bauteile und der Achsen des Koordinatensystems

3.1 Übersicht

3.1.1 Konstruktion

Die ÖNORM EN 1993-2 [11] liefert Empfehlungen für die bauliche Durchbildung, Schweißnahtvorbereitung, Fertigung und Prüfung von orthotropen Fahrbahnplatten von Eisenbahnbrücken.

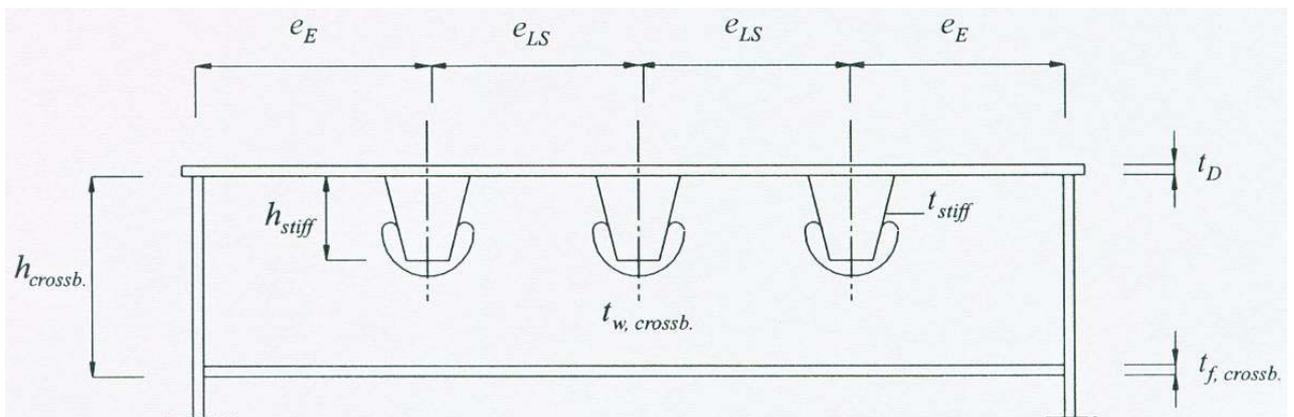


Abb. 15 Bezeichnungen für Fahrbahnen mit Längsrippen und Querträgern laut ÖNORM EN 1993-2 [11]

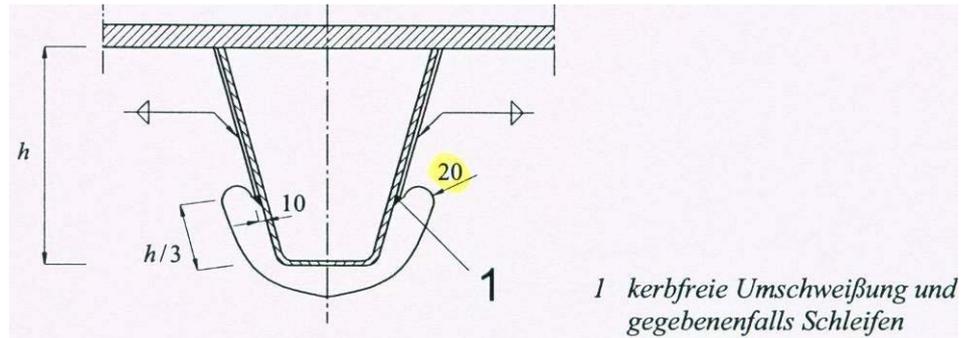


Abb. 16 Ausbildung des Freischnittes um die Längsrippen laut ÖNORM EN 1993-2 [11]

Neben den oben angeführten Empfehlungen, werden noch die Empfehlungen der RVE 06.00.01 [14] für die Ausbildung des Randbalkendetails berücksichtigt. Die sich daraus ergebenden Querschnitte sind in den Abb. 18 und Abb. 26 (siehe Kap.3.2 und Kap.3.3) dargestellt.

In Tab. 16 sind die Empfehlungen der ÖNORM EN 1993-2 [11] mit den verwendeten Abmessungen gegenübergestellt.

Abmessungen	Hohlprofil­längsrippen	Verwendete Abmessungen	
	laut der ÖNORM EN 1993-2 [11]	Querträgerabstand 2,5 m	Querträgerabstand 3,5 m
Dicke t_D des Fahrbahnbleches	$t_D \geq 14 \text{ mm}$	20 mm	20 mm
Achsabstand e_{LS} der Längsrippe	$600 \text{ mm} \leq e_{LS} \leq 900 \text{ mm}$	700 mm	700 mm
Randachsabstand e_E der ersten Längsrippe	$e_E \geq e_{LS}$	700 mm	700 mm
Querträgerabstand e_{crossb}	$2500 \text{ mm} \leq e_{crossb} \leq 3500 \text{ mm}$	2500 mm	3500 mm
Verhältnis h_{stiff}/h_{crossb} der Höhe der Längsrippen zur Höhe der Querträger	$h_{stiff}/h_{crossb} \leq 0,4$	0,4	0,4
Blechdicke t_{stiff} der Längsrippe	$6 \text{ mm} \leq t_{stiff} \leq 10 \text{ mm}$	10 mm	10 mm
Stegdicke $t_{w,crossb}$ der Querträger	$10 \text{ mm} \leq t_{w,crossb} \leq 20 \text{ mm}$	22 mm	25 mm
Gurtdicke $t_{f,crossb}$ der Querträger	$t_{f,crossb} \geq 10 \text{ mm}$	20 mm	20 mm

Tab. 16 Abmessungen und Abstände für Fahrbahnen mit Längsrippen und Querträgern

Für eine übersichtlichere und verständlichere Berechnung werden die in der Abb. 15 definierten Bezeichnungen laut ÖNORM EN 1993-2 [11], auf die in Abb. 17 dargestellten

Bezeichnungen geändert. In den nachfolgenden Kapiteln werden nur mehr die Bezeichnungen laut Abb. 17 verwendet.

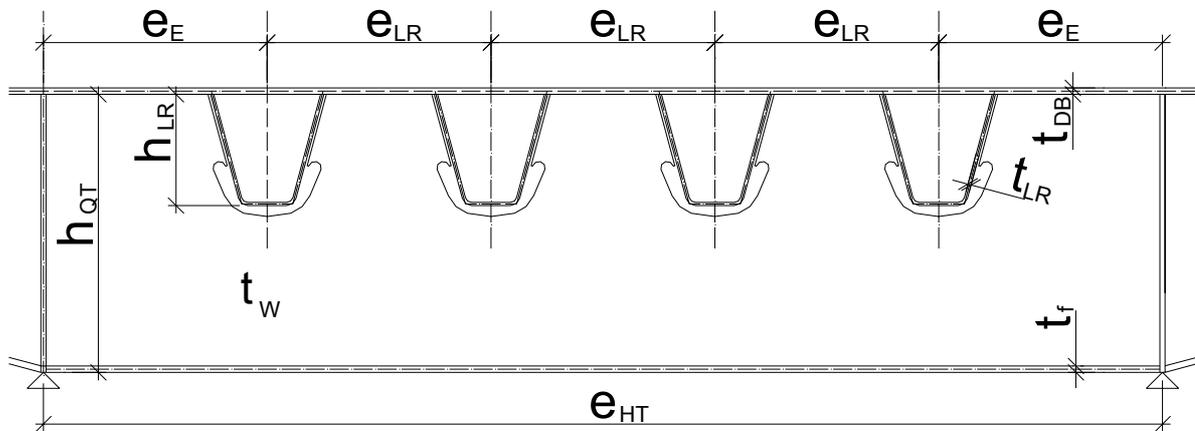


Abb. 17 Bezeichnungen für Fahrbahnen mit Längsrippen und Querträgern

3.1.2 Materialkennwerte

Als Material für die Berechnung der Eisenbahnbrücke wird der Stahl S 355 J2 mit $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ und $f_u = 510 \text{ N/mm}^2$ (Werte für $t \leq 40 \text{ mm}$) verwendet.

3.2 Querschnitte bei 2,5 m Querträgerabstand

3.2.1 Querschnittsabmessungen

Die Querschnitte werden nach Kap. 3.1.1 konstruiert.

3.2.1.1 Abmessungen des Brückenquerschnittes

Die Abmessungen des Brückenquerschnittes bei 2,5 m Querträgerabstand sind in Abb. 18 dargestellt. Der Hauptträgerabstand beträgt 3,5 m, die Längsrippen sind in einem Abstand von 0,7 m angeordnet und die Gesamtkonstruktionshöhe beträgt 4,0 m. Das Haupttragwerk hat eine Gesamtbreite von 7,80 m, was den Vorgaben der RVE 06.00.01 [14] entspricht. Die Randbalkendetails werden aus den Regeldetails der ÖBB [18] entnommen (siehe Abb. 03).

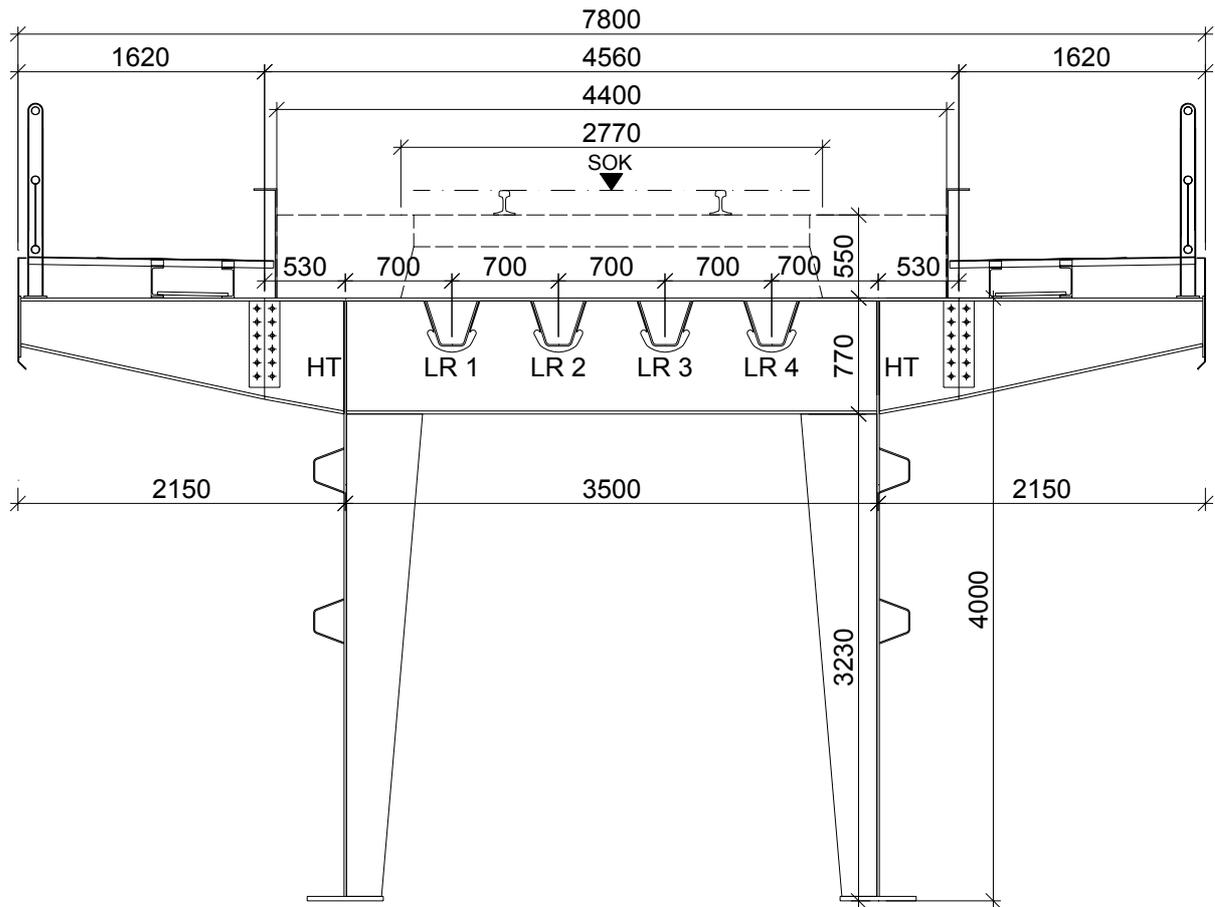


Abb. 18 Abmessungen des Brückenquerschnitts bei 2,5 m Querträgerabstand

3.2.1.2 Abmessungen der Längsrippen

Die Längsrippen werden aus einem 10 mm dicken Blech unter Berücksichtigung der folgenden Überlegungen hergestellt:

- Die Abstände zwischen den Längsrippenstegen sollen möglichst gleich groß sein,
- die Empfehlungen der ÖNORM EN 1993-2 [11], Tab. 16 sollen eingehalten werden,
- die Längsrippenhöhe wird durch den Ermüdungsnachweis maßgeblich bestimmt.

Es wird in den folgenden Kapiteln zwischen zwei verschiedenen Geometrien unterschieden (siehe Abb. 19). Die Längsrippen 1&4 sind die beiden äußeren Längsrippen, jeweils die ersten neben den Hauptträgern. Diese sind nicht symmetrisch, da dies nach den Konstruktionsregeln der ÖNORM EN 1993-2 [11] nicht möglich ist. Die beiden inneren Längsrippen, Längsrippen 2&3, sind symmetrisch. Dies ergibt sich aus der Forderung einer einheitlichen Stützweite des Deckbleches.

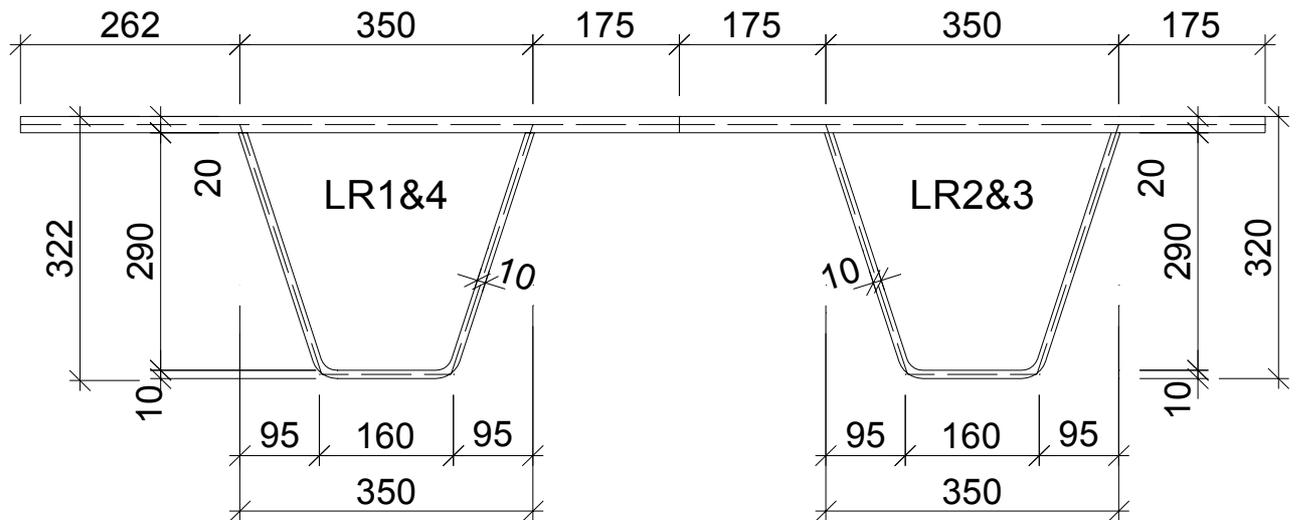


Abb. 19 Gesamtabmessungen der Längsrippen bei 2,5 m Querträgerabstand

3.2.1.3 Abmessungen der Querträger

Die Querträger werden nach den Empfehlungen der ÖNORM EN 1993-2 [11] konstruiert (siehe Abb. 20). Das Verhältnis von Längsrippenhöhe zu Querträgerhöhe darf maximal 0,4 betragen. Daher ergibt sich aus den zuvor gewählten Längsrippen eine Querträgerhöhe von 0,75 m (ohne Deckblech). Die Stegdicke der Querträger ist laut ÖNORM EN 1993-2 [11] mit 20 mm begrenzt. Diese Empfehlung der Stegblechdicke kann nicht eingehalten werden, da sich damit der Ermüdungsnachweis nicht erfüllen lässt. Aus diesem Grund wird die Stegdicke auf 22 mm erhöht.

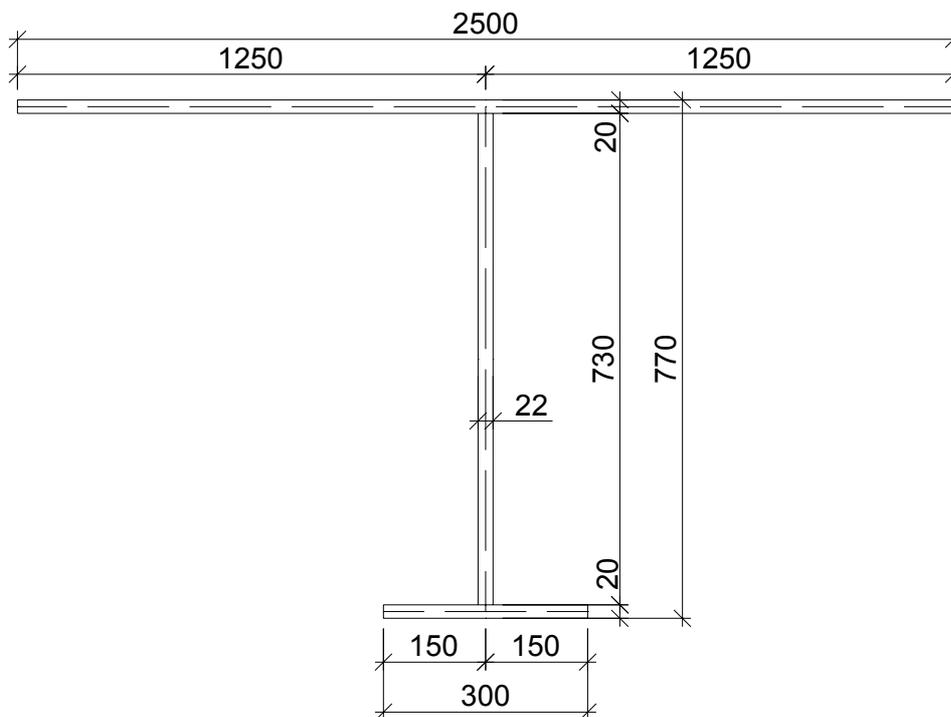


Abb. 20 Gesamtabmessungen der Querträger bei 2,5 m Querträgerabstand

3.2.2 Längsrippen

3.2.2.1 Mittragende Breiten der Längsrippen

Die Berechnung der mittragenden Breiten erfolgt nach Grundlage der ÖNORM EN 1993-1-5 [9]. Weiters wird als Vorlage für die Berechnung das Buch „Eisenbahnbrückenbau nach DIN – Fachbericht“ [17] verwendet.

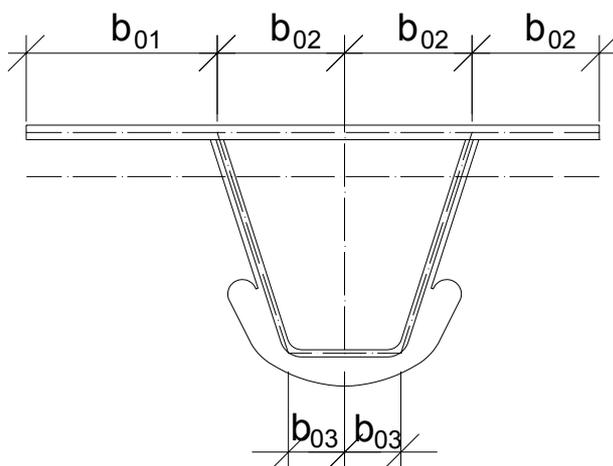
3.2.2.1.a Für die Schnittgrößenermittlung

Die einzelnen Blechbreiten sind kleiner als ein Achtel der Stützweiten, somit entsprechen die mittragenden Breiten für die Schnittgrößenermittlung den Gesamtabständen zwischen den einzelnen Bauteilen (siehe Abb. 19).

3.2.2.1.b Für die Spannungsberechnung

In Abb. 21 sind die Bezeichnungen der Teilgurte für die nachfolgende Berechnung der mittragenden Breiten angegeben.

Längsrippen 1&4



Längsrippen 2&3

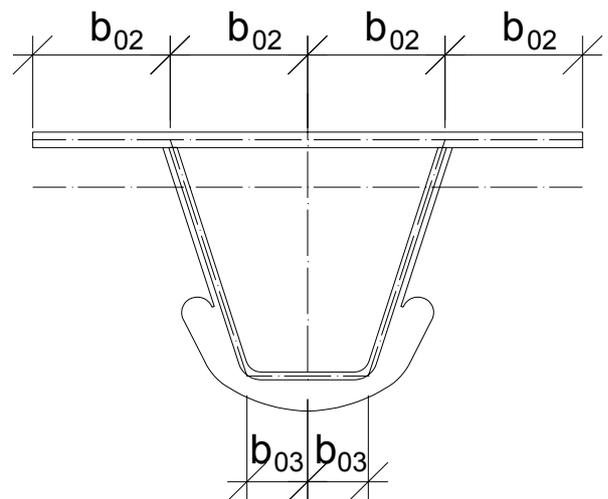


Abb. 21 Bezeichnungen der Teilgurte für die Ermittlung der mittragenden Breiten

Mittragende Breiten im Feldbereich:

Der Index f wird für den Feldbereich verwendet. Es ergibt sich eine effektive Länge von:

$$e_{QT} = 2.5 \text{ m} \quad \text{Abstand der Querträger} = \text{Stützweite der Längsrippen}$$

$$L_{ef} = 0.7 \cdot e_{QT} \quad L_{ef} = 1.75 \text{ m}$$

In den Teilgurten darf der Einfluss der Schubverzerrungen vernachlässigt werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist: $b_0 / L_{ef} < 0,02$

$$b_{01} = 262 \text{ mm} \quad \kappa_{1f} = \frac{b_{01}}{L_{ef}} = 0.150 \quad (0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70)$$

$$b_{02} = 175 \text{ mm} \quad \kappa_{2f} = \frac{b_{02}}{L_{ef}} = 0.100 \quad (0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70)$$

$$b_{03} = 77 \text{ mm} \quad \kappa_{3f} = \frac{b_{03}}{L_{ef}} = 0.044 \quad (0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70)$$

Somit muss der Einfluss der Schubverzerrungen im Feldbereich für alle Teilgurte berücksichtigt werden.

t_{DB}	Blechdicke des Deckbleches
b_{01}, b_{02}, b_{03}	Breite der entsprechenden Teilgurte
$b_{eff.01f}, b_{eff.02f}, b_{eff.03f},$	mittragende Breite eines Teilgurtes im Feldbereich
$b_{eff.01s}, b_{eff.02s}, b_{eff.03s},$	mittragende Breite eines Teilgurtes im Stützbereich
L_{ef}, L_{es}	Länge des Momentenabschnittes zwischen zwei Nulldurchgängen der Biegemomentenlinie im Feld- oder Stützbereich

Zur Berücksichtigung elastischer Schubverzerrungen wird die mittragende Breite b_{eff} im Feldbereich wie folgt ermittelt:

$$b_{eff.0if} = \beta_{if} \cdot b_{0i}$$

Für $0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70$ gilt für den Abminderungsfaktor β_{if} im Feldbereich:

$$\beta_{if} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{if}^2}$$

Für den Teilgurt 01 ergeben sich folgende Werte im Feldbereich:

$$\kappa_{1f} = \frac{b_{01}}{L_{ef}} \quad \kappa_{1f} = 0.15 \quad \beta_{1f} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{1f}^2} \quad \beta_{1f} = 0.875$$

$$b_{eff.01f} = \beta_{1f} \cdot b_{01} \quad b_{eff.01f} = 229 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite des Teilgurtes 01 im Feldbereich}$$

Für die Teilgurte 02 ergeben sich folgende Werte im Feldbereich:

$$\kappa_{2f} = \frac{b_{02}}{L_{ef}} \quad \kappa_{2f} = 0.1 \quad \beta_{2f} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{2f}^2} \quad \beta_{2f} = 0.94$$

$$b_{eff.02f} = \beta_{2f} \cdot b_{02} \quad b_{eff.02f} = 164.5 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite der Teilgurte 02 im Feldbereich}$$

Für die Teilgurte 03 ergeben sich folgende Werte im Feldbereich:

$$\kappa_{3f} = \frac{b_{03}}{L_{ef}} \quad \kappa_{3f} = 0.044 \quad \beta_{3f} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{3f}^2} \quad \beta_{3f} = 0.988$$

$$b_{\text{eff.03f}} = \beta_{3f} \cdot b_{03} \quad b_{\text{eff.03f}} = 76.1 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite der Teilgurte 03 im Feldbereich}$$

Mittragende Breiten im Stützbereich:

Der Index s wird für den Stützbereich verwendet. Es ergibt sich eine effektive Länge von:

$$e_{\text{QT}} = 2.5 \text{ m} \quad \text{Abstand der Querträger} = \text{Stützweite der Längsrippen}$$

$$L_{\text{es}} = 0.25 \cdot (e_{\text{QT}} + e_{\text{QT}}) \quad L_{\text{es}} = 1.25 \text{ m}$$

In den Teilgurten darf der Einfluss der Schubverzerrungen vernachlässigt werden, wenn folgende Bedingungen erfüllt ist: $b_0 / L_{\text{es}} < 0,02$

$$b_{01} = 262 \text{ mm} \quad \kappa_{1s} = \frac{b_{01}}{L_{\text{es}}} = 0.210 \quad (0,02 \leq \kappa_{is} \leq 0,70)$$

$$b_{02} = 175 \text{ mm} \quad \kappa_{2s} = \frac{b_{02}}{L_{\text{es}}} = 0.140 \quad (0,02 \leq \kappa_{is} \leq 0,70)$$

$$b_{03} = 77 \text{ mm} \quad \kappa_{3s} = \frac{b_{03}}{L_{\text{es}}} = 0.062 \quad (0,02 \leq \kappa_{is} \leq 0,70)$$

Somit muss der Einfluss der Schubverzerrungen im Stützbereich für alle Teilgurte berücksichtigt werden.

Für $0,02 \leq \kappa_{is} \leq 0,70$ gilt für den Abminderungsfaktor β_{is} im Stützbereich:

$$\beta_{is} = \frac{1}{1 + 6 \cdot \left(\kappa_{is} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{is}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{is}^2}$$

Für den Teilgurt 01 ergeben sich folgende Werte im Stützbereich:

$$\kappa_{1s} = \frac{b_{01}}{L_{\text{es}}} \quad \kappa_{1s} = 0.21 \quad \beta_{1s} = \frac{1}{1 + 6 \cdot \left(\kappa_{1s} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{1s}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{1s}^2} \quad \beta_{1s} = 0.432$$

$$b_{\text{eff.01s}} = \beta_{1s} \cdot b_{01} \quad b_{\text{eff.01s}} = 113 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite des Teilgurt 01 im Stützbereich}$$

Für die Teilgurte 02 ergeben sich folgende Werte im Stützbereich:

$$\kappa_{2s} = \frac{b_{02}}{L_{\text{es}}} \quad \kappa_{2s} = 0.14 \quad \beta_{2s} = \frac{1}{1 + 6 \cdot \left(\kappa_{2s} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{2s}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{2s}^2} \quad \beta_{2s} = 0.539$$

$$b_{\text{eff.02s}} = \beta_{2s} \cdot b_{02} \quad b_{\text{eff.02s}} = 94.4 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite der Teilgurte 02 im Stützbereich}$$

Für die Teilgurte 03 ergeben sich folgende Werte im Stützbereich:

$$\kappa_{3s} = \frac{b_{03}}{L_{es}} \quad \kappa_{3s} = 0.062 \quad \beta_{3s} = \frac{1}{1 + 6 \cdot \left(\kappa_{3s} - \frac{1}{2500 \kappa_{3s}} \right) + 1.6 \kappa_{3s}^2} \quad \beta_{3s} = 0.748$$

$$b_{\text{eff.03s}} = \beta_{3s} \cdot b_{03} \quad b_{\text{eff.03s}} = 57.6 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite der Teilgurte 03 im Stützbereich}$$

Aus der Berechnung der mittragenden Breiten folgen die effektiven Querschnittswerte im Feld- und im Stützbereich, für die Längsrippen, welche in den Abb. 22 und Abb. 23 dargestellt sind.

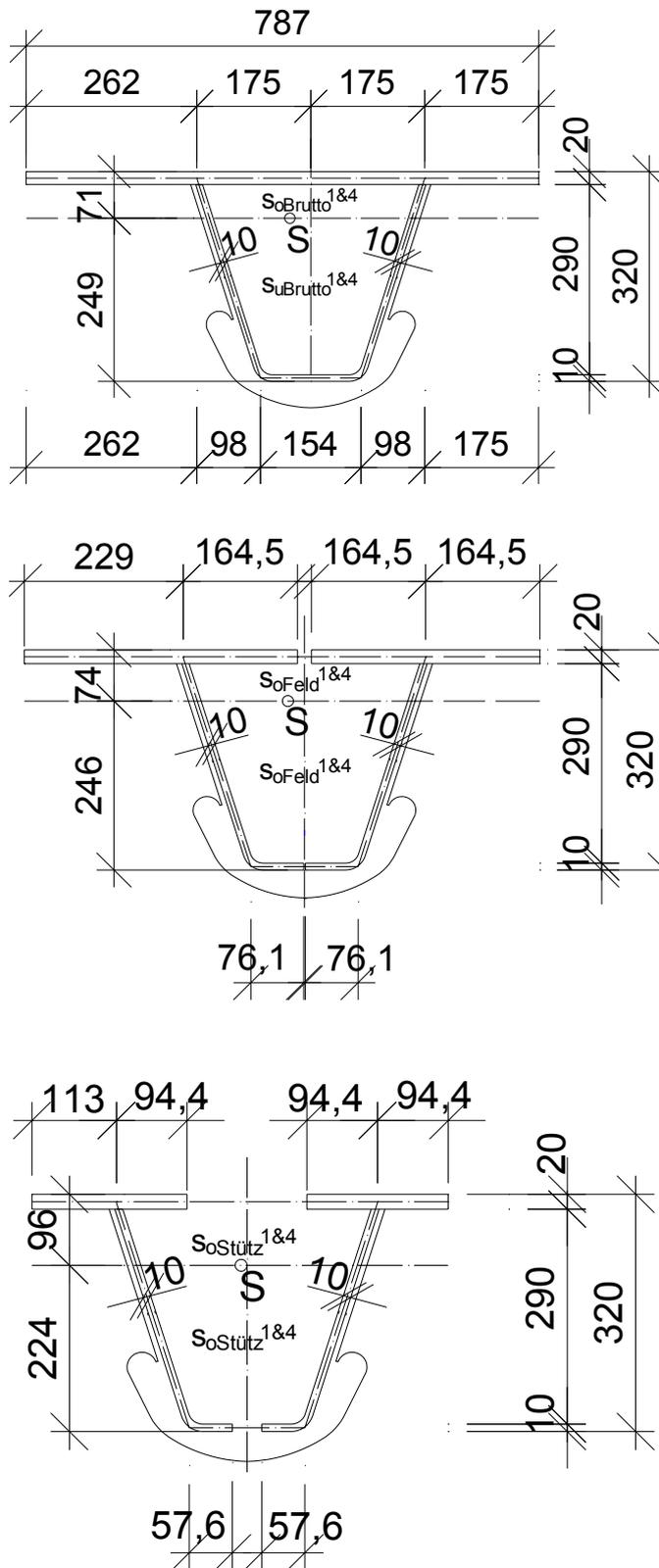
3.2.2.2 Querschnittswerte der Längsrippen

Die Querschnittswerte werden mit folgenden drei Programmen ermittelt und anschließend verglichen:

- AQUA (Unterprogramm von Sofistik)
- DUENQ (Unterprogramm von Rstab)
- EXCEL (händische Kontrolle)

Die Querschnittswerte der Längsrippen sind in den nachfolgenden Abbildungen angeführt (siehe Abb. 22 und Abb. 23).

Längsrippen 1&4



Geometrischer Querschnitt

$$A_{\text{Brutto}}^{1\&4} = 236,9 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Brutto}}^{1\&4} = 25385 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Brutto}}^{1\&4} = -7,11 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Brutto}}^{1\&4} = 24,89 \text{ cm}$$

Effektiver Querschnitt im Feldbereich

$$A_{\text{Feld}}^{1\&4} = 223,8 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Feld}}^{1\&4} = 24753 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Feld}}^{1\&4} = -7,44 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Feld}}^{1\&4} = 24,56 \text{ cm}$$

Effektiver Querschnitt im Stützbereich

$$A_{\text{Stütz}}^{1\&4} = 154,8 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Stütz}}^{1\&4} = 19189 \text{ cm}^4$$

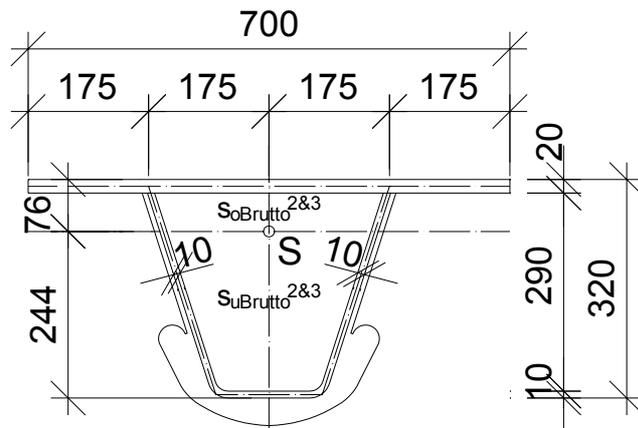
Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Stütz}}^{1\&4} = -9,58 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Stütz}}^{1\&4} = 22,42 \text{ cm}$$

Abb. 22 Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen 1&4

Längsrippen 2&3



Geometrischer Querschnitt

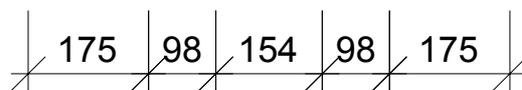
$$A_{\text{Brutto}}^{2\&3} = 219,5 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Brutto}}^{2\&3} = 24681 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Brutto}}^{2\&3} = -7,60 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Brutto}}^{2\&3} = 24,40 \text{ cm}$$



Effektiver Querschnitt im Feldbereich

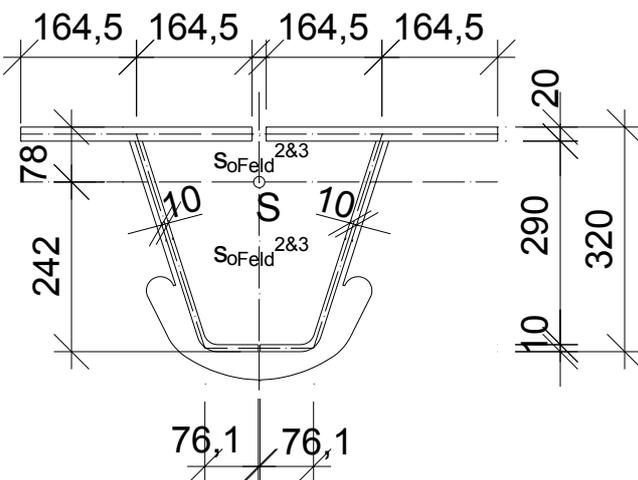
$$A_{\text{Feld}}^{2\&3} = 210,9 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Feld}}^{2\&3} = 24178 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Feld}}^{2\&3} = -7,83 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Feld}}^{2\&3} = 24,17 \text{ cm}$$



Effektiver Querschnitt im Stützbereich

$$A_{\text{Stütz}}^{2\&3} = 151,1 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Stütz}}^{2\&3} = 18907 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Stütz}}^{2\&3} = -9,79 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Stütz}}^{2\&3} = 22,21 \text{ cm}$$

Abb. 23 Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen 2&3

3.2.3 Querträger

3.2.3.1 Mittragende Breiten der Querträger

Die Berechnung der mittragenden Breiten erfolgt nach Grundlage der ÖNORM EN 1993-1-5 [9]. Weiters wird als Vorlage für die Berechnung das Buch „Eisenbahnbrückenbau nach DIN – Fachbericht“ [17] verwendet.

3.2.3.1.a Für die Schnittgrößenermittlung

Die mittragenden Breiten der Querträger für die Schnittgrößenermittlung entsprechen dem Gesamtabstand der Querträger. Dies würde einem Obergurt von 2,5 m Breite entsprechen. Nach Absprache mit Prof. Fink wird für diese Untersuchung in der Diplomarbeit nur ein Satz von Querschnittswerten verwendet. Aus diesem Grund wird der ungünstigste Satz ausgewählt, der aus der Berechnung der mittragenden Breite der Querträger für die Spannungsberechnung entsteht (siehe Berechnung 3.2.3.1.b, Abb. 20).

3.2.3.1.b Für die Spannungsberechnung

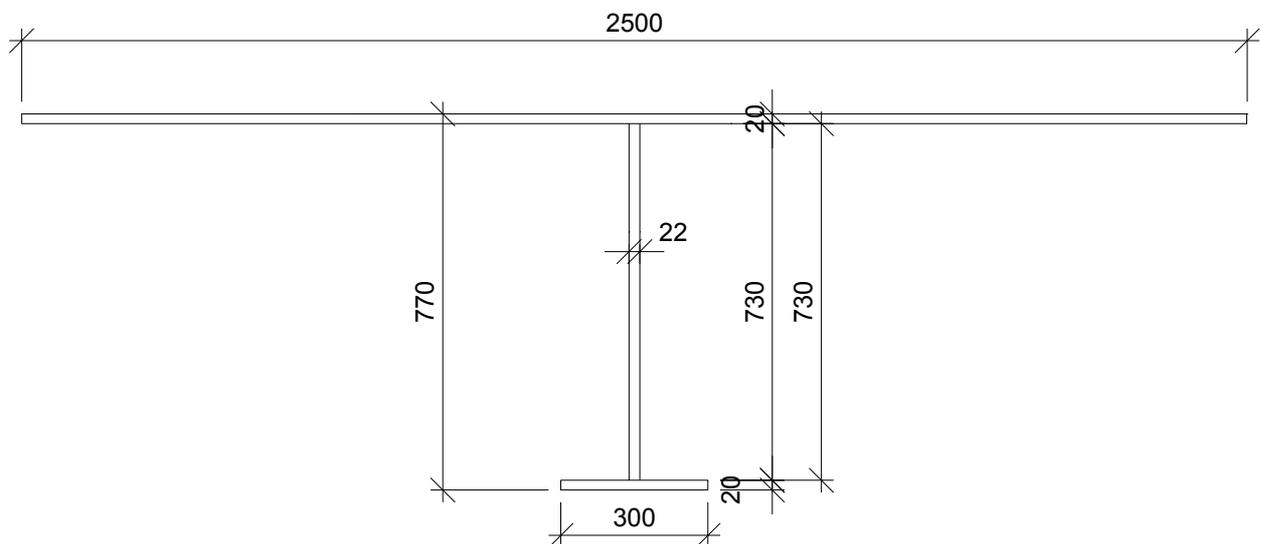


Abb. 24 Gesamtabmessungen der Querträger bei 2,5 m Querträgerabstand

In den Gurten darf der Einfluss der Schubverzerrungen vernachlässigt werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist: $b_0 / L_e < 0,02$

Für die Querträger ergibt sich:

$$e_{QT} = 2.5 \text{ m}$$

Abstand der Querträger

$$e_{HT} = L_e = 3.5 \text{ m}$$

Abstand der Hauptträger

$$b_0 = \frac{e_{QT}}{2}$$

$$b_0 = 1250 \text{ mm}$$

$$\kappa = \frac{b_0}{L_e} = 0.357 \quad (0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70)$$

Somit ist der Einfluss der Schubverzerrungen im Obergurt der Querträger zu berücksichtigen.

t_{DB} Dicke des Deckbleches

b_0 Halbe Obergurtbreite der Querträger

b_{eff} mittragende Obergurtbreite der Querträger
 L_e Länge des Momentenabschnittes zwischen zwei Nulldurchgängen der Biegemomentenlinie

Zur Berücksichtigung elastischer Schubverzerrungen wird die mittragende Breite b_{eff} für den Obergurt der Querträger wie folgt ermittelt:

$$b_{\text{eff}} = \beta \cdot b_0$$

Für $0,02 \leq \kappa \leq 0,70$ gilt:

$$\beta = \frac{1}{1 + 6,4 \kappa^2} \quad \beta = 0,551$$

Für die mittragende Teilgurtbreite b_{eff} der Querträger gilt:

$$b_{\text{eff}} = 688 \text{ mm}$$

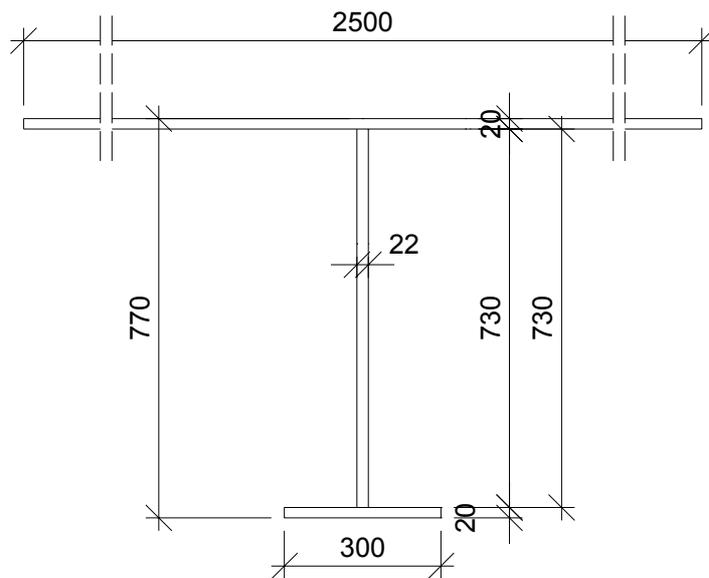
Für die gesamte mittragende Obergurtbreite der Querträger gilt:

$$b_m = 2 \cdot b_{\text{eff}} \quad b_m = 1376 \text{ mm}$$

Aus dieser Berechnung der mittragenden Obergurtbreite der Querträger, ergeben sich die in Abb. 25 dargestellten effektiven Querschnittsabmessungen der Querträger.

3.2.3.2 Querschnittswerte der Querträger

Die Querschnittswerte werden analog zu Kap.3.2.2.2 ermittelt. Diese Werte werden in der nachfolgenden Abb. 25 angeführt.

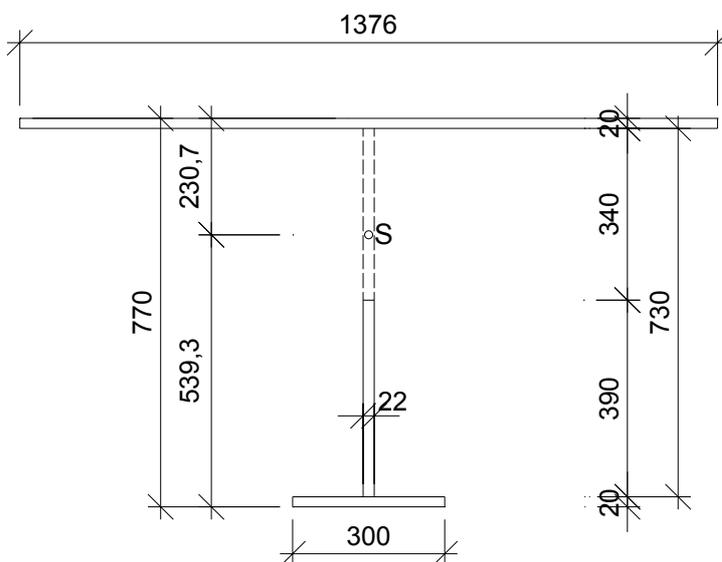


Geometrischer Querschnitt

- Ohne Berücksichtigung der mittragenden Obergurtbreite

$$A_{\text{StegGesamt}} = 160,6 \text{ cm}^2$$

Alle weiteren Gesamtquerschnittswerte werden für die Berechnung nicht benötigt.



Effektiver Querschnitt

- Unter Berücksichtigung der mittragenden Obergurtbreite,
- unter Berücksichtigung der Stegausehnehmungen für die Längsrippen.

$$A_{\text{StegEffektiv}} = 85,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{QTeffektiv}} = 423,2 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{QT}} = 409300 \text{ cm}^4$$

$$s_{o\text{QT}} = -23,07 \text{ cm}$$

$$s_{u\text{QT}} = 53,93 \text{ cm}$$

Abb. 25 Querschnittswerte der Querträger bei 2,5 m Querträgerabstand

3.3 Querschnitte bei 3,5 m Querträgerabstand

3.3.1 Querschnittsabmessungen

Die folgenden Querschnittsabmessungen werden auch für den Querträgerabstand von 4,0 m herangezogen, da für diesen Querträgerabstand kein eigener Querschnitt konstruiert wird. Dieser wird nur als Ergänzung zu den ermittelten Werten für den Querträgerabstand von 2,5 m und 3,5 m hinzugefügt, um nachvollziehen zu können, in welche Richtung bzw. Größenordnung sich die Ergebnisse ändern.

3.3.1.1 Abmessungen des Brückenquerschnittes

Die Abmessungen des Brückenquerschnittes bei 3,5 m Querträgerabstand sind in der Abb. 26 dargestellt. Der Hauptträgerabstand beträgt 3,5 m, die Längsrippen sind in einem

Abstand von 0,7 m angeordnet und die Gesamtkonstruktionshöhe beträgt 4,25 m. Das Haupttragwerk hat eine Gesamtbreite von 7,80 m, was den Forderungen der RVE 06.00.01 [14] entspricht. Die Randbalkendetails werden aus den Regeldetails der ÖBB [18] entnommen (siehe Abb. 03).

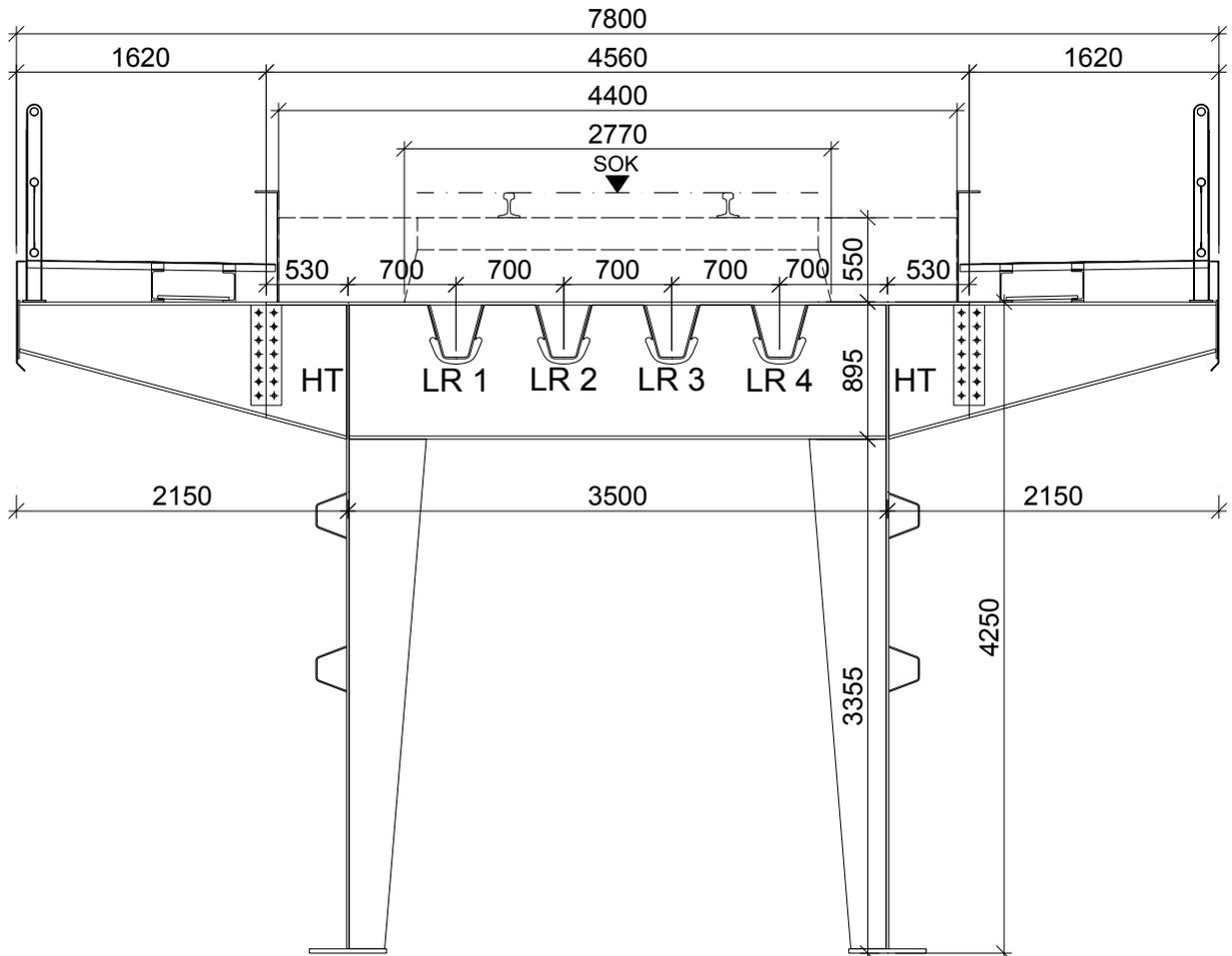


Abb. 26 Abmessungen des Brückenquerschnittes bei 3,5 m Querträgerabstand

3.3.1.2 Abmessungen der Längsrippen

Die Konstruktion der Längsrippen erfolgt mit den gleichen Überlegungen wie im Kap. 3.2.1.2.

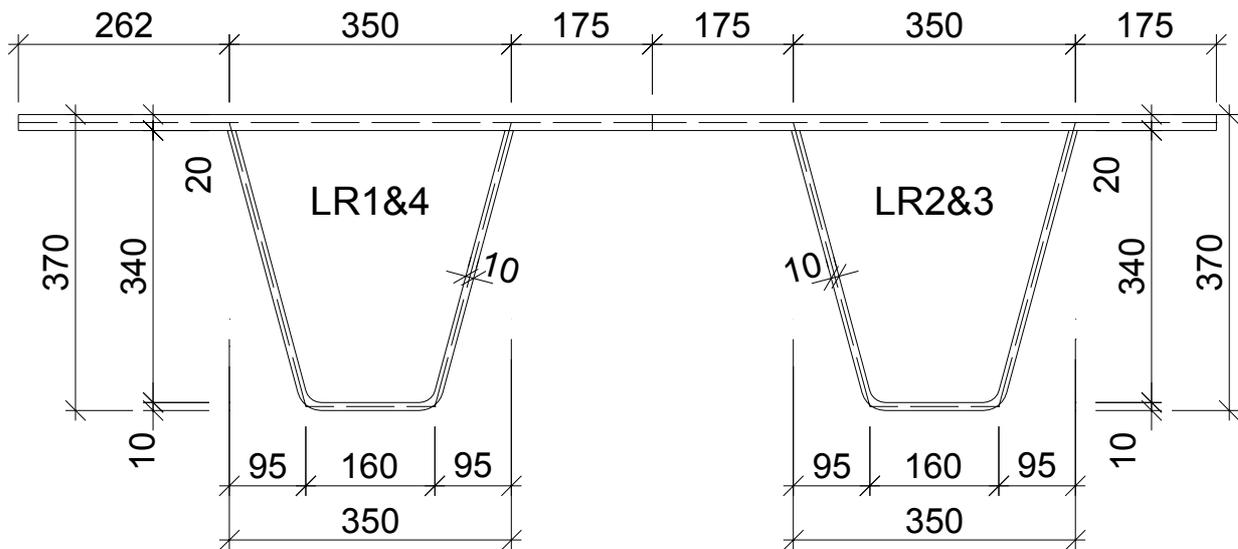


Abb. 27 Gesamtabmessungen der Längsrippen bei 3,5 m Querträgerabstand

3.3.1.3 Abmessungen der Querträger

Die Querträger werden nach den Empfehlungen der ÖNORM EN 1993-2 [11] konstruiert (siehe Abb. 28). Das Verhältnis von Längsrippenhöhe zu Querträgerhöhe darf maximal 0,4 betragen. Daher ergibt sich aus den zuvor gewählten Längsrippen eine Querträgerhöhe von 0,875 m (ohne Deckblech). Die Stegdicke der Querträger ist laut ÖNORM EN 1993-2 [11] mit 20 mm begrenzt. Diese Empfehlung der Stegblechdicke kann nicht eingehalten werden, da sich damit der Ermüdungsnachweis nicht erfüllen lässt. Aus diesem Grund wird die Stegdicke auf 25 mm erhöht.

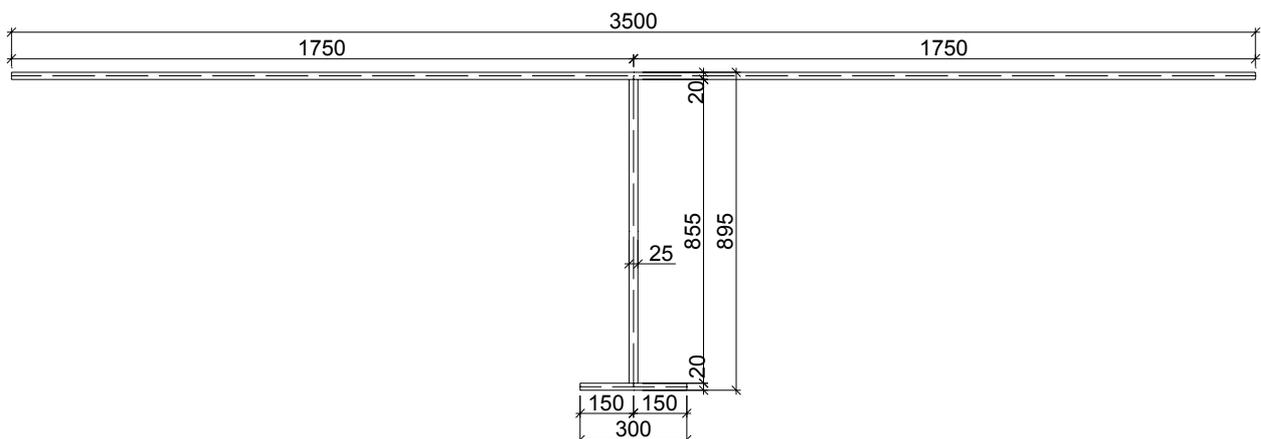


Abb. 28 Gesamtabmessungen der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

3.3.2 Längsrippen

3.3.2.1 Mittragende Breiten der Längsrippen

Die Berechnung der mittragenden Breiten erfolgt auf der Grundlage der ÖNORM EN 1993-1-5 [9]. Weiters wird als Vorlage für die Berechnung das Buch „Eisenbahnbrückenbau nach DIN – Fachbericht“ [17] verwendet.

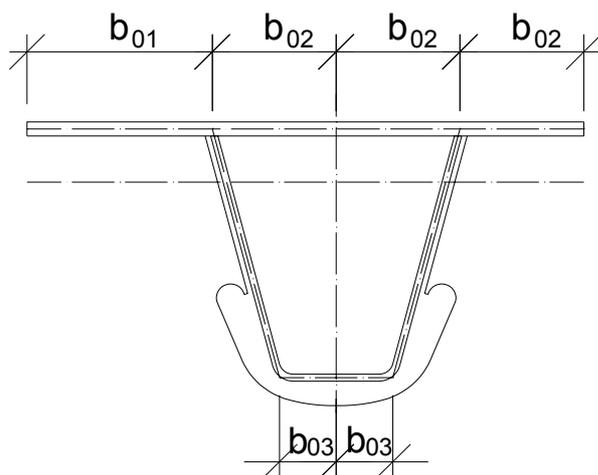
3.3.2.1.a Für die Schnittgrößenermittlung

Die einzelnen Blechbreiten sind kleiner als ein Achtel der Stützweiten, somit entsprechen die mittragenden Breiten für die Schnittgrößenermittlung den Gesamtabständen zwischen den einzelnen Bauteilen (siehe Abb. 27).

3.3.2.1.b Für die Spannungsberechnung

In Abb. 29 sind die Bezeichnungen der Teilgurte für die nachfolgende Berechnung der mittragenden Breiten angegeben.

Längsrippen 1&4



Längsrippen 2&3

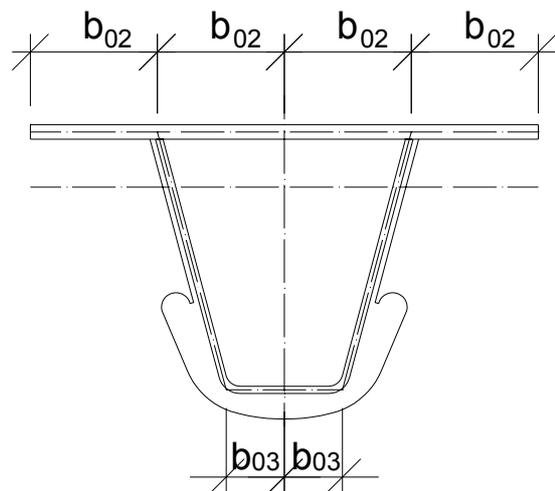


Abb. 29 Bezeichnungen der Teilgurte zur Ermittlung der mittragenden Breiten

Mittragende Breiten im Feldbereich:

Der Index f wird für den Feldbereich verwendet. Es ergibt sich eine effektive Länge von:

$e_{QT} = 3.5 \text{ m}$ Abstand der Querträger oder Stützweite der Längsrippen

$L_{ef} = 0.7 \cdot e_{QT}$ $L_{ef} = 2.45 \text{ m}$

In den Teilgurten darf der Einfluss der Schubverzerrungen vernachlässigt werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist: $b_0 / L_{ef} < 0,02$

$$b_{01} = 262 \text{ mm} \quad \kappa_{1f} = \frac{b_{01}}{L_{ef}} = 0.107 \quad (0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70)$$

$$b_{02} = 175 \text{ mm} \quad \kappa_{2f} = \frac{b_{02}}{L_{ef}} = 0.071 \quad (0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70)$$

$$b_{03} = 80 \text{ mm} \quad \kappa_{3f} = \frac{b_{03}}{L_{ef}} = 0.033 \quad (0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70)$$

Somit muss der Einfluss der Schubverzerrungen im Feldbereich für alle Teilgurte berücksichtigt werden.

Zur Berücksichtigung elastischer Schubverzerrungen wird die mittragende Breite b_{eff} im Feldbereich wie folgt ermittelt:

$$b_{eff.0if} = \beta_{if} \cdot b_{0i}$$

Für $0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70$ gilt für den Abminderungsfaktor β_{if} im Feldbereich:

$$\beta_{if} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{if}^2}$$

Für den Teilgurt 01 ergeben sich folgende Werte im Feldbereich:

$$\kappa_{1f} = \frac{b_{01}}{L_{ef}} \quad \kappa_{1f} = 0.107 \quad \beta_{1f} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{1f}^2} \quad \beta_{1f} = 0.932$$

$$b_{eff.01f} = \beta_{1f} \cdot b_{01} \quad b_{eff.01f} = 244 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite des Teilgurtes 01 im Feldbereich}$$

Für die Teilgurte 02 ergeben sich folgende Werte im Feldbereich:

$$\kappa_{2f} = \frac{b_{02}}{L_{ef}} \quad \kappa_{2f} = 0.071 \quad \beta_{2f} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{2f}^2} \quad \beta_{2f} = 0.968$$

$$b_{eff.02f} = \beta_{2f} \cdot b_{02} \quad b_{eff.02f} = 169.4 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite der Teilgurte 02 im Feldbereich}$$

Für die Teilgurte 03 ergeben sich folgende Werte im Feldbereich:

$$\kappa_{3f} = \frac{b_{03}}{L_{ef}} \quad \kappa_{3f} = 0.033 \quad \beta_{3f} = \frac{1}{1 + 6,4 \cdot \kappa_{3f}^2} \quad \beta_{3f} = 0.993$$

$$b_{eff.03f} = \beta_{3f} \cdot b_{03} \quad b_{eff.03f} = 79.5 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite der Teilgurte 03 im Feldbereich}$$

Mittragende Breiten im Stützbereich:

Der Index s wird für den Stützbereich verwendet. Es ergibt sich eine effektive Länge von:

$$e_{QT} = 3.5 \text{ m} \quad \text{Abstand der Querträger oder Stützweite der Längsrippen}$$

$$L_{es} = 0.25 \cdot (e_{QT} + e_{QT}) \quad L_{es} = 1.75 \text{ m}$$

In den Teilgurten darf der Einfluss der Schubverzerrungen vernachlässigt werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist: $b_0 / L_{ef} < 0,02$

$$b_{01} = 262 \text{ mm} \quad \kappa_{1s} = \frac{b_{01}}{L_{es}} = 0.150 \quad (0,02 \leq \kappa_{is} \leq 0,70)$$

$$b_{02} = 175 \text{ mm} \quad \kappa_{2s} = \frac{b_{02}}{L_{es}} = 0.100 \quad (0,02 \leq \kappa_{is} \leq 0,70)$$

$$b_{03} = 80 \text{ mm} \quad \kappa_{3s} = \frac{b_{03}}{L_{es}} = 0.046 \quad (0,02 \leq \kappa_{is} \leq 0,70)$$

Somit muss der Einfluss der Schubverzerrungen im Stützbereich für alle Teilgurte berücksichtigt werden.

Für $0,02 \leq \kappa_{is} \leq 0,70$ gilt für den Abminderungsfaktor β_{is} im Stützbereich:

$$\beta_{is} = \frac{1}{1 + 6 \cdot \left(\kappa_{is} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{is}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{is}^2}$$

Für den Teilgurt 01 ergeben sich folgende Werte im Stützbereich:

$$\kappa_{1s} = \frac{b_{01}}{L_{es}} \quad \kappa_{1s} = 0.15 \quad \beta_{1s} = \frac{1}{1 + 6 \cdot \left(\kappa_{1s} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{1s}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{1s}^2} \quad \beta_{1s} = 0.521$$

$$b_{\text{eff.01s}} = \beta_{1s} \cdot b_{01} \quad b_{\text{eff.01s}} = 136.5 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite des Teilgurtes 01 im Stützbereich}$$

Für die Teilgurte 02 ergeben sich folgende Werte im Stützbereich:

$$\kappa_{2s} = \frac{b_{02}}{L_{es}} \quad \kappa_{2s} = 0.1 \quad \beta_{2s} = \frac{1}{1 + 6 \cdot \left(\kappa_{2s} - \frac{1}{2500 \cdot \kappa_{2s}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{2s}^2} \quad \beta_{2s} = 0.628$$

$$b_{\text{eff.02s}} = \beta_{2s} \cdot b_{02} \quad b_{\text{eff.02s}} = 110 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite der Teilgurte 02 im Stützbereich}$$

Für die Teilgurte 03 ergeben sich folgende Werte im Stützbereich:

$$\kappa_{3s} = \frac{b_{03}}{L_{es}} \quad \kappa_{3s} = 0.046 \quad \beta_{3s} = \frac{1}{1 + 6 \cdot \left(\kappa_{3s} - \frac{1}{2500 \kappa_{3s}} \right) + 1.6 \cdot \kappa_{3s}^2} \quad \beta_{3s} = 0.816$$

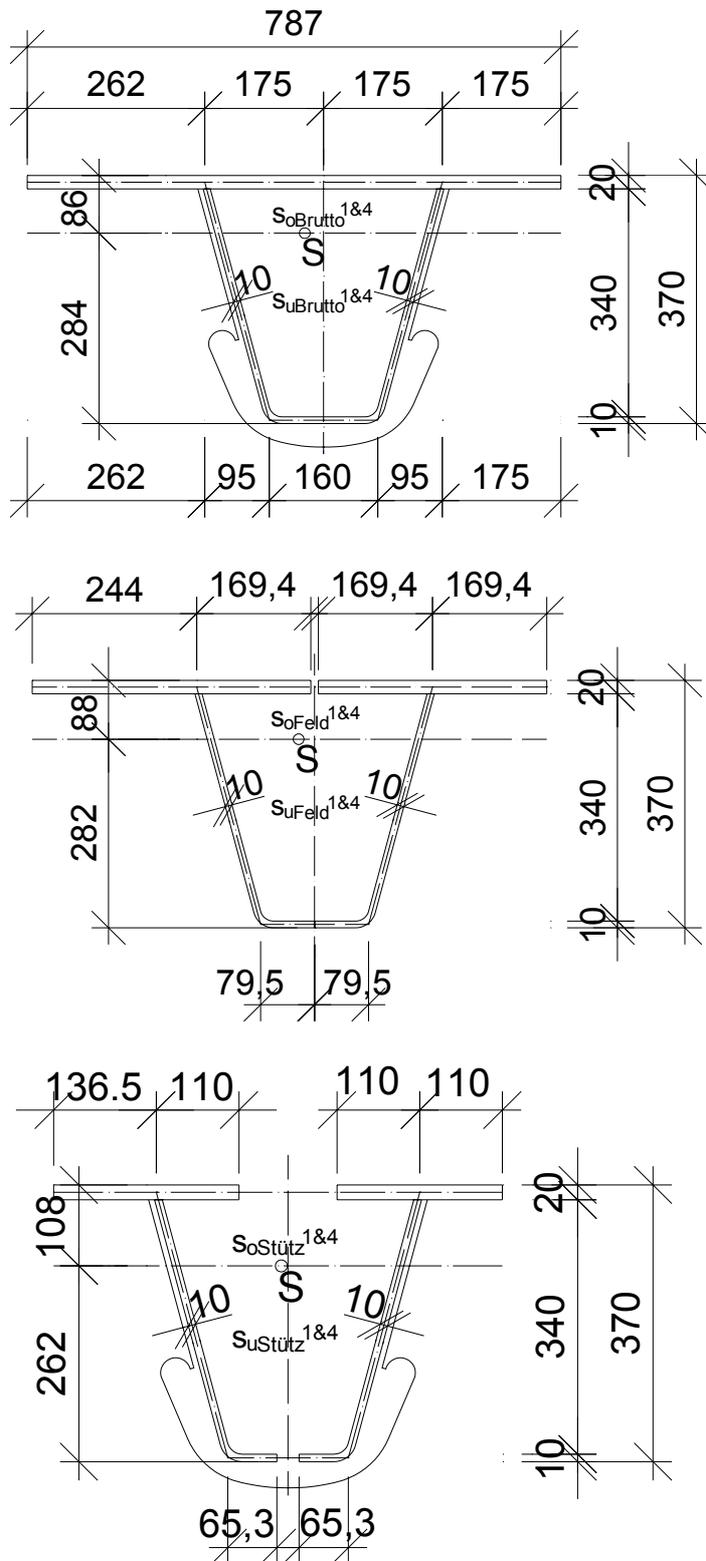
$$b_{\text{eff.03s}} = \beta_{3s} \cdot b_{03} \quad b_{\text{eff.03s}} = 65.3 \text{ mm} \quad \text{mittragende Breite der Teilgurte 03 im Stützbereich}$$

Aus dieser Berechnung der mittragenden Breiten folgen die effektiven Querschnittswerte im Feld- und im Stützbereich für die Längsrippen, welche in den Abb. 30 und Abb. 31 dargestellt sind.

3.3.2.2 Querschnittswerte der Längsrippen

Die Querschnittswerte werden analog zu Kap. 3.2.3 ermittelt.

Längsrippen 1&4



Geometrischer Querschnitt

$$A_{\text{Brutto}}^{1\&4} = 246,9 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Brutto}}^{1\&4} = 36844 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Brutto}}^{1\&4} = -8,58 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Brutto}}^{1\&4} = 28,42 \text{ cm}$$

Effektiver Querschnitt im Feldbereich

$$A_{\text{Feld}}^{1\&4} = 239,9 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Feld}}^{1\&4} = 36352 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Feld}}^{1\&4} = -8,79 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Feld}}^{1\&4} = 28,21 \text{ cm}$$

Nettoquerschnitt im Stützbereich

$$A_{\text{Stütz}}^{1\&4} = 179,9 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{Stütz}}^{1\&4} = 29946 \text{ cm}^4$$

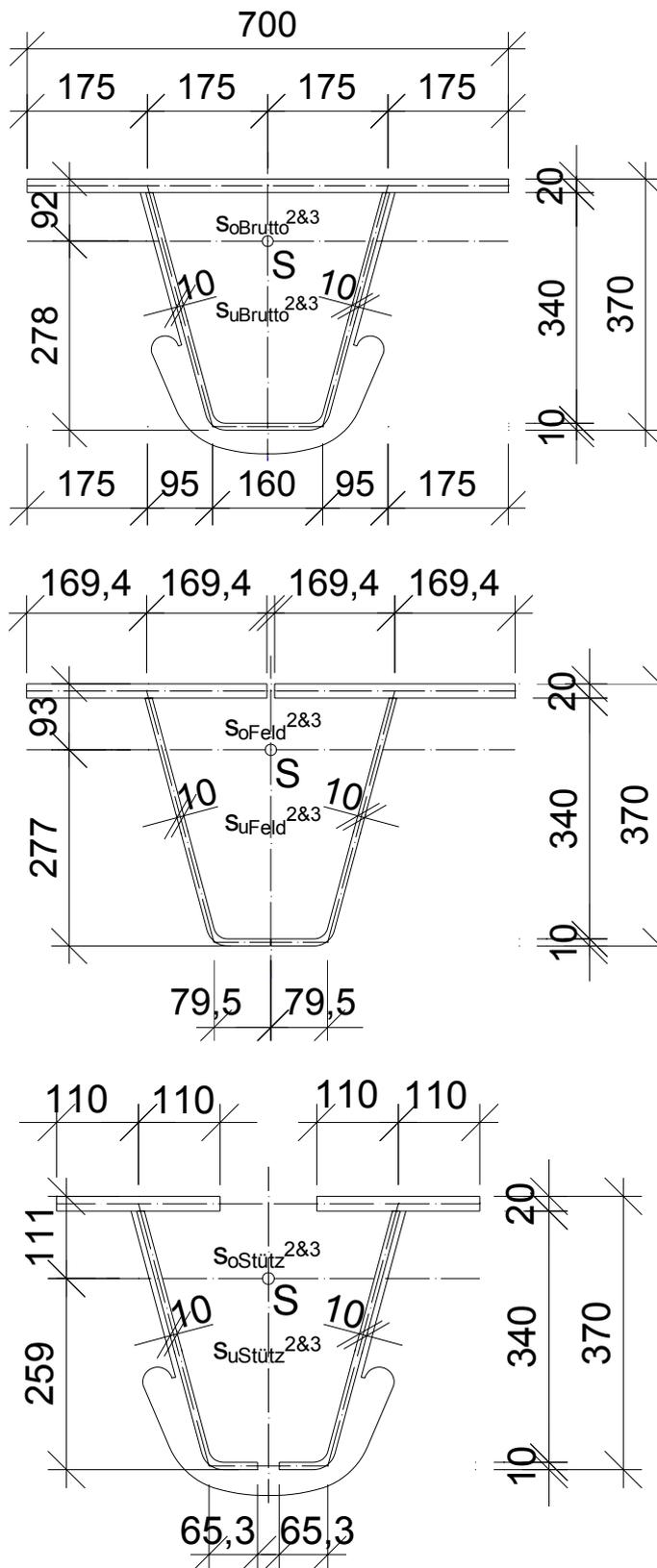
Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{o\text{Stütz}}^{1\&4} = -10,83 \text{ cm}$$

$$S_{u\text{Stütz}}^{1\&4} = 26,17 \text{ cm}$$

Abb. 30 Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen 1&4

Längsrippen 2&3



Geometrischer Querschnitt

$$A_{Brutto}^{2\&3} = 229,5 \text{ cm}^2$$

$$I_{yBrutto}^{2\&3} = 35768 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{oBrutto}^{2\&3} = -9,16 \text{ cm}$$

$$S_{uBrutto}^{2\&3} = 27,84 \text{ cm}$$

Effektiver Querschnitt im Feldbereich

$$A_{Feld}^{2\&3} = 225,0 \text{ cm}^2$$

$$I_{yFeld}^{2\&3} = 35387 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{oFeld}^{2\&3} = -9,31 \text{ cm}$$

$$S_{uFeld}^{2\&3} = 27,69 \text{ cm}$$

Effektiver Querschnitt im Stützbereich

$$A_{Stütz}^{2\&3} = 174,5 \text{ cm}^2$$

$$I_{yStütz}^{2\&3} = 29414 \text{ cm}^4$$

Randabstände des Schwerpunktes:

$$S_{oStütz}^{2\&3} = -11,13 \text{ cm}$$

$$S_{uStütz}^{2\&3} = 25,87 \text{ cm}$$

Abb. 31 Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen 2&3

3.3.3 Querträger

3.3.3.1 Mittragende Breiten der Querträger

Die Berechnung der mittragenden Breiten erfolgt auf der Grundlage der ÖNORM EN 1993-1-5 [9]. Weiters wird als Vorlage für die Berechnung das Buch „Eisenbahnbrückenbau nach DIN – Fachbericht“ [17] verwendet.

3.3.3.1.a Für die Schnittgrößenermittlung

Die mittragenden Breiten der Querträger für die Schnittgrößenermittlung entsprechen dem Gesamtabstand der Querträger. Dies würde einem Obergurt von 3,5 m Breite entsprechen. Nach Absprache mit Prof. Fink wird für diese Untersuchung in der Diplomarbeit nur ein Satz von Querschnittswerten verwendet. Aus diesem Grund wird der ungünstigste Satz ausgewählt, der aus der Berechnung der mittragenden Breite der Querträger für die Spannungsberechnung entsteht (siehe Berechnung 3.3.3.1.b, Abb. 28).

3.3.3.1.b Für die Spannungsberechnung

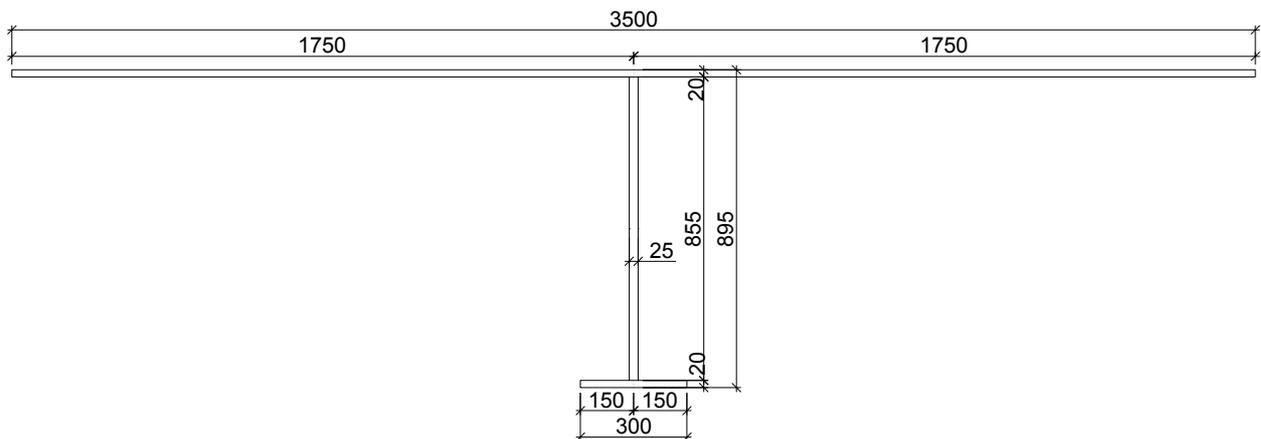


Abb. 32 Gesamtabmessungen der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

In den Gurten darf der Einfluss der Schubverzerrungen vernachlässigt werden, wenn folgende Bedingung erfüllt ist:

$$b_0 / L_e < 0,02$$

Für die Querträger ergibt sich:

$$e_{QT} = 3,5 \text{ m}$$

Abstand der Querträger

$$e_{HT} = L_e = 3,5 \text{ m}$$

Abstand der Hauptträger

$$b_0 = \frac{e_{QT}}{2}$$

$$b_0 = 1750 \text{ mm}$$

$$\kappa = \frac{b_0}{L_e} = 0,50 \quad (0,02 \leq \kappa_{if} \leq 0,70)$$

Somit ist der Einfluss der Schubverzerrungen im Obergurt der Querträger zu berücksichtigen.

Zur Berücksichtigung elastischer Schubverzerrungen wird die mittragende Breite b_{eff} für den Obergurt der Querträger wie folgt ermittelt:

$$b_{eff} = \beta \cdot b_0$$

Für $0,02 \leq \kappa \leq 0,70$ gilt:

$$\beta = \frac{1}{1 + 6,4\kappa^2} \quad \beta = 0,385$$

Für die mittragende Teilgurtbreite b_{eff} gilt:

$$b_{\text{eff}} = 673 \text{ mm}$$

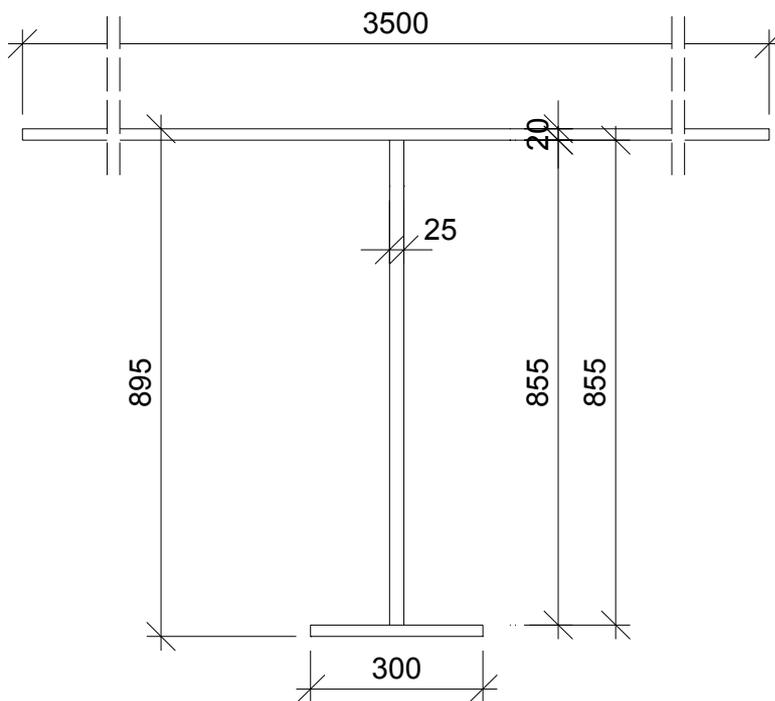
Für die gesamte Obergurtbreite der Querträger gilt:

$$b_m = 2 \cdot b_{\text{eff}} \quad b_m = 1346 \text{ mm}$$

Aus dieser Berechnung der mittragenden Obergurtbreite der Querträger folgen die in der Abb. 33 dargestellten effektiven Querschnittsabmessungen der Querträger.

3.3.3.2 Querschnittswerte der Querträger

Die Querschnittswerte werden analog zu Kap. 3.2.3.2 ermittelt.

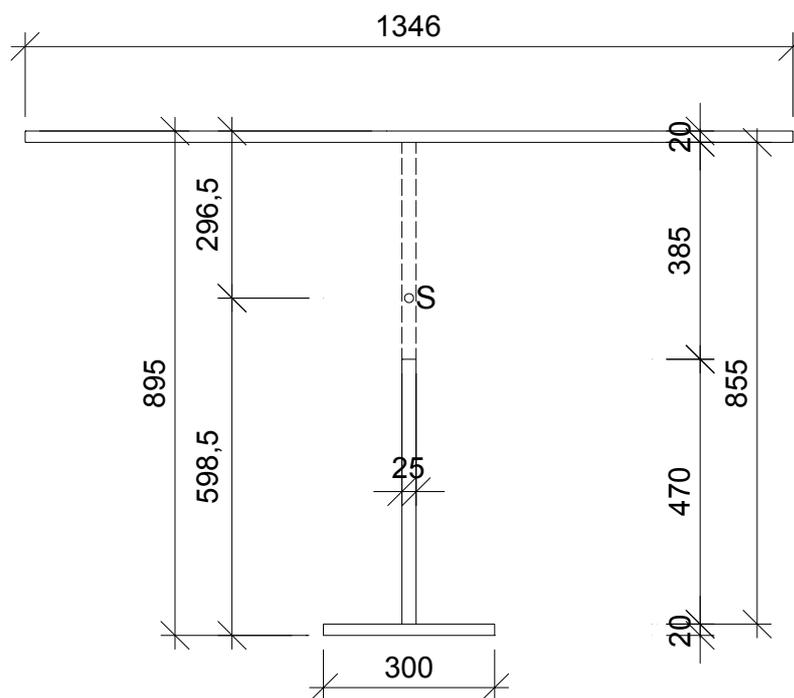


Geometrischer Querschnitt

- Ohne Berücksichtigung der mittragenden Obergurtbreite

$$A_{\text{StegGesamt}} = 213,75 \text{ cm}^2$$

Alle weiteren Gesamtquerschnittswerte werden für die Berechnung nicht benötigt.



Effektiver Querschnitt

- Unter Berücksichtigung der mittragenden Obergurtbreite,
- unter Berücksichtigung der Stegausehnehmungen für die Längsrippen.

$$A_{\text{StegEffektiv}} = 117,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{QTEffektiv}} = 449,2 \text{ cm}^2$$

$$I_{y\text{QT}} = 59748 \text{ cm}^4$$

$$s_{o\text{QT}} = -29,65 \text{ cm}$$

$$s_{u\text{QT}} = 59,85 \text{ cm}$$

Abb. 33 Querschnittswerte der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

4. Statisches System & Schnittgrößenermittlung

In dieser Arbeit wird die lokale Tragwirkung der orthotropen Platte untersucht. Die Auswirkungen des globalen Tragsystems werden nicht berücksichtigt.

In Tab. 17 sind die verwendeten Einwirkungen für die Berechnung der einzelnen Bauteile zusammengestellt.

verwendete Einwirkungen		Bauteil		
		Deckblech	Längsrippen	Querträger
Ständige Einwirkungen	Eigengewicht	x	x	x
	Ausbaulast	x	x	x
Veränderliche Einwirkungen	Lastbilder: LM 71	x	x	x
	LM 71 _{aufg1}		x	x
	LM 71 _{aufg2}		x	x

Tab. 17 Zusammenstellung der verwendeten Einwirkungen der drei Bauteile

4.1 Schnittgrößen für das Deckblech

Das Deckblech wird als Durchlaufträger modelliert. Dieses Modell wird für die nachfolgende Berechnung des Deckbleches verwendet.

4.1.1 Durchlaufträger

Für das Durchlaufträgermodell werden die Längsrippen als starr angenommen, das heißt, die Längsrippenstege bzw. die Hauptträgerstege entsprechen Auflagern (siehe Abb. 34).

Bei der Konstruktion und Anordnung der Längsrippen wird, wie bereits im Kap.3.1.1 erwähnt, auf eine konstante Stützweite geachtet. Das bedeutet für das Deckblech, dass die Stützweiten, soweit es die konstruktiven Empfehlungen zulassen, identisch sind. Wie jedoch aus diesen Empfehlungen hervorgeht, muss der Abstand zum Hauptträger größer sein (siehe Abb. 15). Das bedeutet für diese Arbeit, dass die größte Stützweite 525 mm (siehe Abb. 34) beträgt.

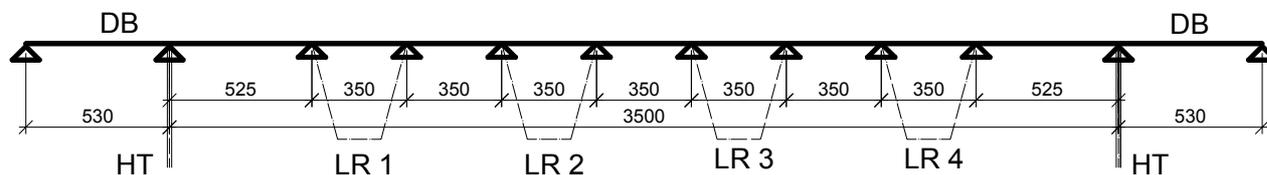


Abb. 34 Statisches System: Durchlaufträgermodell des Deckbleches

Dieses Unterkapitel zeigt exemplarisch die Berechnung der Momente. Für diese Berechnung wird nur das Lastbild LM 71 näher untersucht. Dieses Lastbild LM 71 stellt das ungünstige Lastbild dar und liefert ausreichend genaue Ergebnisse für diese Diplomarbeit. Die dazu benötigten Einwirkungen, Beiwerte, Faktoren und Lastkombinationen können dem Kap.2 entnommen werden. Die erhaltenen Ergebnisse

werden in Tabellen angegeben. Die fett dargestellten Werte in den Tabellen zeigen die Ergebnisse, welche in dieser Arbeit exemplarisch berechnet werden.

4.1.1.1 Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Bemessungslasten für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (siehe Abb. 35):

$$G_k = 14.10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$G_d = \gamma_G \cdot G_k$$

$$G_d = 19.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

(siehe Kap.2.2.1.1 und Kap.2.2.2.1)

$$Q_k = \frac{250\text{kN} \cdot 0.5}{0.43\text{m} \cdot 2.77\text{m}}$$

$$Q_k = 104.94 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_d = \gamma_Q \cdot \Phi_{2DB} \cdot \alpha \cdot Q_k$$

$$Q_d = 238.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (\text{siehe Kap.2.3})$$

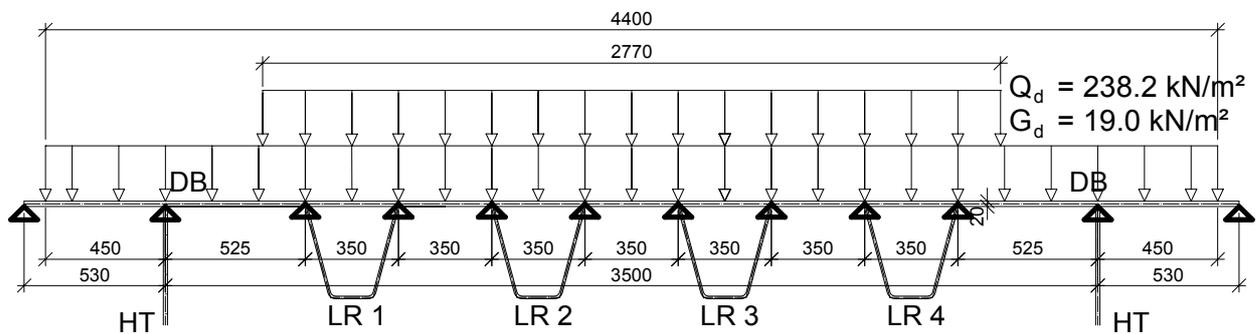


Abb. 35 Bemessungslasten des Deckbleches für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (Bemessungslasten mit α , Φ_2 und γ)

4.1.1.1.a Momente

Aus den in Abb. 35 dargestellten Bemessungslasten ergibt sich die folgende Momentenlinie (siehe Abb. 36).

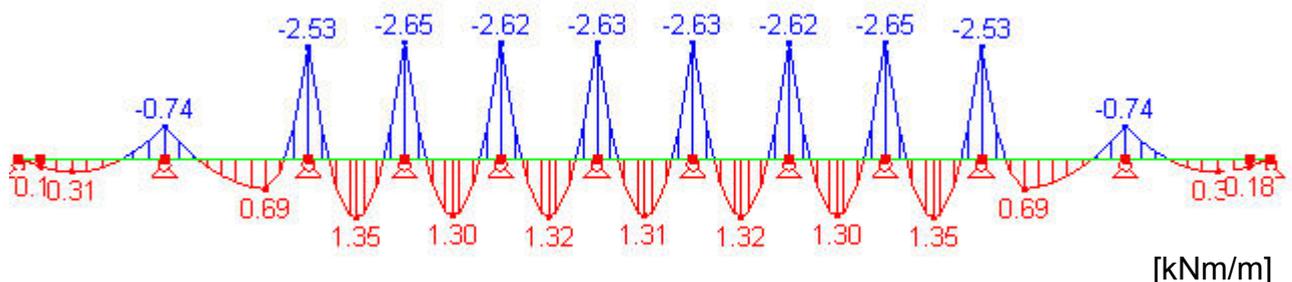


Abb. 36 Momentenlinie des Deckbleches bei 3,5 m Querträgerabstand für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (Bemessungswerte mit α , Φ_2 und γ)

In Tab. 18 sind die Bemessungsmomente des Deckbleches zusammengefasst. Die geringen Unterschiede zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Querträgerabstände ergeben sich nur aus den unterschiedlichen dynamischen Beiwerten (siehe Kap.2.4.2.1, Tab. 09). Die dynamischen Beiwerte sind laut Kap. 2.4.2.1 für das Deckblech und die Längsrippen identisch und hängen vom Querträgerabstand ab.

e_{QT} [m]	$m_{yStütz}$ [kNm/m]	m_{yFeld} [kNm/m]
2,5	-2,83	1,44
3,5	-2,65	1,35
4,0	-2,59	1,32

Tab. 18 Bemessungsmomente des Deckbleches für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

4.1.1.2 Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis FLS

Um in diesem Kapitel konsequent zu sein, werden für die Ermüdungsnachweise die Schnittgrößen als charakteristische Größen angegeben. Dies erscheint für die Berechnung der Längsrippen sinnvoller. Aus diesem Grund werden die erforderlichen Beiwerte und Faktoren im Kap.5 beigefügt.

Die Abb. 37 zeigt das Belastungsbild für den Ermüdungsnachweis. Die Last Q_k (siehe Kap. 4.1.1.1) stellt eine charakteristische Last dar.

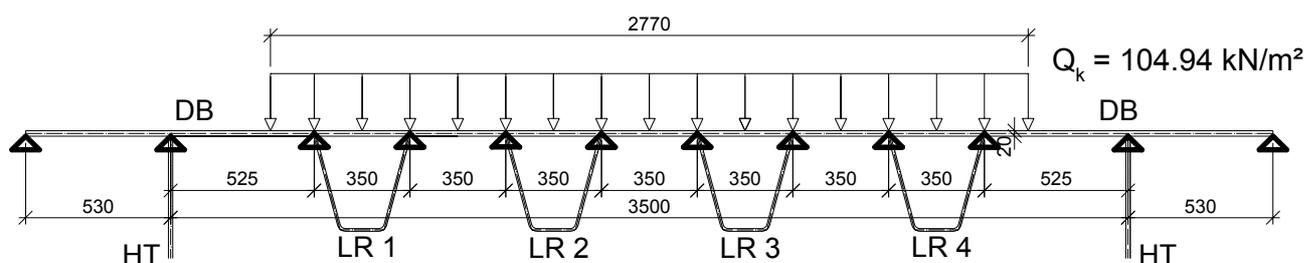


Abb. 37 Charakteristische Lasten des Deckbleches für den Ermüdungsnachweis FLS (Charakteristische Werte ohne Φ_2 und λ)

4.1.1.2.a Momente

Aus den in Abb. 37 dargestellten charakteristischen Lasten ergibt sich die folgende Momentenlinie (siehe Abb. 38).

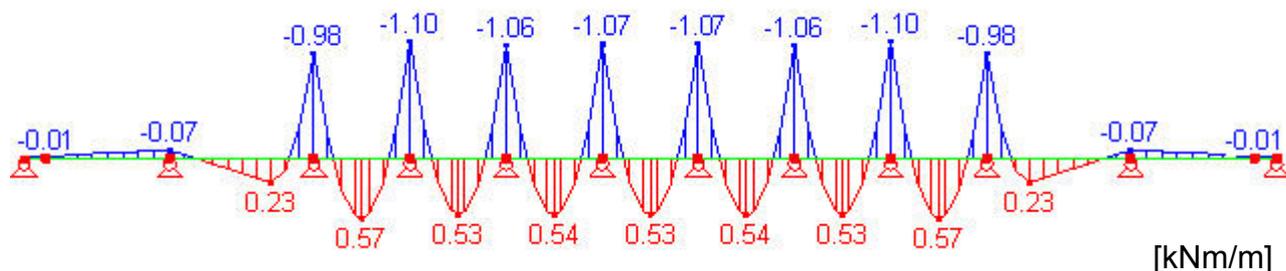


Abb. 38 Charakteristische Momentenlinie des Deckbleches bei 3,5 m Querträgerabstand für den Ermüdungsnachweis FLS (Char. Werte ohne Φ_2 und λ)

Die Momentendifferenz wird nach folgender Formel (5) berechnet:

$$\Delta m_y = \max m_y - \min m_y \quad (5)$$

In Tab. 19 sind die Momentendifferenzen für die drei gewählten Querträgerabstände zusammengestellt. Die Werte der verschiedenen Querträgerabstände unterscheiden sich nicht voneinander, da in Tab. 19 charakteristische Werte dargestellt sind.

e_{QT} [m]	Δm_y [kNm/m]
2,5	1,10
3,5	1,10
4,0	1,10

Tab. 19 Charakteristische Momente des Deckbleches für den Ermüdungsnachweis FLS (Charakteristische Werte ohne Φ_2 und λ)

4.2 Schnittgrößen für die Längsrippen

Für die Längsrippen werden folgende zwei Modellierungen untersucht:

- Durchlaufträgersystem
- Trägerrostsystem

Die für dieses Kapitel erforderlichen Belastungen sind im Kap.2 bereits ausführlich erwähnt. Demzufolge werden das Eigengewicht $G_{1,LR}$, die Ausbaulast $G_{2,LR}$ und die drei Verkehrslastbilder – LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2} – berücksichtigt. Die benötigten Querschnitte und Querschnittswerte sind im Kap.3 zusammengestellt. Es werden die drei Querträgerabstände 2,5 m, 3,5 m und 4,0 m untersucht. Der Querträgerabstand von 4,0 m wird jedoch mit Einschränkungen betrachtet (siehe Kap.3.3).

Die Berechnung der Schnittgrößen erfolgt an dem modellierten 11-feldrigen statischen System. Die elf Felder werden aus der Überlegung gewählt, dass die Einflusslinien rasch abklingen und weitere Felder das Ergebnis nicht wesentlich beeinflussen (siehe Kap.4.2.1.1 und Kap.4.2.2.1). Die folgenden Abbildungen der Schnittgrößen zeigen das mittlere Feld dieser Modellierung. Weiters werden die Schnittgrößen exemplarisch für die zweite Längsrippe dargestellt. Dabei wird das Lastbild LM 71_{aufg2} bei 3,5 m Querträgerabstand gezeigt.

In den nachfolgenden Schnittgrößenabbildungen sind jeweils die charakteristischen Schnittgrößen dargestellt. Nach Auswertung der entsprechenden Lastkombinationen sind in den Tabellen die Bemessungswerte der Schnittgrößen aufgelistet. Die fett dargestellten Werte in den Tabellen zeigen die Ergebnisse, die in dieser Arbeit exemplarisch berechnet werden.

4.2.1 Durchlaufträgersystem

Das einfachste statische Modell zur Abbildung der Längsrippen einer orthotropen Fahrbahnplatte ist der Durchlaufträger. In diesem Modell werden die Querträger als starr angenommen, das bedeutet, die Querträger entsprechen Auflagern (siehe Abb. 39).

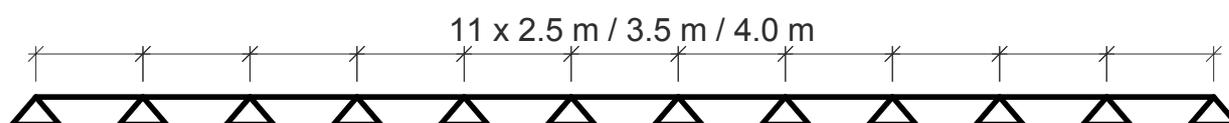


Abb. 39 Statisches System: Durchlaufträgermodell der Längsrippen

Die Schnittgrößenermittlung erfolgt mit dem Programm SOFISTIK. Grundlage dieser Ermittlung sind die Einflusslinien für die Querkraft und das Moment.

Die Einwirkungen werden laut dem Kap.2 längs- und querverteilt. Die Umsetzung der konstruierten Querschnitte aus Kap.3 erfolgt direkt in dem Programm SOFISTIK (siehe Abb. 40).

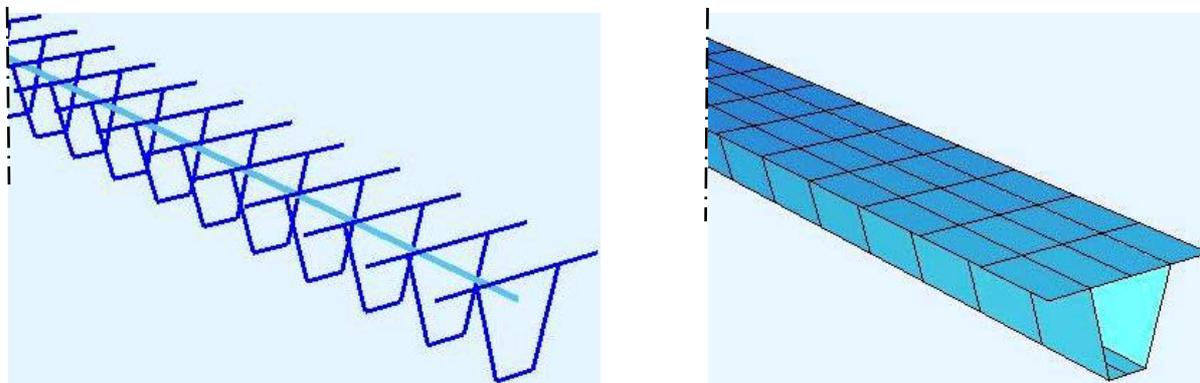


Abb. 40 Querschnittsmodellierung im Programm SOFISTIK

4.2.1.1 Einflusslinien

Exemplarisch werden die Einflusslinien für die Durchlaufträgerberechnung bei 3,5 m Querträgerabstand gezeigt. Diese werden für die zweite Längsrippe dargestellt (siehe Abb. 41, Abb. 42, Abb. 43 und Abb. 44).

Die folgenden Einflusslinien sind überhöht dargestellt. Im Kap.6.1.1 sind die Einflusslinien in einem einheitlichen Maßstab gegenübergestellt und ausgewertet.

In Abb. 41 ist der Sprung von 1,0 im Stützbereich des mittleren Feldes erkennbar. Außerdem zeigt sich, dass die Einflusslinie rasch abklingt. Aus diesem Grund reicht es, die mittleren Felder des 70 m langen Brückentragwerkes auszuwerten.

DT - LR 2 Stützbereich

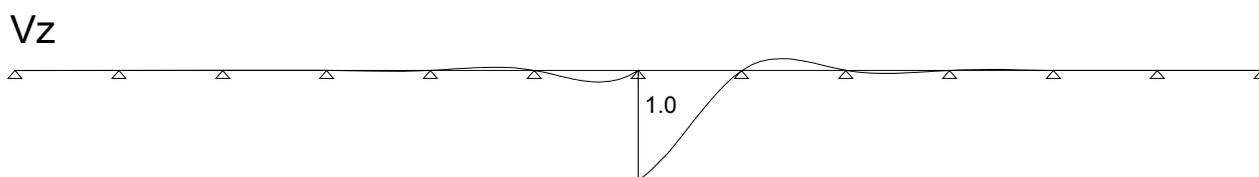


Abb. 41 Einflusslinie der Querkraft (LR 2) im Stützbereich (Durchlaufträgerberechnung)

Die Abb. 42 zeigt den Sprung der Einflusslinie von 1,0 in Feldmitte.

DT - LR 2 Feldmitte

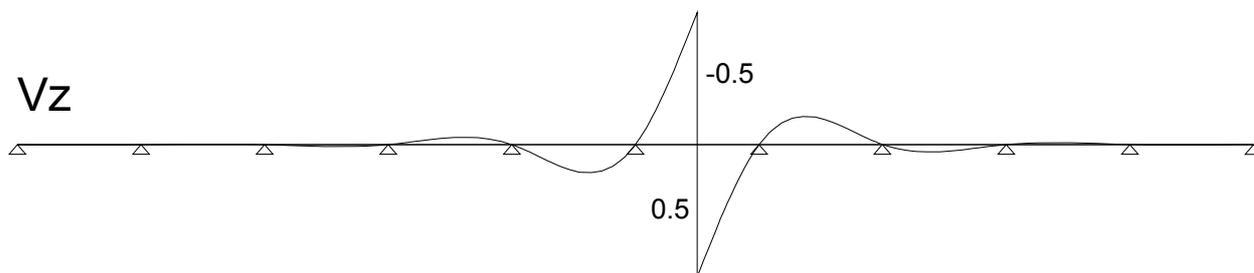


Abb. 42 Einflusslinie der Querkraft (LR 2) in Feldmitte (Durchlaufträgerberechnung)

Die in den Abb. 43 und Abb. 44 angegebenen Werte sind Ordinatenwerte der Momenteneinflusslinie.

DT - LR 2 Stützbereich

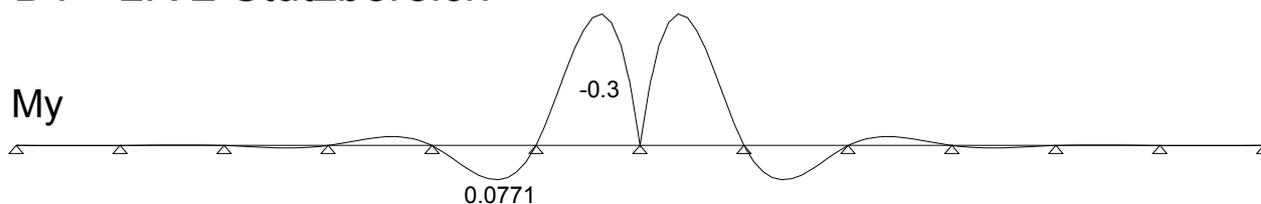


Abb. 43 Einflusslinie des Momentes (LR 2) im Stützbereich (Durchlaufträgerberechnung)

DT - LR 2 Feldmitte

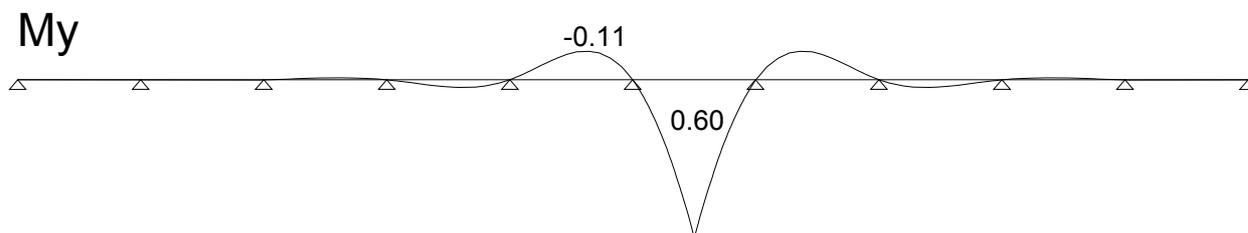


Abb. 44 Einflusslinie des Momentes (LR 2) in Feldmitte (Durchlaufträgerberechnung)

4.2.1.2 Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Hier gelten die im Kapitel 4.2 getroffenen allgemeinen Aussagen.

Die charakteristischen Schnittgrößen zufolge des Eigengewichts der Längsrippen $G_{1,LR}$ und der Ausbaulast der Längsrippen $G_{2,LR}$ sind unabhängig vom Berechnungsmodell. Das heißt, sie sind für die Durchlaufträger- und Trägerrostberechnung identisch.

4.2.1.2.a Querkräfte

Die festen Auflager in den nachfolgenden Abbildungen stellen die Querträger im Abstand von 3,5 m dar.

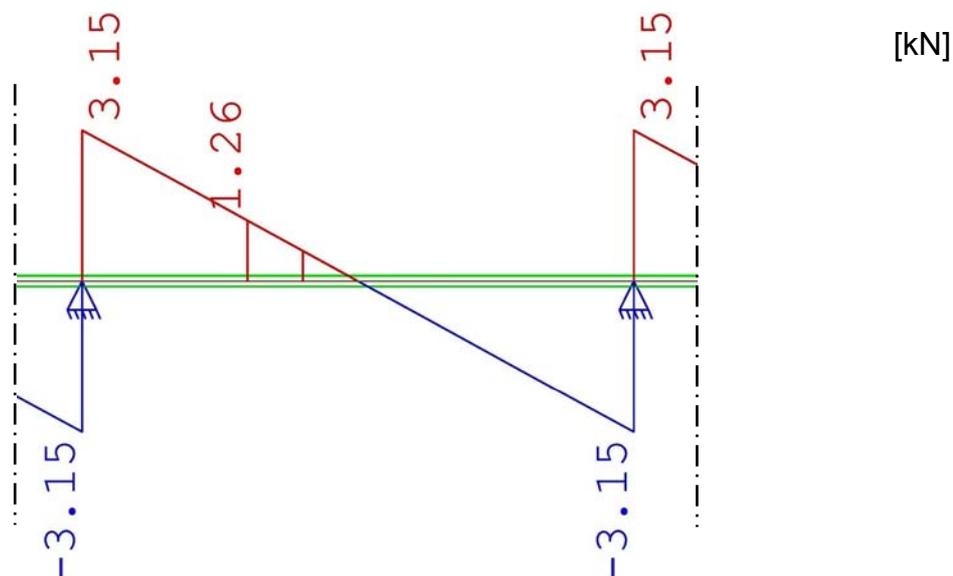


Abb. 45 Charakteristische Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Eigengewichtes $G_{1,LR}$

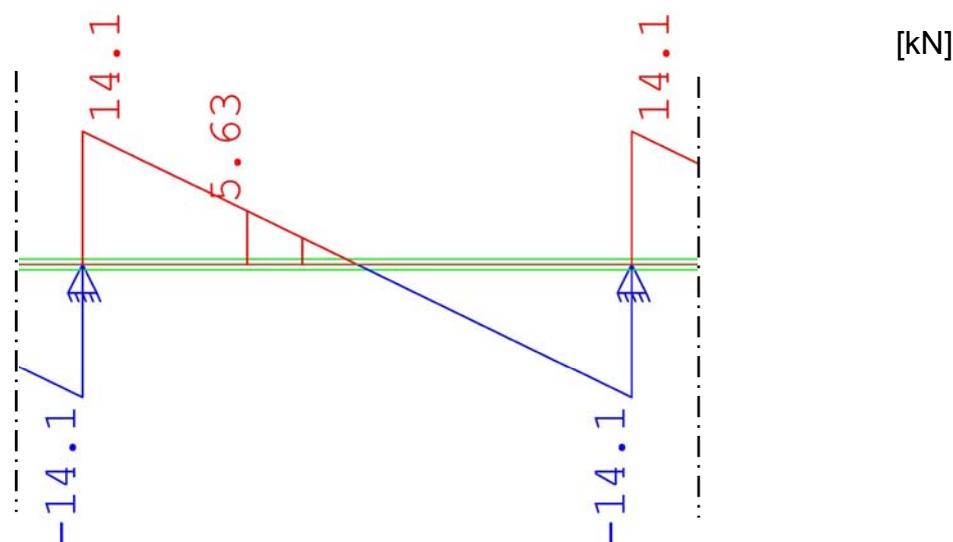


Abb. 46 Charakteristische Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge der Ausbaulast $G_{2,LR}$

Die Auswertung der Querkräfte wird, um den Rechenumfang nicht unnötig zu erhöhen, nur für den Trägerabschnitt in Tragwerksmitte durchgeführt (siehe Abb. 47 und Abb. 48). Die Abbildungen zeigen die Auswertung der Einflusslinien für das Verkehrslastbild.

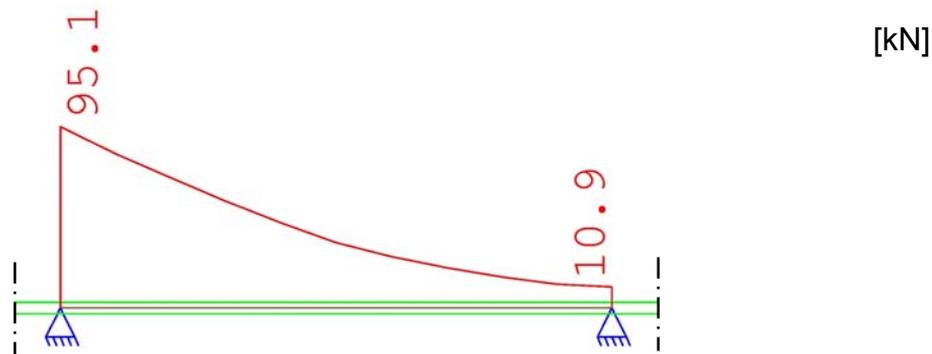


Abb. 47 Charakteristische max. Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (Durchlaufträgerberechnung)

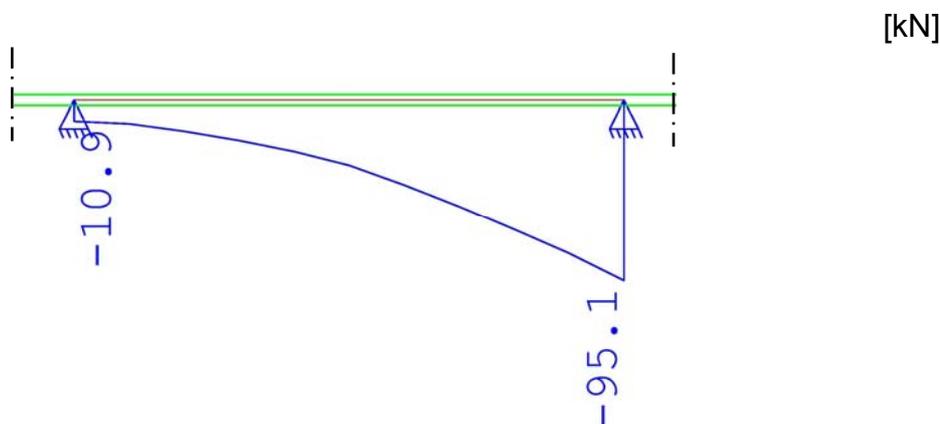


Abb. 48 Charakteristische min. Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (Durchlaufträgerberechnung)

Die in den Abb. 47 und Abb. 48 dargestellten charakteristischen Werte ergeben sich aus dem Lastfall LM 71_{aufg2} * 0,2527. Der Faktor 0,2527 ist der Querverteilungsfaktor für die zweite Längsrippe laut Kap.2.3.4.2, Tab. 08.

Längsrippen 1&4

V_z		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e _{QT}	2,5 m	206,1	135,8	169,7
	3,5 m	240,5	179,3	209,7
	4,0 m	261,0	199,1	229,3

Längsrippen 2&3

V_z		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e _{QT}	2,5 m	236,3	154,9	194,1
	3,5 m	274,7	204,0	239,2
	4,0 m	297,8	226,2	261,1

Tab. 20 Bemessungswerte der Querkräfte (Durchlaufträgerberechnung)

Auf die Angabe der min. V_z wird in Tab. 20 verzichtet, da der Querkraftverlauf antisymmetrisch ist (siehe Abb. 47 und Abb. 48) und somit $V_z = |\text{min. } V_z| = |\text{max. } V_z|$ gilt.

4.2.1.2.b Momente

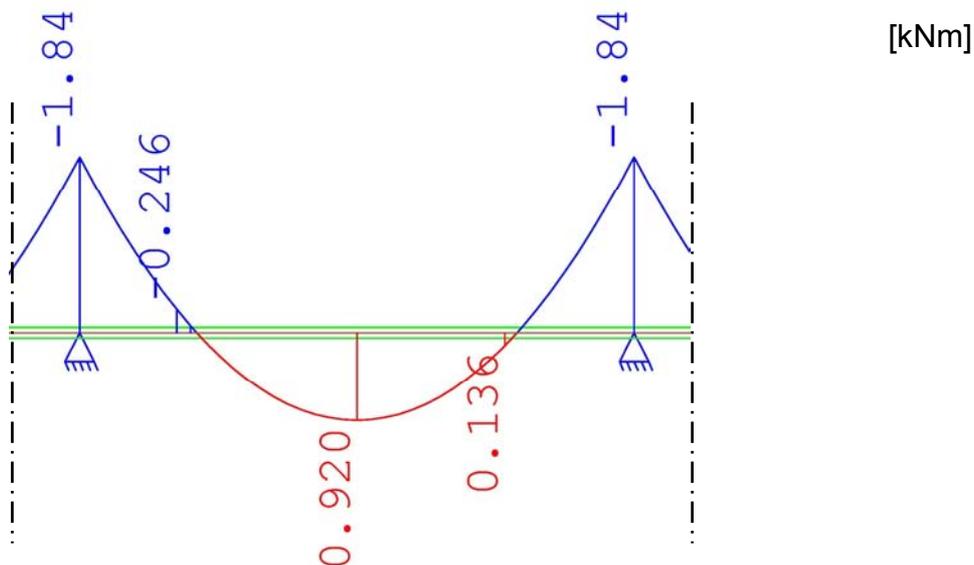


Abb. 49 Charakteristische Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Eigengewichtes $G_{1,LR}$ (Durchlaufträgerberechnung)

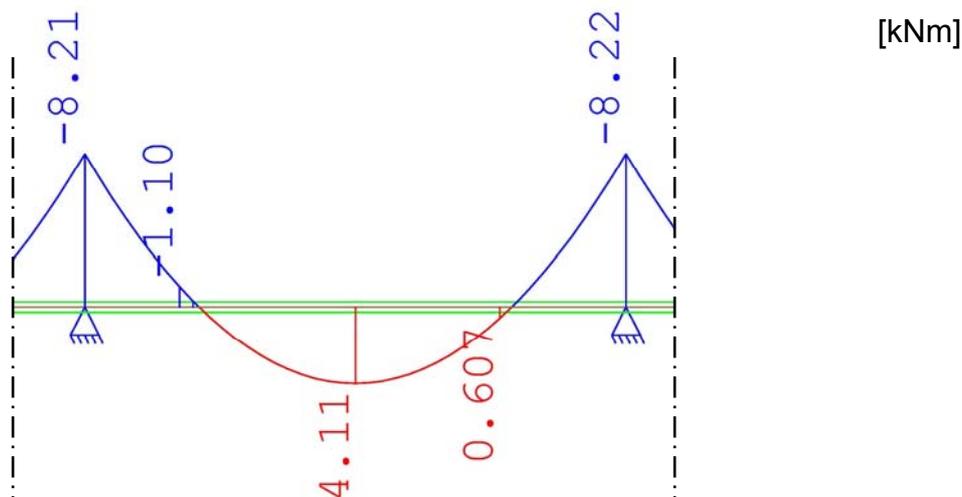


Abb. 50 Charakteristische Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge der Ausbaulast $G_{2,LR}$ (Durchlaufträgerberechnung)

Die Auswertung der Momente wird, um den Rechenumfang nicht unnötig zu erhöhen, nur für den Trägerabschnitt in Tragwerksmitte durchgeführt (siehe Abb. 51 und Abb. 52). Die Abbildungen zeigen die Einhüllenden der Minimum- und Maximummomente des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (siehe Kap.2.3.3) für 3,5 m Querträgerabstand.

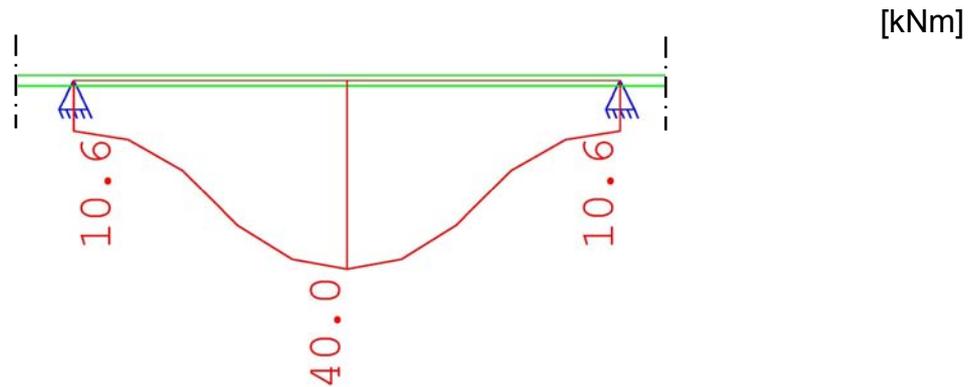


Abb. 51 Charakteristische max. Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (Durchlaufträgerberechnung)

In den Abb. 51 und Abb. 52 ist das Lastbild LM 71_{aufg2} wiederum mit dem Querverteilungsfaktor aus dem Kap.2.3.4.2, Tab. 08 multipliziert.

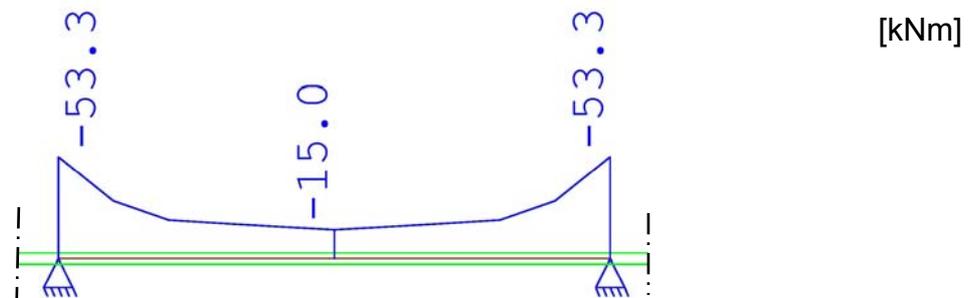


Abb. 52 Charakteristische min. Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (Durchlaufträgerberechnung)

Längsrippen 1&4

Längsrippen 2&3

M_y.Feld		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kNm]	[kNm]	[kNm]
e _{QT}	2,5 m	65,8	45,0	50,4
	3,5 m	94,5	81,0	85,5
	4,0 m	119,5	103,3	108,6

M_y.Feld		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kNm]	[kNm]	[kNm]
e _{QT}	2,5 m	75,4	51,3	57,6
	3,5 m	108,0	92,4	97,5
	4,0 m	136,5	117,7	123,8

M_y.Stütz		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kNm]	[kNm]	[kNm]
e _{QT}	2,5 m	-68,7	-62,2	-64,0
	3,5 m	-126,5	-115,4	-117,3
	4,0 m	-156,1	-144,9	-146,8

M_y.Stütz		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kNm]	[kNm]	[kNm]
e _{QT}	2,5 m	-79,3	-71,8	-73,8
	3,5 m	-145,3	-132,4	-135,0
	4,0 m	-178,7	-165,8	-168,0

Tab. 21 Bemessungswerte der Momente (Durchlaufträgerberechnung)

Aus Tab. 21 erkennt man, dass das Lastbild LM 71 die ungünstigsten Werte und das Lastbild LM 71_{aufg1} die günstigsten Werte liefert. Das genaueste Lastbild LM 71_{aufg2} liefert Ergebnisse zwischen den beiden anderen Lastbildern.

4.2.1.3 Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis FLS

4.2.1.3.a Momente

Die charakteristischen Momentenlinien des Lastbildes LM 71_{aufg2} sind in den Abb. 51 und Abb. 52 dargestellt. In der nachfolgenden Tab. 22 werden die charakteristischen Werte der Momentendifferenzen zusammengefasst. Die Momentendifferenzen errechnen sich nach folgender Formel (6):

$$\Delta M_y = \max M_y - \min M_y \quad (6)$$

Die Formel (6) wird für die Momente in den Abb. 51 und Abb. 52 ausgewertet:

Stützbereich:

Feldbereich:

$$\Delta M_{y,\text{Stütz}} = \max M_{y,\text{Stütz}} - \min M_{y,\text{Stütz}}$$

$$\Delta M_{y,\text{Feld}} = \max M_{y,\text{Feld}} - \min M_{y,\text{Feld}}$$

$$\Delta M_{y,\text{Stütz}} = 10,6 - (-53,3) = 63,9 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{y,\text{Feld}} = 40,0 - (-15,0) = 55 \text{ kNm}$$

In Tab. 22 wird zwischen den Bereichen Stütze, 0,2L und Feld, unterschieden.

Längsrippen 1&4

Längsrippen 2&3

Stützbereich

Stützbereich

$\Delta M_{y,\text{Stütz}}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	29,9	26,9	27,7
	3,5 m	58,9	53,4	54,3
	4,0 m	74,3	68,9	69,8

$\Delta M_{y,\text{Stütz}}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	35,4	31,9	32,9
	3,5 m	69,2	62,8	63,9
	4,0 m	87,1	80,7	81,9

Bereich 0,2L

Bereich 0,2L

$\Delta M_{y,0.2L}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	25,9	16,8	19,3
	3,5 m	42,1	30,8	33,5
	4,0 m	50,3	40,3	43,1

$\Delta M_{y,0.2L}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	29,6	19,6	22,5
	3,5 m	49,0	35,9	39,1
	4,0 m	58,5	46,9	50,2

Feldbereich

Feldbereich

$\Delta M_{y,\text{Feld}}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	34,5	25,4	27,9
	3,5 m	52,8	45,5	47,7
	4,0 m	67,4	59,4	62,0

$\Delta M_{y,\text{Feld}}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	39,9	29,3	32,1
	3,5 m	61,0	52,6	55,0
	4,0 m	77,9	68,6	71,6

Tab. 22 Charakteristische Momentendifferenzen (Durchlaufträgerberechnung)

Die Ergebnisse aus Tab. 22 lassen erkennen, dass der Stützbereich die betragsmäßig größten Ergebnisse liefert.

4.2.2 Trägerrostsystem

Die Trägerrostmodellierung entspricht einer genaueren Modellierung der orthotropen Fahrbahnplatte. In diesem Modell werden die Querträger nicht, wie beim Durchlaufträger, als starr angenommen, sondern es wird die vorhandene Steifigkeit der Querträger angesetzt.

Die orthotrope Platte stellt ein ebenes, in zwei Richtungen wirkendes Tragsystem dar. In Längsrichtung übernimmt der Hauptträger die primäre Ableitung der Kräfte in die Widerlager. Die Längsrippen übernehmen die sekundäre Kraftableitung in Längsrichtung. In Querrichtung übernehmen die Querträger die Lastabtragung zum Hauptträger hin und das Deckblech übernimmt die Lastableitung zu den Längsrippen.

In Abb. 53 ist das dieser Diplomarbeit zu Grunde liegende Trägerrostmodell dargestellt. Die Querträger liegen auf den als starr angenommen Hauptträgern auf. Die Durchbiegung der Hauptträger wird in dieser Arbeit vernachlässigt.

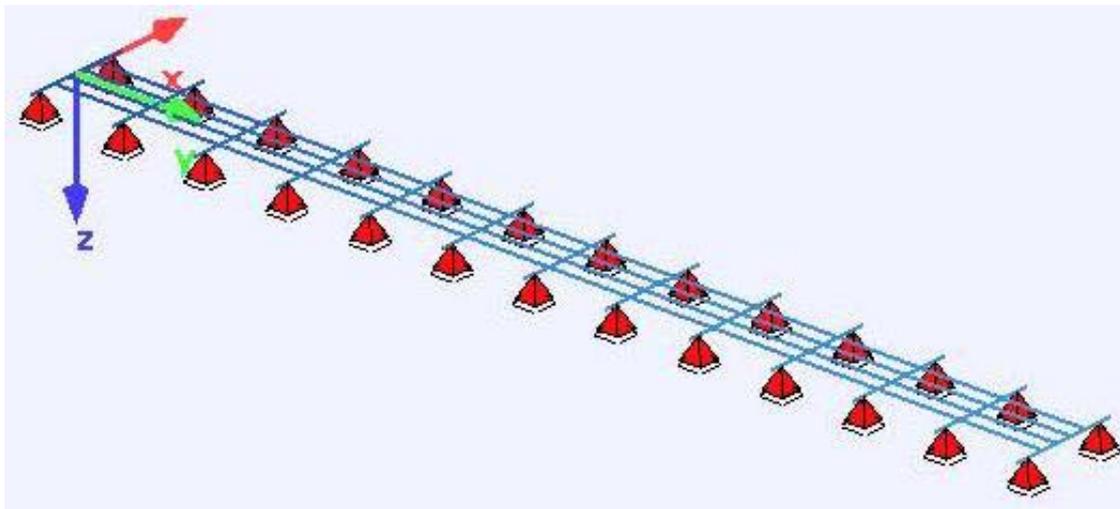


Abb. 53 Statisches System: Trägerrostmodell der Längsrippen

Die Berechnung mittels Trägerrostsystem berücksichtigt die Beeinflussung der einzelnen Längsrippen untereinander. Dies ist aus den Darstellungen der Einflusslinien (siehe Kap.4.2.2.1) zu erkennen.

Die Umsetzung der konstruierten Querschnitte aus Kap.3 erfolgt direkt in dem Programm SOFISTIK (siehe Abb. 54).

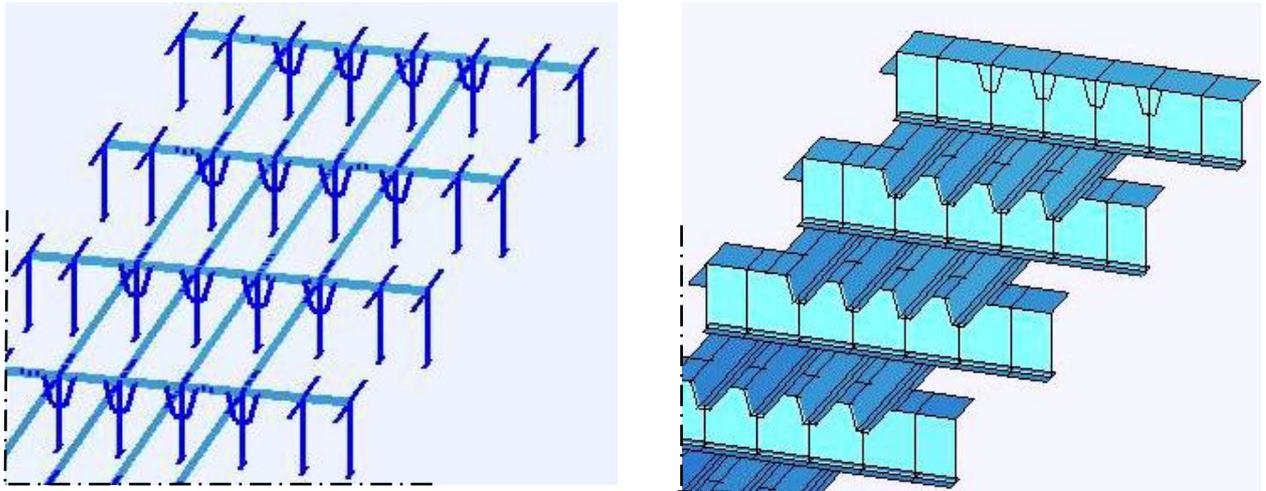


Abb. 54 Querschnittsmodellierung im Programm SOFISTIK

4.2.2.1 Einflusslinien

Exemplarisch werden die Einflusslinien für die Trägerrostberechnung bei 3,5 m Querträgerabstand gezeigt. Diese werden für die zweite Längsrippe dargestellt (siehe Abb. 55, Abb. 56, Abb. 57, Abb. 58, Abb. 59, Abb. 60, Abb. 61 und Abb. 62). Die Bezeichnungen der Schnitte LR 1, LR 2, LR 3 und LR 4 in den nachfolgend gezeigten Abbildungen, stellen die jeweils betrachtete Längsrippe dar.

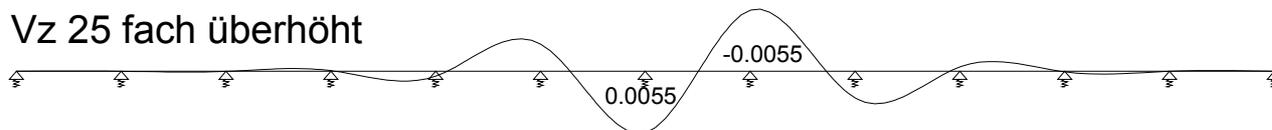
Die folgenden Einflusslinien sind überhöht dargestellt und anschließend in einem einheitlichen Maßstab übereinander gelegt. Im Kap.6.1.1 sind die Einflusslinien gegenübergestellt und ausgewertet.

In Abb. 55 sind die Einflusslinien der zweiten Längsrippe für die Querkraft im Stützbereich dargestellt. Die Darstellungen in Abb. 55 sind überhöht um die Einflusslinien besser zu erkennen. Aus diesem Grund wird in Abb. 56 eine maßstäbliche Zusammenfassung der in Abb. 55 dargestellten Einflusslinien vorgenommen (siehe auch Kap.6.1).

Die folgende Abb. 55 zeigt die Einflusslinien des Trägerrostes für die Querkraft, wenn im Stützbereich der zweiten Längsrippe eine Kraft von 1,0 eingeprägt wird.

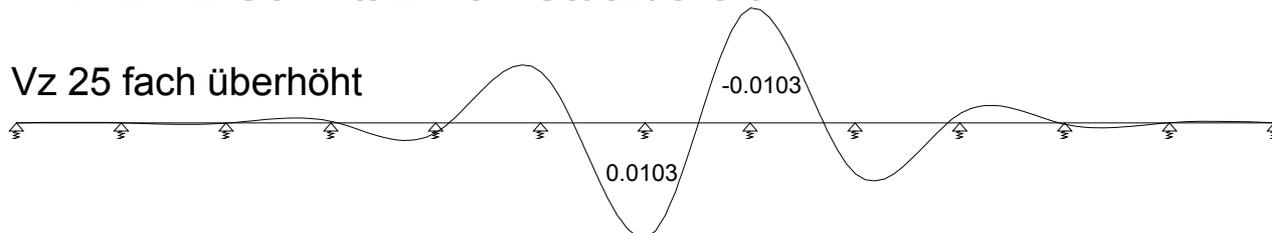
TR - LR 2 Schnitt LR 4 - Stützbereich

Vz 25 fach überhöht



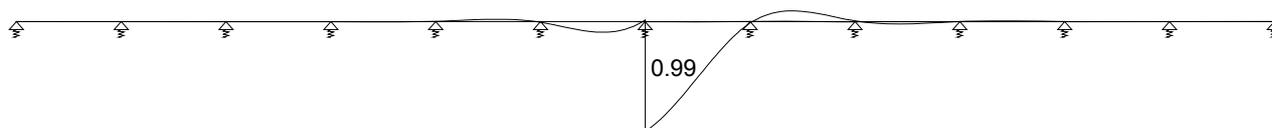
TR - LR 2 Schnitt LR 3 - Stützbereich

Vz 25 fach überhöht



TR - LR 2 Schnitt LR 2 - Stützbereich

Vz



TR - LR 2 Schnitt LR 1 - Stützbereich

Vz 25 fach überhöht

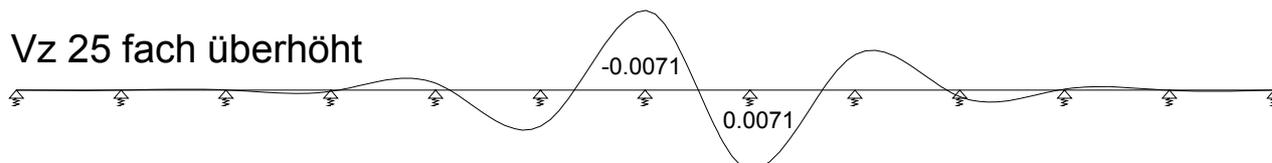


Abb. 55 Einflusslinien der Querkraft (LR 2) im Stützbereich (Trägerrostberechnung)

Die nachfolgende Abb. 56 zeigt die maßstäbliche Zusammenfassung der in Abb. 55 einzeln gezeichneten Einflusslinien.

TR Einflusslinie der LR 2 - Stützbereich

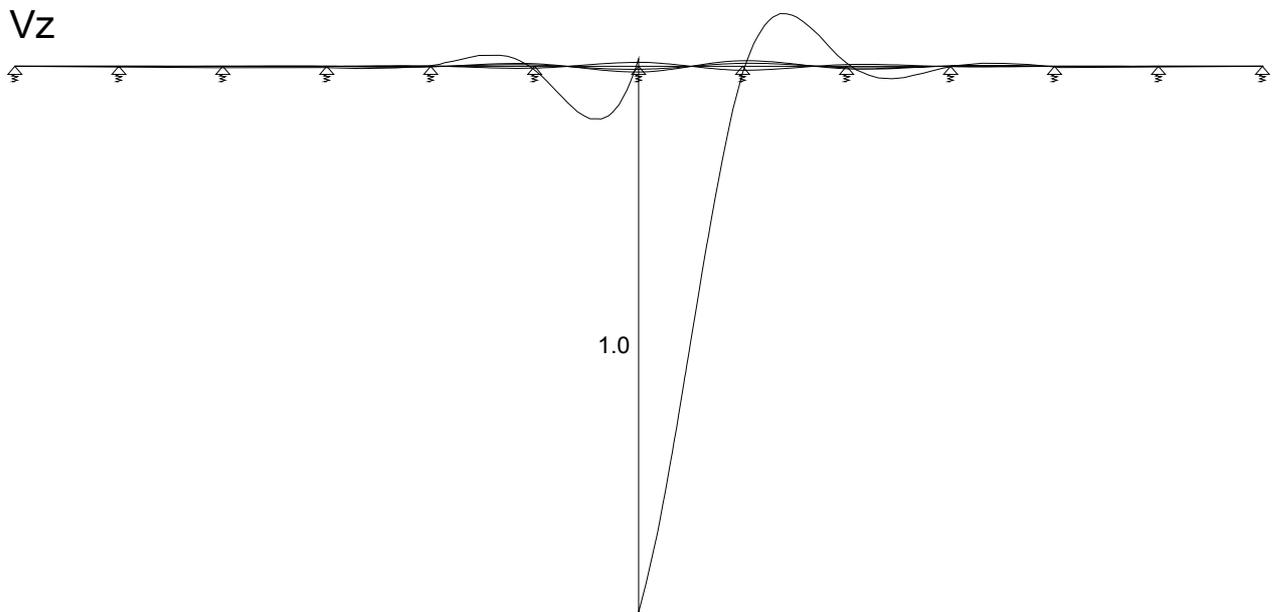
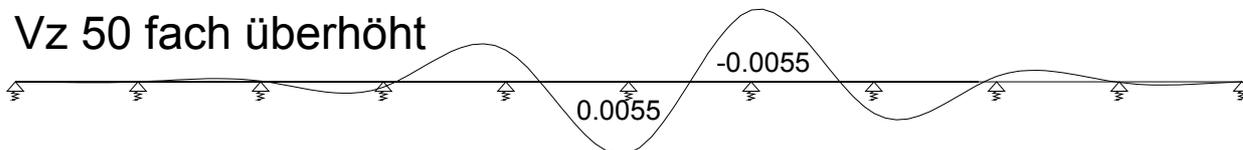


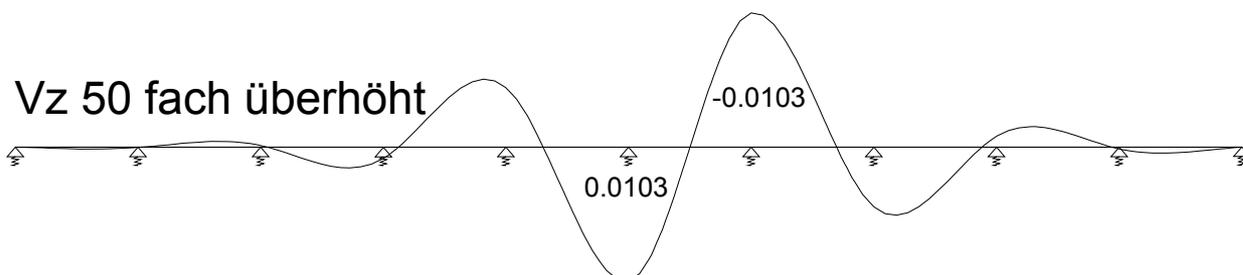
Abb. 56 Darstellung aller vier Einflusslinien der Querkraft (LR 2) im Stützbereich (Trägerrostberechnung)

Die folgende Abb. 57 zeigt die einzelnen Einflusslinien für die Querkraft der zweiten Längsrippe in Feldmitte. Die nicht maßstäblichen Darstellungen aus Abb. 57 sind in Abb. 58 maßstäblich zusammengefasst, so dass man die Größenordnung der einzelnen Einflusslinien untereinander abschätzen kann (siehe auch Kap.6.1).

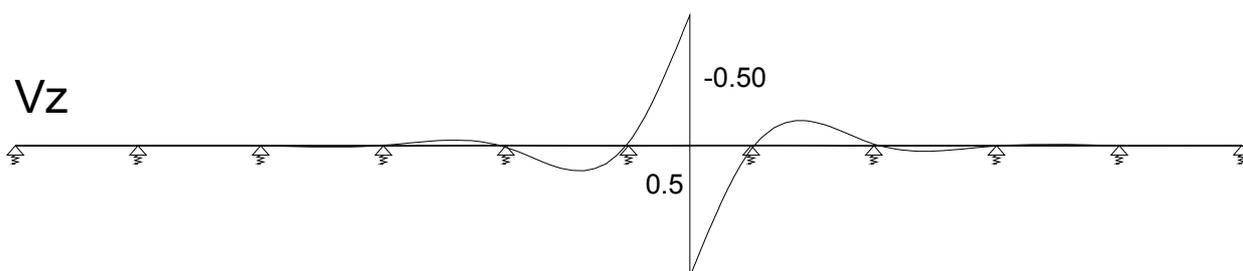
TR - LR 2 Schnitt LR 4 - Feldmitte



TR - LR 2 Schnitt LR 3 - Feldmitte



TR - LR 2 Schnitt LR 2 - Feldmitte



TR - LR 2 Schnitt LR 1 - Feldmitte

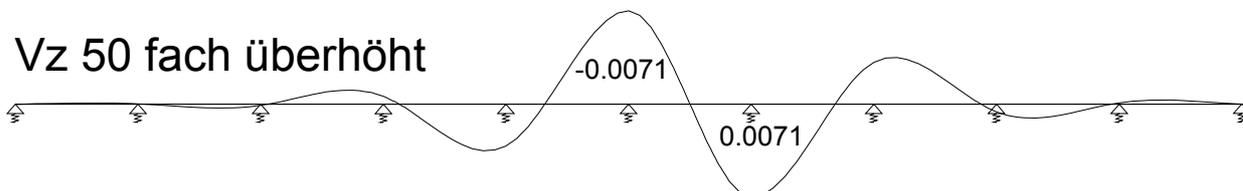


Abb. 57 Einflusslinien der Querkraft (LR 2) in Feldmitte (Trägerrostberechnung)

TR Einflusslinie der LR 2 - Feldmitte

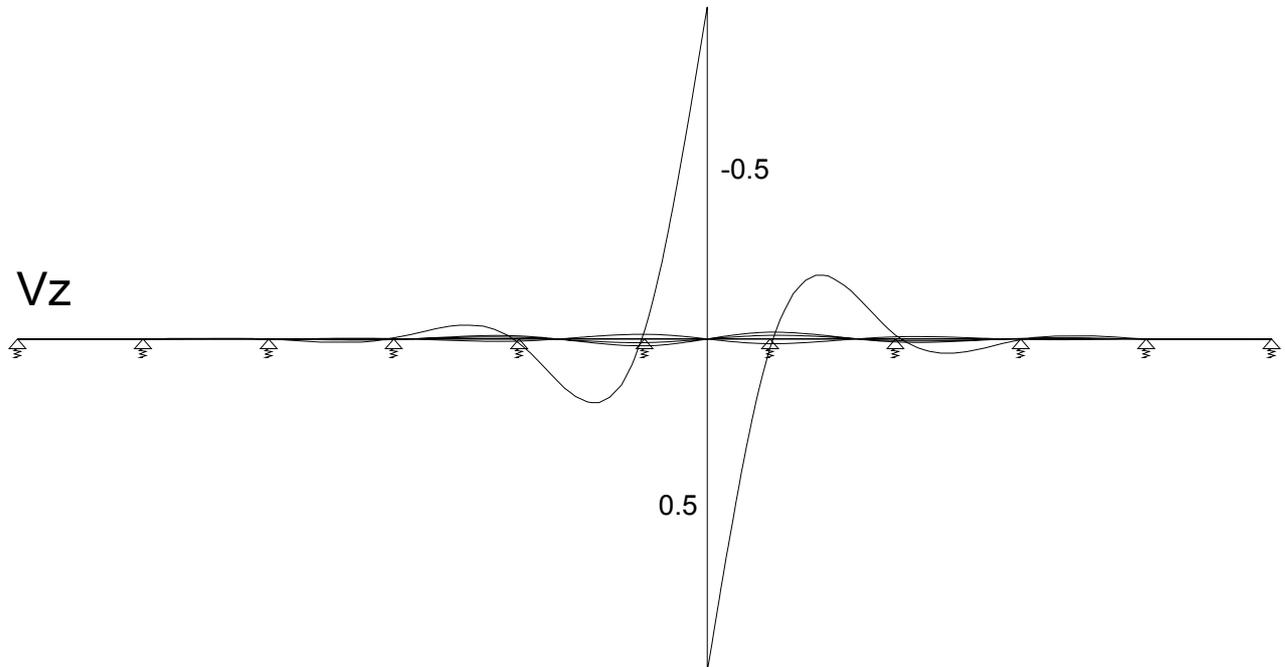


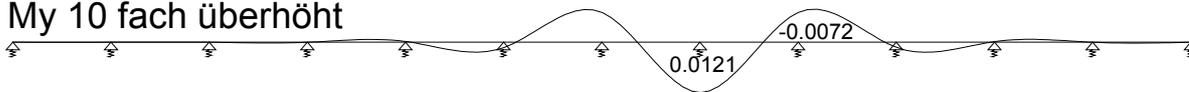
Abb. 58 Darstellung aller vier Einflusslinien der Querkraft (LR 2) in Feldmitte (Trägerrostberechnung)

Die folgenden Abbildungen zeigen die Einflusslinien für die Momente im Stützbereich und in der Feldmitte der zweiten Längsrippe.

Die Abb. 59 zeigt die einzelnen, überhöhten Darstellungen für den Stützbereich. In Abb. 60 sind die Einflusslinien wieder maßstäblich übereinander gelegt (siehe auch Kap.6.1).

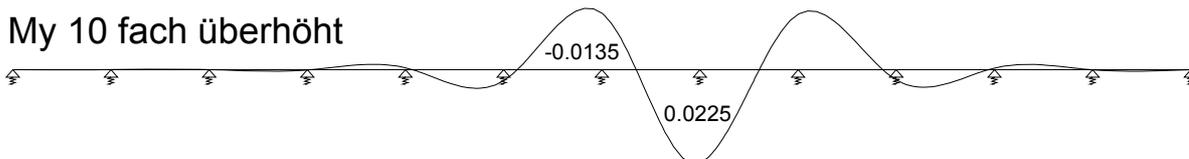
TR - LR 2 Schnitt LR 4 - Stützbereich

My 10 fach überhöht



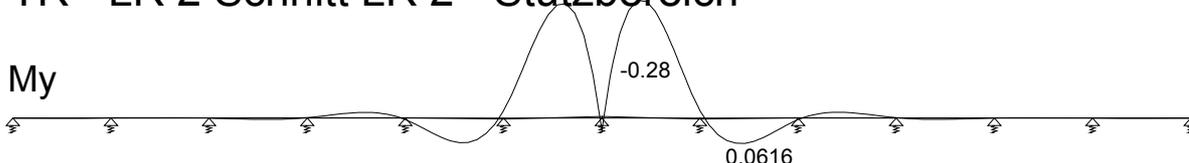
TR - LR 2 Schnitt LR 3 - Stützbereich

My 10 fach überhöht



TR - LR 2 Schnitt LR 2 - Stützbereich

My



TR - LR 2 Schnitt LR 1 - Stützbereich

My 10 fach überhöht

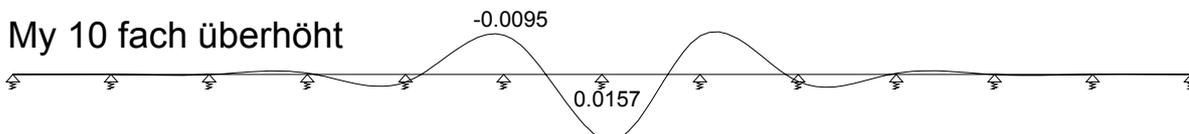


Abb. 59 Einflusslinien des Momentes (LR 2) im Stützbereich (Trägerrostberechnung)

TR Einflusslinie der LR 2 - Stützbereich

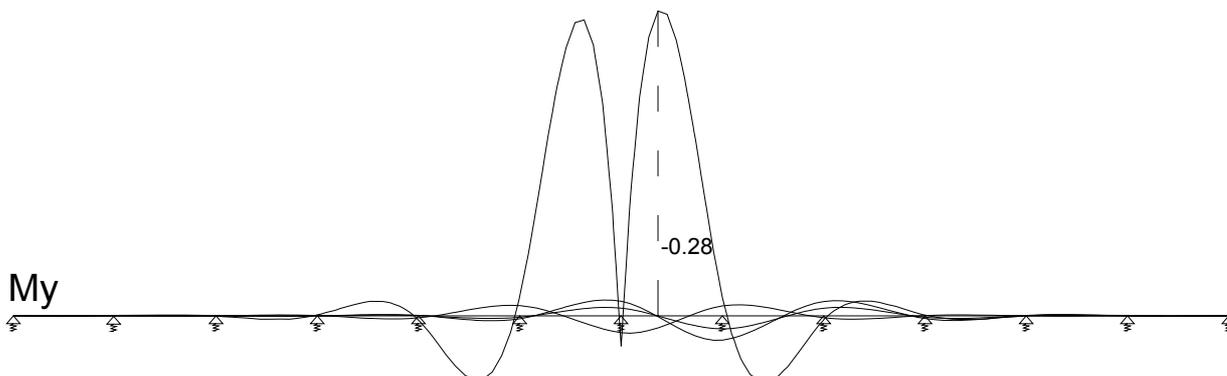
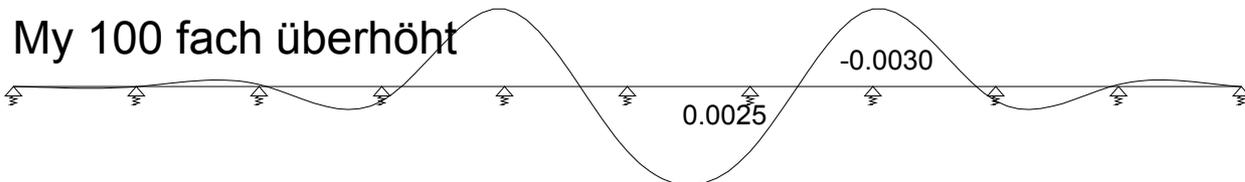


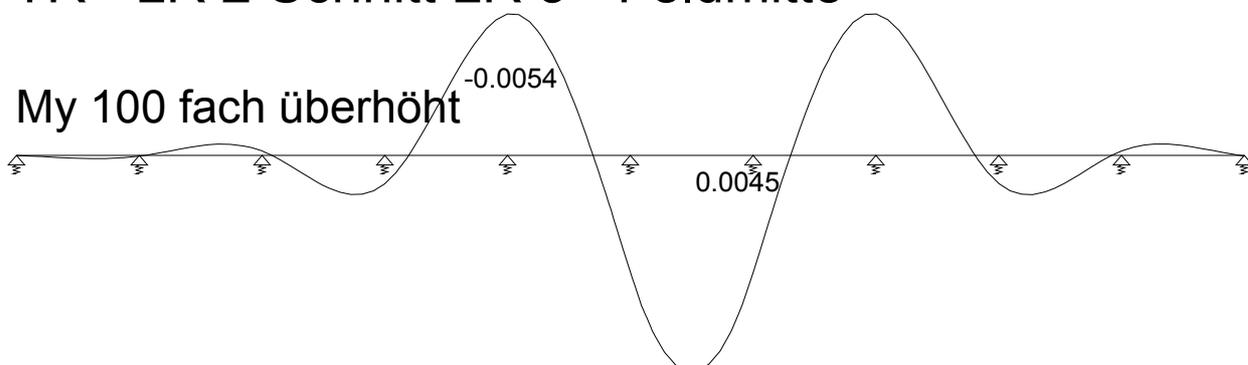
Abb. 60 Darstellung aller vier Einflusslinien des Momentes (LR 2) im Stützbereich (Trägerrostberechnung)

Die letzten Einflusslinien für das Moment in Feldmitte der zweiten Längsrippe sind in Abb. 61 dargestellt. Diese Einflusslinien entstehen, wenn in der zweiten Längsrippe ein Knickwinkel von 1,0 eingepreßt wird. Die Abb. 62 zeigt die maßstäbliche Zusammenstellung der Einflusslinien aus Abb. 61 (siehe auch Kap.6.1).

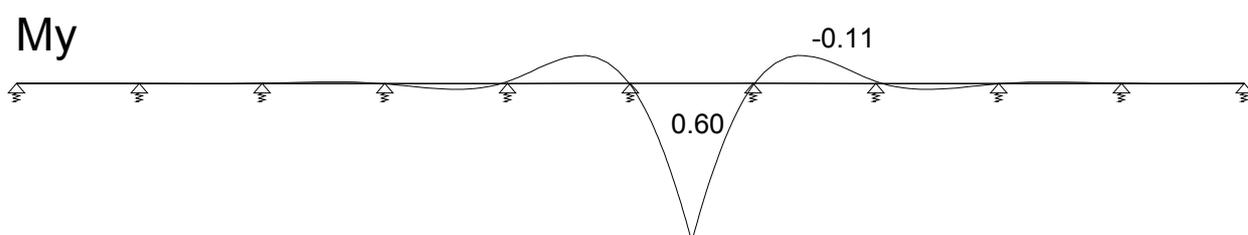
TR - LR 2 Schnitt LR 4 - Feldmitte



TR - LR 2 Schnitt LR 3 - Feldmitte



TR - LR 2 Schnitt LR 2 - Feldmitte



TR - LR 2 Schnitt LR 1 - Feldmitte

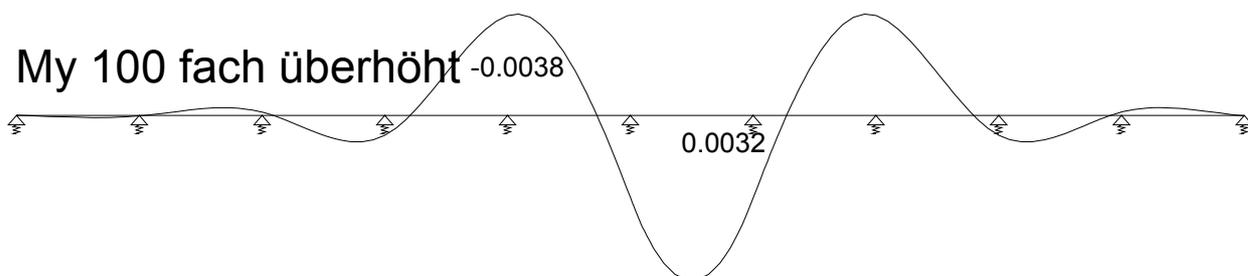


Abb. 61 Einflusslinien des Momentes (LR 2) in Feldmitte (Trägerrostberechnung)

TR Einflusslinie der LR 2 - Feldmitte

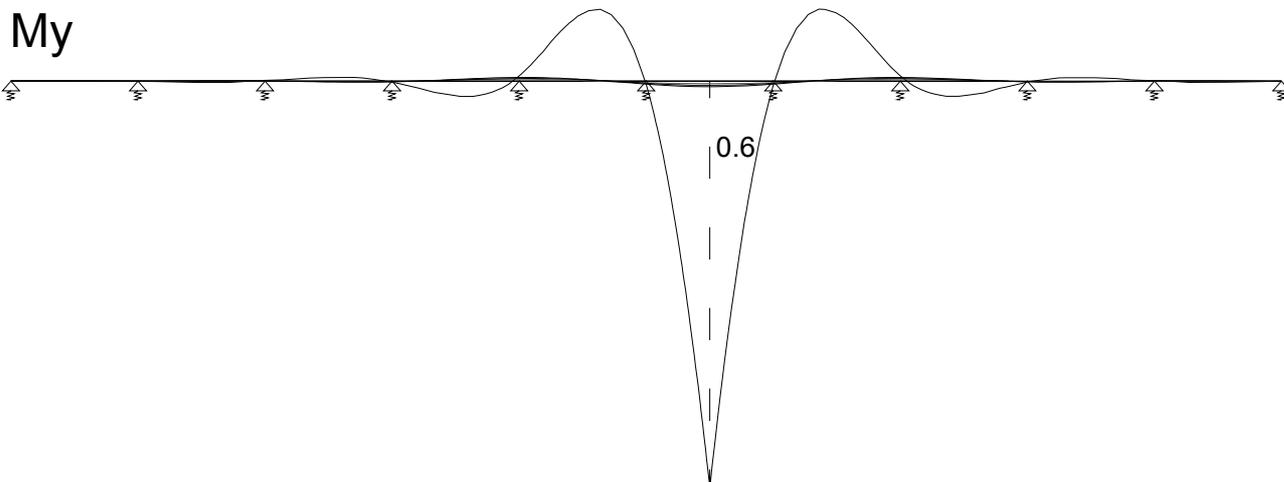


Abb. 62 Darstellung aller vier Einflusslinien des Momentes (LR 2) in Feldmitte (Trägerrostberechnung)

4.2.2.2 Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Hier gelten die im Kapitel 4.2 getroffenen allgemeinen Aussagen.

Die charakteristischen Schnittgrößen zufolge des Eigengewichtes der Längsrippen $G_{1,LR}$ und der Ausbaulast der Längsrippen $G_{2,LR}$ sind für die beiden Berechnungsmethoden, der Durchlaufträger- und der Trägerrostberechnung, identisch.

4.2.2.2.a Querkräfte

Für die zweite Längsrippe sind die entsprechende Querkraftlinien in Abb. 45 und Abb. 46 dargestellt. Die Auswertung der Querkraft aus den Einflusslinien wird nur für den Trägerabschnitt in der Tragwerksmitte durchgeführt (siehe Abb. 63 und Abb. 64).

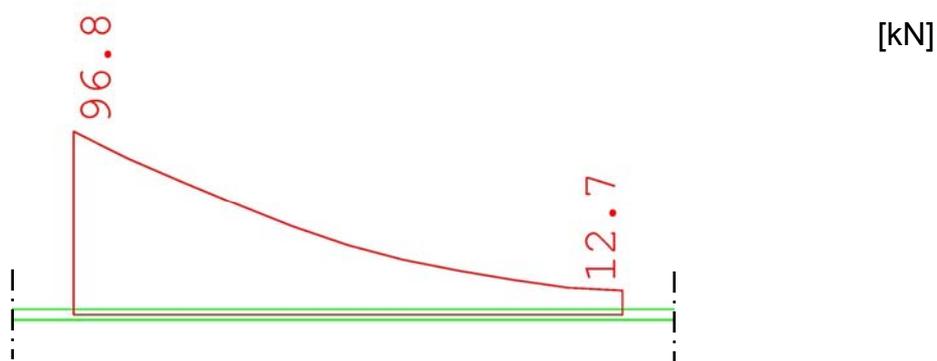


Abb. 63 Charakteristische max. Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (Trägerrostberechnung)

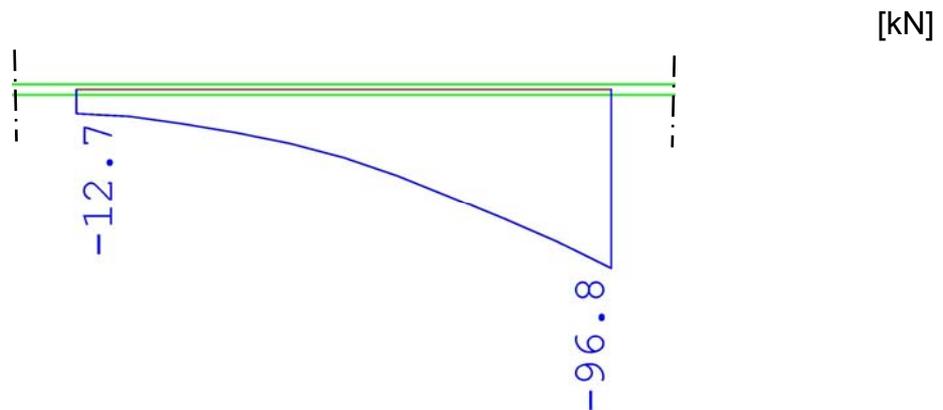


Abb. 64 Charakteristische min. Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (Trägerrostberechnung)

Die in den Abb. 63 und Abb. 64 dargestellten charakteristischen Werte ergeben sich aus dem Lastbild LM 71_{aufg2} * 0,2527. Der Faktor 0,2527 ist der Querverteilungsfaktor für die zweite Längsrippe nach dem Kap.2.3.4.2, Tab. 08.

Längsrippen 1&4

V_z		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e_{QT}	2,5 m	212,0	141,4	175,3
	3,5 m	244,3	182,8	213,3
	4,0 m	263,3	201,3	231,5

Längsrippen 2&3

V_z		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e_{QT}	2,5 m	243,3	161,8	200,9
	3,5 m	279,1	207,7	243,0
	4,0 m	300,3	228,5	263,5

Tab. 23 Bemessungswerte der Querkräfte (Trägerrostberechnung)

Auf die Angabe der min. V_z wird in Tab. 23 verzichtet, da der Querkraftverlauf antisymmetrisch ist (siehe Abb. 63 und Abb. 64) und somit $V_z = |\text{min. } V_z| = |\text{max. } V_z|$ gilt.

4.2.2.2.b Momente

Die Auswertung der Momente aus den Einflusslinien wird nur für den Trägerabschnitt in Tragwerksmitte durchgeführt (siehe Abb. 65 und Abb. 66). Die Abbildungen zeigen die Einhüllende der Minimum- und Maximummomente des Lastbildes LM 71_{aufg2} (siehe Kap.2.3.3) für 3,5 m Querträgerabstand.

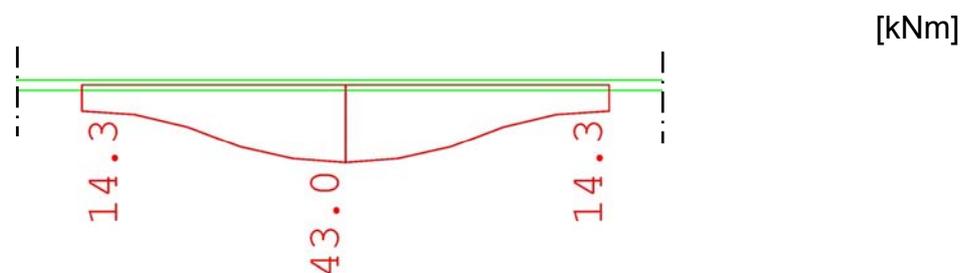


Abb. 65 Charakteristische max. Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (Trägerrostberechnung)

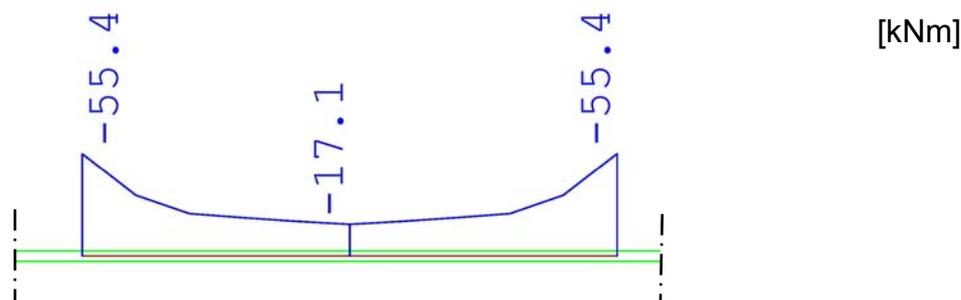


Abb. 66 Charakteristische min. Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} (Trägerrostberechnung)

In den Abb. 65 und Abb. 66 ist das Lastbild LM 71_{aufg2} wiederum mit dem Querverteilungsfaktor aus dem Kap.2.3.4.2, Tab. 08 multipliziert.

Längsrippen 1&4

M_y.Stütz		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e_{QT}	2,5 m	-76,7	-68,8	-70,4
	3,5 m	-132,5	-121,3	-123,2
	4,0 m	-160,5	-149,3	-151,2

Längsrippen 2&3

M_y.Stütz		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e_{QT}	2,5 m	-89,3	-79,0	-80,6
	3,5 m	-150,0	-137,3	-139,3
	4,0 m	-182,0	-169,0	-171,2

M_y.Feld		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e_{QT}	2,5 m	71,8	50,8	56,4
	3,5 m	99,7	85,7	90,4
	4,0 m	124,0	107,3	112,7

M_y.Feld		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e_{QT}	2,5 m	83,5	59,8	66,2
	3,5 m	114,9	98,9	104,3
	4,0 m	142,2	123,1	129,2

Tab. 24 Bemessungswerte der Momente (Trägerrostberechnung)

Aus Tab. 24 erkennt man, dass das Lastbild LM 71 die ungünstigsten Werte, das Lastbild LM 71_{aufg1} die günstigsten Werte und das genaueste Lastbild LM 71_{aufg2}, Ergebnisse zwischen den beiden anderen Lastbildern liefert.

4.2.2.3 Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis FLS

4.2.2.3.a Momente

Die charakteristischen Momentenlinien des Lastbildes LM 71_{aufg2} sind in den Abb. 65 und Abb. 66 dargestellt. In Tab. 25 werden die charakteristischen Werte der Momentendifferenzen zusammengefasst. Die Momentendifferenz errechnet sich nach der Formel (6) (siehe Kap.4.2.1.3). Die Formel (6) wird für die Momente in den Abb. 65 und Abb. 66 ausgewertet:

Stützbereich:

$$\Delta M_{y,\text{Stütz}} = \max M_{y,\text{Stütz}} - \min M_{y,\text{Stütz}}$$

$$\Delta M_{y,\text{Stütz}} = 14,3 - (-55,4) = 69,7 \text{ kNm}$$

Feldbereich:

$$\Delta M_{y,\text{Feld}} = \max M_{y,\text{Feld}} - \min M_{y,\text{Feld}}$$

$$\Delta M_{y,\text{Feld}} = 43,0 - (-17,1) = 60,1 \text{ kNm}$$

In Tab. 25 wird zwischen den Bereichen Stütze, 0,2L und Feld, unterschieden.

Längsrippen 1&4

Stützbereich

$\Delta M_{y,Stütz}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	38,3	33,0	34,4
	3,5 m	64,8	59,2	60,1
	4,0 m	79,7	74,1	75,1

Längsrippen 2&3

Stützbereich

$\Delta M_{y,Stütz}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	46,8	39,1	41,1
	3,5 m	75,6	68,5	69,7
	4,0 m	92,0	85,3	86,6

Bereich 0,2L

$\Delta M_{y,0.2L}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	32,2	22,6	25,0
	3,5 m	46,6	35,9	38,7
	4,0 m	54,9	44,7	47,6

Bereich 0,2L

$\Delta M_{y,0.2L}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	39,4	28,0	30,7
	3,5 m	55,6	42,9	46,1
	4,0 m	64,4	52,8	56,0

Feldbereich

$\Delta M_{y,Feld}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	39,0	29,6	31,9
	3,5 m	56,5	49,1	51,4
	4,0 m	70,6	62,4	65,1

Feldbereich

$\Delta M_{y,Feld}$		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	46,0	35,3	38,1
	3,5 m	65,7	57,5	60,1
	4,0 m	82,0	72,7	75,6

Tab. 25 Charakteristische Momentendifferenzen (Trägerrostberechnung)

Die Ergebnisse in Tab. 25 lassen erkennen, dass der Stützbereich die betragsmäßig größten Ergebnisse liefert.

4.3 Schnittgrößen für die Querträger

Die Querträger wirken als Einfeldträger bzw. als Teil eines Trägerrostes. Das Einfeldträgermodell wird für die nachfolgende Berechnung verwendet. Die benötigten Einwirkungen, Beiwerte, Faktoren und Lastkombinationen können dem Kap.2 entnommen werden.

Die Schnittgrößenermittlung für die Querträger erfolgt exemplarisch bei 3,5 m Querträgerabstand. Dabei werden die Auflagerreaktionen der Längsrippen aus der Trägerrostberechnung unter dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} angesetzt. Für die weiteren Querträgerabstände und Lastbilder, werden die Ergebnisse in Tabellen angegeben. Die exemplarisch berechneten Schnittgrößen sind in den folgenden Tabellen fett gekennzeichnet.

4.3.1 Einfeldträger

Bei der Einfeldträgermodellierung sind die Querträger beidseitig auf den Hauptträgern unverschieblich gelagert. Das heißt, die Hauptträger stellen feste Auflager für die Querträger dar.

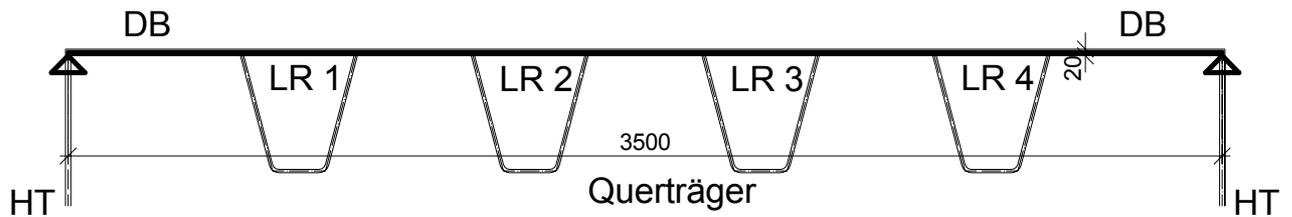


Abb. 67 Statisches System: Einfeldträgermodell der Querträger

In Abb. 68 ist ein Querträger mit den maßgebenden Schnitten für die folgende Berechnung dargestellt.

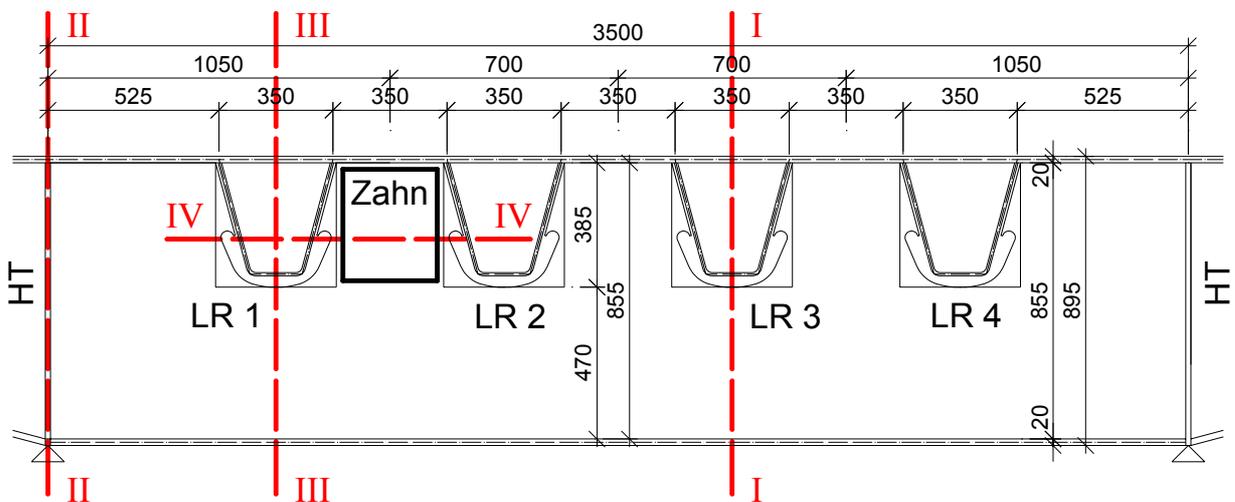


Abb. 68 Nachweisschnitte der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

Dabei bedeuten:

- Schnitt I-I Feldmitte (maximales Moment, keine Querkraft)
- Schnitt II-II Anschnitt (maximale Querkraft, kein Moment)
- Schnitt III-III Freischnitt im Bereich der äußeren Längsrippen (Moment und Querkraft im Bereich der ersten Längsrippe)
- Schnitt IV-IV Horizontalschnitt beim ersten Zahn (Normal-, Schub- und Lasteinleitungskräfte im ersten Zahn der Querträger)

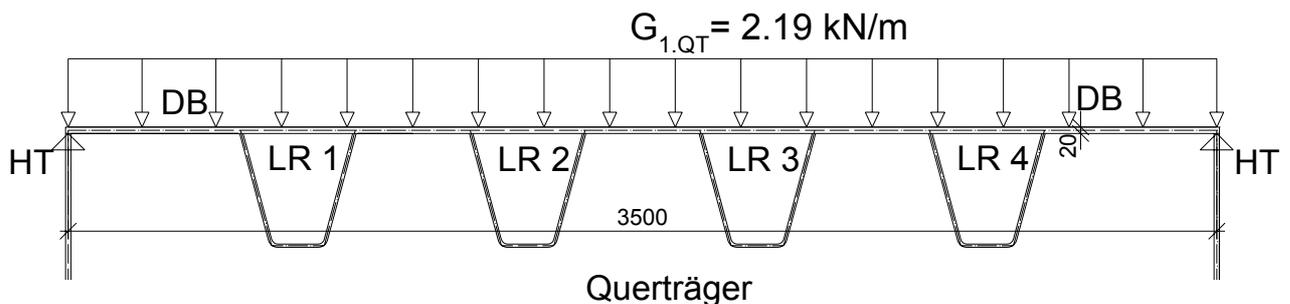


Abb. 69 Charakteristisches Eigengewicht $G_{1,QT}$ der Querträger

Die Querträger werden durch die Auflagerreaktionen der Längsrippen belastet. Das bedeutet, dass die ungünstigsten Auflagerreaktionen der Längsrippen als Belastung auf die Querträger aufgebracht werden. Jede Längsrippe stützt das Deckblech zweimal, aus diesem Grund werden die Auflagerreaktionen der Längsrippen halbiert und in jedem Stützpunkt als Einzellast aufgebracht. Diese Aufteilung der Auflagerreaktionen ist in der Abb. 70 dargestellt.

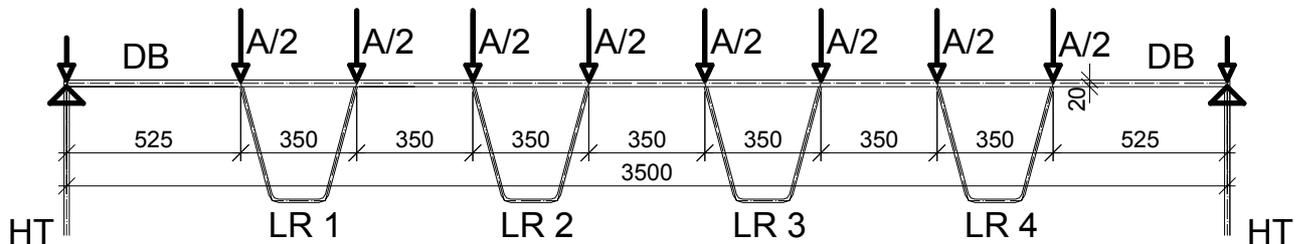


Abb. 70 Systembelastung der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

Die Werte in Abb. 71 zeigen die Auflagerreaktionen der Längsrippen zufolge des Eigengewichts der Längsrippen. Diese Aufteilung der Kräfte ist nötig, da verschiedene Beiwerte für die Querträger und die Längsrippen zu verwenden sind.

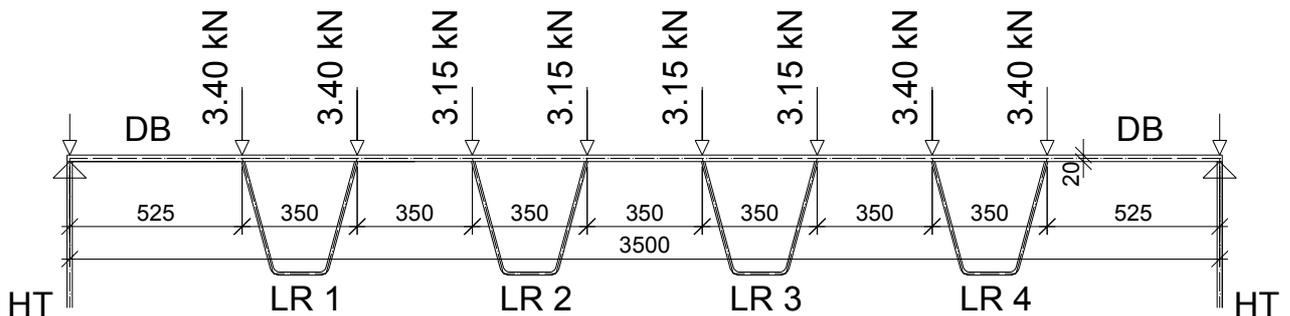


Abb. 71 Charakteristische Auflagerreaktionen aus dem Eigengewicht der Längsrippen $G_{1,LR}$

In Tab. 26 sind die Belastungen der Querträger aus den Auflagerkräften der Eigengewichte der Längsrippen dargestellt. Diese sind für die beiden Berechnungsmethoden, der Durchlaufträger- und der Trägerrostberechnung, identisch.

Durchlaufträgerberechnung / Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

Längsrippen 2&3

$A_{G1}^{1\&4}$		[kN]
e_{QT}	2,5 m	4,65
	3,5 m	6,80
	4,0 m	7,80

$A_{G1}^{2\&3}$		[kN]
e_{QT}	2,5 m	4,30
	3,5 m	6,30
	4,0 m	7,20

Tab. 26 Charakteristische Auflagerkräfte aus dem Eigengewicht der Längsrippen $G_{1,LR}$

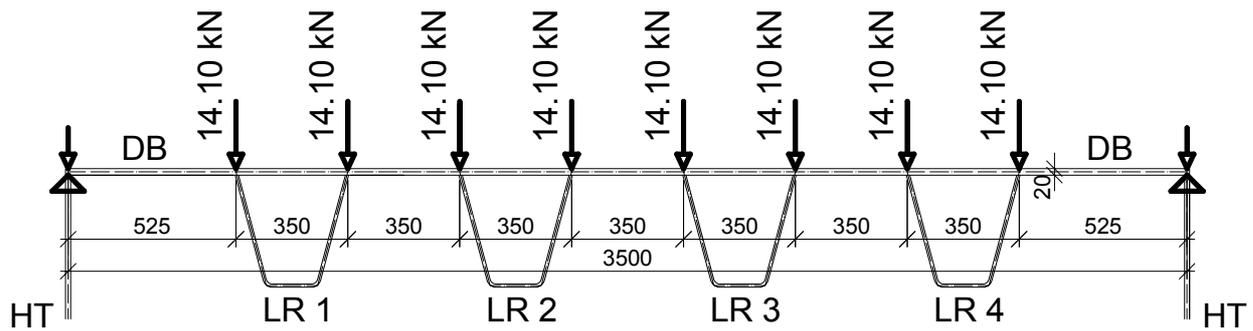


Abb. 72 Charakteristische Auflagerreaktionen aus der Ausbaulast $G_{2,LR}$

Die Auflagerkräfte in Tab. 27 zufolge der Ausbaulast der Längsrippen sind für die beiden Berechnungsmethoden, der Durchlaufträger- und der Trägerrostberechnung, identisch.

Durchlaufträgerberechnung / Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

Längsrippen 2&3

$A_{G_2}^{1\&4}$		[kN]
e_{QT}	2,5 m	20,20
	3,5 m	28,20
	4,0 m	32,20

$A_{G_2}^{2\&3}$		[kN]
e_{QT}	2,5 m	20,20
	3,5 m	28,20
	4,0 m	32,20

Tab. 27 Charakteristische Auflagerkräfte aus der Ausbaulast $G_{2,LR}$

Die aus den Verkehrslastbildern resultierenden Auflagerreaktionen der Längsrippen sind in den Abb. 73 und Abb. 74 dargestellt. Die Auflagerkräfte aus den Längsrippen werden entsprechend der Abb. 70 aufgebracht. Es werden für die drei verschiedenen Verkehrslastbilder (LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2}) die Berechnungen durchgeführt, grafisch wird jedoch nur das Lastbild LM 71_{aufg2} ausgewertet.

In Abb. 73 sind die belastend wirkenden Auflagerreaktionen dargestellt und in Abb. 74 sind die entlastend wirkenden Anteile der Auflagerreaktionen gezeigt.

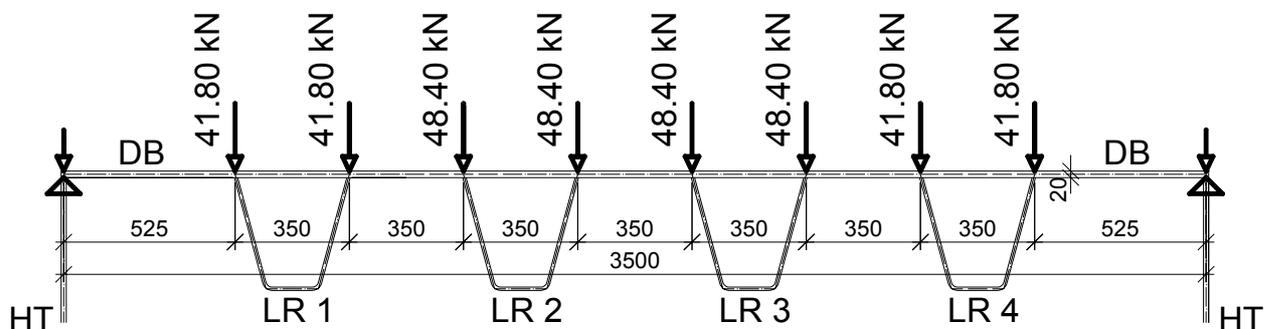


Abb. 73 Belastende char. Auflagerreaktionen aus dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} (Trägerrostberechnung)

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\max A_{LM}^{1&4}$		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	77,84	48,92	62,86
	3,5 m	95,53	68,60	81,99
	4,0 m	105,77	77,82	91,44

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\max A_{LM}^{1&4}$		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	80,20	51,20	65,20
	3,5 m	97,20	70,10	83,60
	4,0 m	107,00	79,00	92,60

Längsrippen 2&3

$\max A_{LM}^{2&3}$		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	90,14	56,88	73,01
	3,5 m	110,76	79,60	95,09
	4,0 m	122,58	90,24	106,01

Längsrippen 2&3

$\max A_{LM}^{2&3}$		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	93,20	59,70	75,80
	3,5 m	112,70	81,20	96,80
	4,0 m	123,80	91,30	107,20

Tab. 28 Belastende char. Auflagerreaktionen aus dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2}

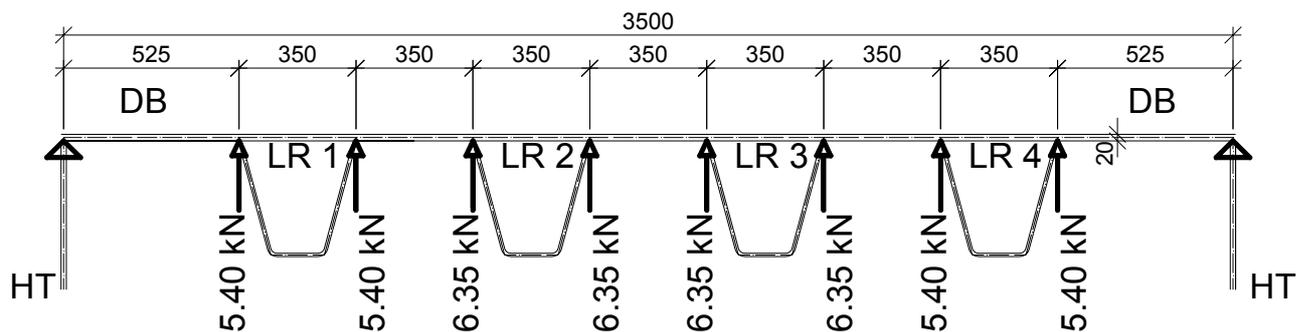


Abb. 74 Entlastende char. Auflagerreaktionen aus dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} (Trägerrostberechnung)

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\min A_{LM}^{1\&4}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e_{QT}	2,5 m	7,14	6,44	6,64
	3,5 m	9,96	9,11	9,24
	4,0 m	11,03	10,51	10,64

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\min A_{LM}^{1\&4}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e_{QT}	2,5 m	10,50	8,71	9,19
	3,5 m	11,50	10,70	10,80
	4,0 m	12,30	11,70	11,80

Längsrippen 2&3

$\min A_{LM}^{2\&3}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e_{QT}	2,5 m	8,36	7,61	7,93
	3,5 m	11,70	10,77	10,94
	4,0 m	12,84	12,36	12,53

Längsrippen 2&3

$\min A_{LM}^{2\&3}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e_{QT}	2,5 m	13,50	10,50	11,40
	3,5 m	13,40	12,50	12,70
	4,0 m	14,20	13,60	13,70

Tab. 29 Entlastende char. Auflagerreaktionen aus dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2}

4.3.1.1 Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Die Beiwerte und Faktoren für den Nachweis der Tragfähigkeit werden entsprechend Kap.2.4 verwendet. Die fett dargestellten Werte in den Tabellen zeigen die Ergebnisse aus den dargestellten Schnittgrößenverläufen.

4.3.1.1.a Querkräfte

Die Abb. 75 zeigt die aus den oben angegebenen Belastungen (siehe Abb. 71, Abb. 72, Abb. 73 und Abb. 74) und mit den Beiwerten aus dem Kap.2.4 resultierende Querkraftlinie.

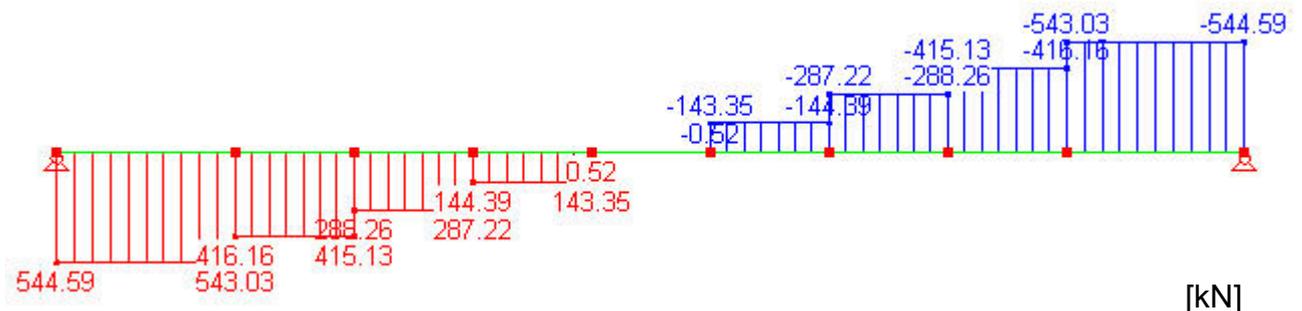


Abb. 75 Querkraftlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (Bemessungswerte mit α , Φ_2 und γ)

Querkräfte im Auflagerbereich (Schnitt II-II):

Durchlaufträgerberechnung

V_z		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	485,7	332,1	406,4
	3,5 m	608,5	465,1	536,4
	4,0 m	676,5	527,3	599,9

Trägerrostberechnung

V_z		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	499,1	344,7	419,1
	3,5 m	617,5	472,7	544,6
	4,0 m	682,4	533,0	605,9

Tab. 30 Bemessungswerte der Querkräfte im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

Querkräfte im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Durchlaufträgerberechnung

V_{1z}		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	371,6	253,7	310,8
	3,5 m	465,4	355,2	410,0
	4,0 m	517,3	402,7	458,5

Trägerrostberechnung

V_{1z}		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	382,0	263,5	320,5
	3,5 m	472,2	361,0	416,2
	4,0 m	521,7	406,9	463,0

Tab. 31 Bemessungswerte der Querkräfte im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

4.3.1.1.b Momente

Die für die dargestellte Momentenlinie in Abb. 76 benötigten Belastungen sind den Abb. 71, Abb. 72, Abb. 73 und Abb. 74 zu entnehmen.

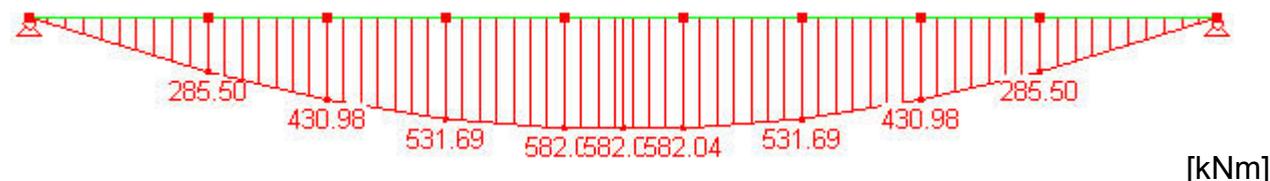


Abb. 76 Momentenlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (Bemessungswerte mit α , Φ_2 und γ)

Momente im Feldbereich (Schnitt I-I):

Durchlaufträgerberechnung

M_y		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	519,8	354,7	434,6
	3,5 m	651,0	496,7	573,4
	4,0 m	723,7	563,2	641,4

Trägerrostberechnung

M_y		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	534,4	368,4	448,3
	3,5 m	660,0	504,8	582,1
	4,0 m	729,9	569,1	647,6

Tab. 32 Bemessungswerte der Momente im Feldbereich (Schnitt I-I)

Momente im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Durchlaufträgerberechnung

M_{1y}		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kNm]	[kNm]	[kNm]
e_{QT}	2,5 m	384,6	262,7	321,7
	3,5 m	481,8	367,9	424,5
	4,0 m	535,6	417,2	474,9

Trägerrostberechnung

M_{1y}		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kNm]	[kNm]	[kNm]
e_{QT}	2,5 m	395,3	272,7	331,7
	3,5 m	488,9	373,9	431,0
	4,0 m	540,3	421,7	479,5

Tab. 33 Bemessungswerte der Momente im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

4.3.1.1.c Schnittgrößen im 1. Zahn

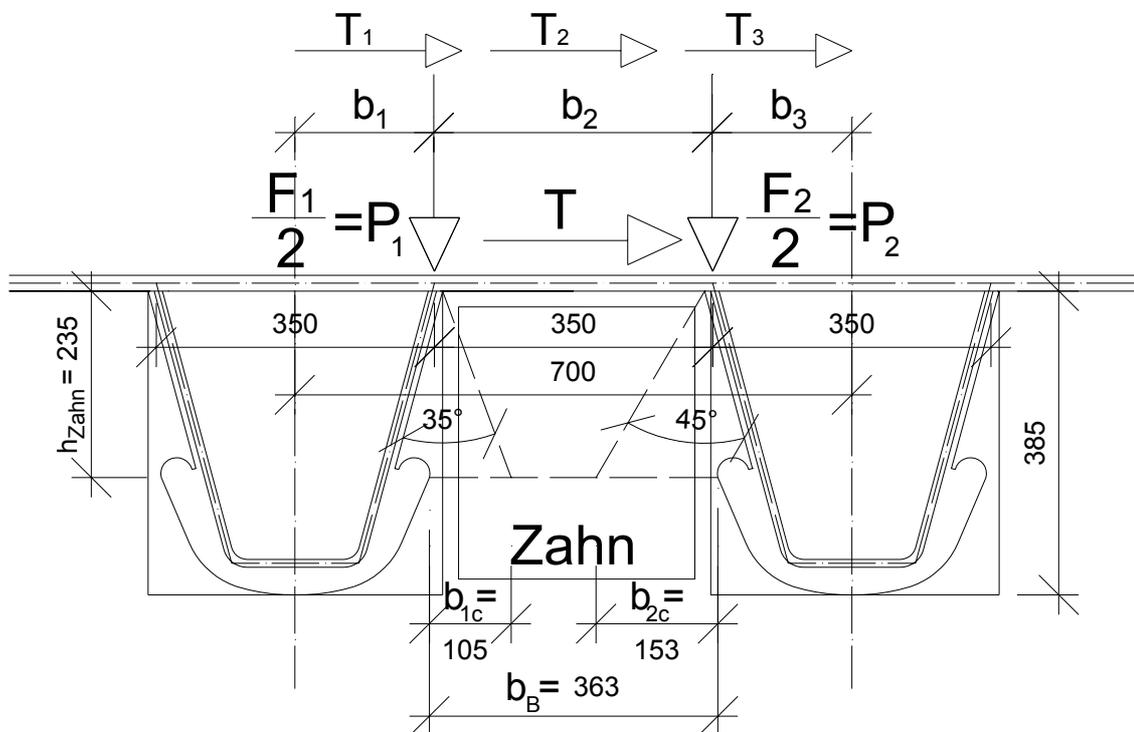


Abb. 77 Belastung und Geometrie im 1. Zahn der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

Schubkräfte im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Die Schubkraft wird zwischen erster und zweiter Längsrippe aufintegriert. Nachfolgend wird die Ermittlung der Schubkraft T zwischen den beiden Längsrippe gezeigt.

- $b_m = 1346 \text{ mm}$ mittragende Obergurtbreite der Querträger
- $t_{DB} = 20 \text{ mm}$ Dicke des Deckbleches
- $b_B = 363 \text{ mm}$ Breite im Bereich des Stegausschnittes (siehe Abb. 89)
- $t_w = 25 \text{ mm}$ Stegblechdicke der Querträger

$$S_{\text{Zahn}} = b_m \cdot t_{\text{DB}} \cdot \left(|s_{\text{oQT}}| - \frac{t_{\text{DB}}}{2} \right) \quad S_{\text{Zahn}} = 7712.6 \text{ cm}^3$$

Ermittlung der Teilschubkräfte zwischen der ersten und zweiten Längsrippe:

$$V_{1z} = 416.16 \text{ kN} \quad V_{2z} = 288.26 \text{ kN} \quad V_{3z} = 144.39 \text{ kN} \quad (\text{Querkräfte siehe Abb. 75})$$

$$t_1 = \frac{V_{1z} \cdot |S_{\text{Zahn}}|}{I_{y\text{QT}}} \quad t_1 = 5.4 \text{ kN/cm} \quad b_1 = 17,5 \text{ cm} \quad T_1 = t_1 \cdot b_1 \quad T_1 = 94.0 \text{ kN}$$

$$t_2 = \frac{V_{2z} \cdot |S_{\text{Zahn}}|}{I_{y\text{QT}}} \quad t_2 = 3.7 \text{ kN/cm} \quad b_2 = 35,0 \text{ cm} \quad T_2 = t_2 \cdot b_2 \quad T_2 = 130.2 \text{ kN}$$

$$t_3 = \frac{V_{3z} \cdot |S_{\text{Zahn}}|}{I_{y\text{QT}}} \quad t_3 = 1.9 \text{ kN/cm} \quad b_3 = 17,5 \text{ cm} \quad T_3 = t_3 \cdot b_3 \quad T_3 = 32.6 \text{ kN}$$

Die aufsummierte Schubkraft T zwischen den ersten beiden Längsrippen ergibt sich zu:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad T = 256.8 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 34})$$

Durchlaufträgerberechnung

Trägerrostberechnung

T		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e _{QT}	2,5 m	263,9	180,0	220,7
	3,5 m	287,4	219,1	253,0
	4,0 m	319,4	248,3	283,0

T		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e _{QT}	2,5 m	271,5	187,0	227,7
	3,5 m	291,7	222,6	256,8
	4,0 m	322,1	250,8	285,6

Tab. 34 Aufintegrierte Schubkräfte im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Lokale Lasteinleitungskräfte im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Die lokalen Lasteinleitungskräfte werden laut ÖNORM EN 1993-2 [11] mit $F_1/2$ und $F_2/2$ bezeichnet. Um in den folgenden Berechnungen die Lesbarkeit zu erleichtern, werden die Bezeichnungen P_1 und P_2 eingeführt, wobei P_1 und P_2 bereits den halbierten Lasteinleitungskräften entsprechen (siehe Formeln (7) und (8)).

$$F_1/2 = P_1 \quad (7) \quad F_2/2 = P_2 \quad (8)$$

Die Zahlenwerte zur Berechnung von P_1 und P_2 erhält man aus den Tab. 26, Tab. 27 und Tab. 28.

$$P_1 = F_1/2 \quad P_2 = F_2/2$$

$$P_1 = \gamma_G \cdot (3.40 \text{ kN} + 14.10 \text{ kN}) + \gamma_Q \cdot \alpha \cdot \Phi_{2\text{QT}} \quad (41.80 \text{ kN}) \quad P_1 = 127.0 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 35})$$

$$P_2 = \gamma_G \cdot (3.15 \text{ kN} + 14.10 \text{ kN}) + \gamma_Q \cdot \alpha \cdot \Phi_{2\text{QT}} \quad (48.40 \text{ kN}) \quad P_2 = 142.9 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 36})$$

Durchlaufträgerberechnung

P_1		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e_{QT}	2,5 m	113,0	77,2	94,5
	3,5 m	141,7	108,4	125,0
	4,0 m	157,8	123,2	140,0

Trägerrostberechnung

P_1		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e_{QT}	2,5 m	115,0	80,1	97,4
	3,5 m	143,8	110,3	127,0
	4,0 m	159,3	124,6	141,5

Tab. 35 Lokale Lasteinleitungskräfte P_1 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Durchlaufträgerberechnung

P_2		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e_{QT}	2,5 m	128,0	86,8	106,8
	3,5 m	160,2	121,7	140,8
	4,0 m	178,1	138,1	157,6

Trägerrostberechnung

P_2		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN]	[kN]	[kN]
e_{QT}	2,5 m	131,7	90,3	110,2
	3,5 m	162,6	123,7	142,9
	4,0 m	179,6	139,4	159,1

Tab. 36 Lokale Lasteinleitungskräfte P_2 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

4.3.1.2 Schnittgrößen für den Ermüdungsnachweis FLS

4.3.1.2.a Querkräfte

Die Abb. 78 zeigt die aus der in Abb. 73 angegebenen Belastung resultierende max. Querkraftlinie.

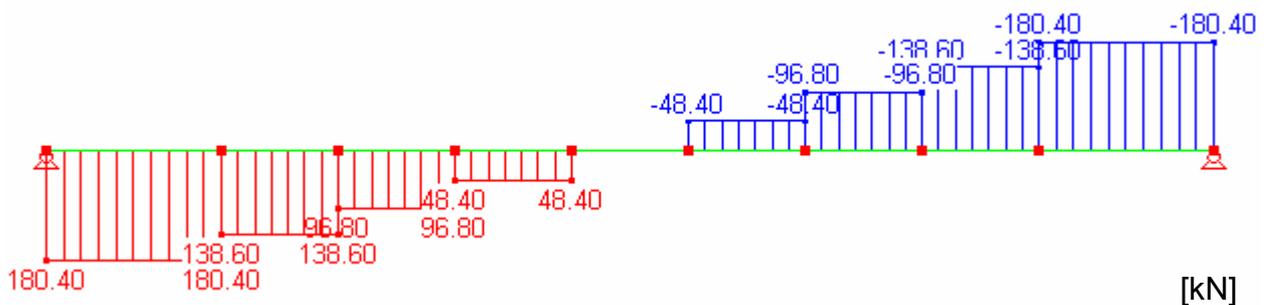


Abb. 78 Char. max. Querkraftlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand zur Ermittlung der char. Querkraftlinie (Char. Werte ohne Φ_2 und λ)

Da bei einer maßstäblichen Darstellung der min. Querkraftlinie nichts mehr zu erkennen wäre, wird diese über einen Faktor angegeben (siehe Formel (9)).

$$\min.V = \max.V * (-0,130) \quad (9)$$

Die Abb. 79 zeigt die aus den oben angegebenen max. und min. Querkraftlinien (siehe Abb. 78 und Formel (9)) resultierende charakteristische Querkraftlinie.

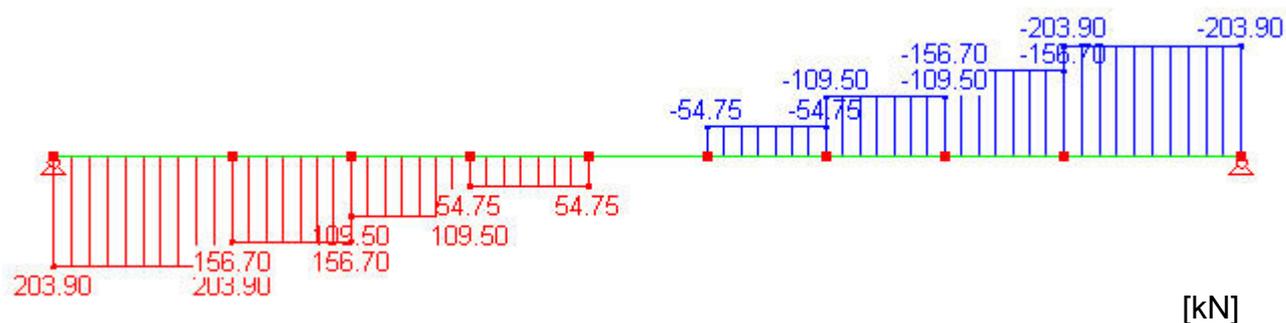


Abb. 79 Charakteristische Querkraftlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Ermüdungsnachweis FLS (Charakteristische Werte ohne Φ_2 und λ)

Querkraftdifferenzen im Auflagerbereich (Schnitt II-II):

Durchlaufträgerberechnung

Trägerrostberechnung

ΔV_z		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e_{QT}	2,5 m	183,5	119,9	150,4
	3,5 m	228,0	168,1	197,3
	4,0 m	252,2	190,9	220,5

ΔV_z		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e_{QT}	2,5 m	197,4	130,1	161,6
	3,5 m	234,8	174,5	203,9
	4,0 m	257,3	195,6	225,3

Tab. 37 Querkraftdifferenzen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

Querkraftdifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Durchlaufträgerberechnung

Trägerrostberechnung

ΔV_{1z}		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e_{QT}	2,5 m	141,0	92,2	115,7
	3,5 m	175,2	129,2	151,7
	4,0 m	193,8	146,8	169,5

ΔV_{1z}		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e_{QT}	2,5 m	152,1	100,2	124,4
	3,5 m	180,5	134,1	156,7
	4,0 m	197,7	150,3	173,1

Tab. 38 Querkraftdifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

4.3.1.2.b Momente

Die Abb. 80 zeigt die aus der in Abb. 73 angegebenen Belastung resultierende max. Momentenlinie.



Abb. 80 Char. max. Momentenlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand zur Ermittlung der char. Momentenlinie (Char. Werte ohne Φ_2 und λ)

Da bei einer maßstäblichen Darstellung der min. Momentenlinie nichts mehr zu erkennen wäre, wird diese über einen Faktor angegeben (siehe Formel (10)).

$$\text{min.M} = \text{max.M} * (-0,130) \quad (10)$$

Die Abb. 81 zeigt die aus den oben angegebenen max. und min. Momentenlinien (siehe Abb. 80 und Formel (10)) resultierende charakteristische Momentenlinie.

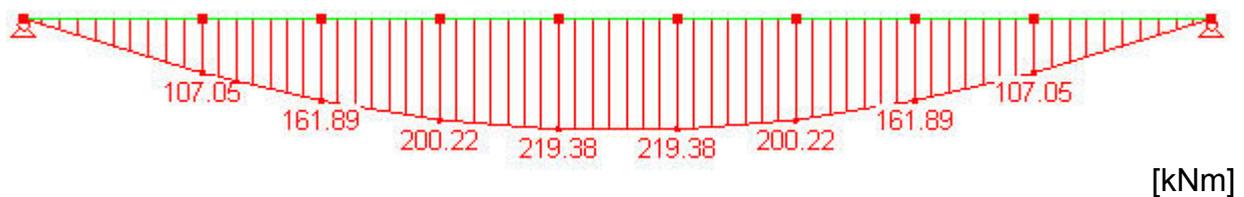


Abb. 81 Char. Momentenlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Ermüdungsnachweis FLS (Charakteristische Werte ohne Φ_2 und λ)

Momentendifferenzen im Feldbereich (Schnitt I-I):

Durchlaufträgerberechnung

ΔM_y		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	197,4	129,0	162,0
	3,5 m	245,3	180,9	212,3
	4,0 m	271,3	205,5	237,3

Trägerrostberechnung

ΔM_y		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	212,9	140,2	174,2
	3,5 m	252,6	187,7	219,4
	4,0 m	276,7	210,4	242,3

Tab. 39 Momentendifferenzen im Feldbereich (Schnitt I-I)

Momentendifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Durchlaufträgerberechnung

ΔM_{1y}		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	145,7	95,2	119,5
	3,5 m	181,0	133,5	156,6
	4,0 m	200,2	151,6	175,1

Trägerrostberechnung

ΔM_{1y}		LM 71 [kNm]	LM 71 _{aufg1} [kNm]	LM 71 _{aufg2} [kNm]
e _{QT}	2,5 m	156,9	103,4	128,4
	3,5 m	186,4	138,6	161,9
	4,0 m	204,3	155,3	178,9

Tab. 40 Momentendifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

4.3.1.2.c Schnittgrößen im 1. Zahn

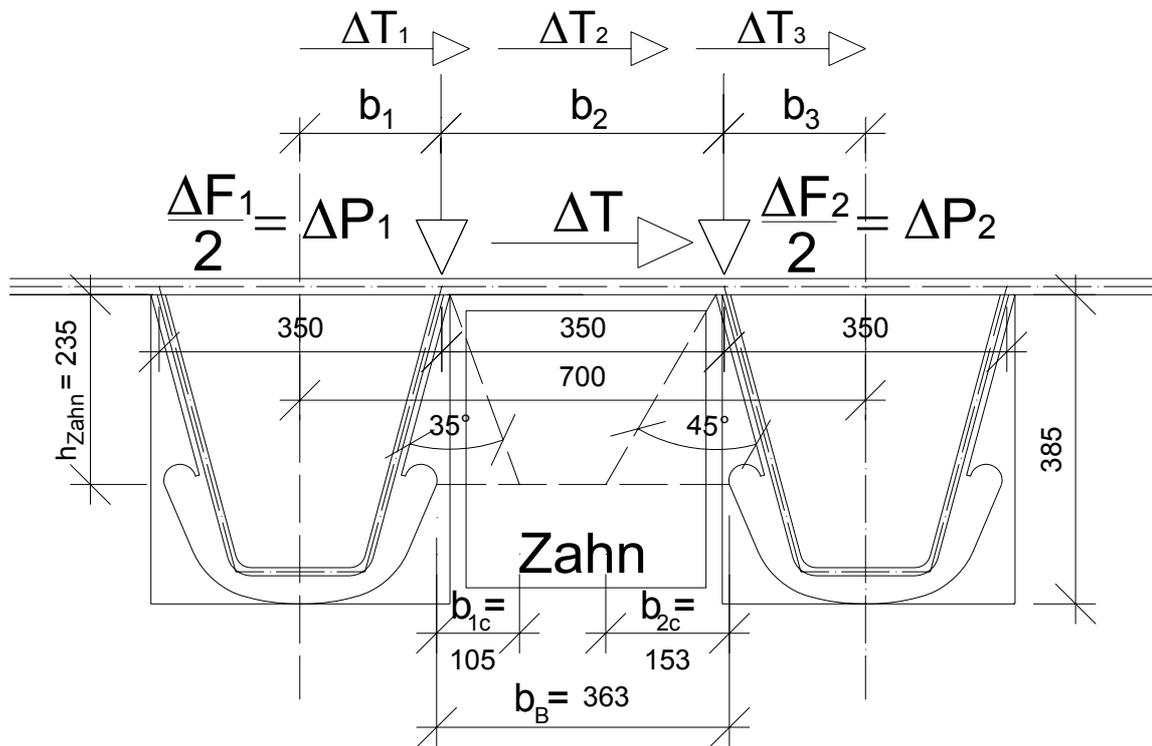


Abb. 82 Belastung und Geometrie im 1. Zahn der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

Schubkraftdifferenzen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Nachfolgend wird die Ermittlung der Schubkraftdifferenz ΔT zwischen der ersten und zweiten Längsrippe gezeigt.

$$S_{\text{Zahn}} = b_m \cdot t_{\text{DB}} \cdot \left(|s_{\text{oQT}}| - \frac{t_{\text{DB}}}{2} \right) \quad S_{\text{Zahn}} = 7712.6 \text{ cm}^3 \quad (\text{siehe Kap.5.3.1.1.a})$$

Ermittlung der Teilschubkraftdifferenzen zwischen den beiden Längsrippen:

$\Delta V_{1z} = 156.70 \text{ kN}$	$\Delta V_{2z} = 109.50 \text{ kN}$	$\Delta V_{3z} = 54.75 \text{ kN}$	(siehe Abb. 79)	
$\Delta t_1 = \frac{\Delta V_{1z} \cdot S_{\text{Zahn}} }{I_{y\text{QT}}}$	$\Delta t_1 = 2.0 \text{ kN/cm}$	$b_1 = 17,5 \text{ cm}$	$\Delta T_1 = \Delta t_1 \cdot b_1$	$\Delta T_1 = 35.4 \text{ kN}$
$\Delta t_2 = \frac{\Delta V_{2z} \cdot S_{\text{Zahn}} }{I_{y\text{QT}}}$	$\Delta t_2 = 1.4 \text{ kN/cm}$	$b_2 = 35,0 \text{ cm}$	$\Delta T_2 = \Delta t_2 \cdot b_2$	$\Delta T_2 = 49.5 \text{ kN}$
$\Delta t_3 = \frac{\Delta V_{3z} \cdot S_{\text{Zahn}} }{I_{y\text{QT}}}$	$\Delta t_3 = 0.7 \text{ kN/cm}$	$b_3 = 17,5 \text{ cm}$	$\Delta T_3 = \Delta t_3 \cdot b_3$	$\Delta T_3 = 12.4 \text{ kN}$

Die aufsummierte Schubkraftdifferenz zwischen den beiden Längsrippen ergibt sich zu:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \quad \Delta T = 97.2 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 41})$$

Durchlaufträgerberechnung

ΔT		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	100,6	65,8	82,6
	3,5 m	108,7	80,2	94,1
	4,0 m	120,2	91,1	105,2

Trägerrostberechnung

ΔT		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	108,8	71,6	88,9
	3,5 m	112,0	83,2	97,2
	4,0 m	122,6	93,2	107,4

Tab. 41 Aufintegrierte Schubkraftdifferenzen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Lokale Lasteinleitungskraftdifferenzen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Die lokalen Lasteinleitungskräfte werden laut ÖNORM EN 1993-2 [11] mit $\Delta F_1/2$ und $\Delta F_2/2$ bezeichnet. Um in den folgenden Berechnungen die Lesbarkeit zu erleichtern, werden die Bezeichnungen ΔP_1 und ΔP_2 eingeführt, wobei ΔP_1 und ΔP_2 bereits den halbierten Lasteinleitungskräften entsprechen (siehe Formeln (11) und (12)).

$$\Delta F_1/2 = \Delta P_1 \quad (11)$$

$$\Delta F_2/2 = \Delta P_2 \quad (12)$$

Die Werte zur Berechnung von ΔP_1 und ΔP_2 erhält man aus den Tab. 28 und Tab. 29.

$$\Delta P_1 = 41.80 \text{ kN} + 5.40 \text{ kN}$$

$$\Delta P_1 = 47.2 \text{ kN}$$

$$\Delta P_2 = 48.40 \text{ kN} + 6.35 \text{ kN}$$

$$\Delta P_2 = 54.8 \text{ kN}$$

Durchlaufträgerberechnung

ΔP_1		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	42,5	27,7	34,8
	3,5 m	52,7	38,9	45,6
	4,0 m	58,4	44,1	51,0

Trägerrostberechnung

ΔP_1		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	45,4	30,0	37,2
	3,5 m	54,4	40,4	47,2
	4,0 m	59,6	45,4	52,2

Tab. 42 Lokale Lasteinleitungskraftdifferenzen ΔP_1 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Durchlaufträgerberechnung

ΔP_2		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	49,3	32,3	40,5
	3,5 m	61,2	45,2	53,0
	4,0 m	67,7	51,3	59,3

Trägerrostberechnung

ΔP_2		LM 71 [kN]	LM 71 _{aufg1} [kN]	LM 71 _{aufg2} [kN]
e _{QT}	2,5 m	53,4	35,1	43,6
	3,5 m	63,0	46,9	54,8
	4,0 m	69,0	52,5	60,5

Tab. 43 Lokale Lasteinleitungskraftdifferenzen ΔP_2 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

5. Spannungsnachweise

In diesem Kapitel erfolgen die Spannungsnachweise für das Deckblech, die Längsrippen und die Querträger. Diese drei Bauteile werden auf Tragfähigkeit und Ermüdung nachgewiesen. Bei der Nachweisführung bleibt die Haupttragwirkung unberücksichtigt. Für die Berechnung des Deckbleches wird nur das Verkehrslastbild LM 71 verwendet. Für die beiden anderen Bauteile, die Längsrippen und die Querträger, werden alle drei Verkehrslastbilder untersucht. Exemplarisch wird die Berechnung der Längsrippen und der Querträger für das Lastbild LM 71_{aufg2} bei 3,5 m Querträgerabstand mit den Schnittgrößen aus der Trägerrostberechnung gezeigt. Die weiteren Berechnungsergebnisse werden in Tabellen zusammengefasst.

5.1 Spannungsnachweise für das Deckblech

5.1.1 Durchlaufträger

Die erforderlichen Lasten für das Deckblech sind im Kapitel 2.2.1.1 und 2.2.2.1 angeführt. Die Beiwerte und Faktoren für die Spannungsnachweise werden, wie bereits in Kap.2.4 angegeben, verwendet. Weiters wird das im Kap.4.1.1 angegebene statische System verwendet.

Querschnittswerte des Deckbleches:

$b_{DB} = 1000 \text{ mm}$ Breite des Deckblechstreifens

$t_{DB} = 20 \text{ mm}$ Dicke des Deckbleches

$W_{DB} = \frac{b_{DB} \cdot t_{DB}^2}{6}$ $W_{DB} = 66.667 \frac{\text{cm}^3}{\text{m}}$ Widerstandsmoment eines 1 Meter breiten
Deckblechstreifens

5.1.1.1 Tragfähigkeitsnachweis ULS für das Deckblech

5.1.1.1.a Nachweis der lokalen Spannungen für das Deckblech

$m_{yStütz} = -265 \text{ kNcm/m}$ minimales Stützmoment (siehe Abb. 36 bzw. Tab. 18)

$m_{yFeld} = 135 \text{ kNcm/m}$ maximales Feldmoment (siehe Abb. 36 bzw. Tab. 18)

Randspannungen im Stützbereich:

$$\sigma_{xStütz} = \frac{m_{yStütz}}{W_{DB}} \qquad \sigma_{xStütz} = \pm 4.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Randspannungen im Feldbereich:

$$\sigma_{xFeld} = \frac{m_{yFeld}}{W_{DB}} \qquad \sigma_{xFeld} = \pm 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

e_{QT} [m]	$\sigma_{xStütz}$ [kN/cm ²]	σ_{xFeld} [kN/cm ²]
2,5	± 4,3	± 2,2
3,5	± 4,0	± 2,0
4,0	± 3,9	± 2,0

Abb. 83 Randnormalspannungen im Stütz- und Feldbereich des Deckbleches

Die Randspannungen im Stütz- und im Feldbereich sind wesentlich kleiner als der Bemessungswert der Fließgrenze, somit ist der Tragfähigkeitsnachweis ULS erfüllt.

5.1.1.2 Ermüdungsnachweis FLS für das Deckblech

5.1.1.2.a Nachweis der lokalen Ermüdungsfestigkeiten für das Deckblech

$\Delta m_y = 110 \text{ kNcm/m}$ (siehe Abb. 38 bzw. Tab. 19)

$\lambda_{DB} = 1.40$ $\Phi_{2DB} = 1.294$ (siehe Kap.2.4.3.1 und Tab. 09)

$\Delta\sigma_{p1} = \frac{\Delta m_y}{W_{DB}}$ $\Delta\sigma_{p1} = 1.65 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$\Delta\sigma_{E1} = \lambda_{DB} \cdot \Phi_{2DB} \cdot \Delta\sigma_{p1}$ $\Delta\sigma_{E1} = 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$

$\gamma_{Ff} = 1.0$ $\gamma_{Mf} = 1.15$

$\Delta\sigma_c = 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Kerbfall laut Detail 6 bzw. 8 der Tab. 8.2 bzw. 8.4

aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1} = 3.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}} = 7.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ Nachweis erfüllt

e_{QT} [m]	$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1}$ [kN/cm ²]
2,5	3,2
3,5	3,0
4,0	2,9

Abb. 84 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Deckblech

Die ermüdungswirksamen Normalspannungen im Deckblech sind kleiner als der zulässige Kerbfall, somit ist der Ermüdungsnachweis FLS erfüllt.

5.2 Spannungsnachweise für die Längsrippen

5.2.1 Durchlaufträgersystem

Die dem Durchlaufträgersystem zu Grunde liegenden Faktoren, Beiwerte, Belastungen und Lastkombinationen sind im Kap.2 angeführt. Die Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen sind im Kap.3 zu finden. Daraus resultierende Schnittgrößen für die Spannungsnachweise werden im Kap.4.2 angeführt.

Ein exemplarischer Spannungsnachweis der Längsrippen auf Tragfähigkeit und Ermüdung erfolgt für das Trägerrostsystem (siehe nachfolgendes Kap.5.2.2).

5.2.1.1 Tragfähigkeitsnachweis ULS für die Längsrippen

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der Spannungsberechnung in Tabellen präsentiert. Der Vergleich der Ergebnisse aus den beiden Berechnungsmethoden erfolgt im Kap.6.

Längsrippen 1&4

Obere Randspannungen

$\sigma_{xo.Stütz}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	3,4	3,1	3,2
	3,5 m	4,6	4,2	4,2
	4,0 m	5,6	5,2	5,3

Längsrippen 2&3

Obere Randspannungen

$\sigma_{xo.Stütz}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	4,1	3,7	3,8
	3,5 m	5,5	5,0	5,1
	4,0 m	6,8	6,3	6,4

Untere Randspannungen

$\sigma_{xu.Stütz}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-8,0	-7,3	-7,5
	3,5 m	-11,1	-10,1	-10,3
	4,0 m	-13,6	-12,7	-12,8

Untere Randspannungen

$\sigma_{xu.Stütz}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-9,3	-8,4	-8,7
	3,5 m	-12,8	-11,6	-11,9
	4,0 m	-15,7	-14,6	-14,8

Tab. 44 Randnormalspannungen im Stützbereich der Längsrippen (Durchlaufträgerberechnung)

Längsrippen 1&4

Obere Randspannungen

$\sigma_{xo.Feld}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-2,0	-1,4	-1,5
	3,5 m	-2,3	-2,0	-2,1
	4,0 m	-2,9	-2,5	-2,6

Untere Randspannungen

$\sigma_{xu.Feld}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	6,5	4,5	5,0
	3,5 m	7,3	6,3	6,6
	4,0 m	9,3	8,0	8,4

Längsrippen 2&3

Obere Randspannungen

$\sigma_{xo.Feld}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-2,4	-1,7	-1,9
	3,5 m	-2,8	-2,4	-2,6
	4,0 m	-3,6	-3,1	-3,3

Untere Randspannungen

$\sigma_{xu.Feld}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	7,5	5,1	5,8
	3,5 m	8,5	7,2	7,6
	4,0 m	10,7	9,2	9,7

Tab. 45 Randnormalspannungen im Feldbereich der Längsrippen (Durchlaufträgerberechnung)

5.2.1.2 Ermüdungsnachweis FLS für die Längsrippen

In diesem Unterkapitel werden die fünf Ebenen aus Abb. 85 nachgewiesen. Die Ebene 1 ist in Deckblechhöhe, die Ebene 2 ist wo sich der Ausschnitt der Querträger mit der Längsrippe trifft und die Ebene 3 ist der Untergurt der Trapezlängsrippe. Die Ebenen 4 und 5 sind ident mit den Ebenen 1 und 3, jedoch erfolgen hier die Ermüdungsnachweise nicht wie zuvor im Stützbereich, sondern an der Stelle 0,2L.

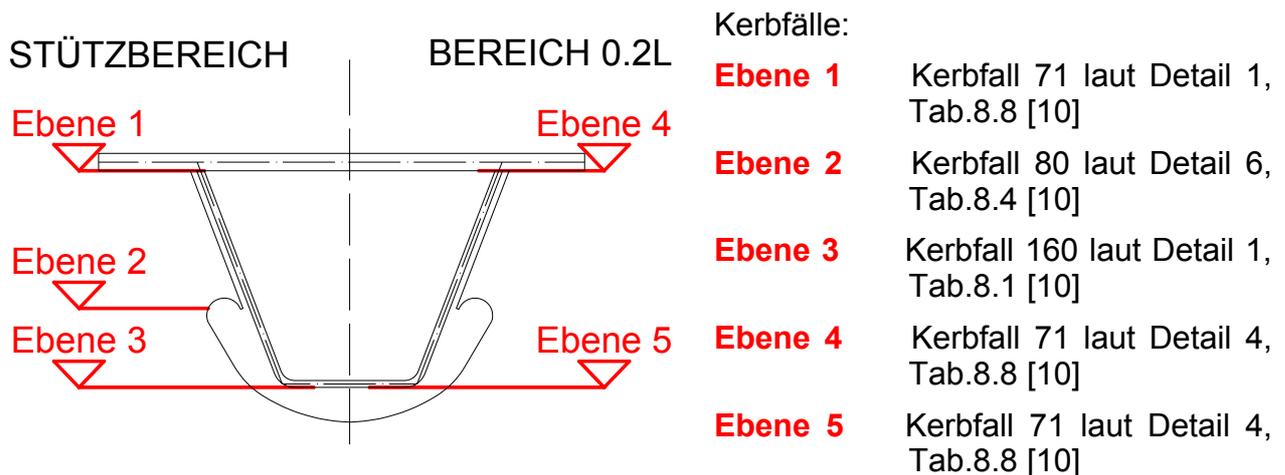


Abb. 85 Nachweisebenen für die Ermüdungsberechnungen der Längsrippen

In den nachfolgenden Tabellen sind die ermüdungswirksamen Normalspannungen der fünf Nachweisebenen aufgelistet. Zusätzlich sind die zulässigen Kerbfälle der einzelnen Ebenen angegeben. Bei nicht Erfüllung des Nachweises ist die Spannung rot markiert.

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	2,3	2,1	2,1
	3,5 m	2,9	2,7	2,7
	4,0 m	3,2	3,0	3,0
$\Delta\sigma_{c1}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.8 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	2,8	2,6	2,6
	3,5 m	3,6	3,3	3,4
	4,0 m	3,9	3,7	3,7
$\Delta\sigma_{c1}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.8 [10]		

Tab. 46 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 1 (Durchlaufträgerberechnung)

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	3,9	3,5	3,6
	3,5 m	4,5	4,1	4,2
	4,0 m	4,9	4,6	4,6
$\Delta\sigma_{c2}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	4,6	4,2	4,3
	3,5 m	5,3	4,8	4,9
	4,0 m	5,8	5,3	5,4
$\Delta\sigma_{c2}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Tab. 47 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 2 (Durchlaufträgerberechnung)

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E3}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	6,8	6,1	6,3
	3,5 m	8,7	7,9	8,1
	4,0 m	9,5	8,8	8,9
$\Delta\sigma_{c3}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 13,9 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.1 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E3}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	8,1	7,3	7,5
	3,5 m	10,3	9,4	9,5
	4,0 m	11,2	10,4	10,5
$\Delta\sigma_{c3}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 13,9 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.1 [10]		

Tab. 48 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 3 (Durchlaufträgerberechnung)

Ermüdungsnachweis der Längsrippen im Bereich 0,2L:

Im Bereich 0,2L erfolgt der Stoß der Längsrippen, weshalb ein Ermüdungsnachweis erforderlich wird.

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E4}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,1	0,7	0,8
	3,5 m	1,3	1,0	1,1
	4,0 m	1,4	1,1	1,2
$\Delta\sigma_{c4}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E4}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,4	0,9	1,0
	3,5 m	1,7	1,3	1,4
	4,0 m	1,8	1,4	1,5
$\Delta\sigma_{c4}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]		

Tab. 49 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich 0,2L der Längsrippen für die Ebene 4 (Durchlaufträgerberechnung)

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E5}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	5,0	3,2	3,7
	3,5 m	5,5	4,0	4,4
	4,0 m	5,7	4,6	4,9
$\Delta\sigma_{c5}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E5}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	5,8	3,8	4,4
	3,5 m	6,5	4,8	5,2
	4,0 m	6,7	5,4	5,7
$\Delta\sigma_{c5}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]		

Tab. 50 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich 0,2L der Längsrippen für die Ebene 5 (Durchlaufträgerberechnung)

Wie aus Tab. 50 ersichtlich, sind die Nachweise der Längsrippen 2&3 für das Lastbild LM 71 bei den Querträgerabständen 3,5 m und 4,0 m nicht erfüllt. Jedoch sind für das genauere Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} die Ermüdungsnachweise erfüllt.

5.2.2 Trägerrostsystem

Die dem Trägerrostsystem zu Grunde liegenden Faktoren, Beiwerte, Belastungen und Lastkombinationen sind im Kap.2 angeführt. Die Querschnitte und Querschnittswerte sind im Kap.3 zu finden. Daraus resultierende Schnittgrößen für die Spannungsnachweise werden im Kap.4.2 angeführt.

Der nachfolgende exemplarische Spannungsnachweis erfolgt für die Längsrippen 2&3. Dabei wird das Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} bei 3,5 m Querträgerabstand verwendet. Bei diesem Nachweis wird auf die Indizeses ^{2&3} aus Gründen der Übersichtlichkeit und Nachvollziehbarkeit verzichtet. Für die weiteren Querträgerabstände und Lastbilder, werden die Ergebnisse in Tabellen angegeben.

Querschnittswerte der Längsrippen 2&3 im Stützbereich:

$$I_{yStütz} = 29414.0 \text{ cm}^4 \quad A_{Stütz} = 174.5 \text{ cm}^2$$

$$S_{oStütz} = -11.13 \text{ cm} \quad S_{uStütz} = 25.87 \text{ cm} \quad (\text{siehe Abb. 31})$$

Querschnittswerte der Längsrippen 2&3 im Feldbereich:

$$I_{y\text{Feld}} = 35387.0 \text{ cm}^4 \quad A_{\text{Feld}} = 225.0 \text{ cm}^2$$
$$s_{o\text{Feld}} = -9.31 \text{ cm} \quad s_{u\text{Feld}} = -27.69 \text{ cm} \quad (\text{siehe Abb. 31})$$

5.2.2.1 Tragfähigkeitsnachweis ULS für die Längsrippen

Die folgenden Schnittgrößen stammen aus der Trägerrostberechnung (siehe Kap.4.2.2.2).

$$M_{y\text{Stütz}} = -139.3 \text{ kNm} \quad \text{minimales Stützmoment (siehe Tab. 24)}$$
$$M_{y\text{Feld}} = 104.3 \text{ kNm} \quad \text{maximales Feldmoment (siehe Tab. 24)}$$
$$V_z = 243.0 \text{ kN} \quad \text{maximale Querkraft (siehe Tab. 23)}$$

5.2.2.1.a Nachweis der lokalen Spannungen für die Längsrippen

Randspannungen im Stützbereich:

$$\sigma_{x_o\text{Stütz}} = \frac{M_{y\text{Stütz}}}{I_{y\text{Stütz}}} \cdot s_{o\text{Stütz}} \quad \sigma_{x_o\text{Stütz}} = 5.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$
$$\sigma_{x_u\text{Stütz}} = \frac{M_{y\text{Stütz}}}{I_{y\text{Stütz}}} \cdot s_{u\text{Stütz}} \quad \sigma_{x_u\text{Stütz}} = -12.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Randspannungen im Feldbereich:

$$\sigma_{x_o\text{Feld}} = \frac{M_{y\text{Feld}}}{I_{y\text{Feld}}} \cdot s_{o\text{Feld}} \quad \sigma_{x_o\text{Feld}} = -2.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$
$$\sigma_{x_u\text{Feld}} = \frac{M_{y\text{Feld}}}{I_{y\text{Feld}}} \cdot s_{u\text{Feld}} \quad \sigma_{x_u\text{Feld}} = 8.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

In den nachfolgenden Tabellen sind die Ergebnisse der Randspannungen im Stütz- und Feldbereich zusammengefasst. Die exemplarisch berechneten Normalspannungen sind in den folgenden Tabellen fett gekennzeichnet.

Längsrippen 1&4

Obere Randspannungen

$\sigma_{xo.Stütz}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	3,8	3,4	3,5
	3,5 m	4,8	4,4	4,5
	4,0 m	5,8	5,4	5,5

Untere Randspannungen

$\sigma_{xu.Stütz}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-9,0	-8,0	-8,2
	3,5 m	-11,6	-10,6	-10,8
	4,0 m	-14,0	-13,0	-13,2

Längsrippen 2&3

Obere Randspannungen

$\sigma_{xo.Stütz}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	4,6	4,1	4,2
	3,5 m	5,7	5,2	5,3
	4,0 m	6,9	6,4	6,5

Untere Randspannungen

$\sigma_{xu.Stütz}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-10,5	-9,3	-9,5
	3,5 m	-13,2	-12,1	-12,3
	4,0 m	-16,0	-14,9	-15,1

Tab. 51 Randnormalspannungen im Stützbereich der Längsrippen (Trägerrostberechnung)

Längsrippen 1&4

Obere Randspannungen

$\sigma_{xo.Feld}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-2,2	-1,5	-1,7
	3,5 m	-2,4	-2,1	-2,2
	4,0 m	-3,0	-2,6	-2,7

Untere Randspannungen

$\sigma_{xu.Feld}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	7,1	5,0	5,6
	3,5 m	7,7	6,7	7,0
	4,0 m	9,6	8,3	8,7

Längsrippen 2&3

Obere Randspannungen

$\sigma_{xo.Feld}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-2,7	-1,9	-2,1
	3,5 m	-3,0	-2,6	-2,7
	4,0 m	-3,7	-3,2	-3,4

Untere Randspannungen

$\sigma_{xu.Feld}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	8,3	6,0	6,6
	3,5 m	9,0	7,7	8,2
	4,0 m	11,1	9,6	10,1

Tab. 52 Randnormalspannungen im Feldbereich der Längsrippen (Trägerrostberechnung)

Die oben berechneten Spannungen sind wesentlich kleiner als der Bemessungswert der Fließgrenze, somit ist der Tragfähigkeitsnachweis nicht maßgebend.

5.2.2.2 Ermüdungsnachweis FLS für die Längsrippen

In diesem Unterkapitel werden die fünf Ebenen aus Abb. 85 nachgewiesen.

Die Beiwerte und Faktoren für den Nachweis der Ermüdung werden, wie bereits im Kap.2.4 angegeben, verwendet:

$\lambda_{LR} = 1.31$ Schadenäquivalenzfaktor der Längsrippen (siehe Tab. 11)

$\Phi_{2LR} = 1.294$ Dynamischer Beiwert der Längsrippen (siehe Tab. 09)

$\gamma_{Ff} = 1.0$ Teilsicherheitsbeiwert für die Ermüdungslasten

$\gamma_{Mf} = 1.15$ Teilsicherheitsbeiwert für den Ermüdungswiderstand

Die folgenden Schnittgrößen stammen aus der Trägerrostberechnung (siehe Kap. 4.2.2).

Schnittgrößen im Stützbereich:

$\max M_{yStütz} = 14.30 \text{ kNm}$ $\min M_{yStütz} = -55.40 \text{ kNm}$

$\Delta M_{yStütz} = \max M_{yStütz} - \min M_{yStütz}$ $\Delta M_{yStütz} = 69.7 \text{ kNm}$ (siehe Tab. 25)

Schnittgrößen im Bereich 0,2L (Stoss der Längsrippen):

$\max M_{y0.2L} = 23.17 \text{ kNm}$ $\min M_{y0.2L} = -22.88 \text{ kNm}$

$\Delta M_{y0.2L} = \max M_{y0.2L} - \min M_{y0.2L}$ $\Delta M_{y0.2L} = 46.05 \text{ kNm}$ (siehe Tab. 25)

5.2.2.2.a Nachweis der lokalen Ermüdungsfestigkeiten für die Längsrippen

Ermüdungsnachweis der Längsrippen im Stützbereich:

Bezeichnungen der Längsrippen 2&3

Abstände für den Ermüdungsnachweis

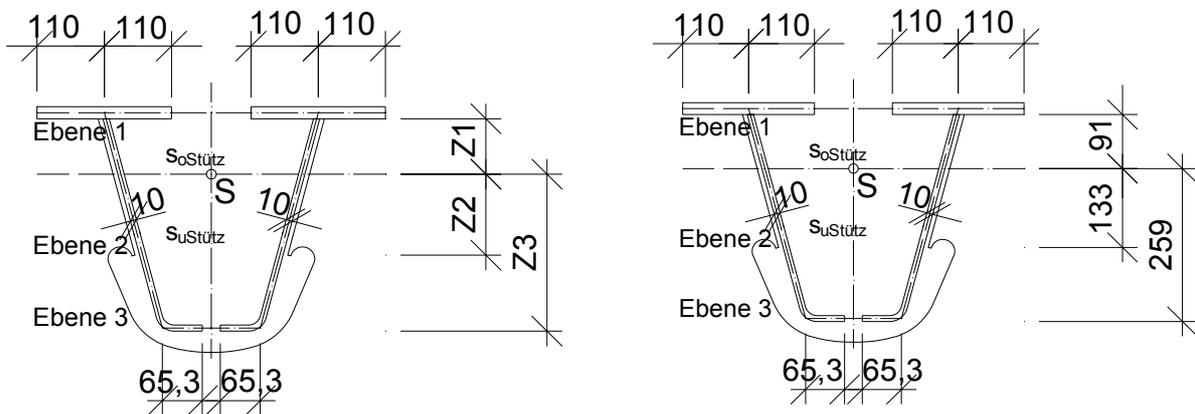


Abb. 86 Bezeichnungen und Abstände der Längsrippen 2&3 für den Ermüdungsnachweis im Stützbereich

Aus der Abb. 86 folgt:

$z_1 = 91 \text{ mm}$ $z_2 = 133 \text{ mm}$ $z_3 = 259 \text{ mm}$

Für die Ebene 1 gilt:

$$\Delta\sigma_{p1} = \frac{\Delta M_{y\text{Stütz}}}{I_{y\text{Stütz}}} \cdot z_1$$

$$\Delta\sigma_{p1} = 2.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{E1} = \lambda_{LR} \cdot \Phi_{2LR} \cdot \Delta\sigma_{p1}$$

$$\Delta\sigma_{E1} = 3.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{c1} = 71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 1 der Tab. 8.8 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1} = 3.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

<

$$\frac{\Delta\sigma_{c1}}{\gamma_{Mf}} = 6.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt

In den nachfolgenden Tabellen sind die ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebenen 1 bis 3 im Stützbereich aufgelistet.

Längsrippen 1&4

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	2,9	2,5	2,6
	3,5 m	3,2	2,9	3,0
	4,0 m	3,4	3,2	3,2
$\Delta\sigma_{c1}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.8 [10]		

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	3,7	3,1	3,3
	3,5 m	4,0	3,6	3,7
	4,0 m	4,2	3,9	3,9
$\Delta\sigma_{c1}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.8 [10]		

Tab. 53 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 1 (Trägerrostberechnung)

Für die Ebene 2 gilt:

$$\Delta\sigma_{p2} = \frac{\Delta M_{y\text{Stütz}}}{I_{y\text{Stütz}}} \cdot z_2$$

$$\Delta\sigma_{p2} = 3.15 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda_{LR} \cdot \Phi_{2LR} \cdot \Delta\sigma_{p2}$$

$$\Delta\sigma_{E2} = 5.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{c2} = 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 6 der Tab.8.4 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 5.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

<

$$\frac{\Delta\sigma_{c2}}{\gamma_{Mf}} = 7.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E2}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	5,0	4,3	4,5
	3,5 m	5,0	4,6	4,6
	4,0 m	5,3	4,9	5,0
$\Delta \sigma_{c2} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E2}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	6,1	5,1	5,4
	3,5 m	5,8	5,3	5,3
	4,0 m	6,1	5,6	5,7
$\Delta \sigma_{c2} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Tab. 54 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 2 (Trägerrostberechnung)

Für die Ebene 3 gilt:

$$\Delta \sigma_{p3} = \frac{\Delta M_{yStütz}}{I_{yStütz}} \cdot z_3$$

$$\Delta \sigma_{p3} = 6.1 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\Delta \sigma_{E3} = \lambda_{LR} \cdot \Phi_{2LR} \cdot \Delta \sigma_{p3}$$

$$\Delta \sigma_{E3} = 10.4 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\Delta \sigma_{c3} = 160 \frac{N}{mm^2}$$

Kerbfall laut Detail 1 der Tab.8.1 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E3} = 10.4 \frac{kN}{cm^2}$$

<

$$\frac{\Delta \sigma_{c3}}{\gamma_{Mf}} = 13.9 \frac{kN}{cm^2}$$

Nachweis erfüllt

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E3}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	8,7	7,5	7,8
	3,5 m	9,6	8,8	8,9
	4,0 m	10,2	9,5	9,6
$\Delta \sigma_{c3} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 13,9 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.1 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E3}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	10,7	8,9	9,4
	3,5 m	11,3	10,2	10,4
	4,0 m	11,8	11,0	11,2
$\Delta \sigma_{c3} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 13,9 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.1 [10]		

Tab. 55 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 3 (Trägerrostberechnung)

Ermüdungsnachweis der Längsrippen im Bereich 0,2L:

Im Bereich 0,2L erfolgt der Stoß der Längsrippen, weshalb ein Ermüdungsnachweis erforderlich wird.

Bezeichnungen der Längsrippen 2&3

Abstände für den Ermüdungsnachweis

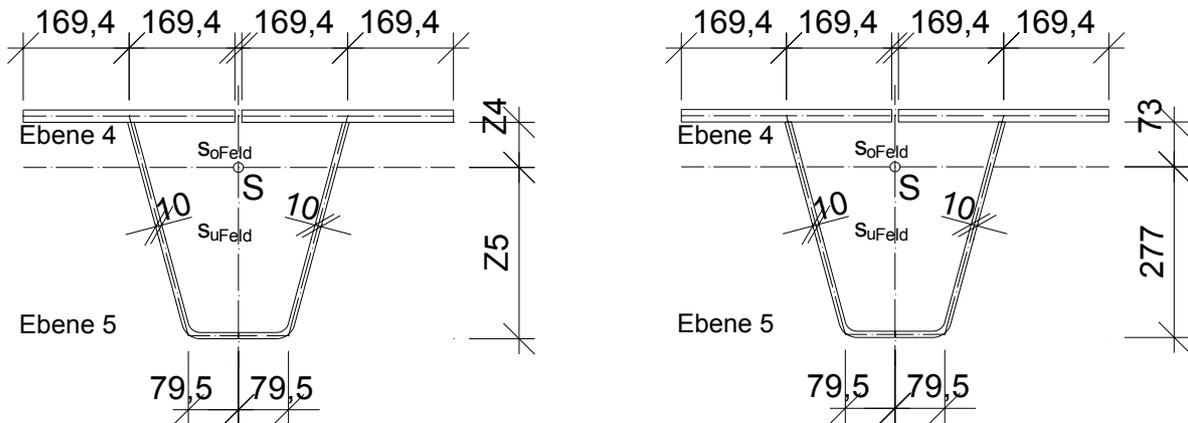


Abb. 87 Bezeichnungen und Abstände der Längsrippen 2&3 für den Ermüdungsnachweis im Bereich 0,2L

Aus der Abb. 87 folgt:

$$z_4 = 73 \text{ mm} \quad z_5 = 277 \text{ mm}$$

Für die Ebene 4 gilt:

$$\Delta\sigma_{p4} = \frac{\Delta M_{y0.2L}}{I_{yFeld}} \cdot z_4$$

$$\Delta\sigma_{p4} = 0.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{E4} = \lambda_{LR} \cdot \Phi_{2LR} \cdot \Delta\sigma_{p4}$$

$$\Delta\sigma_{E4} = 1.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{c4} = 71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 4 der Tab.8.8 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E4} = 1.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

<

$$\frac{\Delta\sigma_{c4}}{\gamma_{Mf}} = 6.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt

In den nachfolgenden Tabellen sind die ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebenen 4 und 5 im Bereich 0,2L aufgelistet.

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E4}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,4	1,0	1,1
	3,5 m	1,5	1,1	1,2
	4,0 m	1,5	1,2	1,3
$\Delta \sigma_{c4} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E4}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,8	1,3	1,4
	3,5 m	1,9	1,5	1,6
	4,0 m	1,9	1,6	1,7
$\Delta \sigma_{c4} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]		

Tab. 56 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich 0,2L der Längsrippen für die Ebene 4 (Trägerrostberechnung)

Für die Ebene 5 gilt:

$$\Delta \sigma_{p5} = \frac{\Delta M_{y0.2L}}{I_{yFeld}} \cdot z_5$$

$$\Delta \sigma_{p5} = 3.60 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta \sigma_{E5} = \lambda_{LR} \cdot \Phi_{2LR} \cdot \Delta \sigma_{p5}$$

$$\Delta \sigma_{E5} = 6.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta \sigma_{c5} = 71 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 4 der Tab.8.8 aus der ÖNORM

EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E5} = 6.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

<

$$\frac{\Delta \sigma_{c5}}{\gamma_{Mf}} = 6.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E5}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	6,2	4,4	4,8
	3,5 m	6,1	4,7	5,1
	4,0 m	6,2	5,1	5,4
$\Delta \sigma_{c5} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]		

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E5}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	7,7	5,4	6,0
	3,5 m	7,4	5,7	6,1
	4,0 m	7,4	6,0	6,4
$\Delta \sigma_{c5} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]		

Tab. 57 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich 0,2L der Längsrippen für die Ebene 5 (Trägerrostberechnung)

Wie aus Tab. 57 ersichtlich, sind die Nachweise der Längsrippen 2&3 für das Lastbild LM 71 nicht erfüllt. Weiters ist auch der Nachweis für das Lastbild LM 71_{aufg2} bei 4,0 m Querträgerabstand nicht erfüllt. Damit zeigt sich, dass die Ebene 5 die maßgebende Stelle für den Ermüdungsnachweis der Längsrippen darstellt.

5.3 Spannungsnachweise für die Querträger

5.3.1 Einfeldträger

Die dem Querträger zu Grunde liegenden Faktoren, Beiwerte, Belastungen und Lastkombinationen sind im Kap.2 angeführt. Die Querschnitte und Querschnittswerte sind im Kap.3 zu finden. Daraus resultierende Schnittgrößen für die Spannungsnachweise werden im Kap.4.3 angeführt.

Der nachfolgende exemplarische Spannungsnachweis für den Querträger erfolgt bei 3,5 m Querträgerabstand. Dabei werden, wie bei den Längsrippen, die Schnittgrößen aus der Trägerrostberechnung zufolge dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} verwendet. Für die weiteren Querträgerabstände und Lastbilder, werden die Ergebnisse in Tabellen angegeben. Die exemplarisch berechneten Spannungen sind in den Tabellen fett gekennzeichnet.

Querschnittswerte der Querträger:

$$I_{yQT} = 597548.0 \text{ cm}^4 \quad A_{\text{StegGesamt}} = 213.75 \text{ cm}^2 \quad A_{\text{StegEffektiv}} = 117.5 \text{ cm}^2$$

$$s_{oQT} = -29.65 \text{ cm} \quad s_{uQT} = 59.85 \text{ cm} \quad (\text{siehe Abb. 33})$$

5.3.1.1 Tragfähigkeitsnachweis ULS für die Querträger

In der Abb. 88 sind die für die Spannungsnachweise maßgebenden vier Schnitte I bis IV dargestellt.

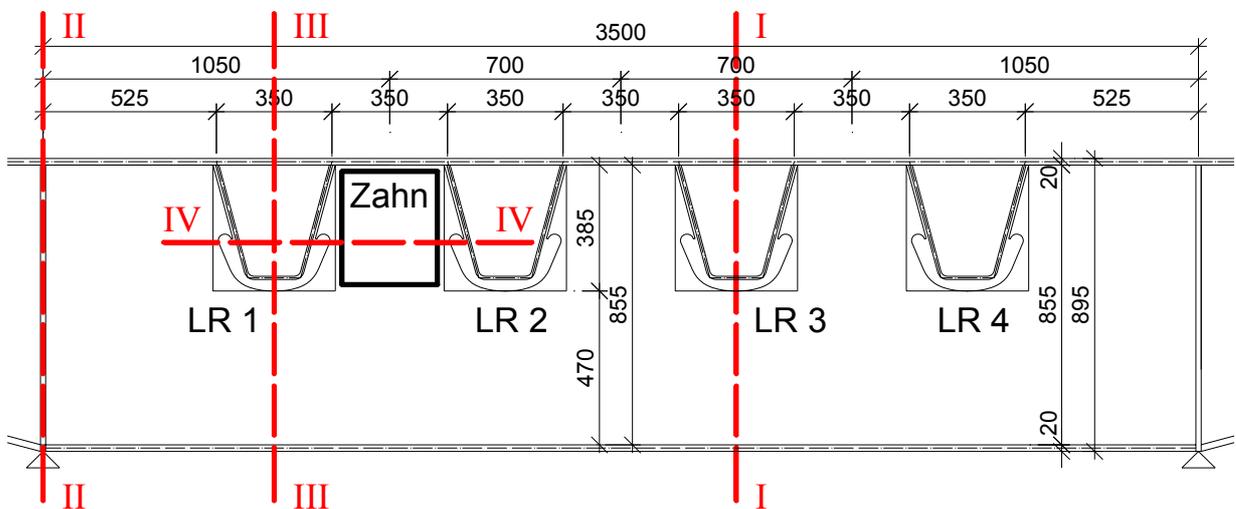


Abb. 88 Nachweisschnitte der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

Dabei bedeuten:

- Schnitt I-I Nachweis im Feldbereich der Querträger (effektiver Querschnitt)
- Schnitt II-II Nachweis im Auflagerbereich der Querträger (Gesamtquerschnitt)
- Schnitt III-III Nachweis im Bereich der ersten Längsrippe (effektiver Querschnitt)
- Schnitt IV-IV Nachweis im ersten Zahn der Querträger

5.3.1.1.a Nachweis der lokalen Spannungen für die Querträger

Spannungen im Feldbereich (Schnitt I-I):

$M_y = 582.09 \text{ kNm}$ maximales Feldmoment (siehe Abb. 76 bzw. Tab. 32)

$$\sigma_{x0} = \frac{M_y}{I_{yQT}} \cdot s_{0QT} \quad \sigma_{x0} = -2.9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{xu} = \frac{M_y}{I_{yQT}} \cdot s_{uQT} \quad \sigma_{xu} = 5.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

In den nachfolgenden Tabellen sind die Normal-, Schub- und Vergleichsspannungen der vier Nachweisschnitte aufgelistet.

Durchlaufträgerberechnung

Trägerrostberechnung

Obere Randnormalspannungen

QT

Obere Randnormalspannungen

QT

σ_{x0}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-2,9	-2,0	-2,4
	3,5 m	-3,2	-2,5	-2,8
	4,0 m	-3,6	-2,8	-3,2

σ_{x0}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-3,0	-2,1	-2,5
	3,5 m	-3,3	-2,5	-2,9
	4,0 m	-3,6	-2,8	-3,2

Untere Randnormalspannungen

QT

Untere Randnormalspannungen

QT

σ_{xu}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	6,8	4,7	5,7
	3,5 m	6,5	5,0	5,7
	4,0 m	7,2	5,6	6,4

σ_{xu}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	7,0	4,9	5,9
	3,5 m	6,6	5,1	5,8
	4,0 m	7,3	5,7	6,5

Tab. 58 Randnormalspannungen im Feldbereich der Querträger (Schnitt I-I)

Spannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II):

$V_z = 544.59 \text{ kN}$

maximale Auflagerkraft (siehe Abb. 75 bzw. Tab. 30)

$$\tau_a = \frac{V_z}{A_{\text{StegGesamt}}}$$

$$\tau_a = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Durchlaufträgerberechnung

τ_a		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	3,0	2,1	2,5
	3,5 m	2,8	2,2	2,5
	4,0 m	3,2	2,5	2,8

Trägerrostberechnung

τ_a		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	3,1	2,1	2,6
	3,5 m	2,9	2,2	2,5
	4,0 m	3,2	2,5	2,8

Tab. 59 Schubspannungen im Auflagerbereich der Querträger (Schnitt II-II)

Spannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

$V_{1z} = 416.16 \text{ kN}$ (siehe Abb. 75 bzw. Tab. 31)

$M_{1y} = 430.98 \text{ kNm}$ (siehe Abb. 76 bzw. Tab. 33)

$$\tau_1 = \frac{V_{1z}}{A_{\text{StegEffektiv}}}$$

$$\tau_1 = 3.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{1x0} = \frac{M_{1y}}{I_{yQT}} \cdot s_{0QT}$$

$$\sigma_{1x0} = -2.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{1xu} = \frac{M_{1y}}{I_{yQT}} \cdot s_{uQT}$$

$$\sigma_{1xu} = 4.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{1v} = \sqrt{\sigma_{1xu}^2 + 3\tau_1^2}$$

$$\sigma_{1v} = 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Durchlaufträgerberechnung

Obere Randnormalspannungen QT

σ_{1x0}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-2,2	-1,5	-1,8
	3,5 m	-2,4	-1,8	-2,1
	4,0 m	-2,7	-2,1	-2,4

Trägerrostberechnung

Obere Randnormalspannungen QT

σ_{1x0}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-2,2	-1,5	-1,9
	3,5 m	-2,4	-1,9	-2,1
	4,0 m	-2,7	-2,1	-2,4

Untere Randnormalspannungen QT

σ_{1xu}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	5,1	3,5	4,2
	3,5 m	4,8	3,7	4,3
	4,0 m	5,4	4,2	4,8

Untere Randnormalspannungen QT

σ_{1xu}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	5,2	3,6	4,4
	3,5 m	4,9	3,7	4,3
	4,0 m	5,4	4,2	4,8

Tab. 60 Randnormalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe der Querträger (Schnitt III-III)

Durchlaufträgerberechnung

τ_1		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	4,3	3,0	3,6
	3,5 m	4,0	3,0	3,5
	4,0 m	4,4	3,4	3,9

Trägerrostberechnung

τ_1		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	4,5	3,1	3,7
	3,5 m	4,0	3,1	3,5
	4,0 m	4,4	3,5	3,9

Tab. 61 Schubspannungen im Bereich der 1. Längsrippe der Querträger (Schnitt III-III)

Durchlaufträgerberechnung

σ_{1v}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	9,1	6,2	7,6
	3,5 m	8,4	6,4	7,4
	4,0 m	9,3	7,3	8,3

Trägerrostberechnung

σ_{1v}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	9,3	6,4	7,8
	3,5 m	8,5	6,5	7,5
	4,0 m	9,4	7,3	8,3

Tab. 62 Vergleichsspannungen im Bereich der 1. Längsrippe der Querträger (Schnitt III-III)

Spannungen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Die nachfolgende Bemessung erfolgt laut ÖNORM EN 1993-2 [11].

$b_m = 1346$ mm mittragende Obergurtbreite der Querträger

$t_{DB} = 20$ mm Dicke des Deckbleches

$b_B = 363$ mm Breite im Bereich des Stegausschnittes (siehe Abb. 89)

$t_w = 25$ mm Stegblechdicke der Querträger

$$S_{\text{Zahn}} = b_m \cdot t_{DB} \cdot \left(|s_{oQT}| - \frac{t_{DB}}{2} \right) \quad S_{\text{Zahn}} = 7712.6 \text{ cm}^3$$

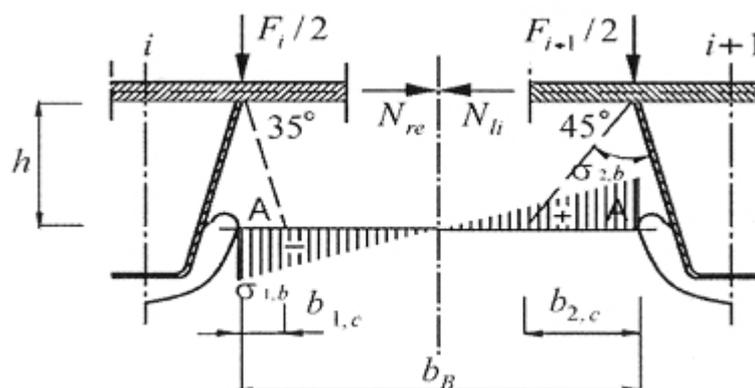


Abb. 89 Spannungsverteilung im Bereich von Stegausschnitten laut der ÖNORM EN 1993-2 [11]

Die aufsummierte Schubkraft T zwischen den ersten beiden Längsrippen ergibt sich laut Kap. 4.3.1.1.c zu:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad T = 256.8 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 34})$$

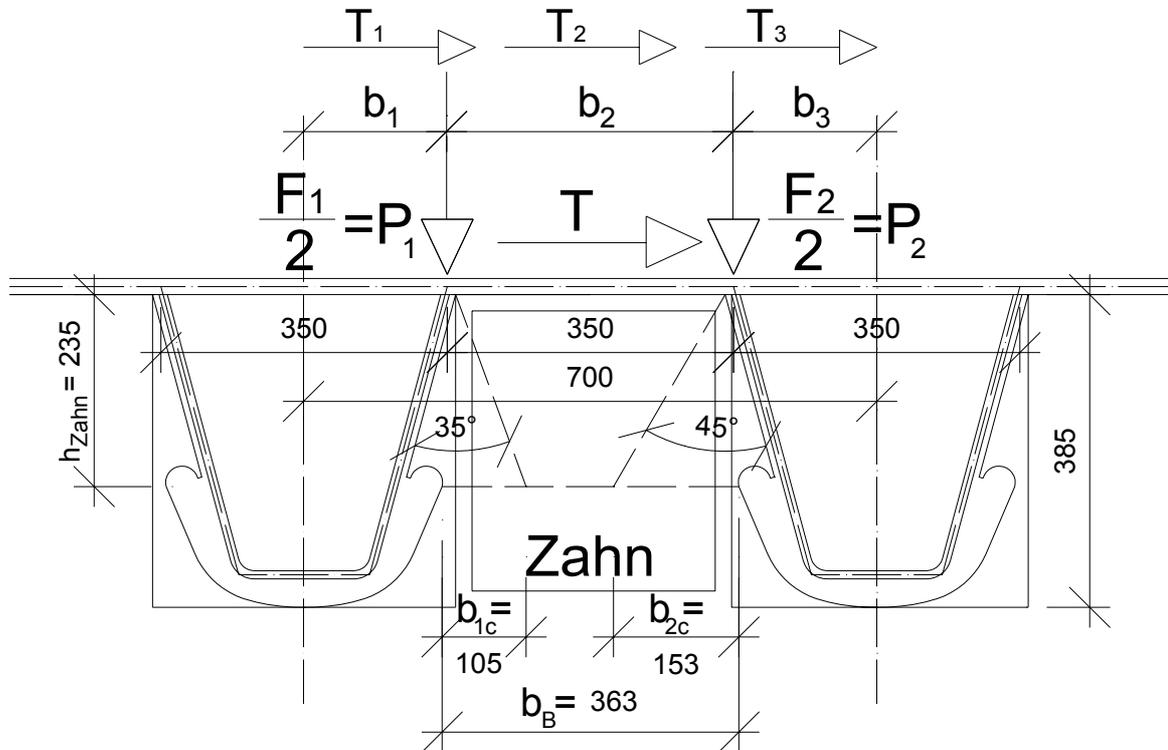


Abb. 90 Belastung und Geometrie im 1. Zahn der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

Aus der Abb. 90 folgt:

$$A_{\text{Zahn}} = b_B \cdot t_w \quad A_{\text{Zahn}} = 90.8 \text{ cm}^2 \quad h_{\text{Zahn}} = 23.5 \text{ cm} \quad M_V = T \cdot h_{\text{Zahn}}$$

$$M_V = 6014.79 \text{ kNcm} \quad \text{Versatzmoment}$$

$$W_{\text{Zahn}} = \frac{t_w \cdot b_B^2}{6} \quad W_{\text{Zahn}} = 549.0 \text{ cm}^3 \quad \text{Widerstandsmoment vom 1. Zahn}$$

Biegenormalspannungen (siehe Abb. 91)

$$\sigma_{1b} = \frac{-M_V}{W_{\text{Zahn}}} \quad \sigma_{1b} = -11.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{2b} = \frac{M_V}{W_{\text{Zahn}}} \quad \sigma_{2b} = 11.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Lokale Lasteinleitungskräfte $F_1/2$ und $F_2/2$:

Zur Rechenvereinfachung entsprechen P_1 und P_2 den halben lokalen Lasteinleitungskräften. Diese Kräfte P_1 und P_2 ergeben sich laut Kap.4.3.1.1.c zu:

$P_1 = F_1/2$		$P_2 = F_2/2$	
$P_1 = 127.0 \text{ kN}$	(siehe Tab. 35)	$P_2 = 142.9 \text{ kN}$	(siehe Tab. 36)
$b_{1c} = 105 \text{ mm}$	$b_{2c} = 153 \text{ mm}$	(siehe Abb. 89)	
$A_{1c} = b_{1c} t_w$	$A_{1c} = 26.3 \text{ cm}^2$	$A_{2c} = b_{2c} t_w$	$A_{2c} = 38.3 \text{ cm}^2$

Druckspannungen infolge der lokalen Lasteinleitungen P_1 und P_2 (siehe Abb. 91).

$$\sigma_{1c} = \frac{-P_1}{A_{1c}} \quad \sigma_{1c} = -4.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{2c} = \frac{-P_2}{A_{2c}} \quad \sigma_{2c} = -3.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

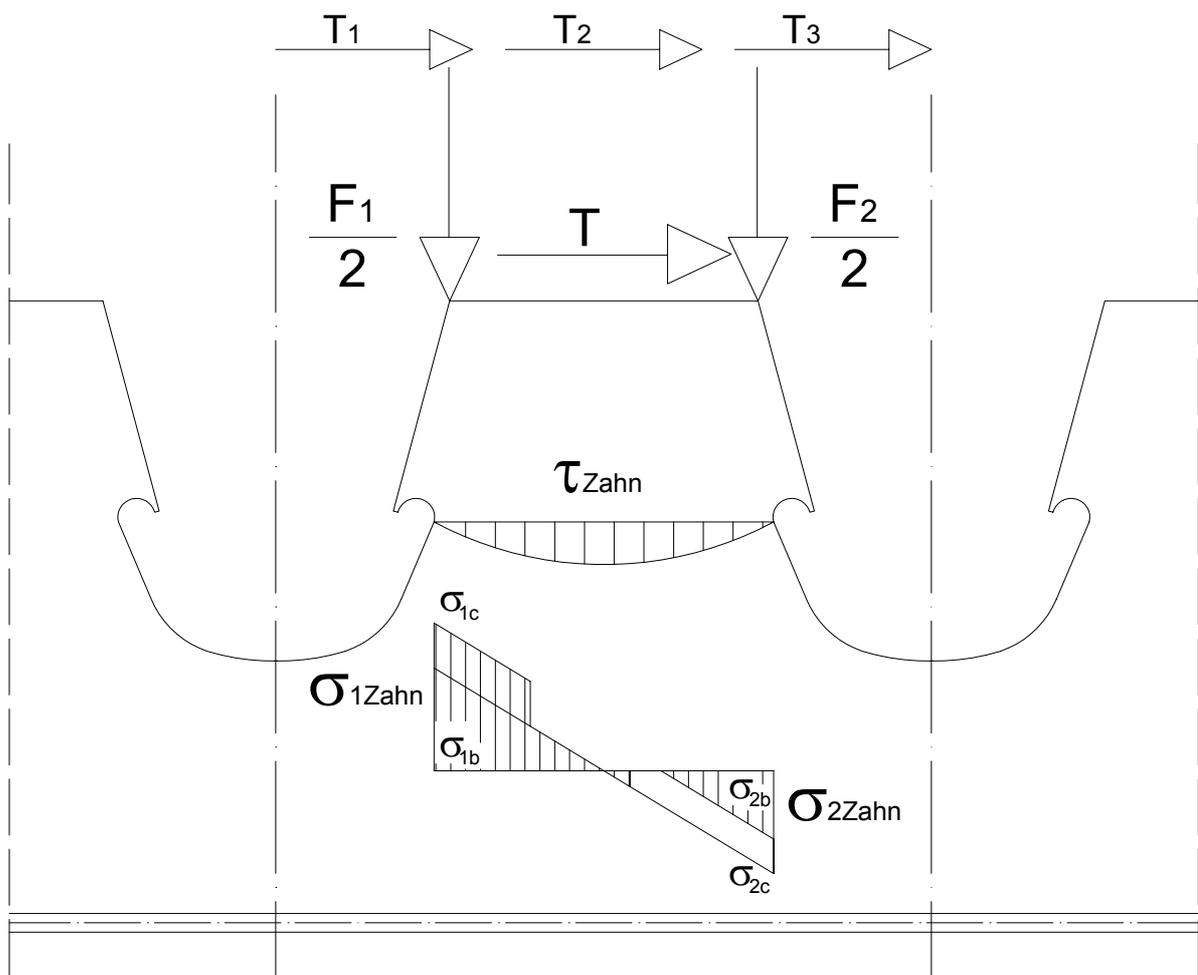


Abb. 91 Spannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Somit ergeben sich die Normalspannungen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV) zu:

$$\sigma_{1\text{Zahn}} = \sigma_{1b} + \sigma_{1c} \quad \sigma_{1\text{Zahn}} = -15.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{2\text{Zahn}} = \sigma_{2b} + \sigma_{2c} \quad \sigma_{2\text{Zahn}} = 7.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Die Schubspannungen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV) ergeben sich zu:

$$\tau_{\text{Zahn}} = \frac{1.5 \cdot T}{A_{\text{Zahn}}} \quad \tau_{\text{Zahn}} = 4.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Durchlaufträgerberechnung

Trägerrostberechnung

Normalspannung laut Abb. 91

QT

Normalspannung laut Abb. 91

QT

$\sigma_{1\text{Zahn}}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-15,6	-10,6	-13,0
	3,5 m	-17,7	-13,5	-15,6
	4,0 m	-19,7	-15,3	-17,4

$\sigma_{1\text{Zahn}}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	-16,0	-11,0	-13,4
	3,5 m	-18,0	-13,7	-15,8
	4,0 m	-19,9	-15,5	-17,6

Normalspannung laut Abb. 91

QT

Normalspannung laut Abb. 91

QT

$\sigma_{2\text{Zahn}}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	6,8	4,6	5,7
	3,5 m	8,1	6,2	7,1
	4,0 m	9,0	7,0	8,0

$\sigma_{2\text{Zahn}}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	6,9	4,8	5,8
	3,5 m	8,2	6,3	7,3
	4,0 m	9,1	7,1	8,1

Tab. 63 Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Durchlaufträgerberechnung

Trägerrostberechnung

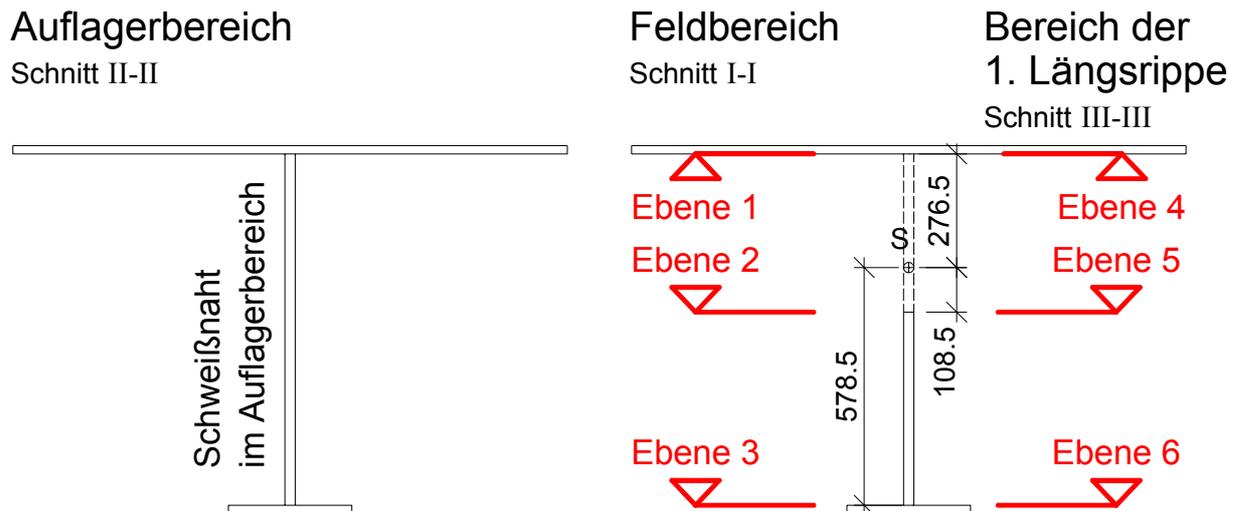
τ_{Zahn}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	4,7	3,2	3,9
	3,5 m	4,8	3,6	4,2
	4,0 m	5,3	4,1	4,7

τ_{Zahn}		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	4,8	3,3	4,1
	3,5 m	4,8	3,7	4,2
	4,0 m	5,3	4,1	4,7

Tab. 64 Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

5.3.1.2 Ermüdungsnachweis FLS für die Querträger

In diesem Unterkapitel werden die sechs Ebenen aus der Abb. 92 nachgewiesen. Zusätzlich erfolgen noch die Ermüdungsnachweise im Auflagerbereich und im ersten Zahn der Querträger. Die ersten drei Ebenen aus der Abb. 92 sind jene im Feldbereich. Die Ebene 1 ist im Deckblechbereich, die Ebene 2 ist wo sich der Ausschnitt der Querträger mit der Längsrippe trifft und die Ebene 3 ist wo sich Untergurt und Steg der Querträger treffen. Die Ebenen 4, 5 und 6 sind analog zu den Ebenen 1,2 und 3, wobei sie jedoch im Bereich der ersten Längsrippe liegen.



Kerbfälle:

Ebene 1 & Ebene 4

Kerbfall 80 laut Detail 6 der Tab.8.4 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Ebene 2 & Ebene 5

Kerbfall 100 laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Ebene 3 & Ebene 6

Kerbfall 100 laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Auflagerbereich (Schnitt II-II)

Kerbfall 100 laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Zahn (Schnitt IV-IV)

Kerbfall 112 laut Detail 6 der Tab.8.8 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Abb. 92 Nachweisebenen der Querträger für die Ermüdungsberechnung FLS

Die folgenden Beiwerte und Faktoren für den Nachweis der Ermüdung werden, wie bereits im Kap.2.4 angegeben, verwendet:

$\lambda_{QT} = 1.02$ Schadenäquivalenzfaktor der Querträger (siehe Tab. 12)

$\Phi_{2QT} = 1.409$ Dynamischer Beiwert der Querträger (siehe Tab. 10)

$\gamma_{Ff} = 1.0$ Teilsicherheitsbeiwert für Ermüdungslasten (siehe Kap.2.4.4)

$\gamma_{Mf} = 1.15$ Teilsicherheitsbeiwert für den Ermüdungswiderstand (siehe Kap.2.4.4)

Die folgenden Schnittgrößen stammen aus der Trägerrostberechnung (siehe Kap. 4.3).

$$\max M_y = 194.04 \text{ kNm} \quad \min M_y = -25.34 \text{ kNm} \quad (\text{siehe Abb. 81 bzw. Formel (10)})$$

$$\Delta M_y = \max M_y - \min M_y \quad \Delta M_y = 219.4 \text{ kNm} \quad (\text{siehe Abb. 81 bzw. Tab. 39})$$

$$\max V_z = 180.40 \text{ kN} \quad \min V_z = -23.50 \text{ kN} \quad (\text{siehe Abb. 79 bzw Formel (9)})$$

$$\Delta V_z = \max V_z - \min V_z \quad \Delta V_z = 203.9 \text{ kN} \quad (\text{siehe Abb. 79 bzw. Tab. 37})$$

Im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

$$\Delta V_{1z} = 156.70 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 38}) \quad \Delta M_{1y} = 161.9 \text{ kNm} \quad (\text{siehe Tab. 40})$$

Querschnittswerte der Querträger:

$$I_{yQT} = 597548.0 \text{ cm}^4 \quad A_{\text{StegGesamt}} = 213.75 \text{ cm}^2 \quad A_{\text{StegEffektiv}} = 117.5 \text{ cm}^2$$

$$s_{oQT} = -29.65 \text{ cm} \quad s_{uQT} = 59.85 \text{ cm} \quad (\text{siehe Abb. 33})$$

5.3.1.2.a Nachweis der lokalen Ermüdungsfestigkeit für die Querträger

Ermüdungsnachweise der Querträger im Feldbereich (Schnitt I-I):

Für die Ebene 1 gilt:

$$z_1 = |-276.5 \text{ mm}| \quad (\text{siehe Abb. 92})$$

$$\Delta \sigma_{p1} = \frac{\Delta M_y}{I_{yQT}} \cdot z_1 \quad \Delta \sigma_{p1} = 1.02 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta \sigma_{E1} = \lambda_{QT} \cdot \Phi_{2QT} \cdot \Delta \sigma_{p1} \quad \Delta \sigma_{E1} = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta \sigma_{c1} = 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 6 der Tabelle 8.4 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E1} = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{\Delta \sigma_{c1}}{\gamma_{Mf}} = 7.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	2,0	1,3	1,7
	3,5 m	1,6	1,2	1,4
	4,0 m	1,8	1,3	1,5
$\Delta\sigma_{c1}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 7,0$ kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E1}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	2,2	1,4	1,8
	3,5 m	1,7	1,3	1,5
	4,0 m	1,8	1,4	1,6
$\Delta\sigma_{c1}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 7,0$ kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Tab. 65 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I) der Querträger für die Ebene 1

Für die Ebene 2 gilt:

$z_2 = 108.5\text{mm}$ (siehe Abb. 92)

$$\Delta\sigma_{p2} = \frac{\Delta M_y}{I_{yQT}} \cdot z_2 \quad \Delta\sigma_{p2} = 0.40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda_{QT} \cdot \Phi_{2QT} \cdot \Delta\sigma_{p2} \quad \Delta\sigma_{E2} = 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$\Delta\sigma_{c2} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ Kerbfall laut Detail 7 der Tabelle 8.2 aus der
 ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2} = 0.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{\Delta\sigma_{c2}}{\gamma_{Mf}} = 8.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ Nachweis erfüllt

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	0,9	0,6	0,8
	3,5 m	0,6	0,5	0,6
	4,0 m	0,7	0,5	0,6
$\Delta\sigma_{c2}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7$ kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E2}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,0	0,7	0,8
	3,5 m	0,7	0,5	0,6
	4,0 m	0,7	0,5	0,6
$\Delta\sigma_{c2}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7$ kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]		

Tab. 66 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I) der Querträger für die Ebene 2

Für die Ebene 3 gilt:

$z_3 = 578.5\text{mm}$ (siehe Abb. 92)

$$\Delta\sigma_{p3} = \frac{\Delta M_y}{I_{yQT}} \cdot z_3 \quad \Delta\sigma_{p3} = 2.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{E3} = \lambda_{QT} \cdot \Phi_{2QT} \cdot \Delta\sigma_{p3} \quad \Delta\sigma_{E3} = 3.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{c3} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E3} = 3.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{\Delta\sigma_{c3}}{\gamma_{Mf}} = 8.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E3}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	3,8	2,5	3,1
	3,5 m	3,4	2,5	3,0
	4,0 m	3,7	2,8	3,2
$\Delta\sigma_{c3}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E3}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	4,1	2,7	3,3
	3,5 m	3,5	2,6	3,1
	4,0 m	3,7	2,8	3,3
$\Delta\sigma_{c3}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]		

Tab. 67 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I) der Querträger für die Ebene 3

Ermüdungsnachweise im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Für die Ebene 4 gilt:

Ermittlung der ermüdungswirksamen Normalspannungen:

$z_4 = |-276.5\text{mm}|$ (siehe Abb. 92)

$$\Delta\sigma_{p4} = \frac{\Delta M_{1y}}{I_{yQT}} \cdot z_4 \quad \Delta\sigma_{p4} = 0.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{E4} = \lambda_{QT} \cdot \Phi_{2QT} \cdot \Delta\sigma_{p4} \quad \Delta\sigma_{E4} = 1.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E4} = 1.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{\Delta\sigma_{c4}}{\gamma_{Mf}} = 7.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E4}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,5	1,0	1,2
	3,5 m	1,2	0,9	1,0
	4,0 m	1,3	1,0	1,1
$\Delta \sigma_{c4} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 7,0$ kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \sigma_{E4}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,6	1,1	1,3
	3,5 m	1,2	0,9	1,1
	4,0 m	1,3	1,0	1,2
$\Delta \sigma_{c4} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 7,0$ kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Tab. 68 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III) der Querträger für die Ebene 4

Ermittlung der ermüdungswirksamen Schubspannungen:

$\Delta V_{1z} = 156.70$ kN (siehe Tab. 38)

$\Delta M_{1y} = 161.9$ kNm (siehe Tab. 40)

$\Delta \tau_{p4} = \frac{\Delta V_{1z}}{A_{StegEffektiv}}$ $\Delta \tau_{p4} = 1.33 \frac{kN}{cm^2}$

$\Delta \tau_{E4} = \lambda_{QT} \cdot \Phi_{2QT} \cdot \Delta \tau_{p4}$ $\Delta \tau_{E4} = 1.9 \frac{kN}{cm^2}$

$\Delta \tau_{c4} = 80 \frac{N}{mm^2}$, $\Delta \sigma_{c4} = 80 \frac{N}{mm^2}$

Kerbfall laut Detail 6 der Tab.8.4 aus

der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E4} = 1.9 \frac{kN}{cm^2} <$

$\frac{\Delta \tau_{c4}}{\gamma_{Mf}} = 7.0 \frac{kN}{cm^2}$

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E4}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	2,5	1,6	2,0
	3,5 m	2,1	1,6	1,9
	4,0 m	2,3	1,7	2,0
$\Delta \tau_{c4} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 7,0$ kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E4}$		LM 71 [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg1} [kN/cm ²]	LM 71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	2,7	1,8	2,2
	3,5 m	2,2	1,6	1,9
	4,0 m	2,3	1,8	2,1
$\Delta \tau_{c4} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 7,0$ kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]		

Tab. 69 Ermüdungswirksame Schubspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III) der Querträger für die Ebene 4

Für die Ebene 5 gilt:

$$z_5 = 108.5\text{mm} \quad (\text{siehe Abb. 92})$$

$$\Delta\sigma_{p5} = \frac{\Delta M_{1y}}{I_{yQT}} \cdot z_5 \quad \Delta\sigma_{p5} = 0.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{E5} = \lambda_{QT} \cdot \Phi_{2QT} \cdot \Delta\sigma_{p5} \quad \Delta\sigma_{E5} = 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\tau_{c5} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \quad \Delta\sigma_{c5} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E5} = 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{\Delta\sigma_{c5}}{\gamma_{Mf}} = 8.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E5}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	0,7	0,5	0,6
	3,5 m	0,5	0,3	0,4
	4,0 m	0,5	0,4	0,4
$\Delta\sigma_{c5}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E5}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	0,8	0,5	0,6
	3,5 m	0,5	0,4	0,4
	4,0 m	0,5	0,4	0,5
$\Delta\sigma_{c5}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]		

Tab. 70 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III) der Querträger für die Ebene 5

Die ermüdungswirksamen Schubspannungen der Ebenen 5 und 6 sind nicht mehr angeführt, da sie ident mit jenen aus der Ebene 4 sind. Somit gilt:

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E4} = \gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E5} = \gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E6}$$

Für die Ebene 6 gilt:

$$z_6 = 578.5\text{mm} \quad (\text{siehe Abb. 92})$$

$$\Delta\sigma_{p6} = \frac{\Delta M_{1y}}{I_{yQT}} \cdot z_6 \quad \Delta\sigma_{p6} = 1.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{E6} = \lambda_{QT} \cdot \Phi_{2QT} \cdot \Delta\sigma_{p6} \quad \Delta\sigma_{E6} = 2.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{c6} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E6} = 2.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{\Delta\sigma_{c6}}{\gamma_{Mf}} = 8.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E6}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	2,8	1,8	2,3
	3,5 m	2,5	1,9	2,2
	4,0 m	2,7	2,0	2,4
$\Delta\sigma_{c6}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E6}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	3,0	2,0	2,5
	3,5 m	2,6	1,9	2,3
	4,0 m	2,8	2,1	2,4
$\Delta\sigma_{c6}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]		

Tab. 71 Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III) der Querträger für die Ebene 6

Ermüdungsnachweise der Querträger im Auflagerbereich (Schnitt II-II):

Im Auflagerbereich erfolgen die Ermüdungsnachweise mit den Gesamtquerschnitten der Querträger.

$$\Delta V_z = 203.9 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 37})$$

$$\Delta\tau_{p\text{Aufl.}} = \frac{\Delta V_z}{A_{\text{StegGesamt}}} \quad \Delta\tau_{p\text{Aufl.}} = 1.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\tau_{E\text{Aufl.}} = \lambda_{QT} \cdot \Phi_{2QT} \cdot \Delta\tau_{p\text{Aufl.}} \quad \Delta\tau_{E\text{Aufl.}} = 1.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\tau_{c\text{Aufl.}} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Kerbfall laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der}$$

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E\text{Aufl.}} = 1.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \frac{\Delta\tau_{c\text{Aufl.}}}{\gamma_{Mf}} = 8.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Nachweis erfüllt}$$

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{EAufl.}$		LM 71	LM	LM
		71	71 _{aufg1}	71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,7	1,1	1,4
	3,5 m	1,5	1,1	1,3
	4,0 m	1,6	1,2	1,4
$\Delta \tau_{cAufl.}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7$ kN/cm ² laut Detail 7, Tab.8.2 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{EAufl.}$		LM 71	LM	LM
		71	71 _{aufg1}	71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	1,9	1,2	1,5
	3,5 m	1,6	1,2	1,4
	4,0 m	1,7	1,3	1,5
$\Delta \tau_{cAufl.}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7$ kN/cm ² laut Detail 7, Tab.8.2 [10]		

Tab. 72 Ermüdungswirksame Schubspannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II) der Querträger

Ermüdungsnachweise im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Die aufsummierte Schubkraftdifferenz ΔT zwischen den ersten beiden Längsrippen ergibt sich laut Kap. 4.3.1.2.c zu:

$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 \qquad \Delta T = 97.2 \text{ kN} \qquad (\text{siehe Tab. 41})$$

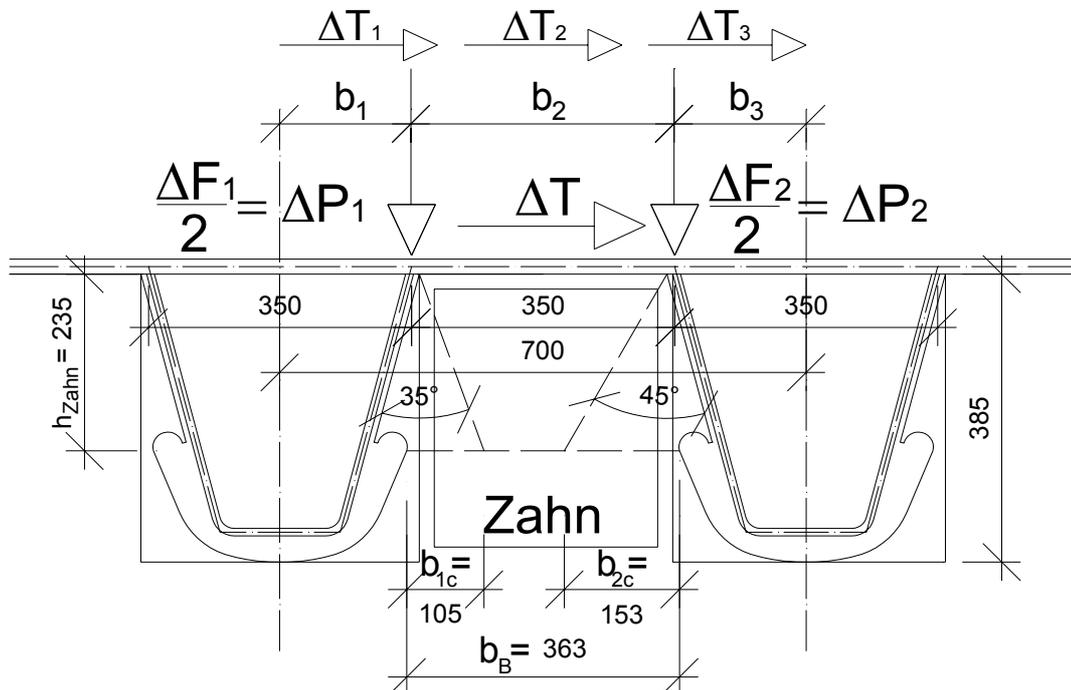


Abb. 93 Belastung und Geometrie im 1. Zahn der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Ermüdungsnachweis FLS

Aus der Abb. 93 folgt:

$$\Delta M_v = \Delta T \cdot h \qquad \Delta M_v = 2284.84 \text{ kNm} \quad \text{ermüdungswirksames Versatzmoment}$$

$$W_{\text{Zahn}} = \frac{t_w \cdot b_B^2}{6} \quad W_{\text{Zahn}} = 549.0 \text{ cm}^3 \quad \text{Widerstandsmoment vom 1. Zahn des QT}$$

$$\Delta\sigma_b = \frac{\Delta M_V}{W_{\text{Zahn}}} \quad \Delta\sigma_b = 4.2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Normalspannungsdifferenzen (siehe Abb. 94)}$$

Lokale Lasteinleitungskraftdifferenzen $\Delta F_1/2$ und $\Delta F_2/2$:

Zur Rechenvereinfachung entsprechen ΔP_1 und ΔP_2 den halben lokalen Lasteinleitungskraftdifferenzen. Diese Kraftdifferenzen ΔP_1 und ΔP_2 ergeben sich laut Kap. 4.3.1.2.c zu:

$$\Delta P_1 = 47.2 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 42}) \quad \Delta P_2 = 54.8 \text{ kN} \quad (\text{siehe Tab. 43})$$

$$b_{1c} = 105 \text{ mm} \quad b_{2c} = 153 \text{ mm} \quad A_{1c} = 26.3 \text{ cm}^2 \quad A_{2c} = 38.3 \text{ cm}^2$$

$$\Delta\sigma_{1c} = \frac{\Delta P_1}{A_{1c}} \quad \Delta\sigma_{1c} = 1.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Drucknormalspannungsdifferenzen}$$

$$\Delta\sigma_{2c} = \frac{\Delta P_2}{A_{2c}} \quad \Delta\sigma_{2c} = 1.4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

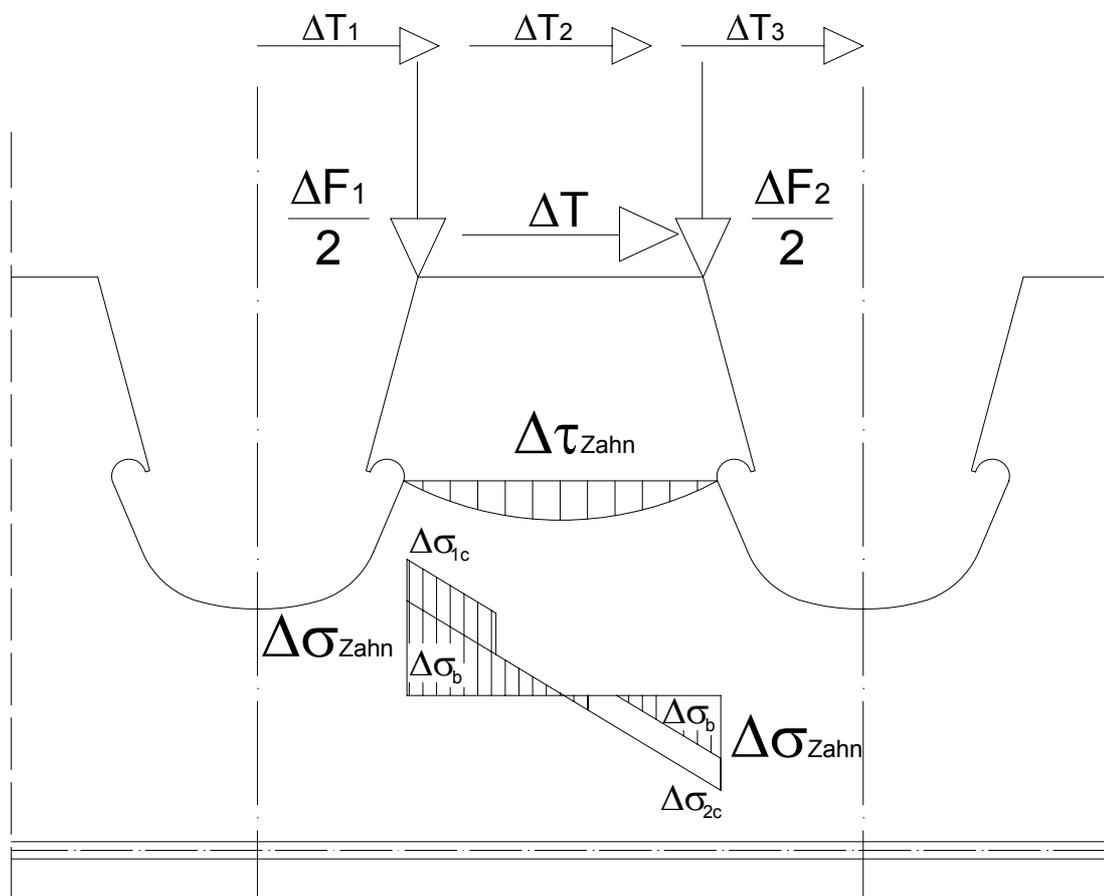


Abb. 94 Ermüdungswirksame Spannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV) für den Ermüdungsnachweis FLS

Somit ergeben sich die ermüdungswirksamen Normalspannungen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV) zu:

$$\Delta\sigma_{p7} = \Delta\sigma_b + \Delta\sigma_{1c}$$

$$\Delta\sigma_{p7} = 6.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{p8} = \Delta\sigma_b + \Delta\sigma_{2c}$$

$$\Delta\sigma_{p8} = 5.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{\text{Zahn}} = \lambda_{\text{QT}} \cdot \Phi_{2\text{QT}} \cdot \Delta\sigma_{p7}$$

$$\Delta\sigma_{\text{Zahn}} = 8.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\sigma_{c7} = 112 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 6 der Tab.8.8 aus der

ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{\text{Ff}} \cdot \Delta\sigma_{\text{Zahn}} = 8.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

<

$$\frac{\Delta\sigma_{c7}}{\gamma_{\text{Mf}}} = 9.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{\text{Ff}} \cdot \Delta\sigma_{\text{Zahn}}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	8,9	5,8	7,3
	3,5 m	9,6	7,1	8,3
	4,0 m	10,3	7,8	9,0
$\Delta\sigma_{c7}/\gamma_{\text{Mf}}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 9,7 kN/cm ² laut Detail 6, Tab.8.8 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{\text{Ff}} \cdot \Delta\sigma_{\text{Zahn}}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	9,6	6,3	7,8
	3,5 m	9,9	7,3	8,6
	4,0 m	10,5	8,0	9,2
$\Delta\sigma_{c7}/\gamma_{\text{Mf}}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 9,7 kN/cm ² laut Detail 6, Tab.8.8 [10]		

Tab. 73 Ermüdungswirksame Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Aus Tab. 73 ist ersichtlich, dass die Nachweise für 4,0 m Querträgerabstand für das Verkehrslastbild LM 71 nicht erfüllt sind. Weiters wird bei der genauen Berechnungsmethode, der Trägerrostberechnung, auch der Nachweis für den 3,5 m Querträgerabstand nicht erfüllt. Es können allerdings alle Nachweise erfüllt werden, wenn mit dem genaueren Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} gerechnet wird.

Die ermüdungswirksamen Schubspannungen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV) ergeben sich zu:

$$\Delta\tau_{p7} = \frac{1.5 \cdot \Delta T}{A_{\text{Zahn}}}$$

$$\Delta\tau_{p7} = 1.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\tau_{\text{Zahn}} = \lambda_{\text{QT}} \cdot \Phi_{2\text{QT}} \cdot \Delta\tau_{p7}$$

$$\Delta\tau_{\text{Zahn}} = 2.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\Delta\tau_{c7} = 112 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kerbfall laut Detail 6 der Tab.8.8 aus der
 ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

$$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{\text{Zahn}} = 2.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

<

$$\frac{\Delta\tau_{c7}}{\gamma_{Mf}} = 9.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Nachweis erfüllt

Durchlaufträgerberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{\text{Zahn}}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	2,7	1,8	2,2
	3,5 m	2,6	1,9	2,2
	4,0 m	2,8	2,1	2,4
$\Delta\tau_{c7}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 9,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 6, Tab.8.8 [10]		

Trägerrostberechnung

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{\text{Zahn}}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	2,9	1,9	2,4
	3,5 m	2,7	2,0	2,3
	4,0 m	2,8	2,1	2,5
$\Delta\tau_{c7}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 9,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 6, Tab.8.8 [10]		

Tab. 74 Ermüdungswirksame Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

5.4 Nachweis der Vergleichsspannungen

Die Vergleichsspannungen im Deckblech werden an zwei maßgebenden Punkten berechnet (siehe Abb. 95). Es wird darauf hingewiesen, dass keine Einflüsse aus der Haupttragwirkung berücksichtigt werden. Die Nachweisführung für die beiden Punkte wird exemplarisch gezeigt, und die Ergebnisse anschließend in Tabellen angegeben.

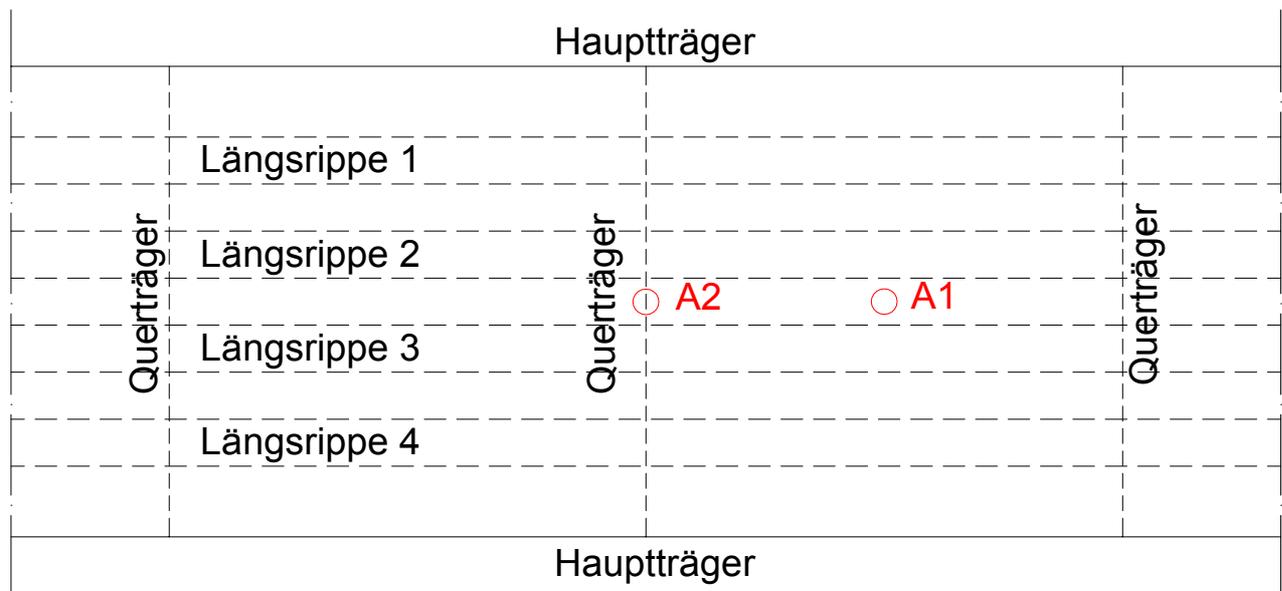


Abb. 95 Nachweispunkte für die Vergleichsspannungen im Deckblech

5.4.1 Nachweispunkt A1

Für den Nachweispunkt A1 sind die oberen Randspannungen im Feldbereich der zweiten Längsrippe mit den oberen Randspannungen im Stützbereich des Deckbleches zu überlagern (siehe Abb. 96). Der Einfluss der Schubspannungen im Deckblech wird vernachlässigt, da diese nur sehr gering sind. Eine Abminderung der Spannungsverteilung in Querrichtung wird nicht berücksichtigt.

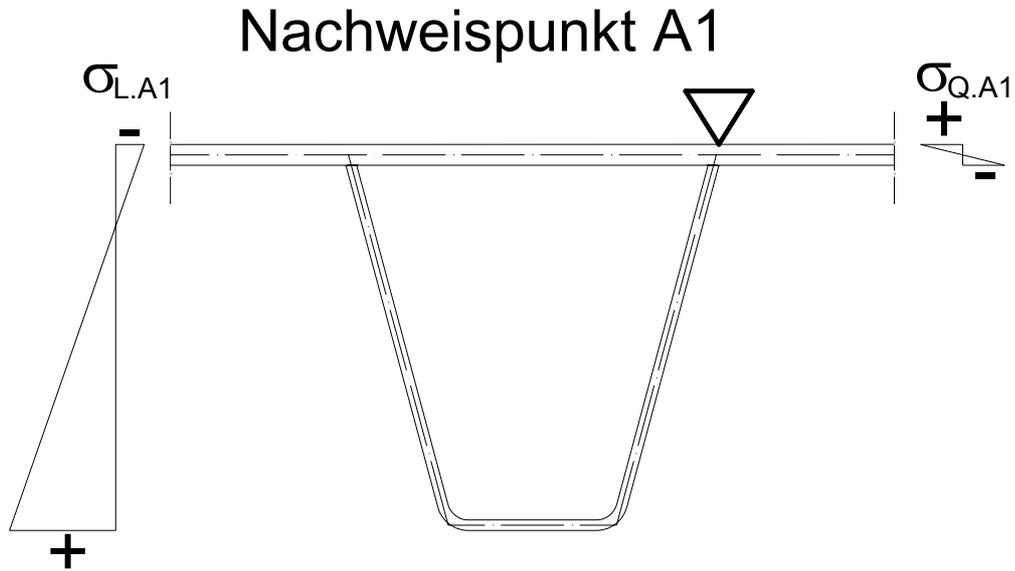


Abb. 96 Spannungen im Nachweispunkt A1

$\sigma_{L,A1} = -2,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ Obere Randspannung im Feldbereich der zweiten Längsrippe

$\sigma_{Q,A1} = 4,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ Obere Randspannung im Stützbereich des Deckbleches

Somit ergibt sich die Vergleichsspannung im Nachweispunkt A1 zu:

$$\sigma_{v,A1} = \sqrt{\sigma_{L,A1}^2 + \sigma_{Q,A1}^2 - \sigma_{L,A1} \cdot \sigma_{Q,A1}} = 5,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Durchlaufträgerberechnung

$\sigma_{v,A1}$		LM 71	LM	LM
		[kN/cm ²]	71 _{aufg1} [kN/cm ²]	71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	5,8	5,3	5,5
	3,5 m	5,9	5,6	5,7
	4,0 m	6,5	6,1	6,2

Trägerrostberechnung

$\sigma_{v,A1}$		LM 71	LM	LM
		[kN/cm ²]	71 _{aufg1} [kN/cm ²]	71 _{aufg2} [kN/cm ²]
e _{QT}	2,5 m	6,1	5,5	5,6
	3,5 m	6,1	5,7	5,8
	4,0 m	6,6	6,1	6,3

Tab. 75 Vergleichsspannungen im Nachweispunkt A1

5.4.2 Nachweispunkt A2

Für den Nachweispunkt A2 sind die oberen Randspannungen im Stützbereich der zweiten Längsrippe mit den oberen Randspannungen der Querträger zu überlagern (siehe Abb. 97).

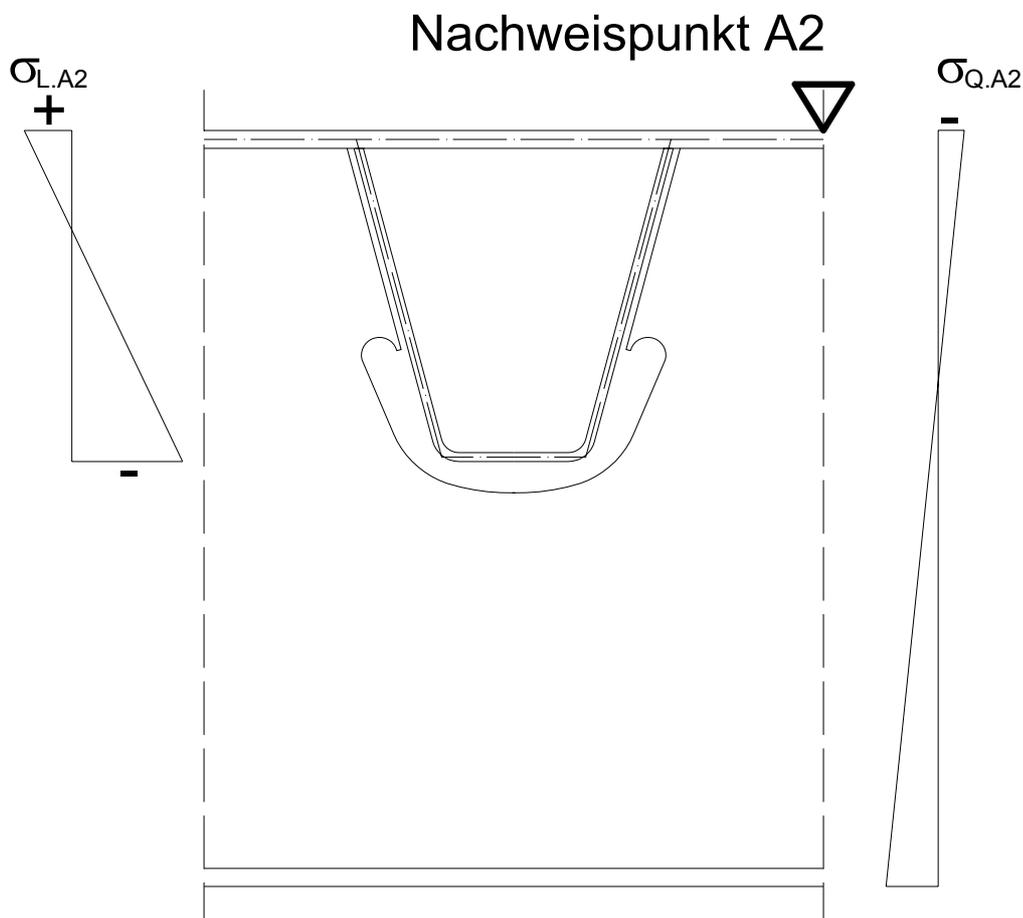


Abb. 97 Spannungen im Nachweispunkt A2

$$\sigma_{L.A2} = 5,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Obere Randspannung im Stützbereich der zweiten Längsrippe}$$

$$\sigma_{Q.A2} = -2,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{Obere Randspannung in Feldmitte der Querträger}$$

Somit ergibt sich die Vergleichsspannung im Nachweispunkt A2 zu:

$$\sigma_{V.A2} = \sqrt{\sigma_{L.A2}^2 + \sigma_{Q.A2}^2 - \sigma_{L.A2} \cdot \sigma_{Q.A2}} = 7,2 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Durchlaufträgerberechnung

Trägerrostberechnung

$\sigma_{v.A2}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	6,1	5,0	5,4
	3,5 m	7,6	6,6	6,9
	4,0 m	9,1	8,1	8,5

$\sigma_{v.A2}$		LM 71	LM 71 _{aufg1}	LM 71 _{aufg2}
		[kN/cm ²]	[kN/cm ²]	[kN/cm ²]
e_{QT}	2,5 m	6,6	5,5	5,9
	3,5 m	7,9	6,8	7,2
	4,0 m	9,2	8,2	8,6

Tab. 76 Vergleichsspannungen im Nachweispunkt A2

Aus den Tabellen (Tab. 75 und Tab. 76) ist zu erkennen, dass die Vergleichsspannungen im Deckblech nicht maßgebend sind. Die erhaltenen Ergebnisse liegen deutlich unter dem Bemessungswert der Fließgrenze. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse der Vergleichsspannungen im Kap.6 nicht angeführt.

6. Gegenüberstellung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus der Schnittgrößenermittlung (siehe Kap.4) und der Spannungsberechnung (siehe Kap.5) gegenübergestellt und bewertet.

6.1 Ergebnisse für die Längsrippen

6.1.1 Einflusslinien

Die in den Kapiteln 4.2.1.1 und 4.2.2.1 gezeigten Einflusslinien dienen im Folgenden der Erklärung der Ergebnisse. Die Einflusslinien werden jeweils für den Stützbereich und für die Feldmitte dargestellt. Die Einflusslinien sind für die Durchlaufträger- und die Trägerrostberechnung der zweiten Längsrippe bei 3,5 m Querträgerabstand gezeigt.

Die Einflusslinien werden, auf der sicheren Seite liegend, einzeln ausgewertet und anschließend zusammengezählt.

6.1.1.1 Querkräfte

6.1.1.1.a Querkraft im Stützbereich

In Abb. 98 sind die Einflusslinien aus der Trägerrostberechnung maßstäblich dargestellt. Die Bilder zeigen die vier Längsrippen mit deren positiven und negativen Integralwerten der Einflusslinie.

Weiters ist die Einflusslinie aus der Durchlaufträgerberechnung im Schnitt der zweiten Längsrippe dargestellt. Man kann aus diesem Schnitt in Abb. 98 deutlich erkennen, dass die Werte aus der Durchlaufträgerberechnung einen größeren Einflussbereich liefern als jene aus der Trägerrostberechnung. Dies führt zunächst zu dem Schluss, dass die Durchlaufträgerberechnung die ungünstigeren Ergebnisse liefert. Da jedoch die Einflusslinie aus der Trägerrostberechnung zusätzliche Integralanteile aus den benachbarten Rippen bekommt, ist schließlich dieser Integralwert der Einflusslinie maßgebend. Somit sind die Werte aus der Trägerrostberechnung insgesamt ungünstiger als jene aus der Durchlaufträgerberechnung.

Zusätzlich sind die Größen der Integralwerte der Einflusslinien verhältnismäßig angegeben. Diese werden auf den gesamten Integralwert der Einflusslinien aus der Trägerrostberechnung bezogen. Es zeigt sich, wie oben erwähnt, dass in der zweiten Längsrippe die Fläche aus der Durchlaufträgerberechnung größer ist als jene aus der Trägerrostberechnung ($A_{DT.Stütz}^{-Vz} = -91 * A_{TR.Stütz}^{-Vz}$ bzw. $A_{DT.Stütz}^{+Vz} = +96 * A_{TR.Stütz}^{+Vz}$ und $A_{LR2.Stütz}^{-Vz} = -73,6$ bzw. $A_{LR2.Stütz}^{+Vz} = +95,3$).

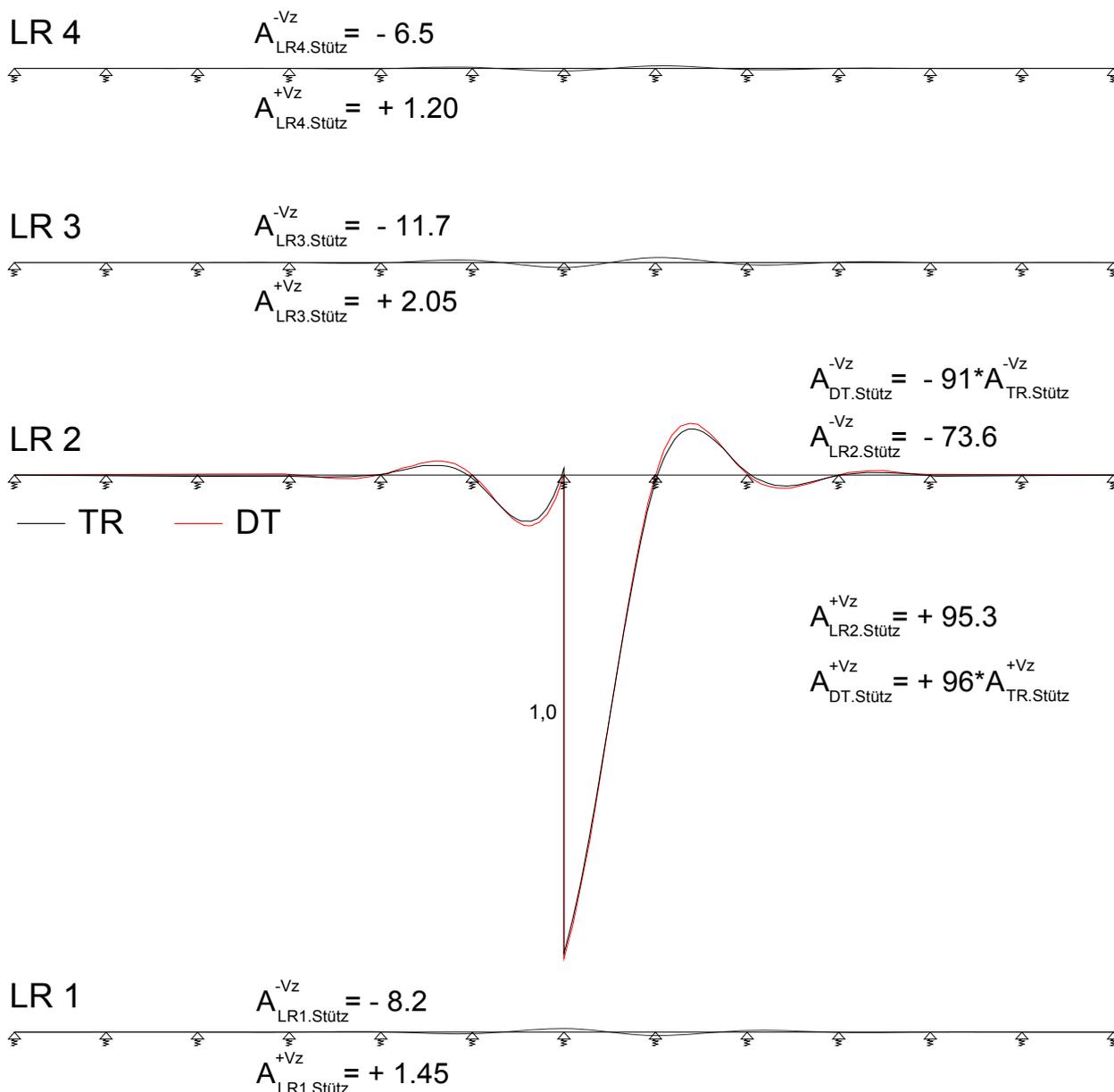


Abb. 98 Gegenüberstellung der Einflusslinien für die Querkraft im Stützbereich

Die Abb. 99 zeigt die ineinander gezeichneten Einflusslinien. Die Abbildung ist maßstabsgetreu. Aus diesem Grund kann man die Einflusslinien aus den benachbarten Rippen schwer erkennen, deshalb sind im Kap.4.2.2.1 die Einflusslinien überhöht dargestellt. Außerdem kann man die Flächenunterschiede zwischen der Durchlaufträger- und der Trägerrostberechnung aus Abb. 99 ablesen. Dabei sind die positiven und negativen Flächen getrennt dargestellt.

TR Einflusslinie der LR 2

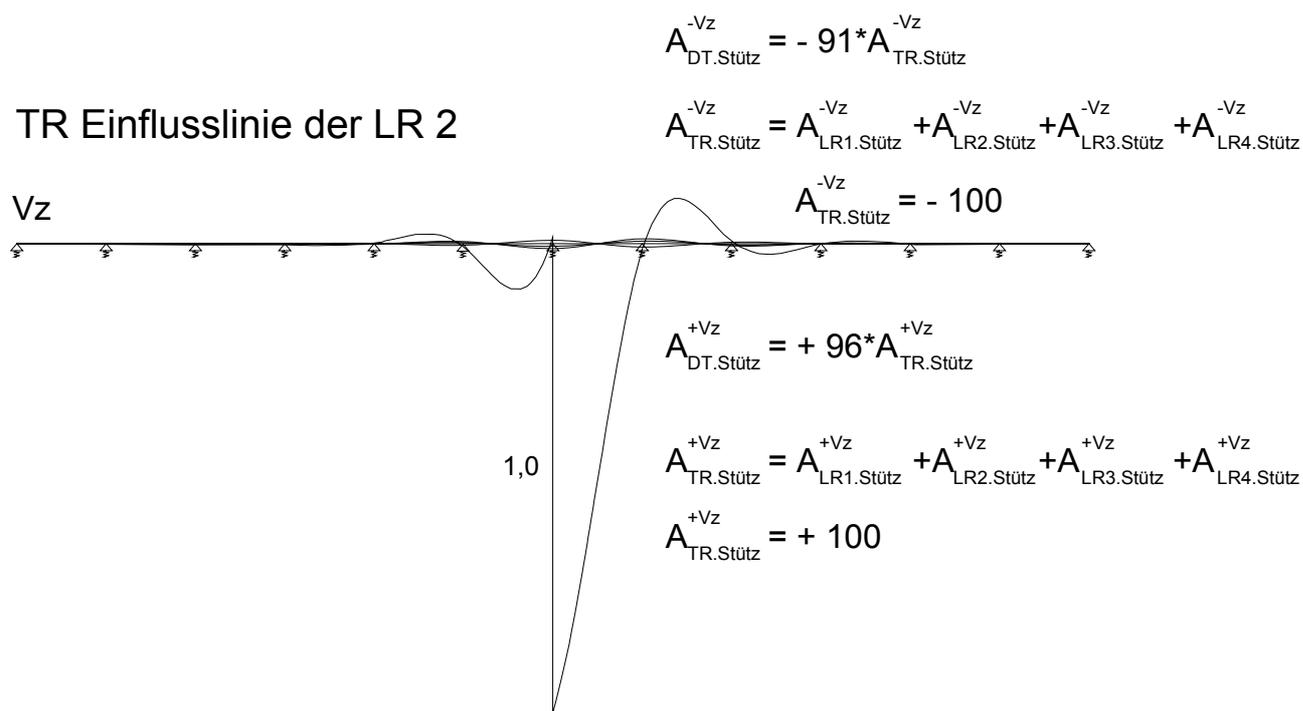


Abb. 99 Einflusslinien der Querkraft (LR 2) im Stützbereich aus der Trägerrostberechnung

6.1.1.1.b Querkraft in Feldmitte

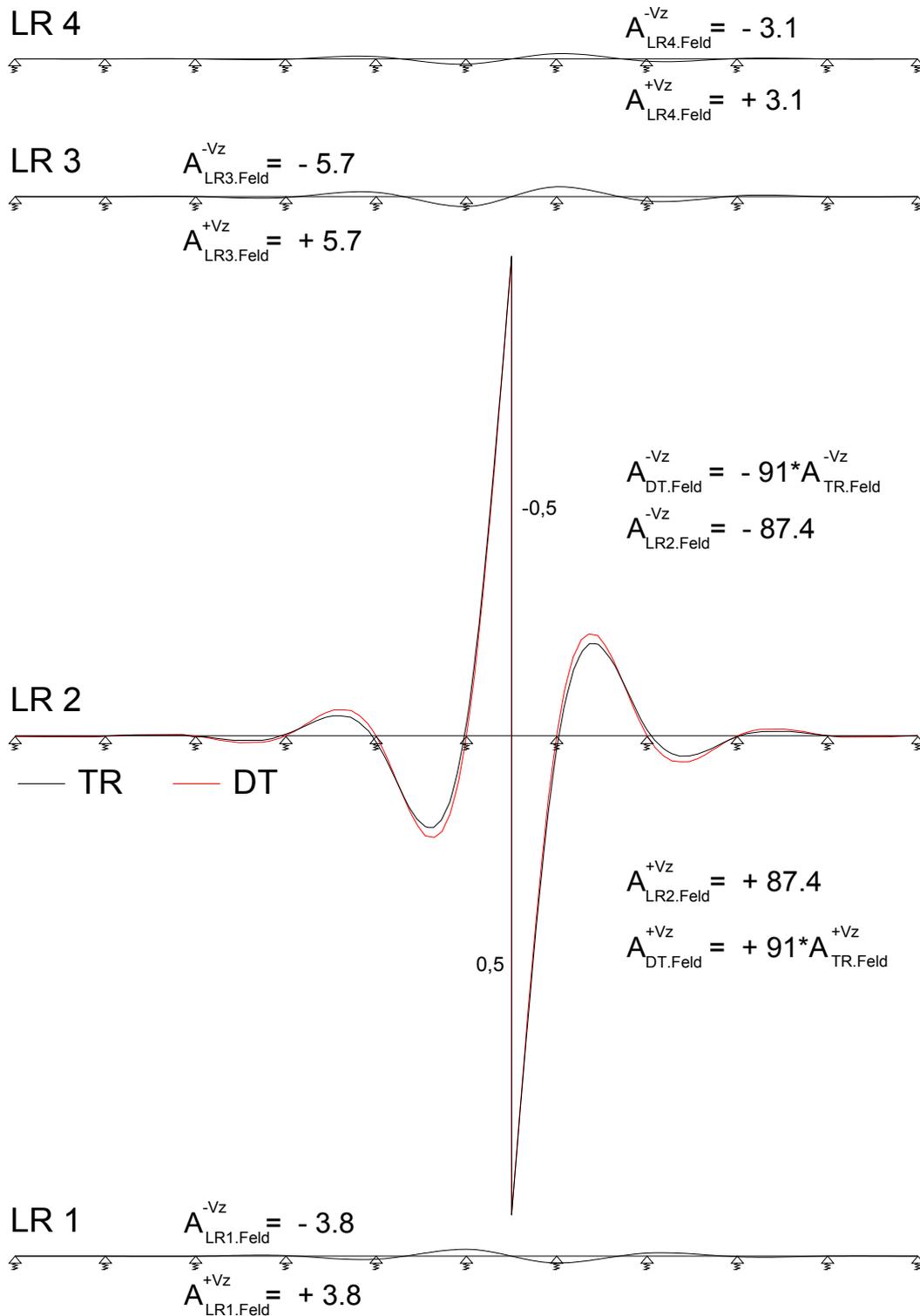


Abb. 100 Gegenüberstellung der Einflusslinien für die Querkraft in Feldmitte

In Abb. 101 entspricht der positive bzw. negative Integralwert der Einflusslinie aus der Durchlaufträgerberechnung nur 91 % des Integralwertes der Einflusslinie aus der Trägerrostberechnung.

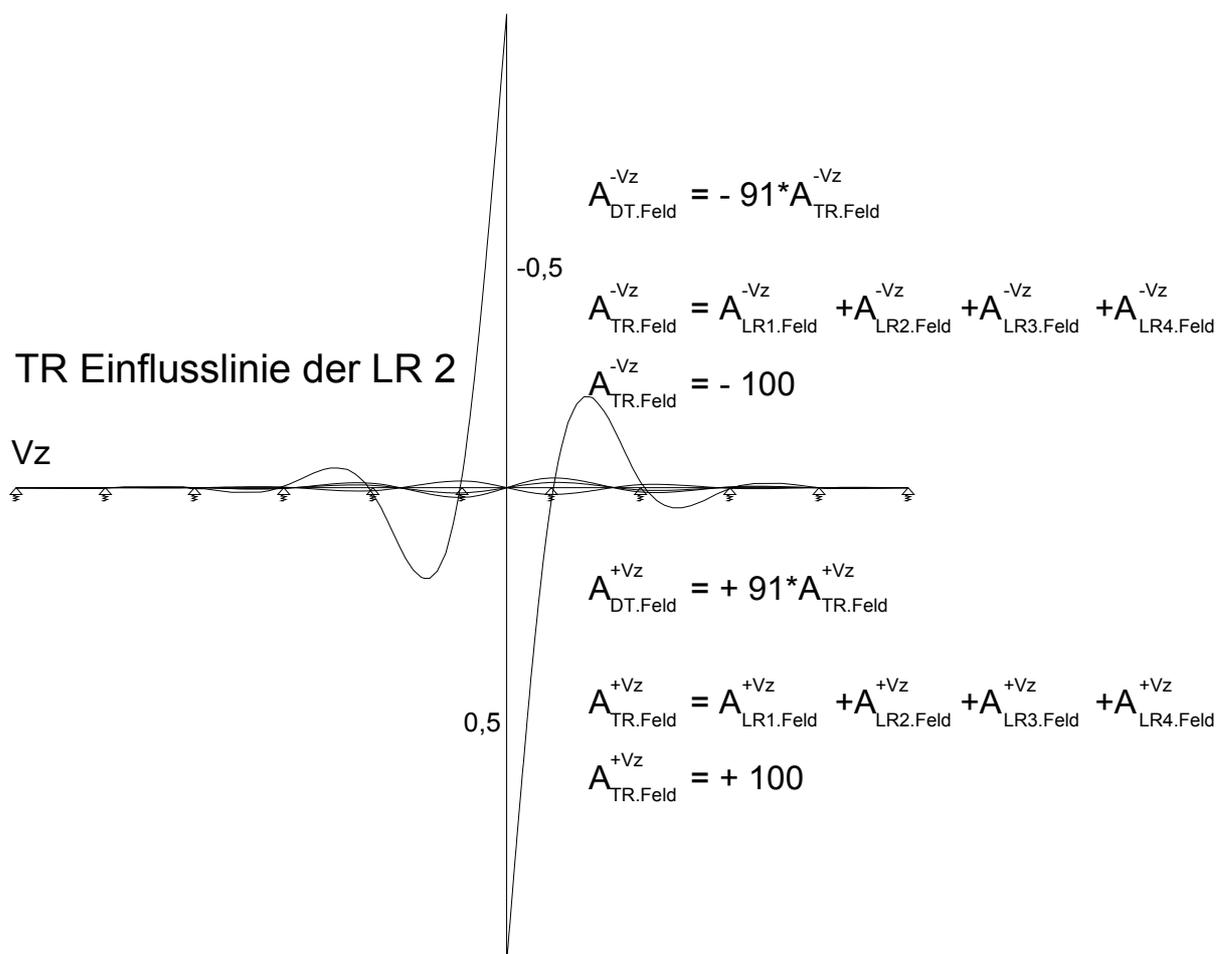


Abb. 101 Einflusslinien der Querkraft (LR 2) in Feldmitte aus der Trägerrostberechnung

6.1.1.2 Momente

6.1.1.2.a Moment im Stützbereich

In Abb. 102 sind maßstäblich alle Einflusslinien aus der der zweiten Längsrippe dargestellt. Die einzelnen Bilder zeigen die vier Längsrippen mit deren Integralwertanteilen der Einflusslinien.

Es wird die Einflusslinie aus der Durchlaufträgerberechnung im Schnitt der zweiten Längsrippe dargestellt. Analog zu den zuvor gezeigten Einflusslinien sieht man in diesem Schnitt, dass die Werte aus der Durchlaufträgerberechnung einen größeren Integralwert der Einflusslinie liefern als jene aus der Trägerrostberechnung. Jedoch wirken die benachbarten Rippen mit, somit wird die Gesamtfläche aus den Integralwerten der Einflusslinien aus der Trägerrostberechnung wieder maßgebend.

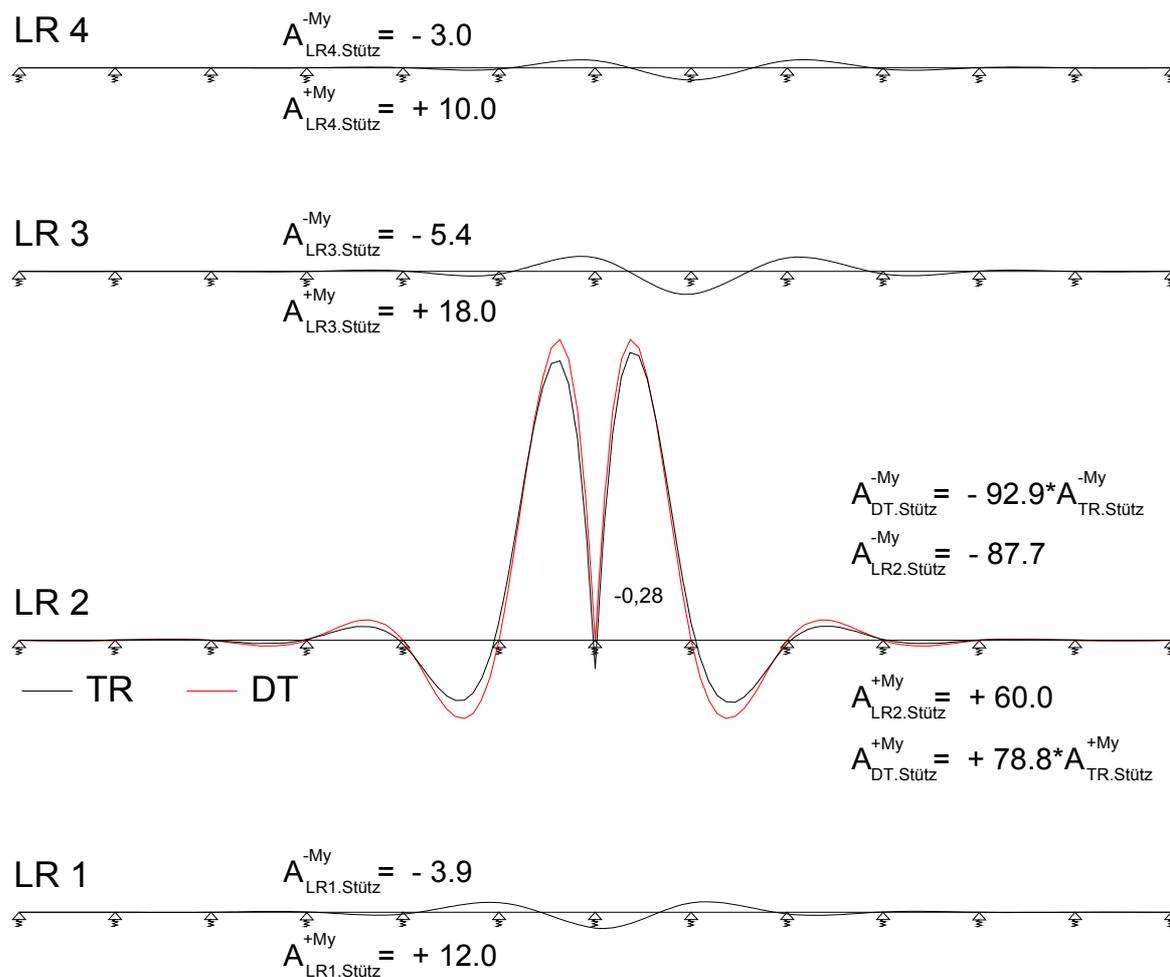


Abb. 102 Gegenüberstellung der Einflusslinien für das Moment im Stützbereich

In Abb. 103 sind die Einflusslinien der zweiten Längsrippe zusammengefasst, und die Anteile der einzelnen Integralwerte der Einflusslinien aufgezeigt.

TR Einflusslinie der LR 2

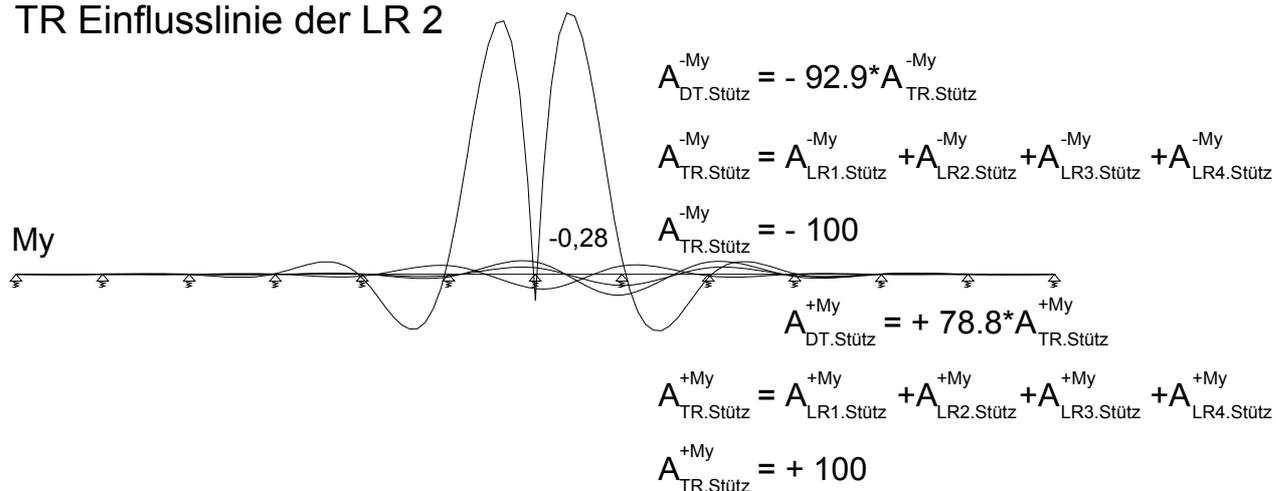


Abb. 103 Einflusslinien des Momentes (LR 2) im Stützbereich aus der Trägerrostberechnung

6.1.1.2.b Moment in Feldmitte

Analoge Aussagen wie jene für die zuvor dargestellten Einflusslinien, gelten auch für die Einflusslinien des Momentes in der Feldmitte (siehe Abb. 104).

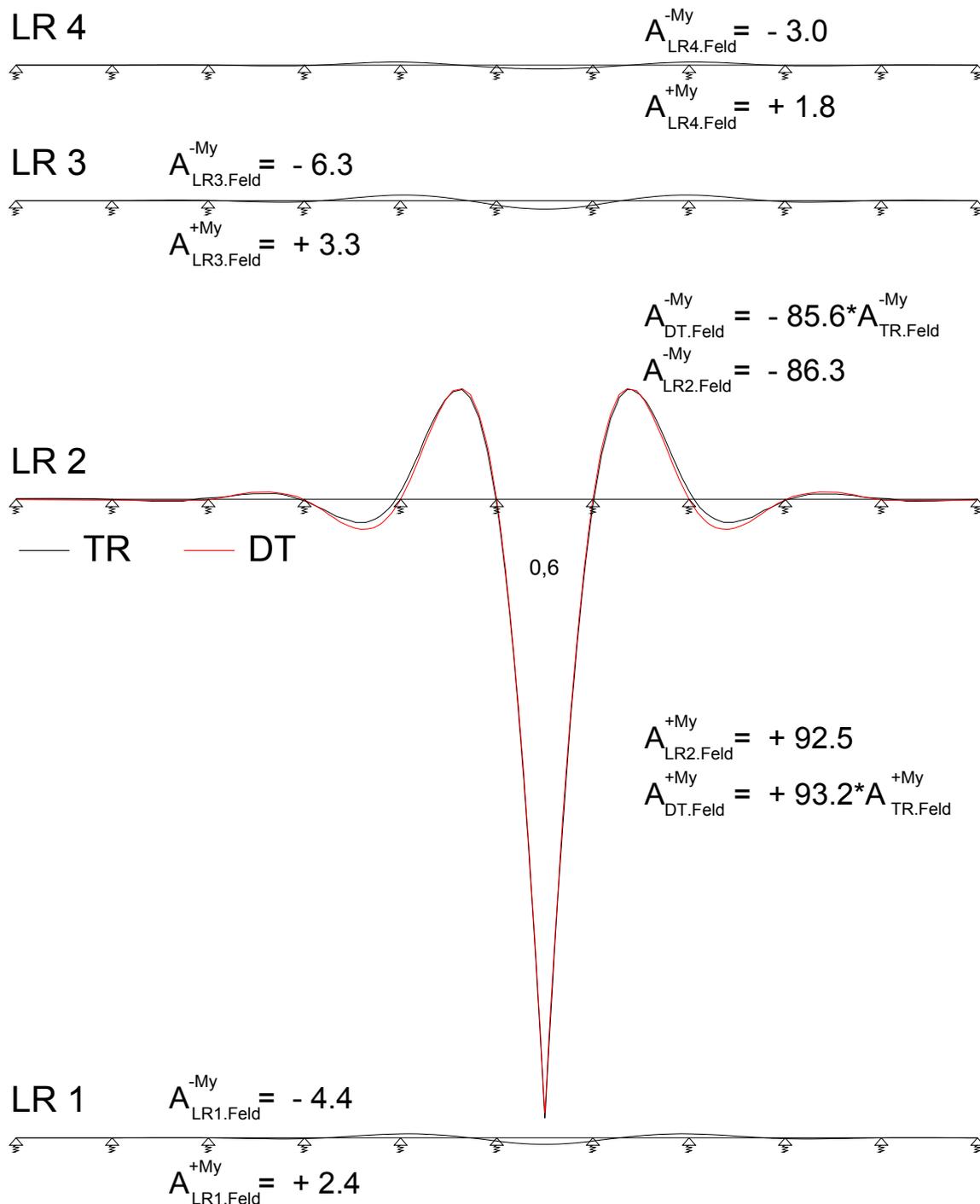


Abb. 104 Gegenüberstellung der Einflusslinien für das Moment in Feldmitte

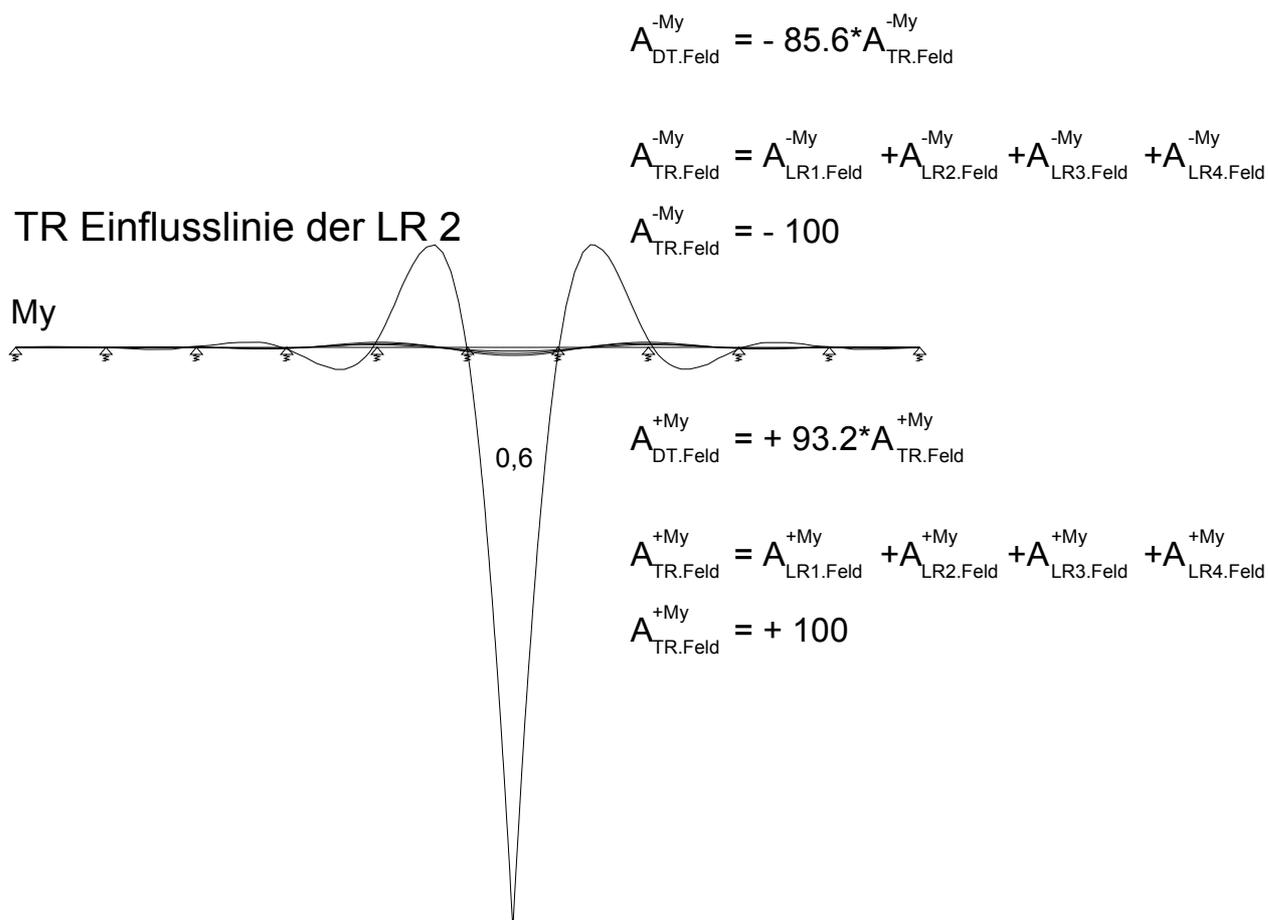


Abb. 105 Einflusslinien des Momentes (LR 2) in Feldmitte aus der Trägerrostberechnung

6.1.2 Tragfähigkeitsnachweis ULS

Die im Folgenden beschriebene Farb- und Formwahl bei den grafischen Gegenüberstellungen der Schnittgrößen und Spannungen wird im Kap.6.1 beibehalten.

Die runden Punkte in Abb. 107 stellen die Ergebnisse aus der Durchlaufträgerberechnung dar. Die Quadrate zeigen die Ergebnisse der Trägerrostberechnung.

Die Markierungen einer Farbe zeigen Punkte **eines** Berechnungsmodells. Die runden blauen Punkte (hellblau und dunkelblau) zeigen Werte aus der Durchlaufträgerberechnung. Die dunkelblauen Punkte entsprechen der ersten Längsrippe und die hellblauen Punkte der zweiten Längsrippe. Man erkennt, dass die zweite Längsrippe immer höher beansprucht wird als die Erste.

Mit dem gleichen Farbton sind die Ergebnisse der beiden Berechnungsmethoden dargestellt. Das bedeutet, der runde hellblaue Punkt aus der Durchlaufträgerberechnung ist mit dem quadratischen hellblauen Punkt aus der Trägerrostberechnung zu vergleichen. Dabei sieht man, dass die quadratischen Markierungen immer oberhalb der Runden liegen. Das bedeutet, dass die Ergebnisse aus der Trägerrostberechnung größere, ungünstigere Ergebnisse liefern (siehe Abb. 107).

Zum Schluss lässt sich in den Abbildungen noch feststellen, dass die Unterschiede zwischen den Querträgerabständen nicht linear verlaufen. Die Schnittgrößen für geringe Querträgerabstände sind verhältnismäßig groß im Vergleich zu Schnittgrößen aus einem

größeren Querträgerabstand. Das zeigt der große Sprung zwischen den Schnittgrößen bei 2,5 m Querträgerabstand zu den Schnittgrößen bei 3,5 m Querträgerabstand. Dies lässt sich hauptsächlich durch die erforderlichen Beiwerte begründen. Somit kann man auf Folgendes schließen: eine Verkleinerung der Querträgerabstände unter 3,0 m bringt wirtschaftlich keine Vorteile, da bereits bei 3,0 m der Schadenäquivalenzfaktor $\lambda = 1,4$ wird. Dieser Beiwert wird bei einer Verkleinerung der Stützweite nicht weiter begünstigt. Zudem verringert sich der dynamische Beiwert ϕ bei einer Vergrößerung der Querträgerabstände.

6.1.2.1.a Querkräfte

In Abb. 106 sind die charakteristischen Querkraftlinien für das Lastbild LM 71_{aufg2} dargestellt. Man sieht, dass die Schnittgrößen aus der Trägerrostberechnung betragsmäßig größere Werte annehmen als jene aus der Durchlaufträgerberechnung. Außerdem erkennt man, dass die prozentuellen Unterschiede der Grafiken größer sind als jene in den nachfolgenden Tabellen (Tab. 77 und Tab. 78). Dies lässt sich dadurch erklären, dass in den Tabellen die Bemessungswerte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS aufgezeigt werden und in den Grafiken die charakteristischen Werte aus dem reinen Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} abgebildet werden. Der prozentuelle Unterschied der Bemessungsschnittgrößen wird kleiner, da einen Großteil der Schnittgrößen für den Tragfähigkeitsnachweis ULS das Eigengewicht $G_{1,LR}$ und die Ausbaulast $G_{2,LR}$ ausmachen.

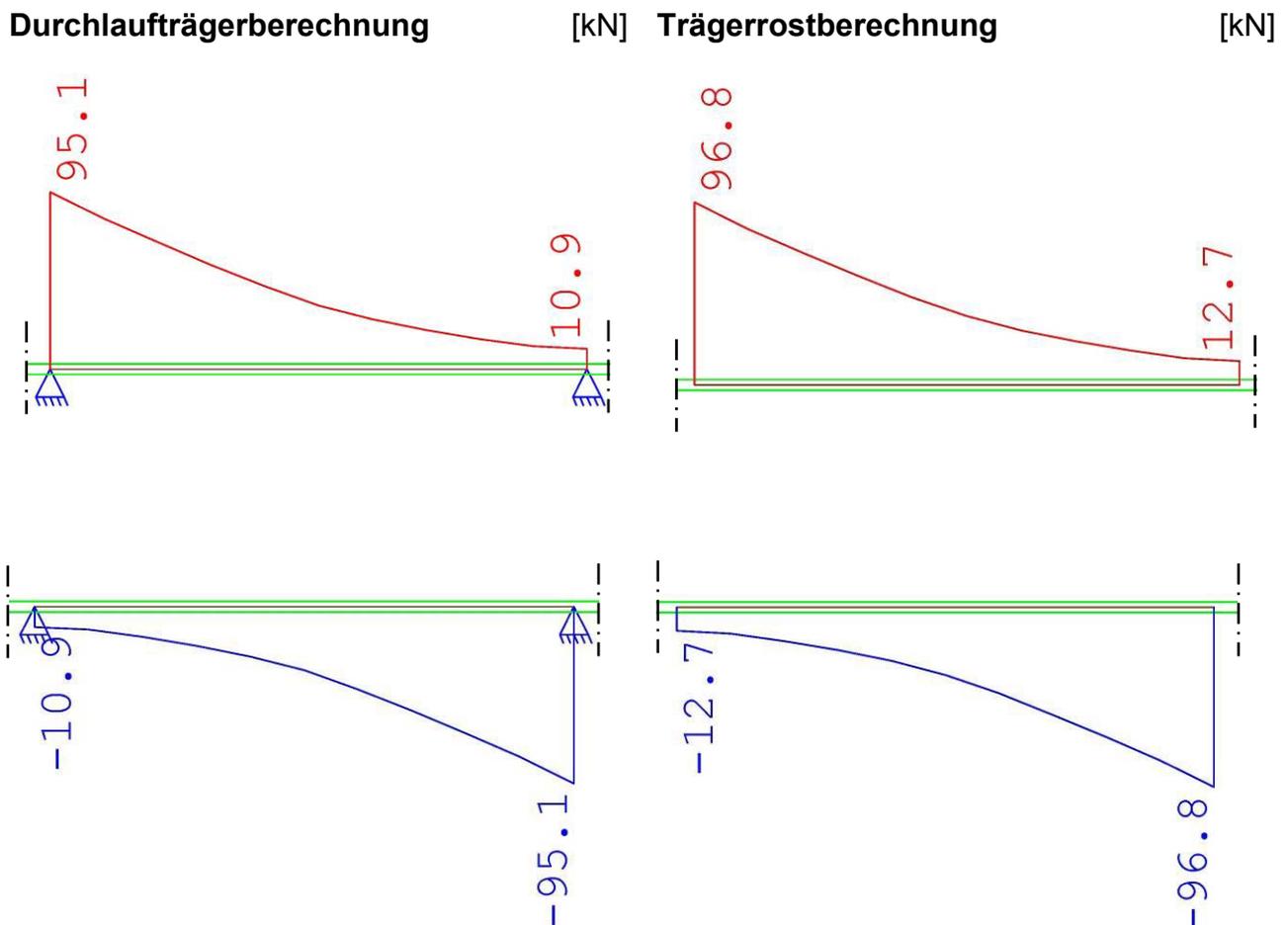


Abb. 106 Gegenüberstellung der charakteristischen Querkräfte aus dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2}

In den nachfolgenden Tabellen werden prozentuelle Abweichungen zwischen den einzelnen Lastbildern angegeben. Diese Abweichungen werden auf das Lastbild LM 71_{aufg2} aus der Trägerrostberechnung bezogen (liefert die genauesten Ergebnisse).

Für das Lastbild LM 71:

$$\text{Abweichung in [\%]} = \frac{\text{LM 71} * 100}{\text{Bezugswert}} - 100 \quad (13)$$

Für das Lastbild LM 71_{aufg1}:

$$\text{Abweichung in [\%]} = \frac{\text{LM 71}_{\text{aufg1}} * 100}{\text{Bezugswert}} - 100 \quad (14)$$

Für das Lastbild LM 71_{aufg2}:

$$\text{Abweichung in [\%]} = \frac{\text{LM 71}_{\text{aufg2}} * 100}{\text{Bezugswert}} - 100 \quad (15)$$

Sämtliche prozentuellen Abweichungen in diesem Kapitel werden mit den Formeln (13), (14) und (15) ausgewertet.

In den Tabellen (Tab. 77 und Tab. 78) ist gut zu erkennen, dass bereits für die einzelnen Verkehrslastbilder (LM 71, LM 71_{aufg1} und LM 71_{aufg2}) große prozentuelle Unterschiede entstehen. Damit lässt sich zeigen, dass es sinnvoll sein kann, das genauere Lastbild LM 71_{aufg2} zu verwenden.

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

V_z		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	206,1	+17,6	135,8	-22,5	169,7	-3,2
	3,5 m	240,5	+12,7	179,3	-15,9	209,7	-1,7
	4,0 m	261,0	+12,7	199,1	-14,0	229,3	-1,0

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

V_z		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	212,0	+20,9	141,4	-19,3	175,3	0,0
	3,5 m	244,3	+14,5	182,8	-14,3	213,3	0,0
	4,0 m	263,3	+13,7	201,3	-13,1	231,5	0,0

Tab. 77 Zusammenstellung der Bemessungswerte der Querkräfte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

V_z		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	236,3	+17,6	154,9	-22,9	194,1	-3,4
	3,5 m	274,7	+13,1	204,0	-16,0	239,2	-1,6
	4,0 m	297,8	+13,0	226,2	-14,2	261,1	-0,9

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

V_z		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	243,3	+21,1	161,8	-19,5	200,9	0,0
	3,5 m	279,1	+14,9	207,7	-14,5	243,0	0,0
	4,0 m	300,3	+13,9	228,5	-13,3	263,5	0,0

Tab. 78 Zusammenstellung der Bemessungswerte der Querkräfte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

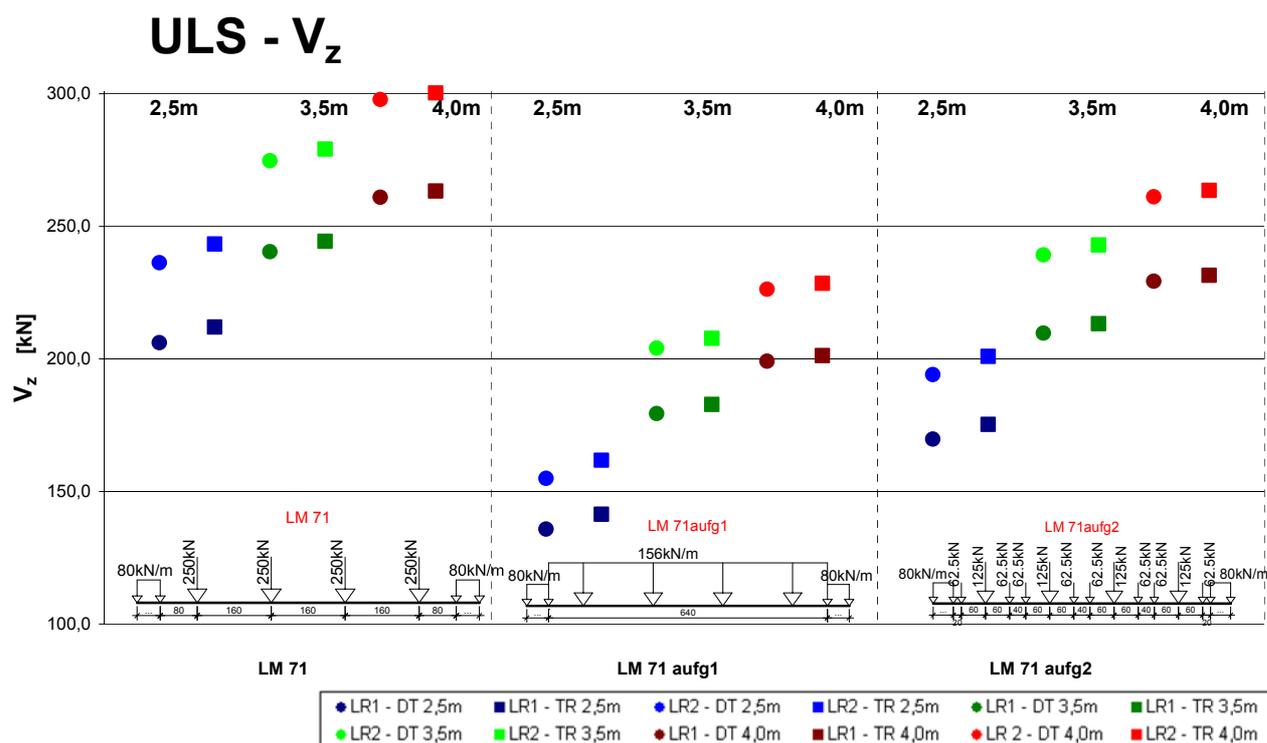


Abb. 107 Grafische Zusammenstellung der Bemessungswerte der Querkräfte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Aus Abb. 107 lassen sich gut die Unterschiede zwischen den einzelnen Verkehrslastbildern und den Berechnungsmethoden erkennen. Zudem zeichnet sich der Unterschied zwischen den einzelnen Längsrippen gut ab (die vertikal übereinander angeordneten Markierungen). Weiters sieht man, dass bei einer Vergrößerung der Querträgerabstände die Unterschiede zwischen den beiden Berechnungsmethoden (horizontale Markierungen) geringer werden.

6.1.2.1.b Momente

Momente in Feldmitte:

Auffällig bei den Grafiken in Abb. 108 sind die relativ großen prozentuellen Unterschiede der Momentenlinien. Jedoch muss darauf hingewiesen werden, dass die dargestellten charakteristischen Momentenlinien sich nur aus dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} ergeben. Das bedeutet, dass sich deshalb vor allem die Bemessungslasten des Tragfähigkeitsnachweises ULS größenordnungsmäßig stark unterscheiden.

Durchlaufträgerberechnung

[kNm]

Trägerrostberechnung

[kNm]

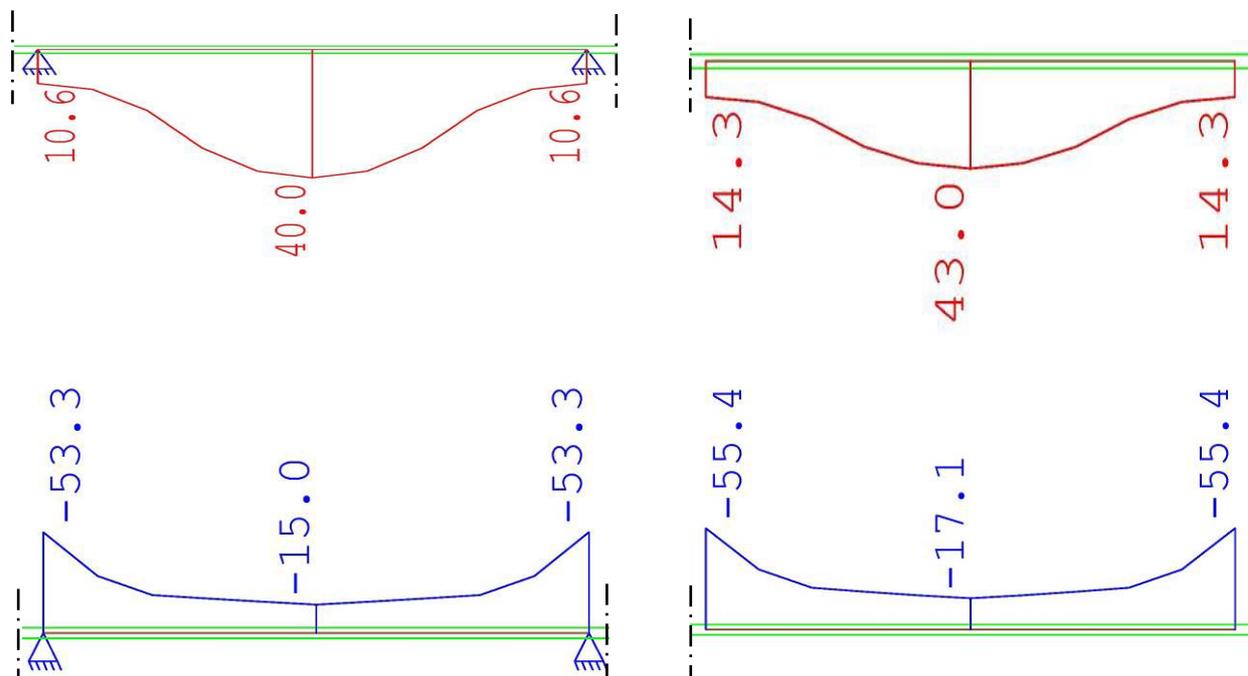


Abb. 108 Gegenüberstellung der charakteristischen Momente aus dem Verkehrslastbild LM 71_{aufg2}

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$M_{y,Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	65,8	+16,7	45,0	-20,2	50,4	-10,6
	3,5 m	94,5	+4,5	81,0	-10,4	85,5	-5,5
	4,0 m	119,5	+6,0	103,3	-8,4	108,6	-3,7

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$M_{y,Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	71,8	+27,4	50,8	-9,9	56,4	0,0
	3,5 m	99,7	+10,3	85,7	-5,2	90,4	0,0
	4,0 m	124,0	+10,0	107,3	-4,8	112,7	0,0

Tab. 79 Zusammenstellung der Bemessungswerte der Feldmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$M_{y,Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	75,4	+13,8	51,3	-22,5	57,6	-13,0
	3,5 m	108,0	+3,5	92,4	-11,5	97,5	-6,5
	4,0 m	136,5	+5,6	117,7	-8,9	123,8	-4,1

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$M_{y,Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	83,5	+26,1	59,8	-9,7	66,2	0,0
	3,5 m	114,9	+10,2	98,9	-5,2	104,3	0,0
	4,0 m	142,2	+10,1	123,1	-4,8	129,2	0,0

Tab. 80 Zusammenstellung der Bemessungswerte der Feldmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

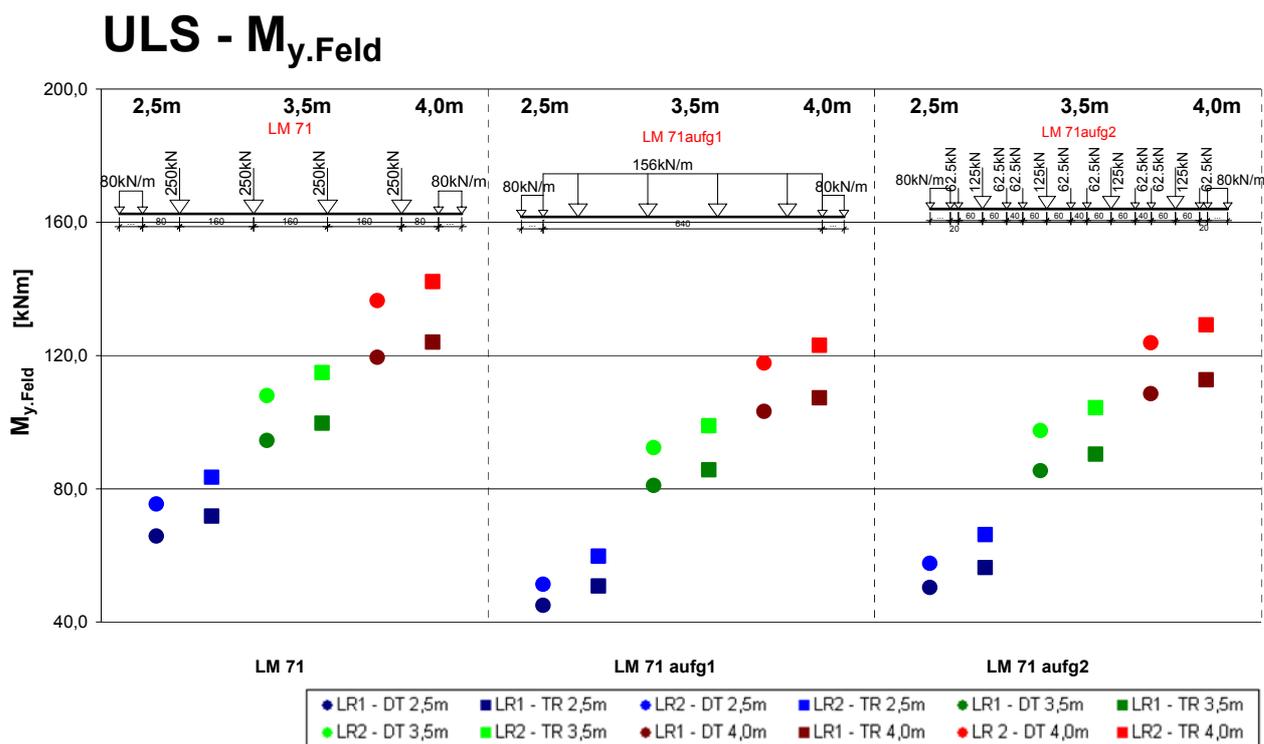


Abb. 109 Grafische Zusammenstellung der Bemessungswerte der Feldmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Momente im Stützbereich:

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$M_{y,\text{Stütz}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	-68,7	-2,5	-62,2	-11,7	-64,0	-9,2
	3,5 m	-126,5	+2,7	-115,4	-6,3	-117,3	-4,8
	4,0 m	-156,1	+3,3	-144,9	-4,1	-146,8	-2,9

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$M_{y,\text{Stütz}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	-76,7	+8,9	-68,8	-2,3	-70,4	0,0
	3,5 m	-132,5	+7,6	-121,3	-1,5	-123,2	0,0
	4,0 m	-160,5	+6,2	-149,3	-1,3	-151,2	0,0

Tab. 81 Zusammenstellung der Bemessungswerte der Stützmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$M_{y,Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	-79,3	-1,6	-71,8	-10,9	-73,8	-8,4
	3,5 m	-145,3	+4,3	-132,4	-4,9	-135,0	-3,1
	4,0 m	-178,7	+4,4	-165,8	-3,1	-168,0	-1,8

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$M_{y,Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	-89,3	+10,8	-79,0	-2,0	-80,6	0,0
	3,5 m	-150,0	+7,7	-137,3	-1,5	-139,3	0,0
	4,0 m	-182,0	+6,3	-169,0	-1,2	-171,2	0,0

Tab. 82 Zusammenstellung der Bemessungswerte der Stützmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Aus den Bemessungswerten der Tabellen (Tab. 81 und Tab. 82) ist abzulesen, dass die Schnittgrößen aus der Durchlaufträgerberechnung betragsmäßig zwischen 2 % und 11 % kleinere Ergebnisse liefern als jene aus der Trägerrostberechnung.

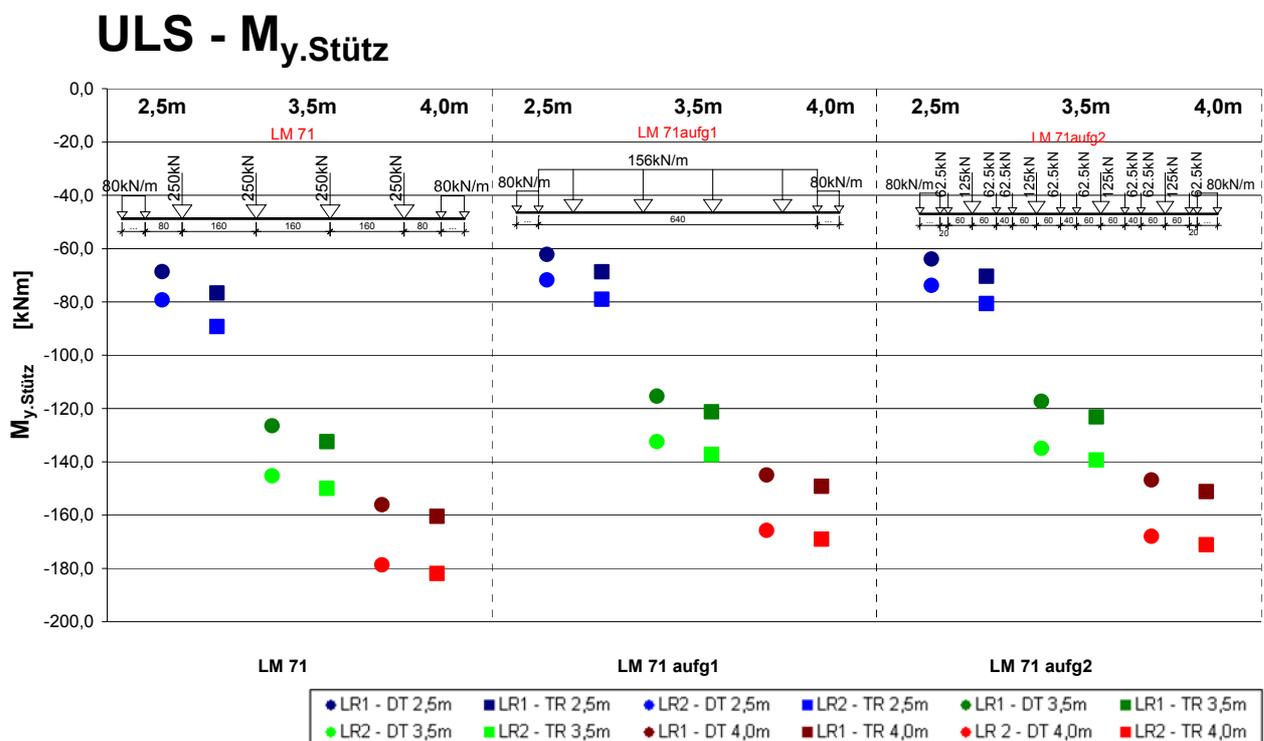


Abb. 110 Grafische Zusammenstellung der Bemessungswerte der Stützmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

6.1.2.2 Spannungen

6.1.2.2.a Im Stützbereich

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\sigma_{xo.Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	3,4	-2,9	3,1	-11,4	3,2	-8,6
	3,5 m	4,6	+2,2	4,2	-6,7	4,2	-6,7
	4,0 m	5,6	+1,8	5,2	-5,5	5,3	-3,6

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\sigma_{xo.Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	3,8	+8,6	3,4	-2,9	3,5	0,0
	3,5 m	4,8	+6,7	4,4	-2,2	4,5	0,0
	4,0 m	5,8	+5,5	5,4	-1,8	5,5	0,0

Tab. 83 Zusammenstellung der oberen Randspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\sigma_{xo.Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	4,1	-2,4	3,7	-11,9	3,8	-9,5
	3,5 m	5,5	+3,8	5,0	-5,7	5,1	-3,8
	4,0 m	6,8	+4,6	6,3	-3,1	6,4	-1,5

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\sigma_{xo.Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	4,6	+9,5	4,1	-2,4	4,2	0,0
	3,5 m	5,7	+7,5	5,2	-1,9	5,3	0,0
	4,0 m	6,9	+6,2	6,4	-1,5	6,5	0,0

Tab. 84 Zusammenstellung der oberen Randspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

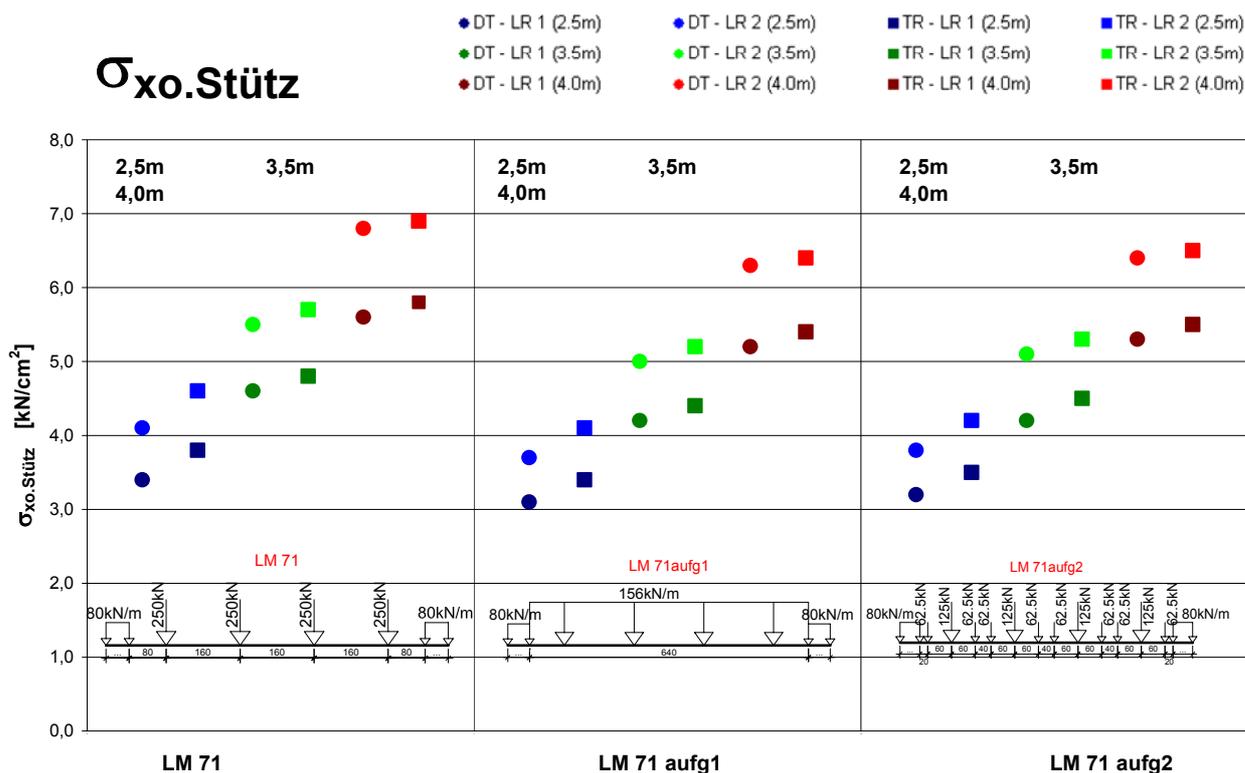


Abb. 111 Grafische Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Duchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\sigma_{xu.Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	-8,0	-2,4	-7,3	-11,0	-7,5	-8,5
	3,5 m	-11,1	+2,8	-10,1	-6,5	-10,3	-4,6
	4,0 m	-13,6	+3,0	-12,7	-3,8	-12,8	-3,0

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\sigma_{xu.Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	-9,0	+9,8	-8,0	-2,4	-8,2	0,0
	3,5 m	-11,6	+7,4	-10,6	-1,9	-10,8	0,0
	4,0 m	-14,0	+6,1	-13,0	-1,5	-13,2	0,0

Tab. 85 Zusammenstellung der unteren Randspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Dachlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\sigma_{xu.Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-9,3	-2,1	-8,4	-11,6	-8,7	-8,4
	3,5 m	-12,8	+4,1	-11,6	-5,7	-11,9	-3,3
	4,0 m	-15,7	+4,0	-14,6	-3,3	-14,8	-2,0

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\sigma_{xu.Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-10,5	+10,5	-9,3	-2,1	-9,5	0,0
	3,5 m	-13,2	+7,3	-12,1	-1,6	-12,3	0,0
	4,0 m	-16,0	+6,0	-14,9	-1,3	-15,1	0,0

Tab. 86 Zusammenstellung der unteren Randspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

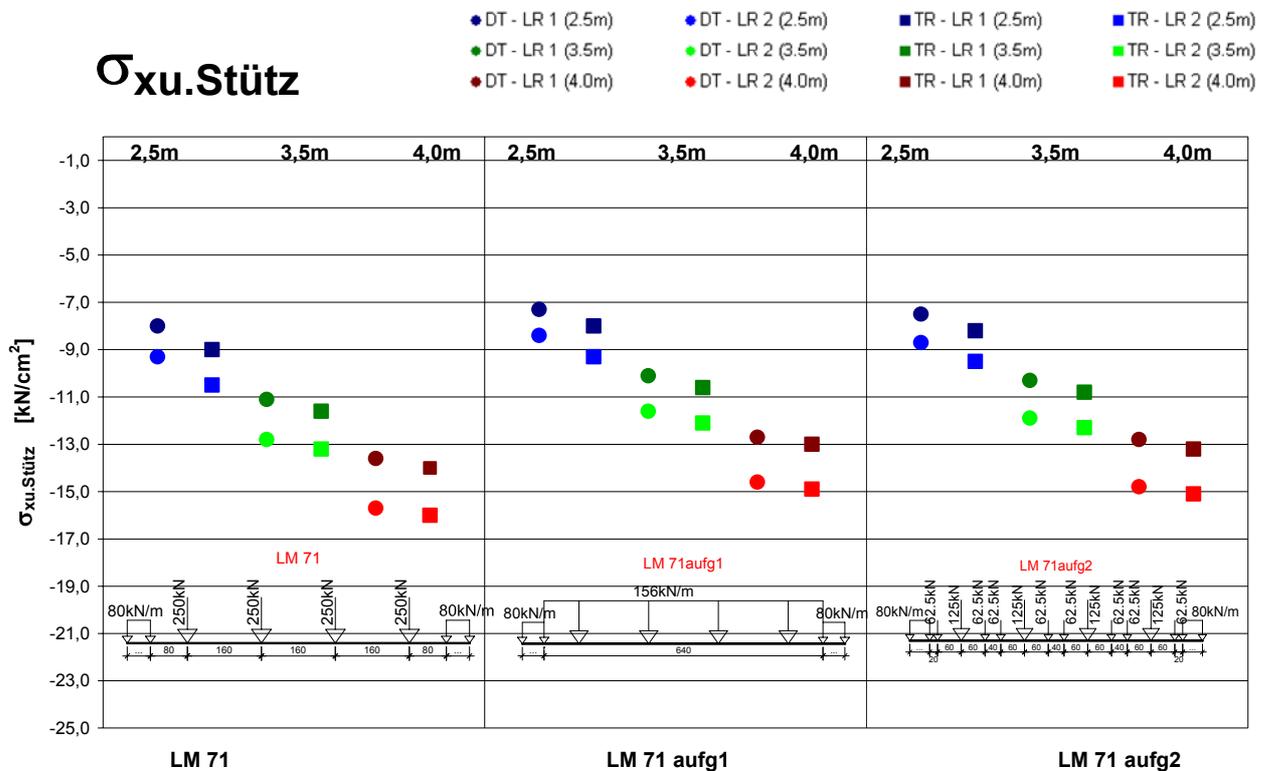


Abb. 112 Grafische Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

6.1.2.2.b In Feldmitte

Dachlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\sigma_{xo.Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-2,0	+17,6	-1,4	-17,6	-1,5	-11,8
	3,5 m	-2,3	+4,5	-2,0	-9,1	-2,1	-4,5
	4,0 m	-2,9	+7,4	-2,5	-7,4	-2,6	-3,7

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\sigma_{xo.Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-2,2	+29,4	-1,5	-11,8	-1,7	0,0
	3,5 m	-2,4	+9,1	-2,1	-4,5	-2,2	0,0
	4,0 m	-3,0	+11,1	-2,6	-3,7	-2,7	0,0

Tab. 87 Zusammenstellung der oberen Randspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Dachlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\sigma_{xo.Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-2,4	+14,3	-1,7	-19,0	-1,9	-9,5
	3,5 m	-2,8	+3,7	-2,4	-11,1	-2,6	-3,7
	4,0 m	-3,6	+5,9	-3,1	-8,8	-3,3	-2,9

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\sigma_{xo.Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-2,7	+28,6	-1,9	-9,5	-2,1	0,0
	3,5 m	-3,0	+11,1	-2,6	-3,7	-2,7	0,0
	4,0 m	-3,7	+8,8	-3,2	-5,9	-3,4	0,0

Tab. 88 Zusammenstellung der oberen Randspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

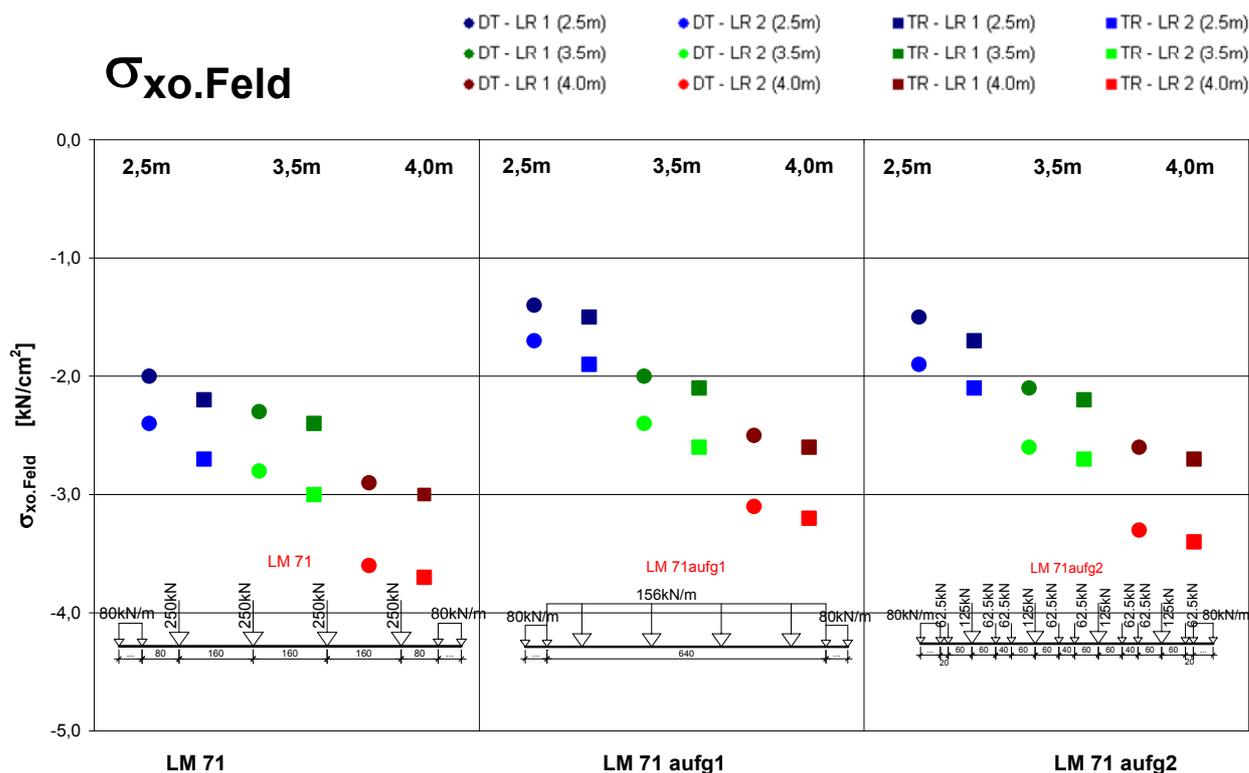


Abb. 113 Grafische Zusammenstellung der oberen Normalspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Duchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\sigma_{x_u.Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	6,5	+16,1	4,5	-19,6	5,0	-10,7
	3,5 m	7,3	+4,3	6,3	-10,0	6,6	-5,7
	4,0 m	9,3	+6,9	8,0	-8,0	8,4	-3,4

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\sigma_{x_u.Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	7,1	+26,8	5,0	-10,7	5,6	0,0
	3,5 m	7,7	+10,0	6,7	-4,3	7,0	0,0
	4,0 m	9,6	+10,3	8,3	-4,6	8,7	0,0

Tab. 89 Zusammenstellung der unteren Randspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Dachlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\sigma_{xu, Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	7,5	+13,6	5,1	-22,7	5,8	-12,1
	3,5 m	8,5	+3,7	7,2	-12,2	7,6	-7,3
	4,0 m	10,7	+5,9	9,2	-8,9	9,7	-4,0

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\sigma_{xu, Feld}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	8,3	+25,8	6,0	-9,1	6,6	0,0
	3,5 m	9,0	+9,8	7,7	-6,1	8,2	0,0
	4,0 m	11,1	+9,9	9,6	-5,0	10,1	0,0

Tab. 90 Zusammenstellung der unteren Randspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

Die Unterschiede zwischen den beiden Berechnungsmethoden in den Tabellen (Tab. 89 und Tab. 90) liegen betragsmäßig zwischen 4 % und 12 %.

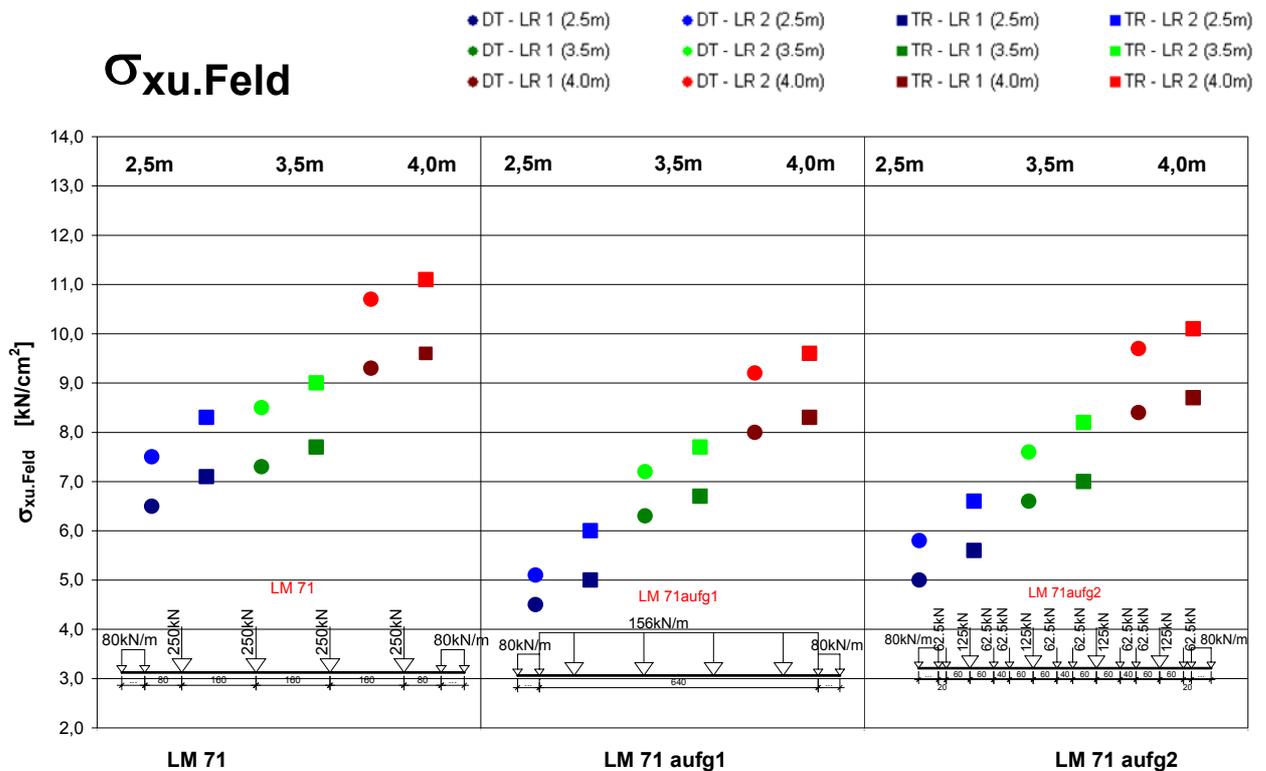


Abb. 114 Grafische Zusammenstellung der unteren Normalspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS

6.1.3 Ermüdungsnachweis FLS

6.1.3.1 Schnittgrößen

6.1.3.1.a Momente

Dachlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta M_{y, \text{Feld}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	34,5	+8,2	25,4	-20,4	27,9	-12,6
	3,5 m	52,8	+2,8	45,5	-11,4	47,7	-7,3
	4,0 m	67,4	+3,5	59,4	-8,7	62,0	-4,8

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta M_{y, \text{Feld}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	39,0	+22,3	29,6	-7,2	31,9	0,0
	3,5 m	56,5	+9,9	49,1	-4,5	51,4	0,0
	4,0 m	70,6	+8,4	62,4	-4,1	65,1	0,0

Tab. 91 Zusammenstellung der charakteristischen Momentendifferenzen in Feldmitte für den Ermüdungsnachweis FLS

Dachlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta M_{y, \text{Feld}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	39,9	+4,7	29,3	-23,1	32,1	-15,6
	3,5 m	61,0	+1,5	52,6	-12,5	55,0	-8,5
	4,0 m	77,9	+3,0	68,6	-9,2	71,6	-5,3

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta M_{y, \text{Feld}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	46,0	+20,7	35,3	-7,3	38,1	0,0
	3,5 m	65,7	+9,3	57,5	-4,3	60,1	0,0
	4,0 m	82,0	+8,5	72,7	-3,8	75,6	0,0

Tab. 92 Zusammenstellung der charakteristischen Momentendifferenzen in Feldmitte für den Ermüdungsnachweis FLS

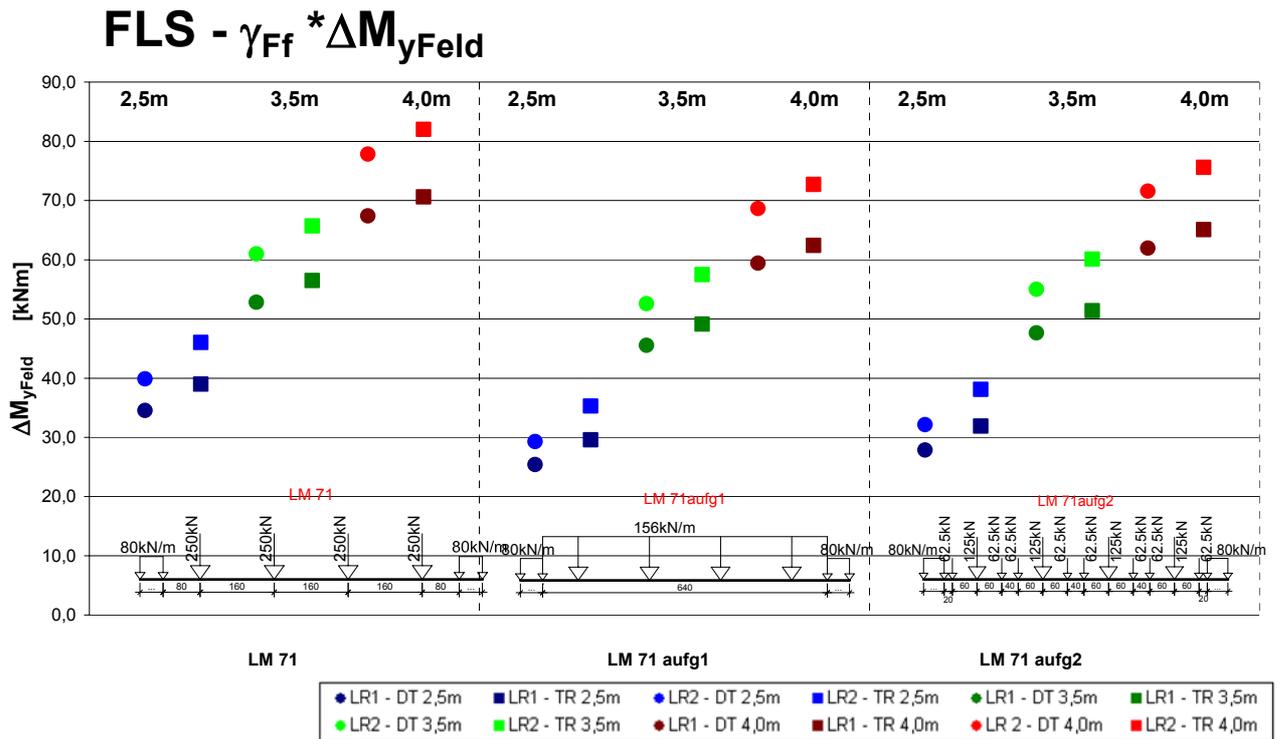


Abb. 115 Grafische Zusammenstellung der Feldmomente für den Ermüdungsnachweis FLS

In den nachfolgenden Tabellen (Tab. 93 und Tab. 94) sind die Momentendifferenzen für den Stützbereich dargestellt. Der Stützbereich ist der maßgebende Bereich für den Ermüdungsnachweis.

Duchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta M_{y,Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	29,9	-13,1	26,9	-21,8	27,7	-19,6
	3,5 m	58,9	-2,1	53,4	-11,2	54,3	-9,6
	4,0 m	74,3	-1,0	68,9	-8,3	69,8	-7,0

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta M_{y,Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	38,3	+11,2	33,0	-4,3	34,4	0,0
	3,5 m	64,8	+7,8	59,2	-1,5	60,1	0,0
	4,0 m	79,7	+6,1	74,1	-1,3	75,1	0,0

Tab. 93 Zusammenstellung der charakteristischen Momentendifferenzen im Stützbereich für den Ermüdungsnachweis FLS

Dachlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta M_{y,Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	35,4	-13,8	31,9	-22,3	32,9	-19,9
	3,5 m	69,2	-0,7	62,8	-9,9	63,9	-8,3
	4,0 m	87,1	+0,5	80,7	-6,8	81,9	-5,5

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta M_{y,Stütz}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	46,8	+13,9	39,1	-4,8	41,1	0,0
	3,5 m	75,6	+8,5	68,5	-1,7	69,7	0,0
	4,0 m	92,0	+6,2	85,3	-1,5	86,6	0,0

Tab. 94 Zusammenstellung der charakteristischen Momentendifferenzen im Stützbereich für den Ermüdungsnachweis FLS

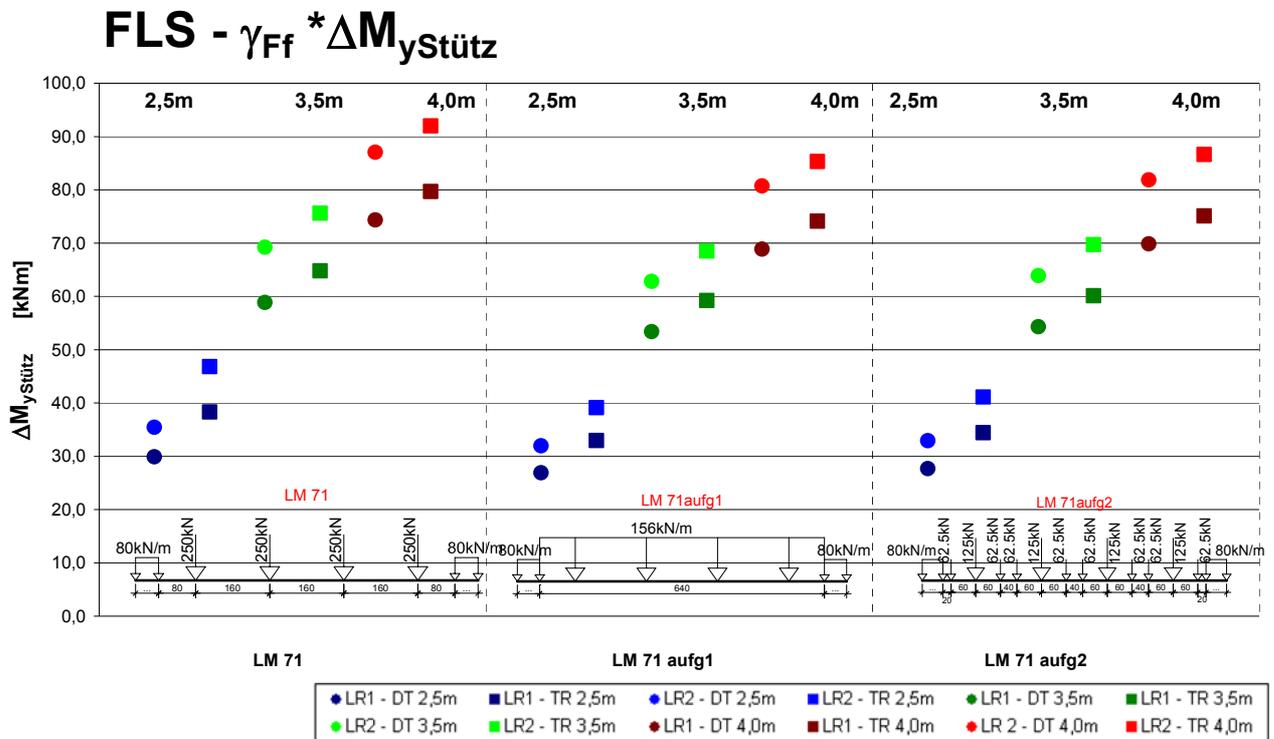
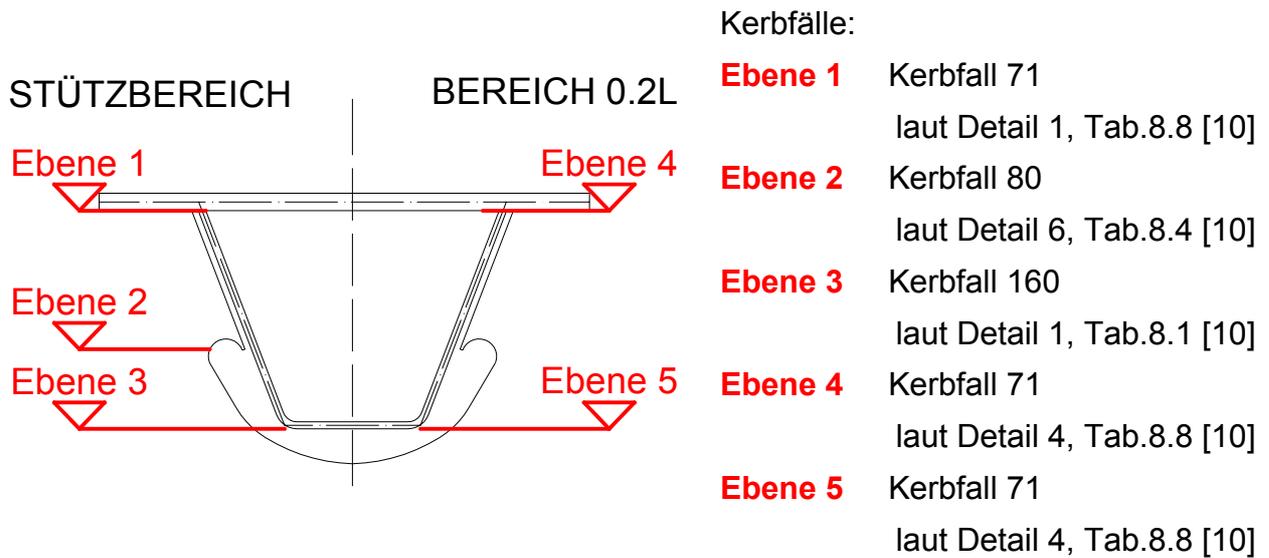


Abb. 116 Grafische Zusammenstellung der Stützmomente für den Ermüdungsnachweis FLS

6.1.3.2 Spannungen



Tab. 95 Nachweisebenen für die Ermüdungsberechnung FLS

6.1.3.2.a Im Stützbereich

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta \sigma_{E1}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	2,3	-11,5	2,1	-19,2	2,1	-19,2
	3,5 m	2,9	-3,3	2,7	-10,0	2,7	-10,0
	4,0 m	3,2	0,0	3,0	-6,3	3,0	-6,3
$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta \sigma_{E1}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	2,9	+11,5	2,5	-3,8	2,6	0,0
	3,5 m	3,2	+6,7	2,9	-3,3	3,0	0,0
	4,0 m	3,4	+6,3	3,2	0,0	3,2	0,0
$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 96 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 1 im Stützbereich (Längsrippen 1&4)

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E1}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	2,8	-15,2	2,6	-21,2	2,6	-21,2
	3,5 m	3,6	-2,7	3,3	-10,8	3,4	-8,1
	4,0 m	3,9	0,0	3,7	-5,1	3,7	-5,1
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E1}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	3,7	+12,1	3,1	-6,1	3,3	0,0
	3,5 m	4,0	+8,1	3,6	-2,7	3,7	0,0
	4,0 m	4,2	+7,7	3,9	0,0	3,9	0,0
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 97 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 1 im Stützbereich (Längsrippen 2&3)

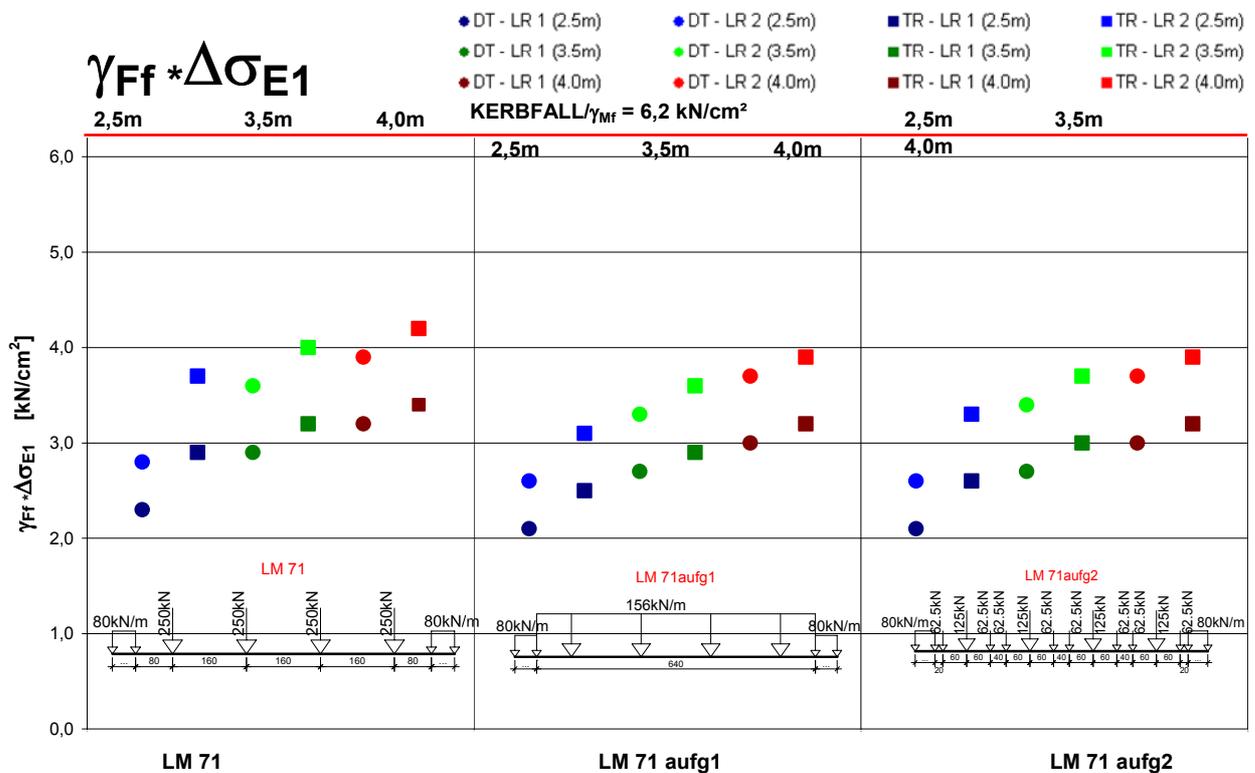


Abb. 117 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 1 im Stützbereich

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	3,9	-13,3	3,5	-22,2	3,6	-20,0
	3,5 m	4,5	-2,2	4,1	-10,9	4,2	-8,7
	4,0 m	4,9	-2,0	4,6	-8,0	4,6	-8,0
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	5,0	+11,1	4,3	-4,4	4,5	0,0
	3,5 m	5,0	+8,7	4,6	0,0	4,6	0,0
	4,0 m	5,3	+6,0	4,9	-2,0	5,0	0,0
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Tab. 98 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 2 im Stützbereich (Längsrippen 1&4)

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	4,6	-14,8	4,2	-22,2	4,3	-20,4
	3,5 m	5,3	0,0	4,8	-9,4	4,9	-7,5
	4,0 m	5,8	+1,8	5,3	-7,0	5,4	-5,3
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	6,1	+13,0	5,1	-5,6	5,4	0,0
	3,5 m	5,8	+9,4	5,3	0,0	5,3	0,0
	4,0 m	6,1	+7,0	5,6	-1,8	5,7	0,0
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Tab. 99 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 2 im Stützbereich (Längsrippen 2&3)

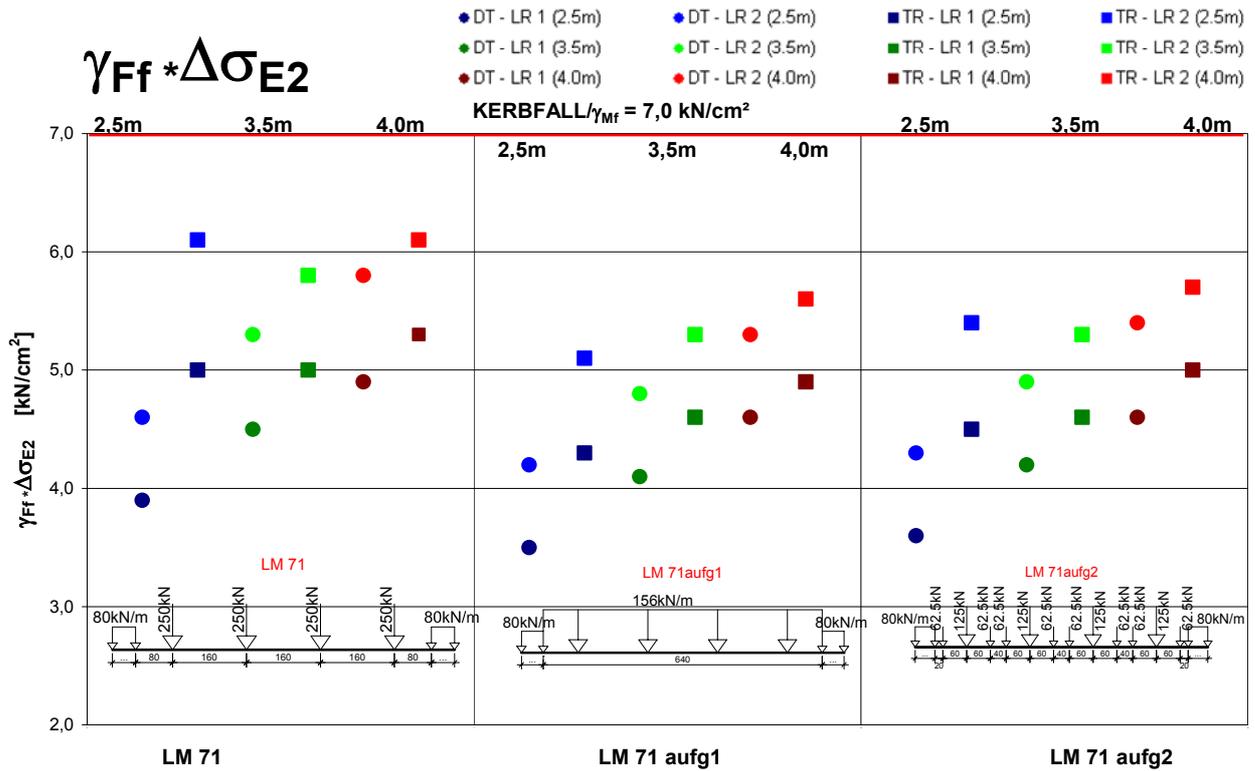


Abb. 118 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 2 im Stützbereich

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta \sigma_{E3}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	6,8	-12,8	6,1	-21,8	6,3	-19,2
	3,5 m	8,7	-2,2	7,9	-11,2	8,1	-9,0
	4,0 m	9,5	-1,0	8,8	-8,3	8,9	-7,3
$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 13,9 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.1 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta \sigma_{E3}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	8,7	+11,5	7,5	-3,8	7,8	0,0
	3,5 m	9,6	+7,9	8,8	-1,1	8,9	0,0
	4,0 m	10,2	+6,2	9,5	-1,0	9,6	0,0
$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 13,9 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.1 [10]					

Tab. 100 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 3 im Stützbereich (Längsrippen 1&4)

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E3}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	8,1	-13,8	7,3	-22,3	7,5	-20,2
	3,5 m	10,3	-1,0	9,4	-9,6	9,5	-8,7
	4,0 m	11,2	0,0	10,4	-7,1	10,5	-6,3
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 13,9 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.1 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E3}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	10,7	+13,8	8,9	-5,3	9,4	0,0
	3,5 m	11,3	+8,7	10,2	-1,9	10,4	0,0
	4,0 m	11,8	+5,4	11,0	-1,8	11,2	0,0
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 13,9 kN/cm ² laut Detail 1 der Tab.8.1 [10]					

Tab. 101 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 3 im Stützbereich (Längsrippen 2&3)

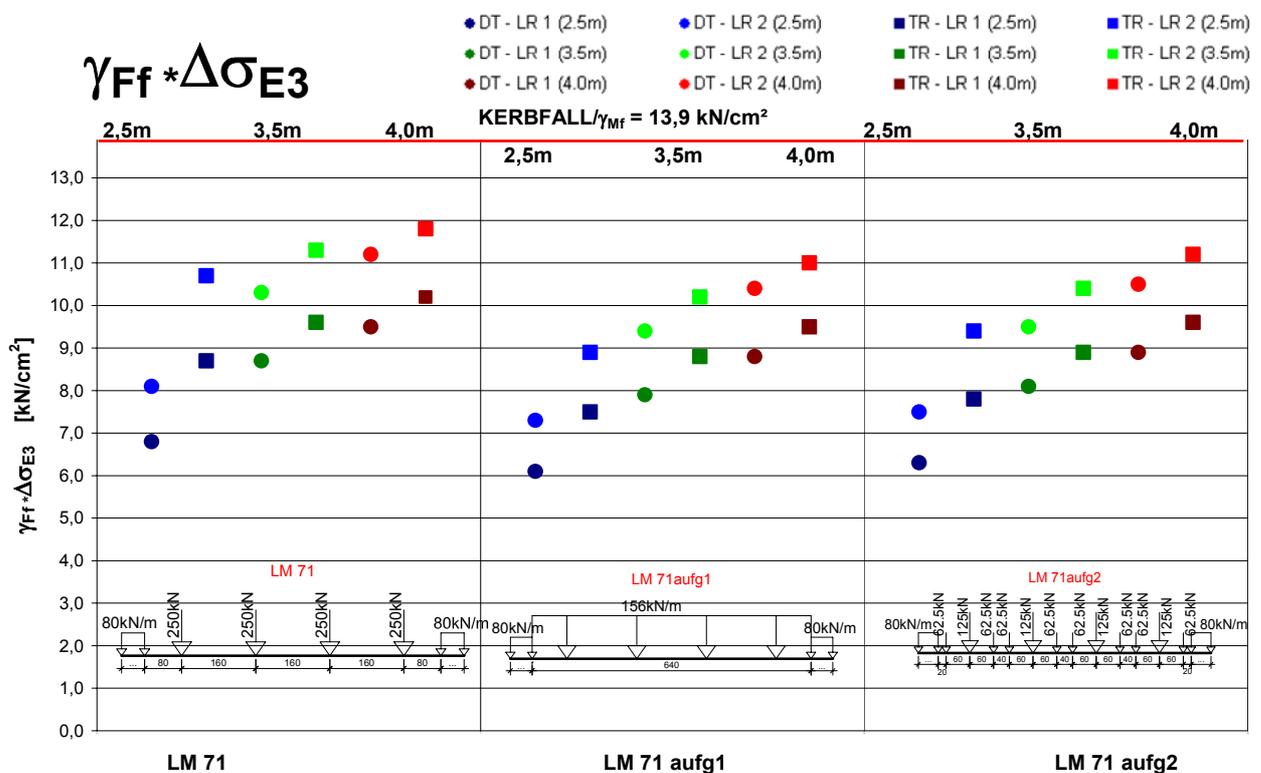


Abb. 119 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 3 im Stützbereich

6.1.3.2.b Im Bereich 0,2L

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E4}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	1,1	0,0	0,7	-36,4	0,8	-27,3
	3,5 m	1,3	+8,3	1,0	-16,7	1,1	-8,3
	4,0 m	1,4	+7,7	1,1	-15,4	1,2	-7,7
$\Delta\sigma_d/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E4}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	1,4	+27,3	1,0	-9,1	1,1	0,0
	3,5 m	1,5	+25,0	1,1	-8,3	1,2	0,0
	4,0 m	1,5	+15,4	1,2	-7,7	1,3	0,0
$\Delta\sigma_d/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 102 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 4 im Bereich 0,2L (Längsrippen 1&4)

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E4}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	1,4	0,0	0,9	-35,7	1,0	-28,6
	3,5 m	1,7	+6,3	1,3	-18,8	1,4	-12,5
	4,0 m	1,8	+5,9	1,4	-17,6	1,5	-11,8
$\Delta\sigma_d/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E4}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	1,8	+28,6	1,3	-7,1	1,4	0,0
	3,5 m	1,9	+18,8	1,5	-6,3	1,6	0,0
	4,0 m	1,9	+11,8	1,6	-5,9	1,7	0,0
$\Delta\sigma_d/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 103 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 4 im Bereich 0,2L (Längsrippen 2&3)

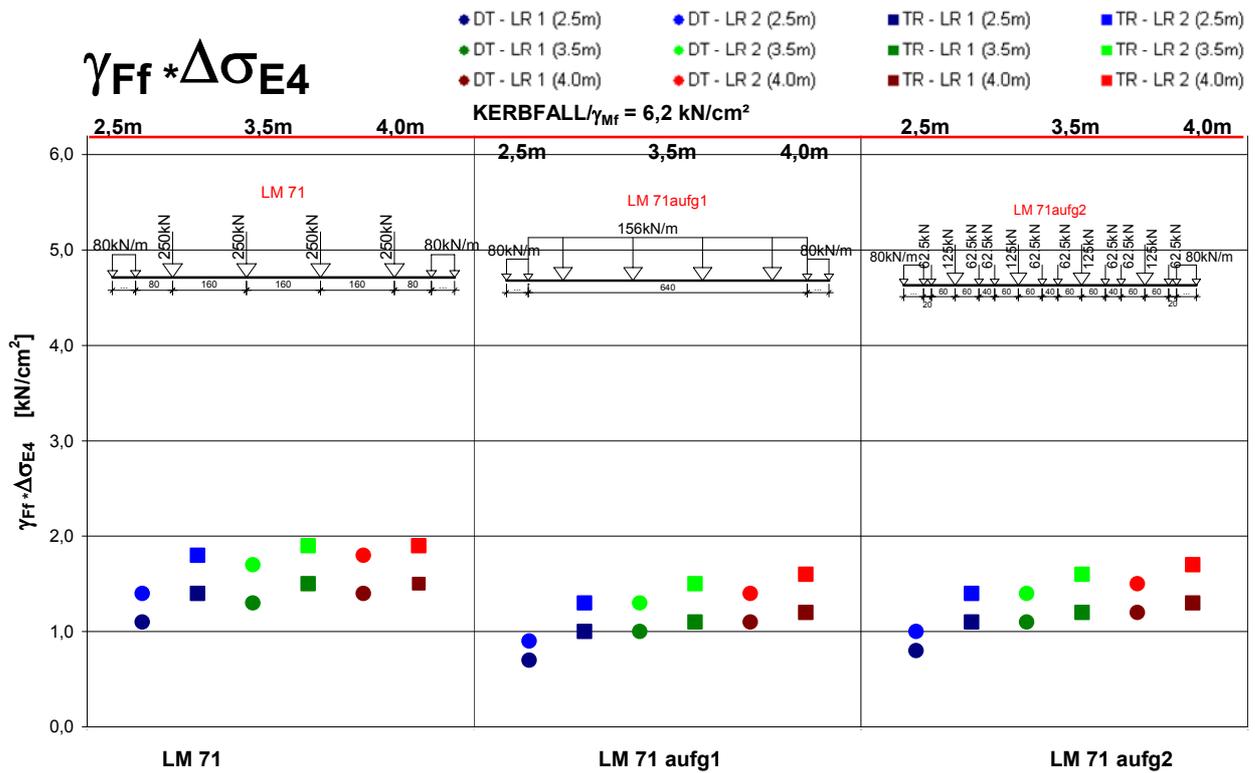


Abb. 120 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 4 im Bereich 0,2L

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta \sigma_{E5}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	5,0	+4,2	3,2	-33,3	3,7	-22,9
	3,5 m	5,5	+7,8	4,0	-21,6	4,4	-13,7
	4,0 m	5,7	+5,6	4,6	-14,8	4,9	-9,3
$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 1&4

$\gamma_{Ff} * \Delta \sigma_{E5}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	6,2	+29,2	4,4	-8,3	4,8	0,0
	3,5 m	6,1	+19,6	4,7	-7,8	5,1	0,0
	4,0 m	6,2	+14,8	5,1	-5,6	5,4	0,0
$\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 104 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L (Längsrippen 1&4)

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E5}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	5,8	-3,3	3,8	-36,7	4,4	-26,7
	3,5 m	6,5	+6,6	4,8	-21,3	5,2	-14,8
	4,0 m	6,7	+4,7	5,4	-15,6	5,7	-10,9
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E5}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	7,7	+28,3	5,4	-10,0	6,0	0,0
	3,5 m	7,4	+21,3	5,7	-6,6	6,1	0,0
	4,0 m	7,4	+15,6	6,0	-6,3	6,4	0,0
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 105 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L (Längsrippen 2&3)

Die rot markierten Ergebnisse in Tab. 105 zeigen die nicht erfüllten Nachweise. Man erkennt, dass die Nachweise welche mit dem Lastbild LM 71 geführt werden nicht erfüllt sind. Man sieht jedoch, dass für das genauere Verkehrslastbild LM 71_{aufg2} die Nachweise erfüllt sind. Die prozentuellen Unterschiede zwischen den beiden Berechnungsmethoden liegen betragsmäßig zwischen 10 % und 30 %.

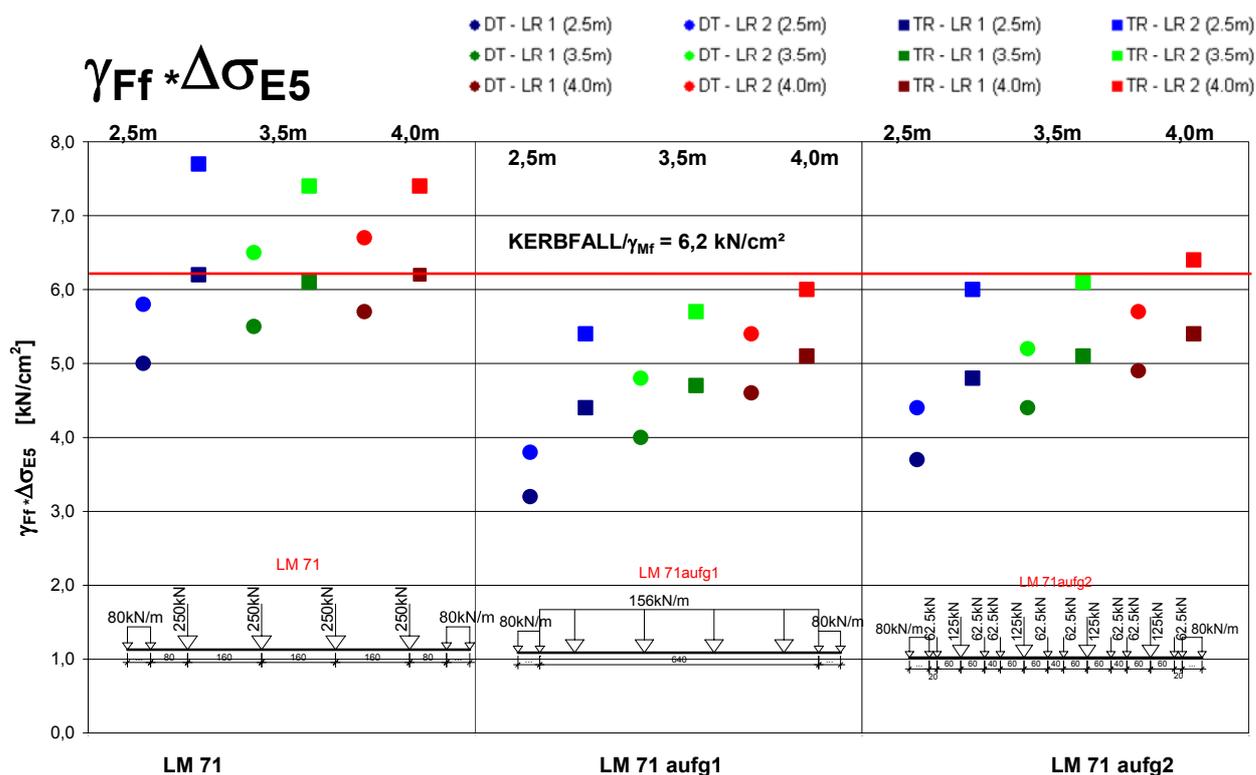


Abb. 121 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L

Aus Abb. 121 erkennt man, dass diese Stelle die maßgebende Stelle für den Ermüdungsnachweis darstellt. Weiters lässt sich erkennen, dass der Kerbfall nur bei dem Lastbild LM 71 überschritten wird. Das bedeutet, für das genauere Lastbild LM 71_{aufg2} wird der Nachweis erfüllt und die Querschnitte gut ausgenutzt. Jedoch wird der Kerbfall bei 4,0 m Querträgerabstand überschritten. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass für diesen Querträgerabstand keine eigenen Querschnitte gewählt werden, sondern die Querschnitte von 3,5 m Querträgerabstand übernommen sind.

6.2 Ergebnisse für die Querträger

6.2.1 Tragfähigkeitsnachweis ULS

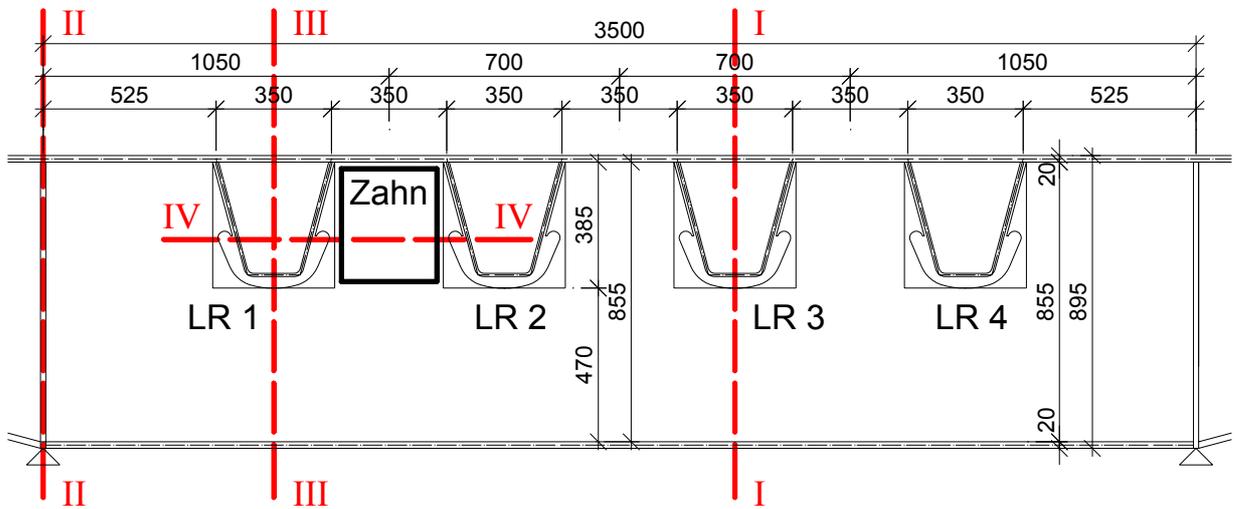


Abb. 122 Nachweisschnitte der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand

6.2.1.1 Schnittgrößen

6.2.1.1.a Querkräfte

Querkräfte im Auflagerbereich (Schnitt II-II):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

V_z		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	485,7	+15,9	332,1	-20,7	406,4	-3,0
	3,5 m	608,5	+11,7	465,1	-14,6	536,4	-1,5
	4,0 m	676,5	+11,7	527,3	-13,0	599,9	-1,0

Trägerrostberechnung

Querträger

V_z		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	499,1	+19,1	344,7	-17,7	419,1	0,0
	3,5 m	617,5	+13,4	472,7	-13,2	544,6	0,0
	4,0 m	682,4	+12,6	533,0	-12,0	605,9	0,0

Tab. 106 Zusammenstellung der Querkräfte im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

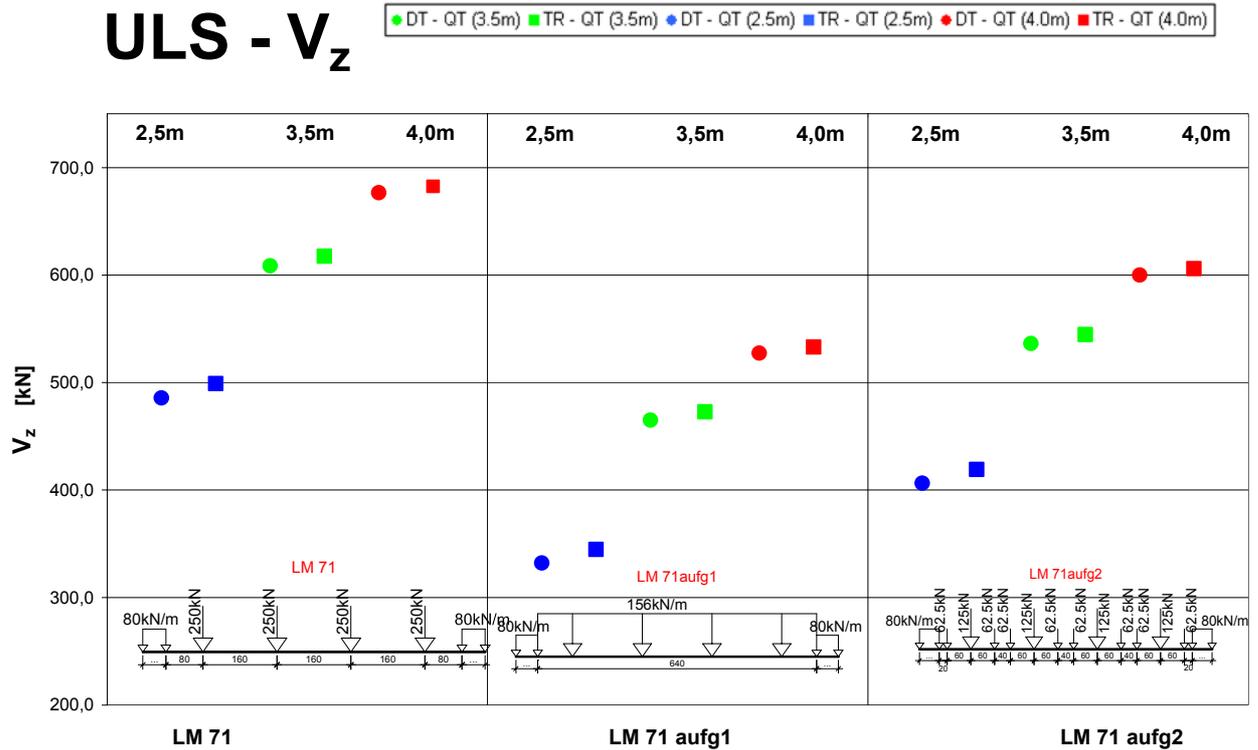


Abb. 123 Grafische Zusammenstellung der Querkräfte im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

Querkräfte im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

V_{1z}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	371,6	+15,9	253,7	-20,9	310,8	-3,0
	3,5 m	465,4	+11,8	355,2	-14,7	410,0	-1,5
	4,0 m	517,3	+11,7	402,7	-13,0	458,5	-1,0

Trägerrostberechnung

Querträger

V_{1z}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	382,0	+19,2	263,5	-17,8	320,5	0,0
	3,5 m	472,2	+13,5	361,0	-13,3	416,2	0,0
	4,0 m	521,7	+12,7	406,9	-12,1	463,0	0,0

Tab. 107 Zusammenstellung der Querkräfte im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

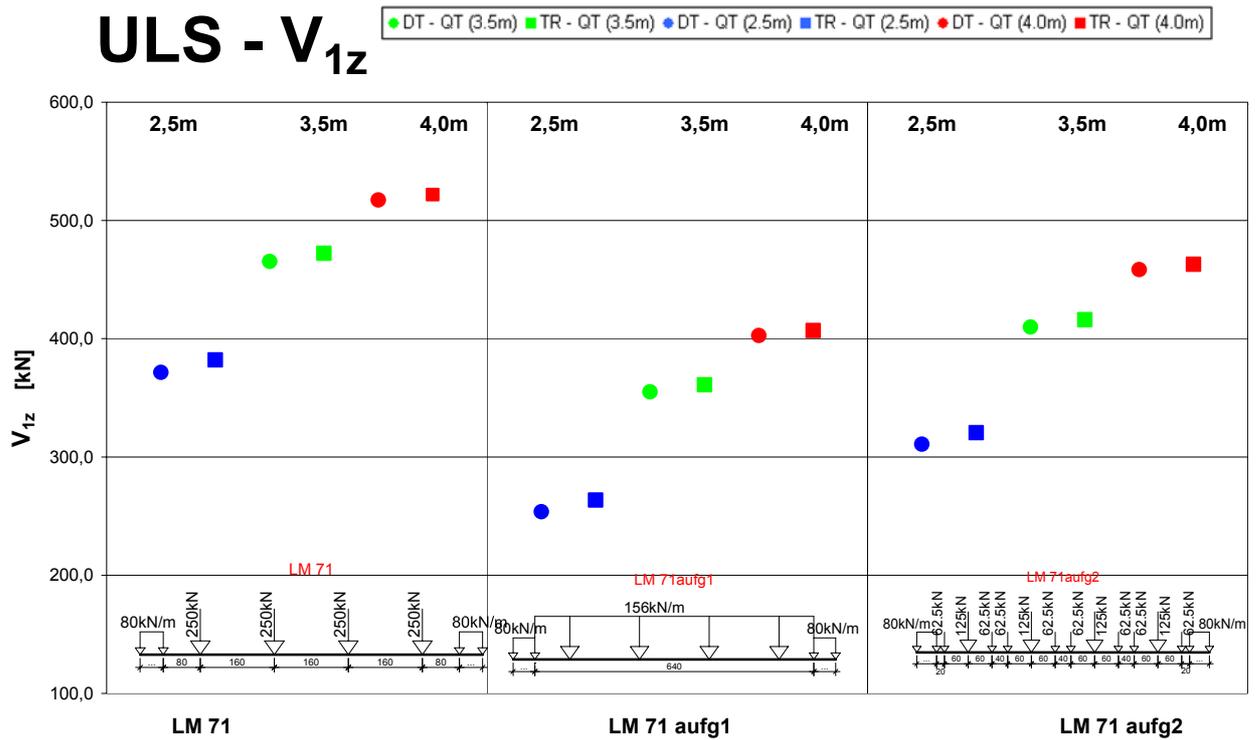


Abb. 124 Grafische Zusammenstellung der Querkräfte im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

6.2.1.1.b Momente

Momente im Feldbereich (Schnitt I-I):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

M_y		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	519,8	+15,9	354,7	-20,9	434,6	-3,1
	3,5 m	651,0	+11,8	496,7	-14,7	573,4	-1,5
	4,0 m	723,7	+11,7	563,2	-13,0	641,4	-1,0

Trägerrostberechnung

Querträger

M_y		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	534,4	+19,2	368,4	-17,8	448,3	0,0
	3,5 m	660,6	+13,5	504,8	-13,3	582,1	0,0
	4,0 m	729,9	+12,7	569,1	-12,1	647,6	0,0

Tab. 108 Zusammenstellung der Momente im Feldbereich (Schnitt I-I)

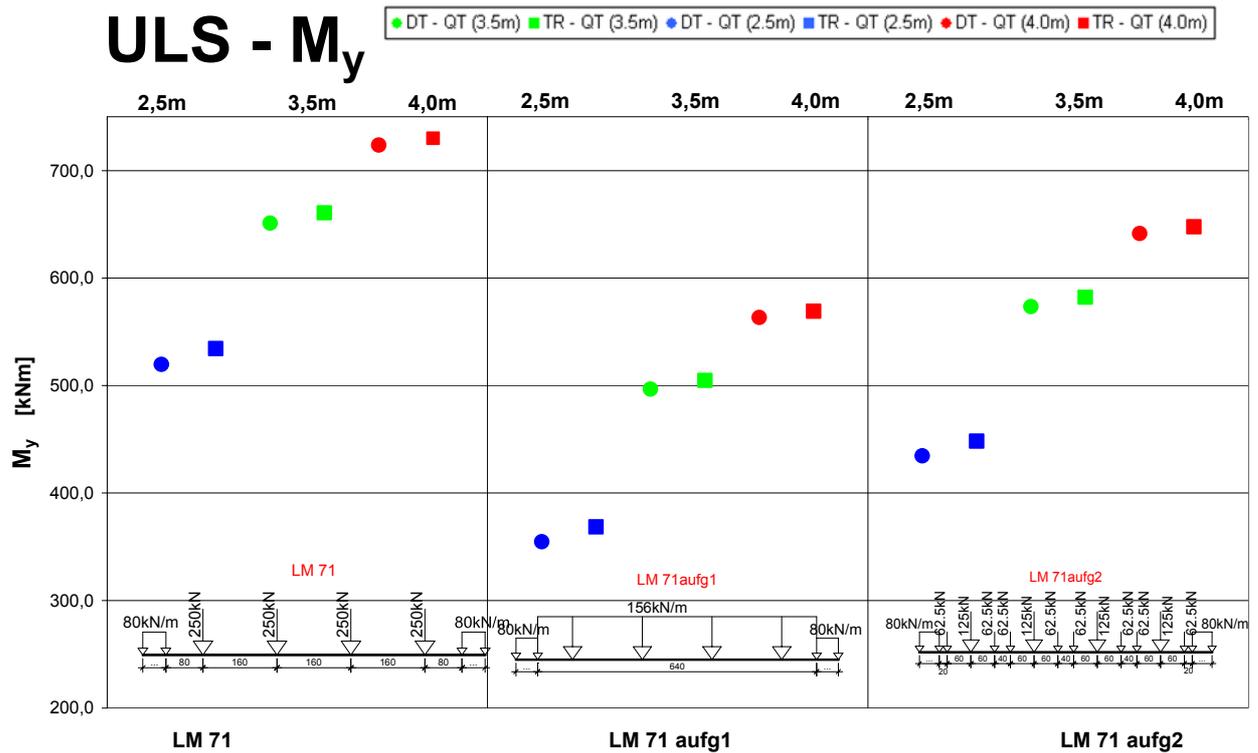


Abb. 125 Grafische Zusammenstellung der Momente im Feldbereich (Schnitt I-I)

Momente im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

M_{1y}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	384,6	+15,9	262,7	-20,8	321,7	-3,0
	3,5 m	481,8	+11,8	367,9	-14,6	424,5	-1,5
	4,0 m	535,6	+11,7	417,2	-13,0	474,9	-1,0

Trägerrostberechnung

Querträger

M_{1y}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	395,3	+19,2	272,7	-17,8	331,7	0,0
	3,5 m	488,9	+13,4	373,9	-13,2	431,0	0,0
	4,0 m	540,3	+12,7	421,7	-12,1	479,5	0,0

Tab. 109 Zusammenstellung der Momente im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

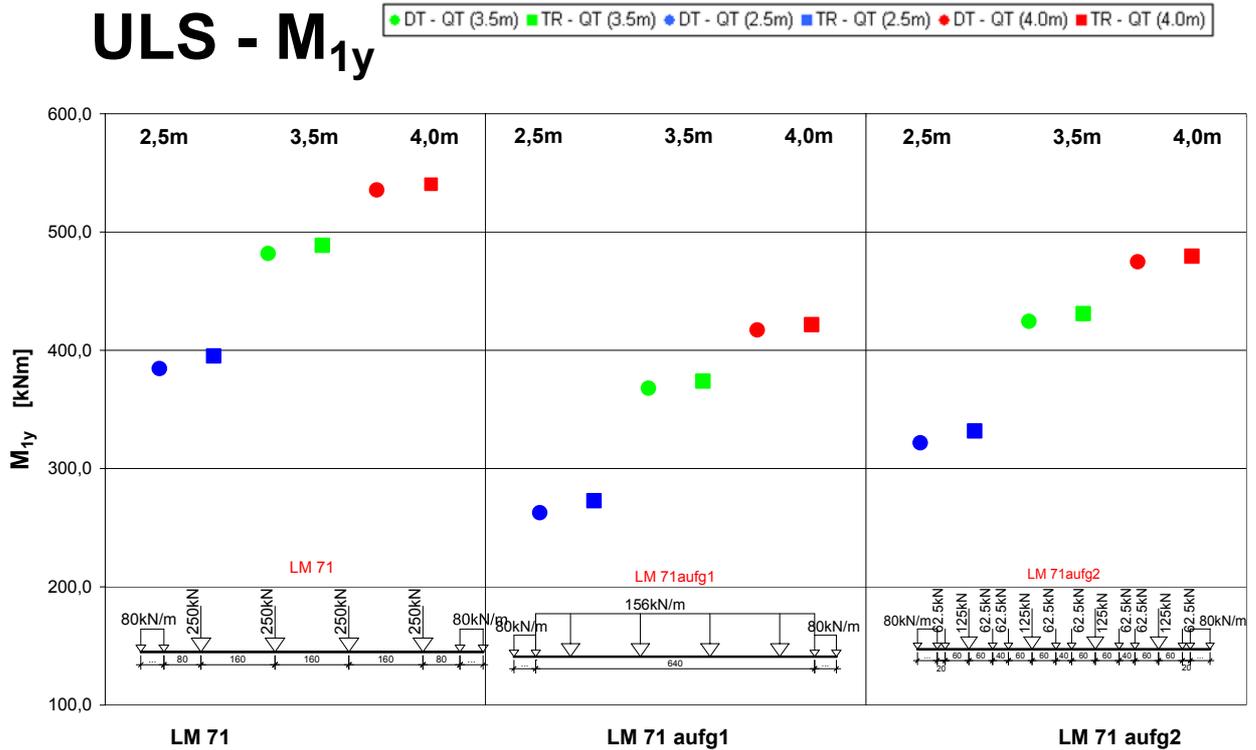


Abb. 126 Grafische Zusammenstellung der Momente im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

6.2.1.1.c Schnittgrößen im 1. Zahn

Schubkräfte im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

T		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	263,9	+15,9	180,0	-20,9	220,7	-3,1
	3,5 m	287,4	+11,9	219,1	-14,7	253,0	-1,5
	4,0 m	319,4	+11,8	248,3	-13,1	283,0	-0,9

Trägerrostberechnung

Querträger

T		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	271,5	+19,2	187,0	-17,9	227,7	0,0
	3,5 m	291,7	+13,6	222,6	-13,3	256,8	0,0
	4,0 m	322,1	+12,8	250,8	-12,2	285,6	0,0

Tab. 110 Zusammenstellung der Schubkräfte im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Lokale Lasteinleitungskräfte im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

P₁		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	113,0	+16,0	77,2	-20,7	94,5	-3,0
	3,5 m	141,7	+11,6	108,4	-14,6	125,0	-1,5
	4,0 m	157,8	+11,5	123,2	-12,9	140,0	-1,1

Trägerrostberechnung

Querträger

P₁		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	115,9	+19,0	80,1	-17,8	97,4	0,0
	3,5 m	143,8	+13,2	110,3	-13,1	127,0	0,0
	4,0 m	159,3	+12,6	124,6	-11,9	141,5	0,0

Tab. 111 Zusammenstellung der lokalen Lasteinleitungskräfte (Punkt 1) im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

P₂		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	128,0	+16,2	86,8	-21,2	106,8	-3,1
	3,5 m	160,2	+12,1	121,7	-14,8	140,8	-1,5
	4,0 m	178,1	+11,9	138,1	-13,2	157,6	-0,9

Trägerrostberechnung

Querträger

P₂		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	131,7	+19,5	90,3	-18,1	110,2	0,0
	3,5 m	162,6	+13,8	123,7	-13,4	142,9	0,0
	4,0 m	179,6	+12,9	139,4	-12,4	159,1	0,0

Tab. 112 Zusammenstellung der lokalen Lasteinleitungskräfte (Punkt 2) im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

6.2.1.2 Spannungen

6.2.1.2.a Im Feldbereich

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

σ_{xo}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-2,9	+16,0	-2,0	-20,0	-2,4	-4,0
	3,5 m	-3,2	+10,3	-2,5	-13,8	-2,8	-3,4
	4,0 m	-3,6	+12,5	-2,8	-12,5	-3,2	0,0

Trägerrostberechnung

Querträger

σ_{xo}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-3,0	+20,0	-2,1	-16,0	-2,5	0,0
	3,5 m	-3,3	+13,8	-2,5	-13,8	-2,9	0,0
	4,0 m	-3,6	+12,5	-2,8	-12,5	-3,2	0,0

Tab. 113 Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I)

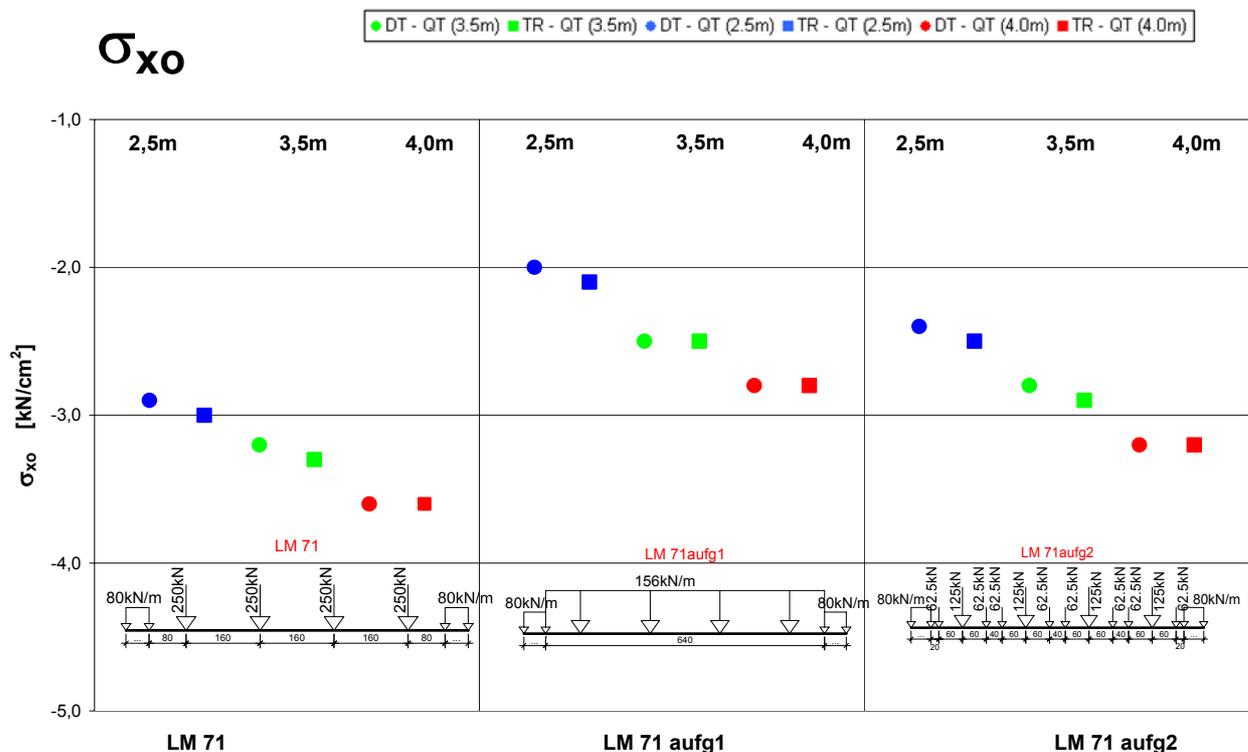


Abb. 127 Grafische Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

σ_{xu}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	6,8	+15,3	4,7	-20,3	5,7	-3,4
	3,5 m	6,5	+12,1	5,0	-13,8	5,7	-1,7
	4,0 m	7,2	+10,8	5,6	-13,8	6,4	-1,5

Trägerrostberechnung

Querträger

σ_{xu}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	7,0	+18,6	4,9	-16,9	5,9	0,0
	3,5 m	6,6	+13,8	5,1	-12,1	5,8	0,0
	4,0 m	7,3	+12,3	5,7	-12,3	6,5	0,0

Tab. 114 Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I)

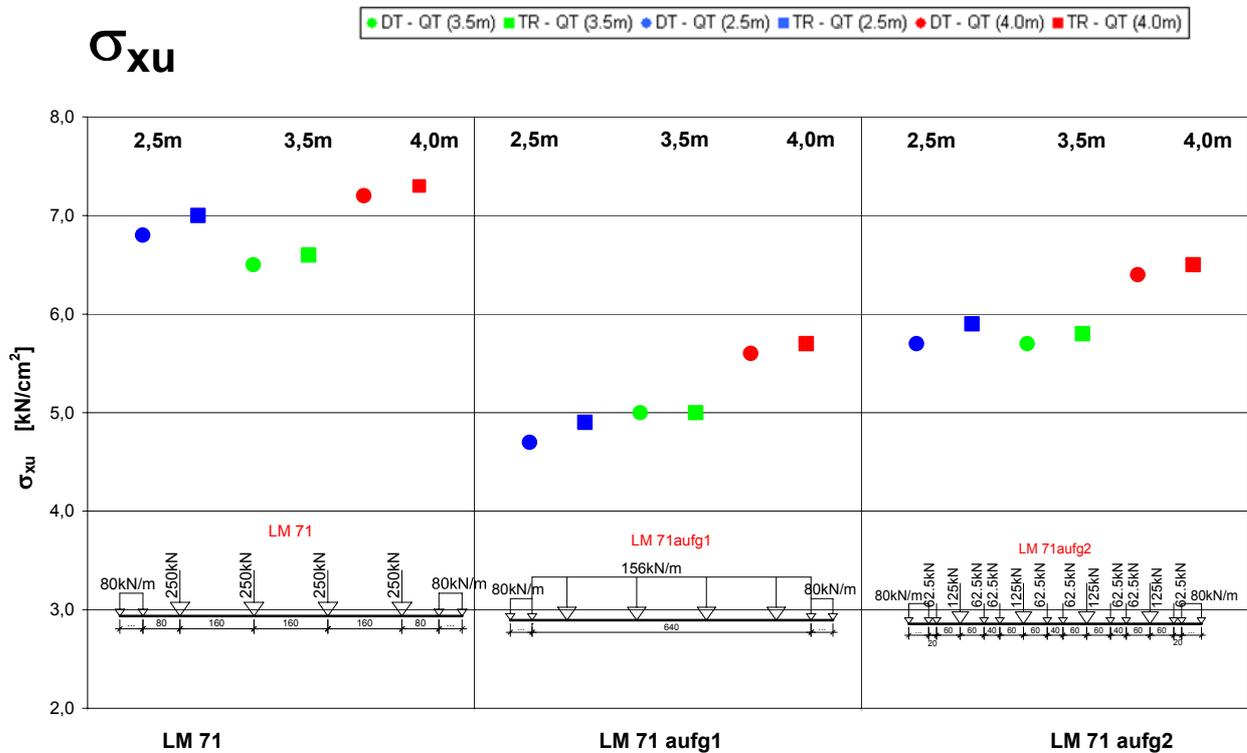


Abb. 128 Grafische Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I)

6.2.1.2.b Im Auflagerbereich

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

τ_a		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	3,0	+15,4	2,1	-19,2	2,5	-3,8
	3,5 m	2,8	+12,0	2,2	-12,0	2,5	0,0
	4,0 m	3,2	+14,3	2,5	-10,7	2,8	0,0

Trägerrostberechnung

Querträger

τ_a		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	3,1	+19,2	2,1	-19,2	2,6	0,0
	3,5 m	2,9	+16,0	2,2	-12,0	2,5	0,0
	4,0 m	3,2	+14,3	2,5	-10,7	2,8	0,0

Tab. 115 Zusammenstellung der Schubspannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

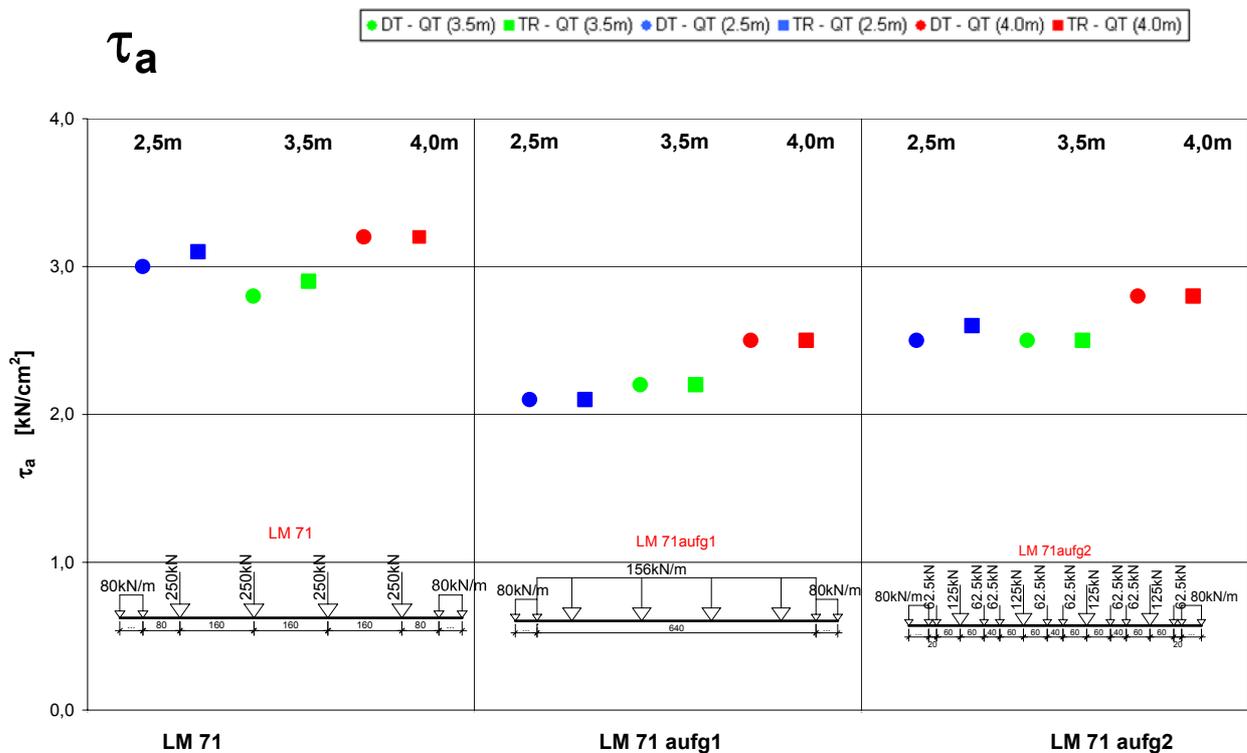


Abb. 129 Grafische Zusammenstellung der Schubspannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

6.2.1.2.c Im Bereich der 1. Längsrippe

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

σ_{1xo}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-2,2	+15,8	-1,5	-21,1	-1,8	-5,3
	3,5 m	-2,4	+14,3	-1,8	-14,3	-2,1	0,0
	4,0 m	-2,7	+12,5	-2,1	-12,5	-2,4	0,0

Trägerrostberechnung

Querträger

σ_{1xo}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-2,2	+15,8	-1,5	-21,1	-1,9	0,0
	3,5 m	-2,4	+14,3	-1,9	-9,5	-2,1	0,0
	4,0 m	-2,7	+12,5	-2,1	-12,5	-2,4	0,0

Tab. 116 Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

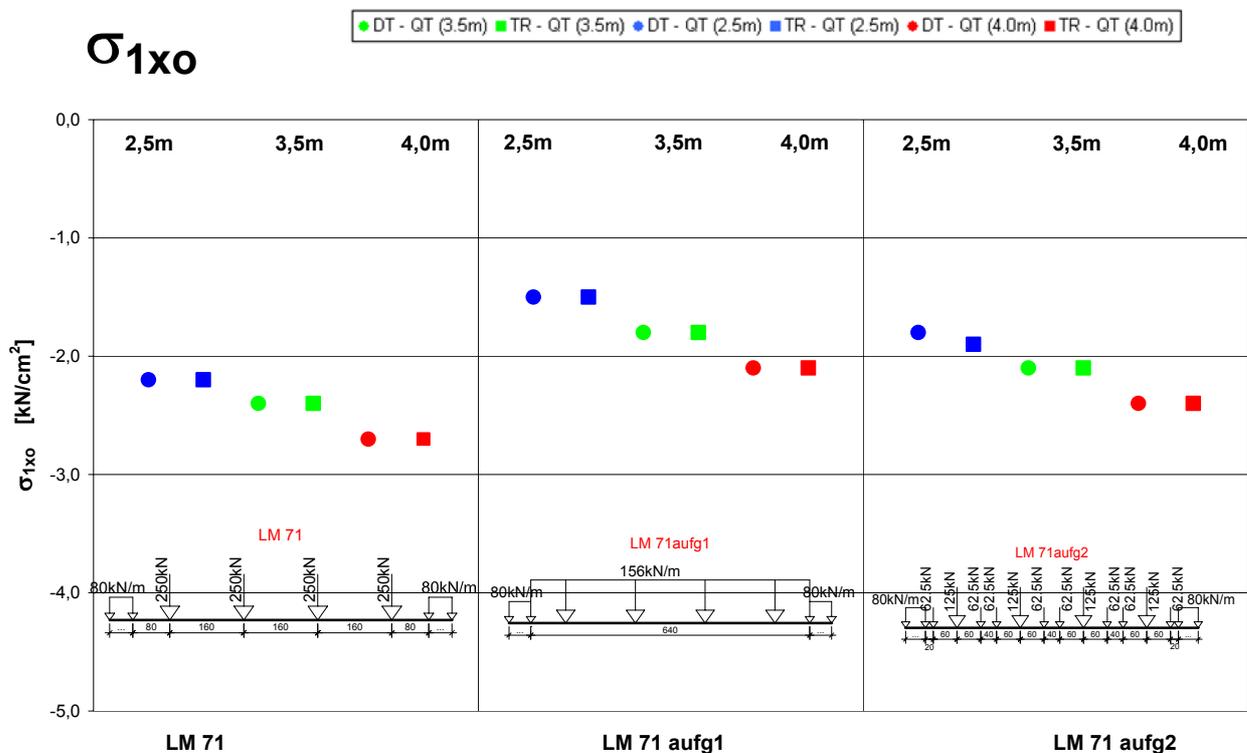


Abb. 130 Grafische Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

σ_{1xu}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	5,1	+15,9	3,5	-20,5	4,2	-4,5
	3,5 m	4,8	+11,6	3,7	-14,0	4,3	0,0
	4,0 m	5,4	+12,5	4,2	-12,5	4,8	0,0

Trägerrostberechnung

Querträger

σ_{1xu}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	5,2	+18,2	3,6	-18,2	4,4	0,0
	3,5 m	4,9	+14,0	3,7	-14,0	4,3	0,0
	4,0 m	5,4	+12,5	4,2	-12,5	4,8	0,0

Tab. 117 Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

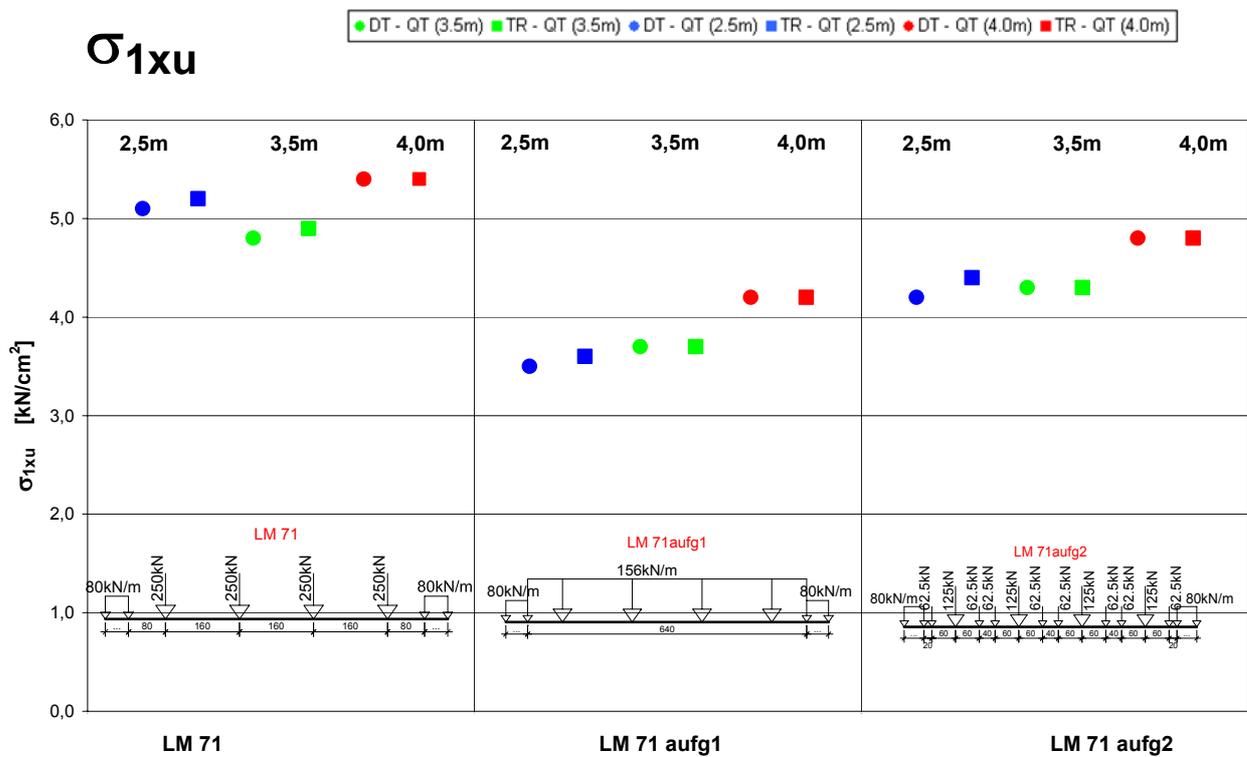


Abb. 131 Grafische Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

τ_1		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	4,3	+16,2	3,0	-18,9	3,6	-2,7
	3,5 m	4,0	+14,3	3,0	-14,3	3,5	0,0
	4,0 m	4,4	+12,8	3,4	-12,8	3,9	0,0

Trägerrostberechnung

Querträger

τ_1		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	4,5	+21,6	3,1	-16,2	3,7	0,0
	3,5 m	4,0	+14,3	3,1	-11,4	3,5	0,0
	4,0 m	4,4	+12,8	3,5	-10,3	3,9	0,0

Tab. 118 Zusammenstellung der Schubspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

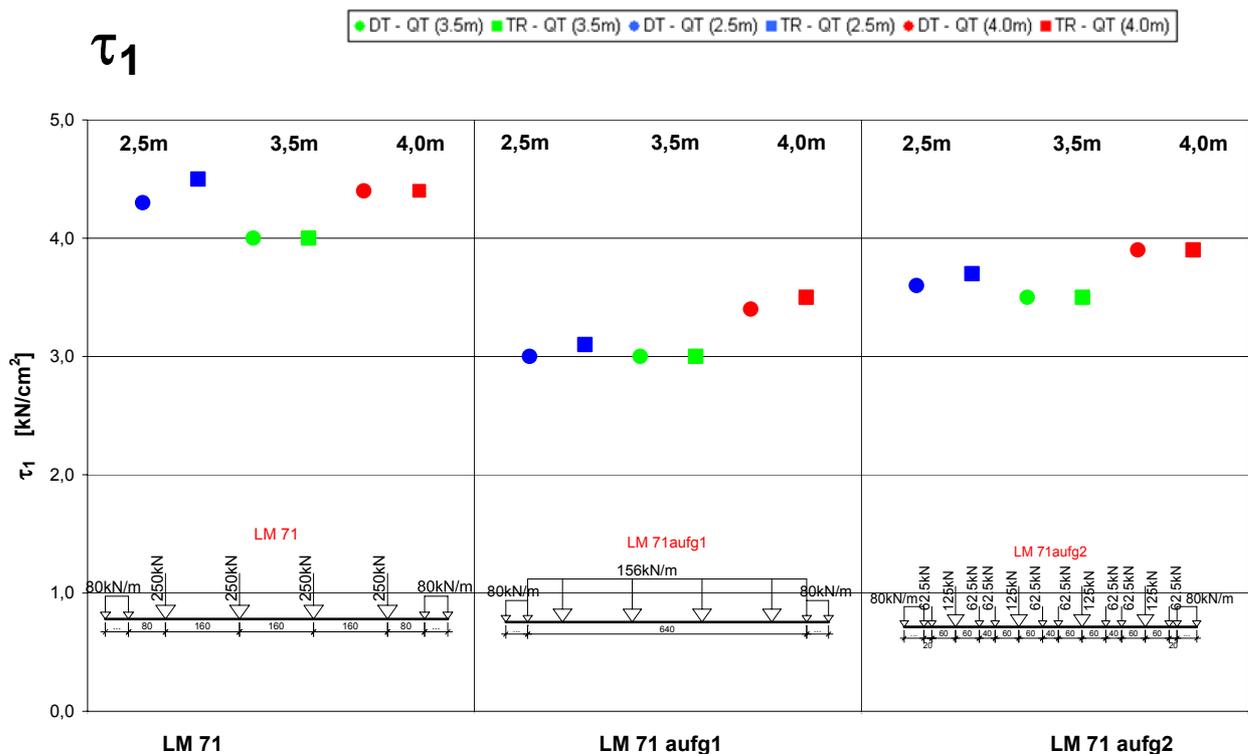


Abb. 132 Grafische Zusammenstellung der Schubspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

σ_{1v}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	9,1	+16,7	6,2	-20,5	7,6	-2,6
	3,5 m	8,4	+12,0	6,4	-14,7	7,4	-1,3
	4,0 m	9,3	+12,0	7,3	-12,0	8,3	0,0

Trägerrostberechnung

Querträger

σ_{1v}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	9,3	+19,2	6,4	-17,9	7,8	0,0
	3,5 m	8,5	+13,3	6,5	-13,3	7,5	0,0
	4,0 m	9,4	+13,3	7,3	-11,7	8,3	0,0

Tab. 119 Zusammenstellung der Vergleichsspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

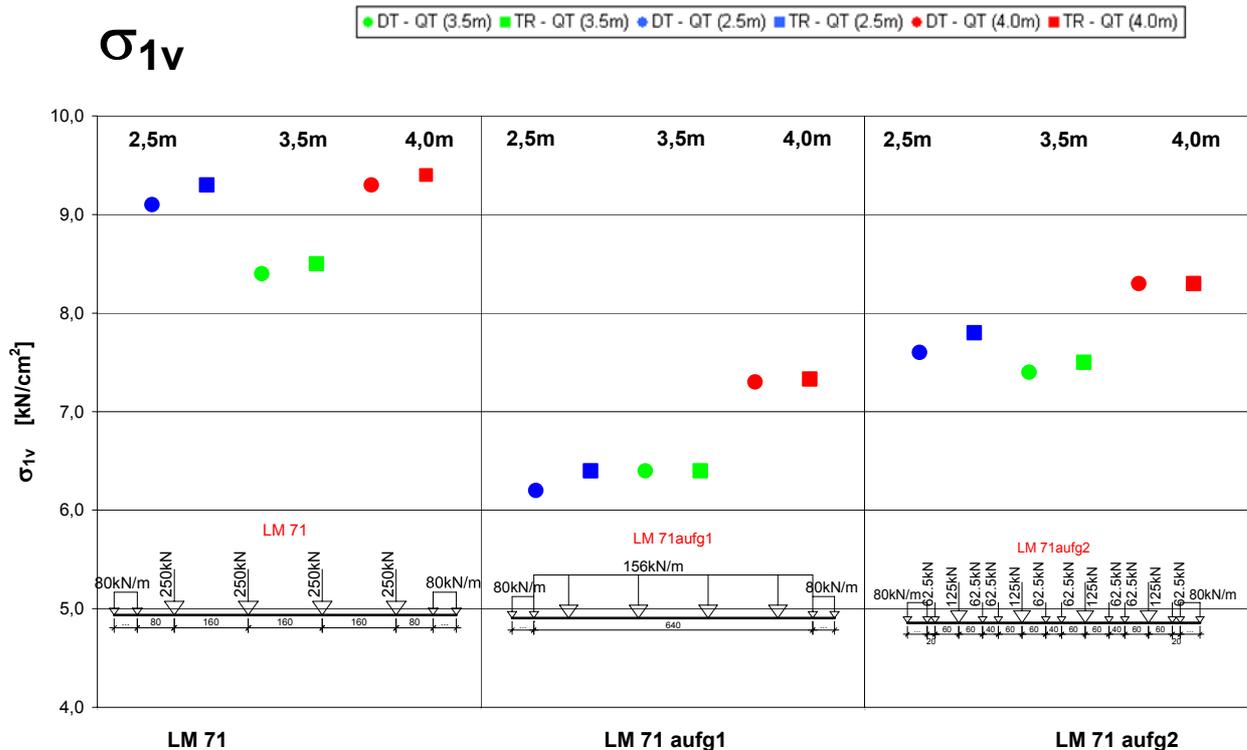


Abb. 133 Grafische Zusammenstellung der Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

6.2.1.2.d Spannungen im 1. Zahn

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\sigma_{1\text{Zahn}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-15,6	+16,4	-10,6	-20,9	-13,0	-3,0
	3,5 m	-17,7	+12,0	-13,5	-14,6	-15,6	-1,3
	4,0 m	-19,7	+11,9	-15,3	-13,1	-17,4	-1,1

Trägerrostberechnung

Querträger

$\sigma_{1\text{Zahn}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	-16,0	+19,4	-11,0	-17,9	-13,4	0,0
	3,5 m	-18,0	+13,9	-13,7	-13,3	-15,8	0,0
	4,0 m	-19,9	+13,1	-15,5	-11,9	-17,6	0,0

Tab. 120 Zusammenstellung der Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

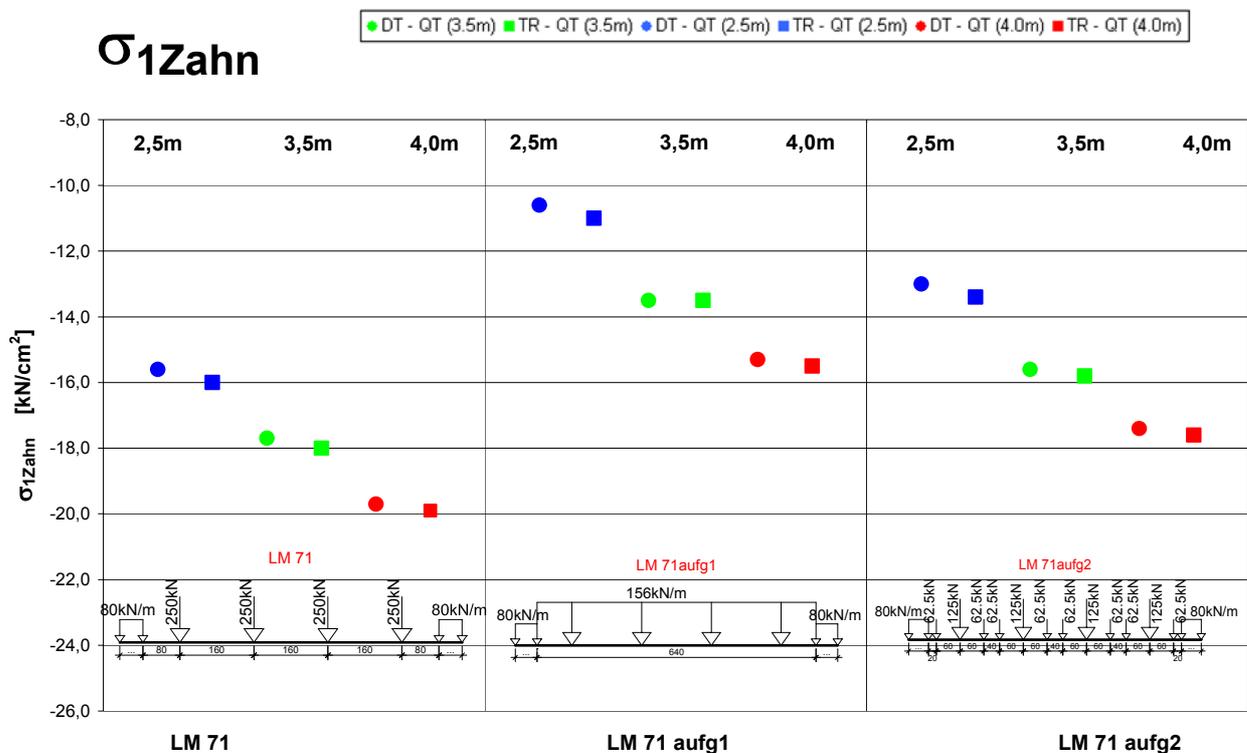


Abb. 134 Grafische Zusammenstellung der Normalspannungen 1 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

σ_{2Zahn}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	6,8	+17,2	4,6	-20,7	5,7	-1,7
	3,5 m	8,1	+11,0	6,2	-15,1	7,1	-2,7
	4,0 m	9,0	+11,1	7,0	-13,6	8,0	-1,2

Trägerrostberechnung

Querträger

σ_{2Zahn}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	6,9	+19,0	4,8	-17,2	5,8	0,0
	3,5 m	8,2	+12,3	6,3	-13,7	7,3	0,0
	4,0 m	9,1	+12,3	7,1	-12,3	8,1	0,0

Tab. 121 Zusammenstellung der Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

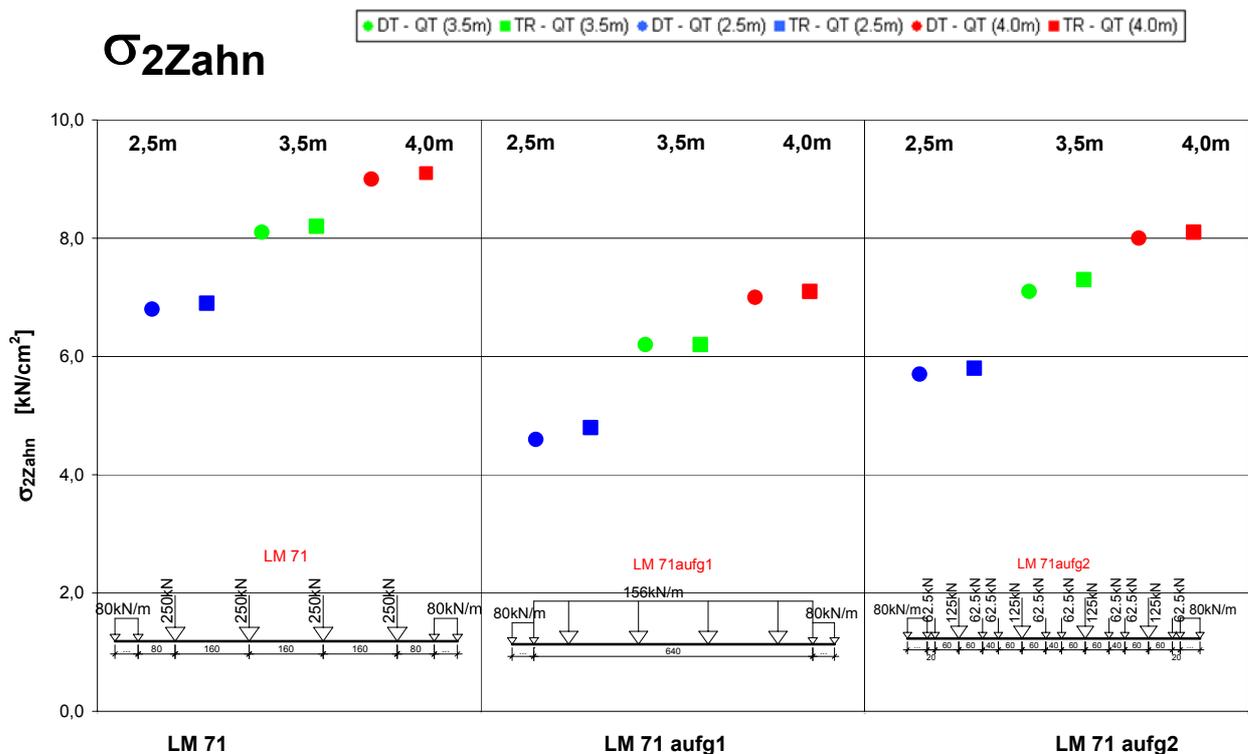


Abb. 135 Grafische Zusammenstellung der Normalspannungen 2 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

τ_{Zahn}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	4,7	+14,6	3,2	-22,0	3,9	-4,9
	3,5 m	4,8	+14,3	3,6	-14,3	4,2	0,0
	4,0 m	5,3	+12,8	4,1	-12,8	4,7	0,0

Trägerrostberechnung

Querträger

τ_{Zahn}		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	4,8	+17,1	3,3	-19,5	4,1	0,0
	3,5 m	4,8	+14,3	3,7	-11,9	4,2	0,0
	4,0 m	5,3	+12,8	4,1	-12,8	4,7	0,0

Tab. 122 Zusammenstellung der Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

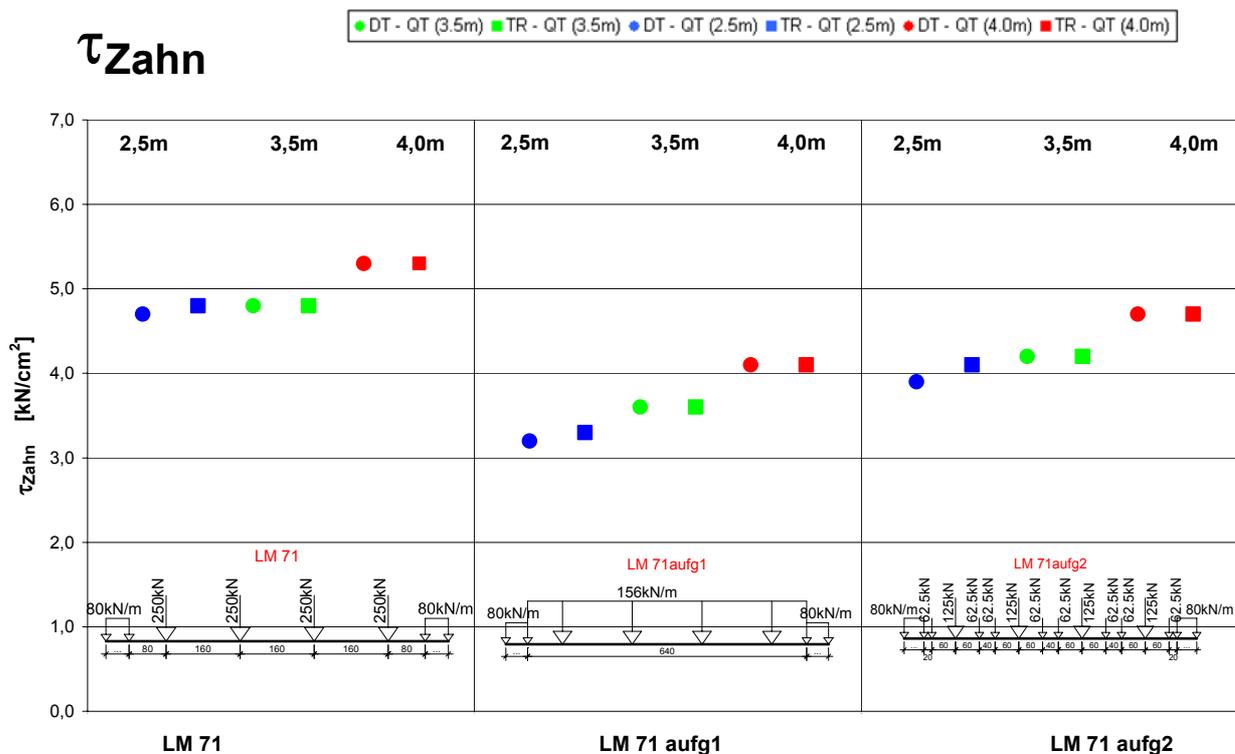
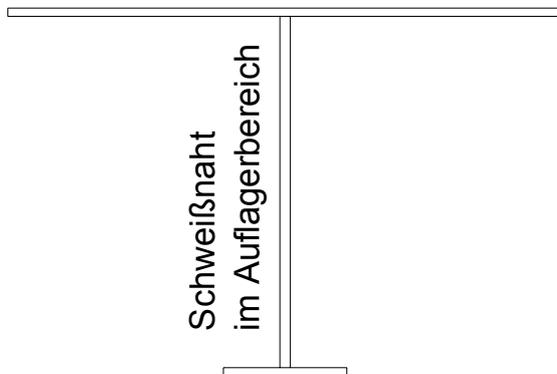


Abb. 136 Grafische Zusammenstellung der Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

6.2.2 Ermüdungsnachweis FLS

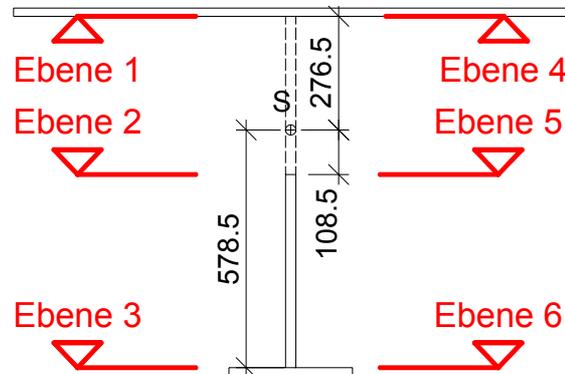
Auflagerbereich

Schnitt II-II



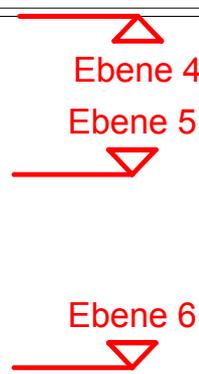
Feldbereich

Schnitt I-I



Bereich der 1. Längsrippe

Schnitt III-III



Kerbfälle:

Ebene 1 & Ebene 4

Kerbfall 80 laut Detail 6 der Tab.8.4 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Ebene 2 & Ebene 5

Kerbfall 100 laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Ebene 3 & Ebene 6

Kerbfall 100 laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Auflagerbereich (Schnitt II-II)

Kerbfall 100 laut Detail 7 der Tab.8.2 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Zahn (Schnitt IV-IV)

Kerbfall 112 laut Detail 6 der Tab.8.8 aus der ÖNORM EN 1993-1-9 [10]

Abb. 137 Nachweisebenen der Querträger für die Ermüdungsberechnung FLS

6.2.2.1 Schnittgrößen

6.2.2.1.a Querkräfte

Querkraftdifferenzen im Auflagerbereich (Schnitt II-II) für den Ermüdungsnachweis:

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta V_z$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	183,5	+13,5	119,9	-25,8	150,4	-6,9
	3,5 m	228,0	+11,8	168,1	-17,6	197,3	-3,3
	4,0 m	252,2	+11,9	190,9	-15,3	220,5	-2,1

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta V_z$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	197,4	+22,2	130,1	-19,5	161,6	0,0
	3,5 m	234,8	+15,2	174,5	-14,4	203,9	0,0
	4,0 m	257,3	+14,2	195,6	-13,2	225,3	0,0

Tab. 123 Zusammenstellung der Querkraftdifferenzen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

FLS - $\gamma_{Ff} * \Delta V_z$

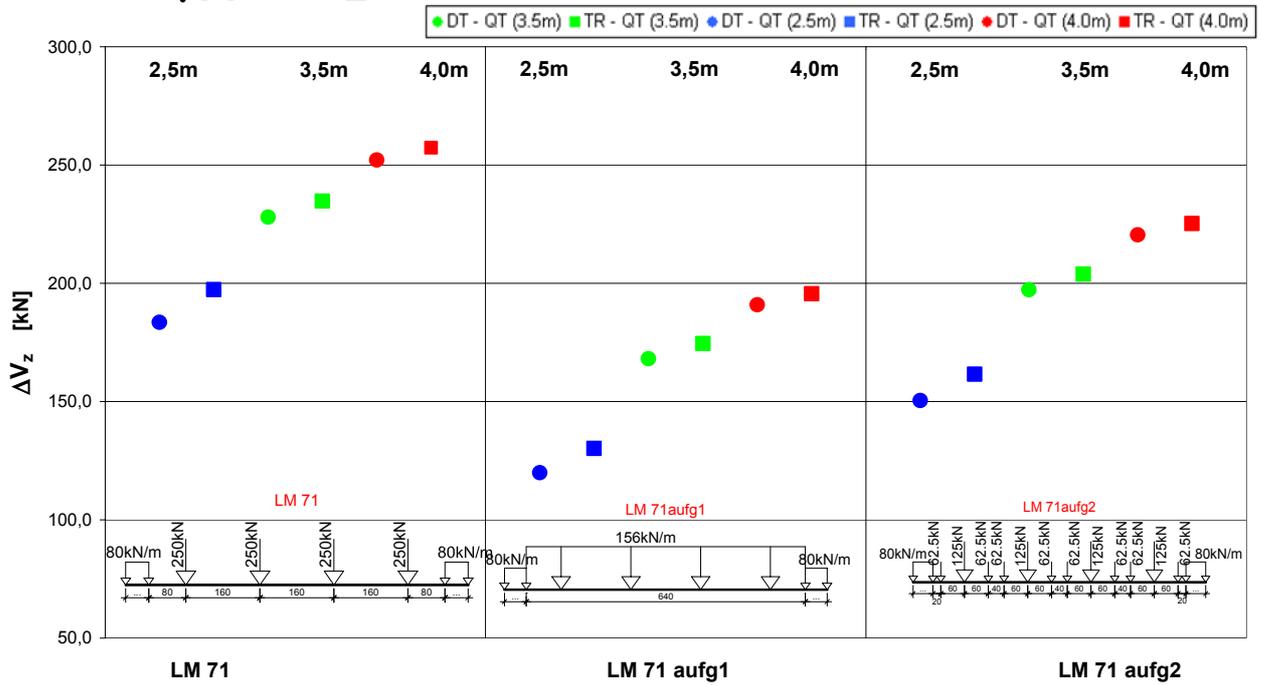


Abb. 138 Grafische Zusammenstellung der Querkraftdifferenzen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

Querkraftdifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta V_{1z}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	141,0	+13,3	92,2	-25,9	115,7	-7,0
	3,5 m	175,2	+11,8	129,2	-17,5	151,7	-3,2
	4,0 m	193,8	+12,0	146,8	-15,2	169,5	-2,1

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta V_{1z}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	152,1	+22,2	100,2	-19,5	124,4	0,0
	3,5 m	180,5	+15,2	134,1	-14,4	156,7	0,0
	4,0 m	197,7	+14,2	150,3	-13,2	173,1	0,0

Tab. 124 Zusammenstellung der Querkraftdifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

FLS - $\gamma_{Ff} * \Delta V_{1z}$

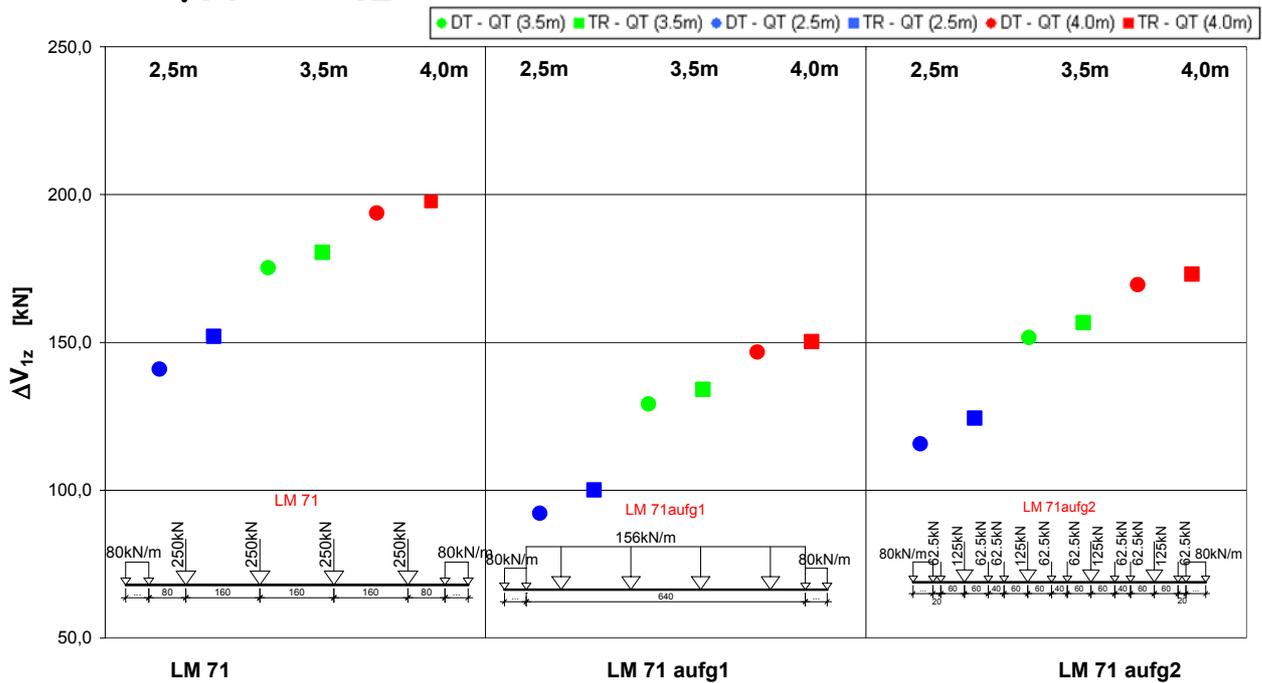


Abb. 139 Grafische Zusammenstellung der Querkraftdifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

6.2.2.1.b Momente

Momentendifferenzen im Feldbereich (Schnitt I-I):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta M_y$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	197,4	+13,3	129,0	-25,9	162,0	-7,0
	3,5 m	245,3	+11,8	180,9	-17,5	212,3	-3,2
	4,0 m	271,3	+12,0	205,5	-15,2	237,3	-2,1

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta M_y$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]	[kNm]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	212,9	+22,2	140,2	-19,5	174,2	0,0
	3,5 m	252,6	+15,2	187,7	-14,4	219,4	0,0
	4,0 m	276,7	+14,2	210,4	-13,2	242,3	0,0

Tab. 125 Zusammenstellung der Momentendifferenzen im Feldbereich (Schnitt I-I)

FLS - $\gamma_{Ff} * \Delta M_y$

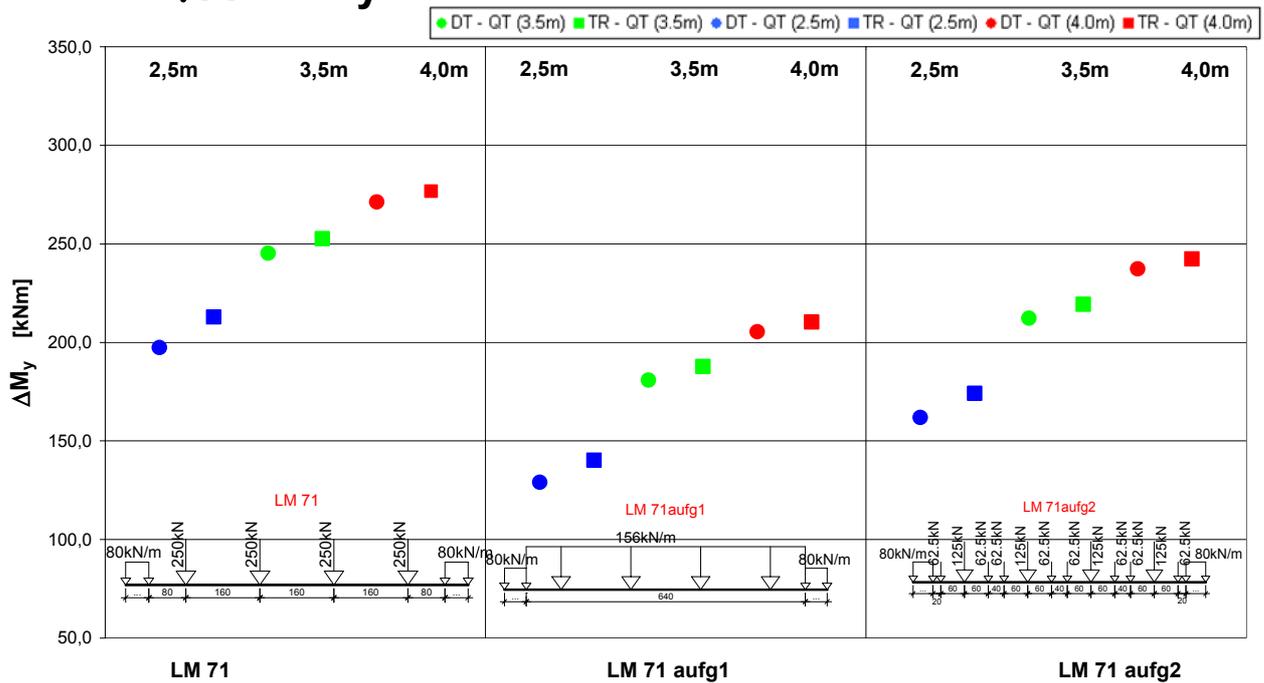


Abb. 140 Grafische Zusammenstellung der Momentendifferenzen im Feldbereich (Schnitt I-I)

Momentendifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta M_{1y}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
[kNm]		Abweichung in [%]		[kNm] Abweichung in [%]		[kNm] Abweichung in [%]	
e_{QT}	2,5 m	145,7	+13,5	95,2	-25,9	119,5	-6,9
	3,5 m	181,0	+11,8	133,5	-17,6	156,6	-3,2
	4,0 m	200,2	+11,9	151,6	-15,3	175,1	-2,1

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta M_{1y}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
[kNm]		Abweichung in [%]		[kNm] Abweichung in [%]		[kNm] Abweichung in [%]	
e_{QT}	2,5 m	156,9	+22,2	103,4	-19,5	128,4	0,0
	3,5 m	186,4	+15,2	138,6	-14,4	161,9	0,0
	4,0 m	204,3	+14,2	155,3	-13,2	178,9	0,0

Tab. 126 Zusammenstellung der Momentendifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

FLS - $\gamma_{Ff} * \Delta M_{1y}$

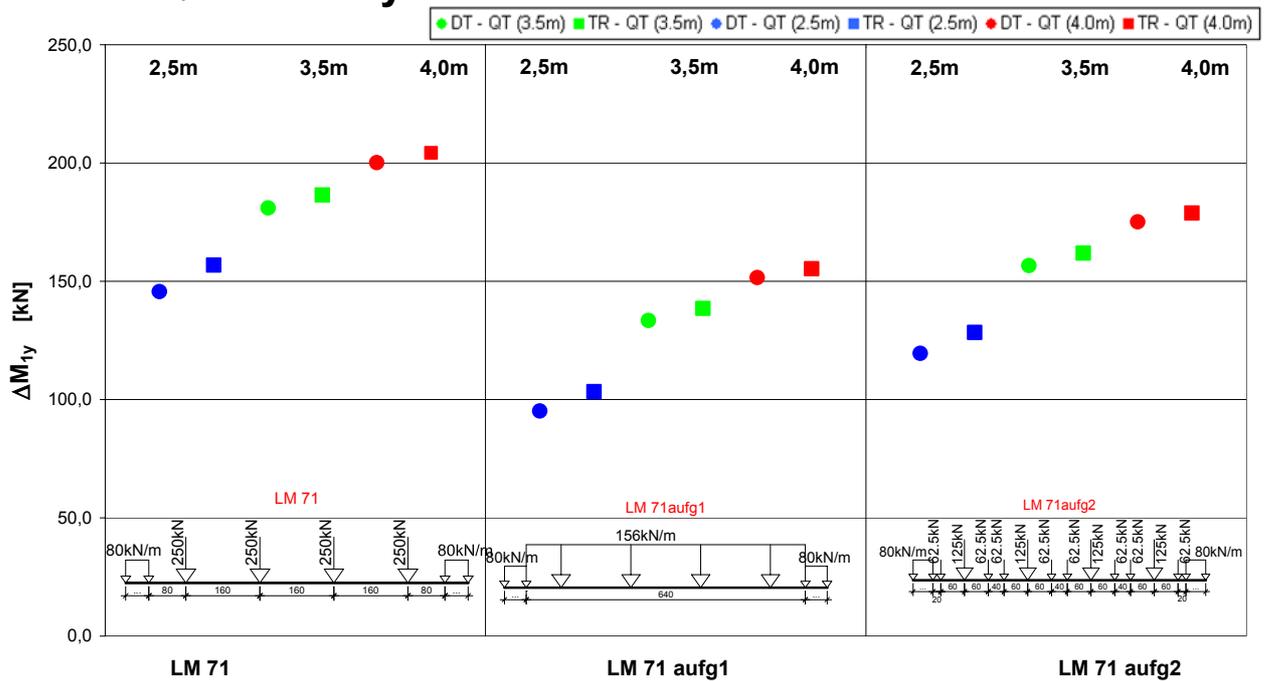


Abb. 141 Grafische Zusammenstellung der Momentendifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)

6.2.2.1.c Schnittgrößen im 1. Zahn

Schubkraftdifferenzen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta T$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	100,6	+13,2	65,8	-26,0	82,6	-7,1
	3,5 m	108,7	+11,8	80,2	-17,5	94,1	-3,2
	4,0 m	120,2	+11,9	91,1	-15,2	105,2	-2,0

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta T$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	108,8	+22,4	71,6	-19,5	88,9	0,0
	3,5 m	112,0	+15,2	83,2	-14,4	97,2	0,0
	4,0 m	122,6	+14,2	93,2	-13,2	107,4	0,0

Tab. 127 Zusammenstellung der Schubkraftdifferenzen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Lokale Lasteinleitungskraftdifferenzen im ersten Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV):

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta P_1$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	42,5	+14,2	27,7	-25,5	34,8	-6,5
	3,5 m	52,7	+11,7	38,9	-17,6	45,6	-3,4
	4,0 m	58,4	+11,9	44,1	-15,5	51,0	-2,3

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta P_1$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	45,4	+22,0	30,0	-19,4	37,2	0,0
	3,5 m	54,4	+15,3	40,4	-14,4	47,2	0,0
	4,0 m	59,6	+14,2	45,4	-13,0	52,2	0,0

Tab. 128 Zusammenstellung der lokalen Lasteinleitungskraftdifferenzen (Punkt 1) im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta P_2$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	49,3	+13,1	32,3	-25,9	40,5	-7,1
	3,5 m	61,2	+11,7	45,2	-17,5	53,0	-3,3
	4,0 m	67,7	+11,9	51,3	-15,2	59,3	-2,0

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta P_2$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]	[kN]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	53,4	+22,5	35,1	-19,5	43,6	0,0
	3,5 m	63,0	+15,0	46,9	-14,4	54,8	0,0
	4,0 m	69,0	+14,0	52,5	-13,2	60,5	0,0

Tab. 129 Zusammenstellung der lokalen Lasteinleitungskraftdifferenzen (Punkt 2) im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

6.2.2.2 Spannungen

6.2.2.2.a Im Feldbereich

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E1}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	2,0	+11,1	1,3	-27,8	1,7	-5,6
	3,5 m	1,6	+6,7	1,2	-20,0	1,4	-6,7
	4,0 m	1,8	+12,5	1,3	-18,8	1,5	-6,3
$\Delta\sigma_{c1}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E1}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	2,2	+22,2	1,4	-22,2	1,8	0,0
	3,5 m	1,7	+13,3	1,3	-13,3	1,5	0,0
	4,0 m	1,8	+12,5	1,4	-12,5	1,6	0,0
$\Delta\sigma_{c1}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Tab. 130 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 1 (Schnitt I-I)

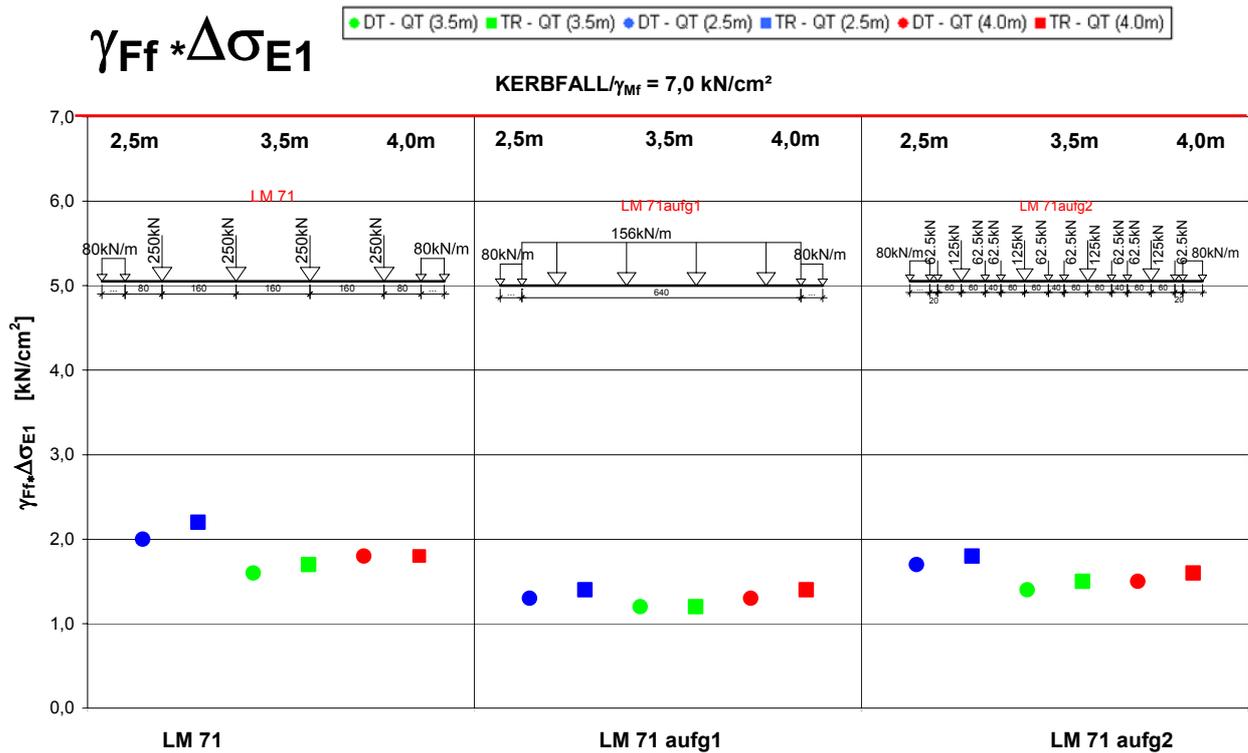


Abb. 142 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 1 (Schnitt I-I)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	0,9	+12,5	0,6	-25,0	0,8	0,0
	3,5 m	0,6	0,0	0,5	-16,7	0,6	0,0
	4,0 m	0,7	+16,7	0,5	-16,7	0,6	0,0
$\Delta\sigma_{c2}/\gamma_{Mf}$		KerbfALL/ γ_{Mf} = 8,7 kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e_{QT}	2,5 m	1,0	+25,0	0,7	-12,5	0,8	0,0
	3,5 m	0,7	+16,7	0,5	-16,7	0,6	0,0
	4,0 m	0,7	+16,7	0,5	-16,7	0,6	0,0
$\Delta\sigma_{c2}/\gamma_{Mf}$		KerbfALL/ γ_{Mf} = 8,7 kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Tab. 131 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 2 (Schnitt I-I)

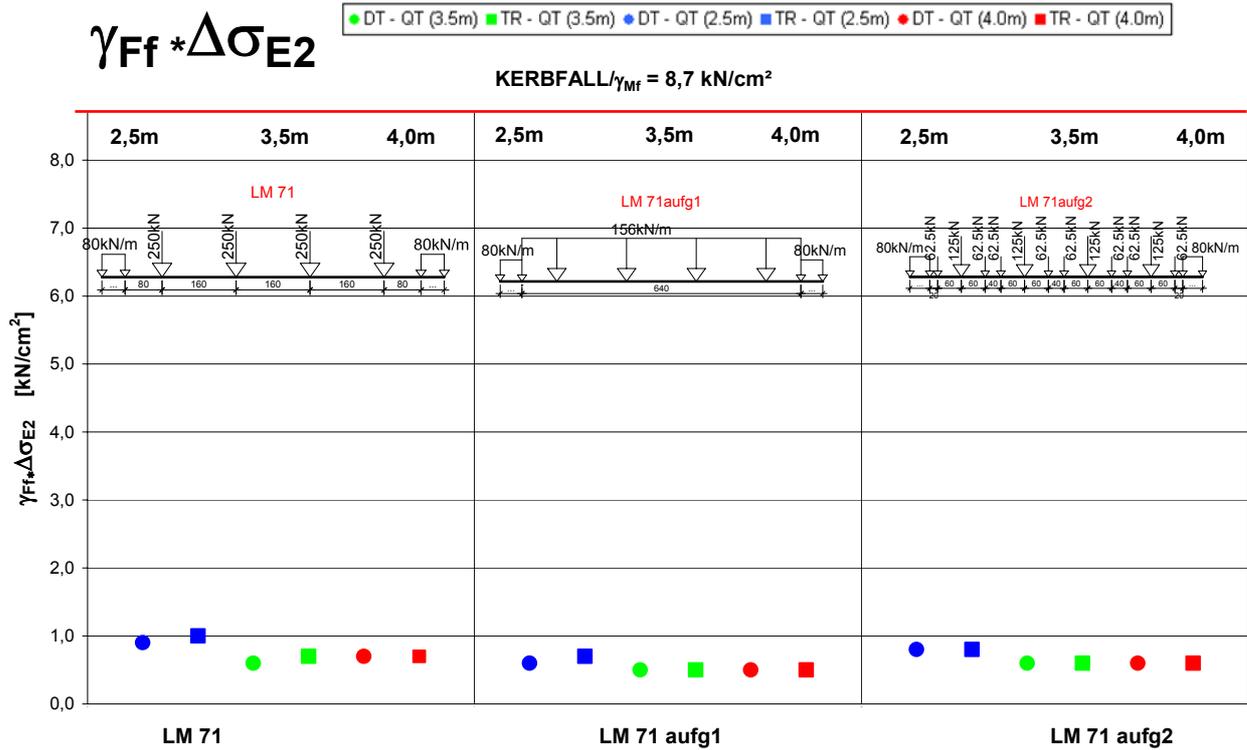


Abb. 143 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 2 (Schnitt I-I)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E3}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	3,8	+15,2	2,5	-24,2	3,1	-6,1
	3,5 m	3,4	+9,7	2,5	-19,4	3,0	-3,2
	4,0 m	3,7	+12,1	2,8	-15,2	3,2	-3,0
$\Delta\sigma_{c3}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E3}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	4,1	+24,2	2,7	-18,2	3,3	0,0
	3,5 m	3,5	+12,9	2,6	-16,1	3,1	0,0
	4,0 m	3,7	+12,1	2,8	-15,2	3,3	0,0
$\Delta\sigma_{c3}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ $\gamma_{Mf} = 8,7 \text{ kN/cm}^2$ laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Tab. 132 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 3 (Schnitt I-I)

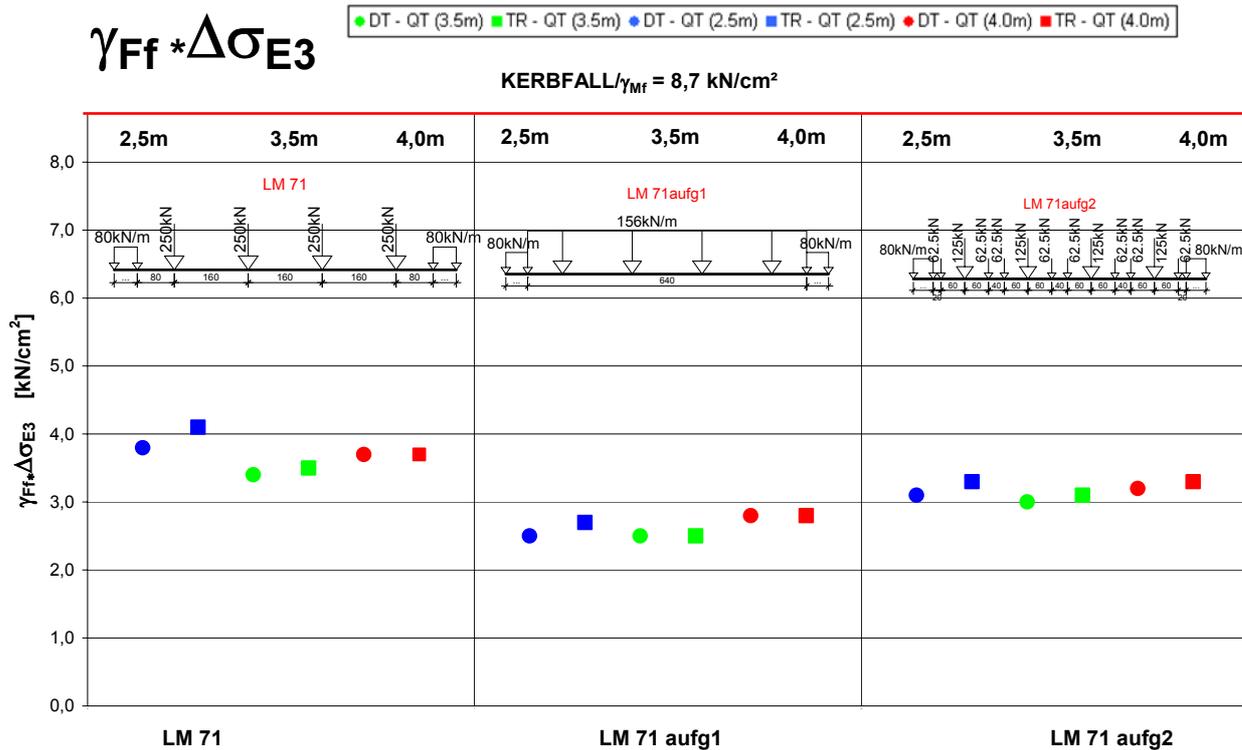


Abb. 144 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 3 (Schnitt I-I)

6.2.2.2.b Im Auflagerbereich

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\tau_{EAufl.}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	1,7	+13,3	1,1	-26,7	1,4	-6,7
	3,5 m	1,5	+7,1	1,1	-21,4	1,3	-7,1
	4,0 m	1,6	+6,7	1,2	-20,0	1,4	-6,7
$\Delta\tau_{cAufl.}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 8,7 kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\tau_{EAufl.}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	1,9	+26,7	1,2	-20,0	1,5	0,0
	3,5 m	1,6	+14,3	1,2	-14,3	1,4	0,0
	4,0 m	1,7	+13,3	1,3	-13,3	1,5	0,0
$\Delta\tau_{cAufl.}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 8,7 kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Tab. 133 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen in der Ebene 3 (Schnitt II-II)

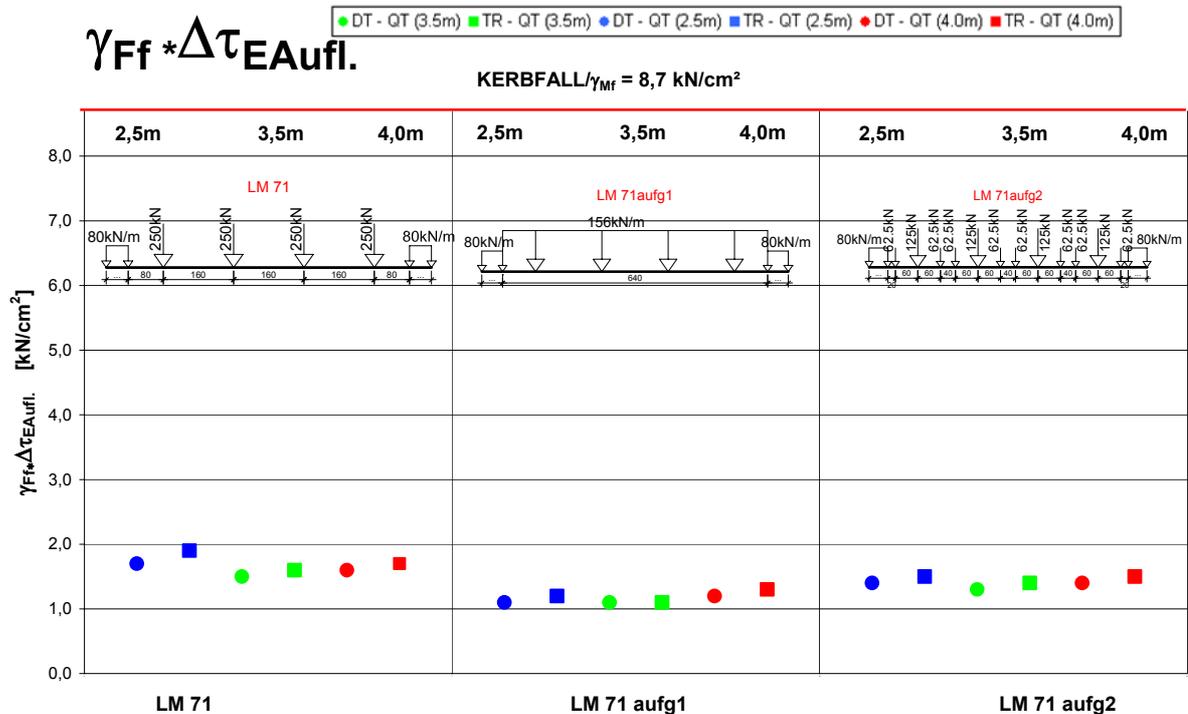


Abb. 145 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)

6.2.2.2.c Im Bereich der 1. Längsrippe

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E4}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	1,5	+15,4	1,0	-23,1	1,2	-7,7
	3,5 m	1,2	+9,1	0,9	-18,2	1,0	-9,1
	4,0 m	1,3	+8,3	1,0	-16,7	1,1	-8,3
$\Delta\sigma_{c4}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E4}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	1,6	+23,1	1,1	-15,4	1,3	0,0
	3,5 m	1,2	+9,1	0,9	-18,2	1,1	0,0
	4,0 m	1,3	+8,3	1,0	-16,7	1,2	0,0
$\Delta\sigma_{c4}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Tab. 134 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 4 (Schnitt III-III)

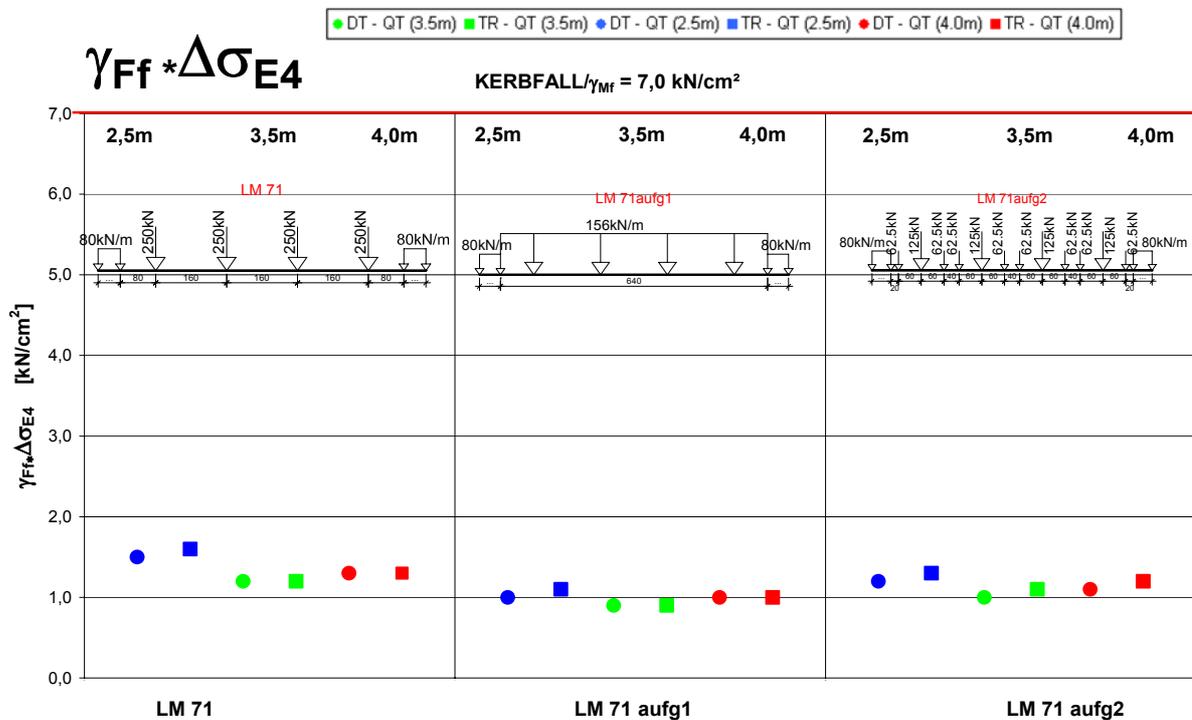


Abb. 146 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 4 (Schnitt III-III)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\tau_{E4}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	2,5	+13,6	1,6	-27,3	2,0	-9,1
	3,5 m	2,1	+10,5	1,6	-15,8	1,9	0,0
	4,0 m	2,3	+9,5	1,7	-19,0	2,0	-4,8
$\Delta\tau_{c4}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\tau_{E4}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	2,7	+22,7	1,8	-18,2	2,2	0,0
	3,5 m	2,2	+15,8	1,6	-15,8	1,9	0,0
	4,0 m	2,3	+9,5	1,8	-14,3	2,1	0,0
$\Delta\tau_{c4}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 7,0 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.4 [10]					

Tab. 135 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen in der Ebene 4 (Schnitt III-III)

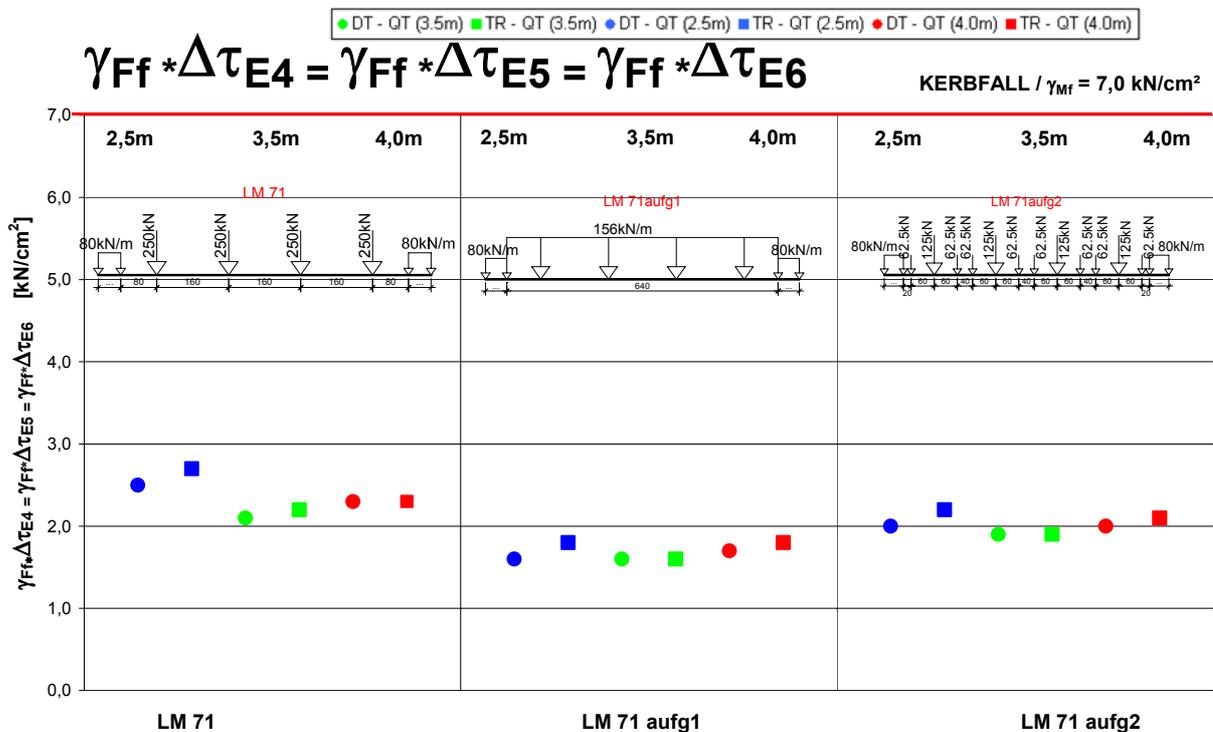


Abb. 147 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen in den Ebenen 4, 5 und 6 (Schnitt III-III)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E5}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	0,7	+16,7	0,5	-16,7	0,6	0,0
	3,5 m	0,5	+25,0	0,3	-25,0	0,4	0,0
	4,0 m	0,5	0,0	0,4	-20,0	0,4	-20,0
$\Delta\sigma_{c5}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 8,7 kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E5}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	0,8	+33,3	0,5	-16,7	0,6	0,0
	3,5 m	0,5	+25,0	0,4	0,0	0,4	0,0
	4,0 m	0,5	0,0	0,4	-20,0	0,5	0,0
$\Delta\sigma_{c5}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 8,7 kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Tab. 136 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 5 (Schnitt III-III)

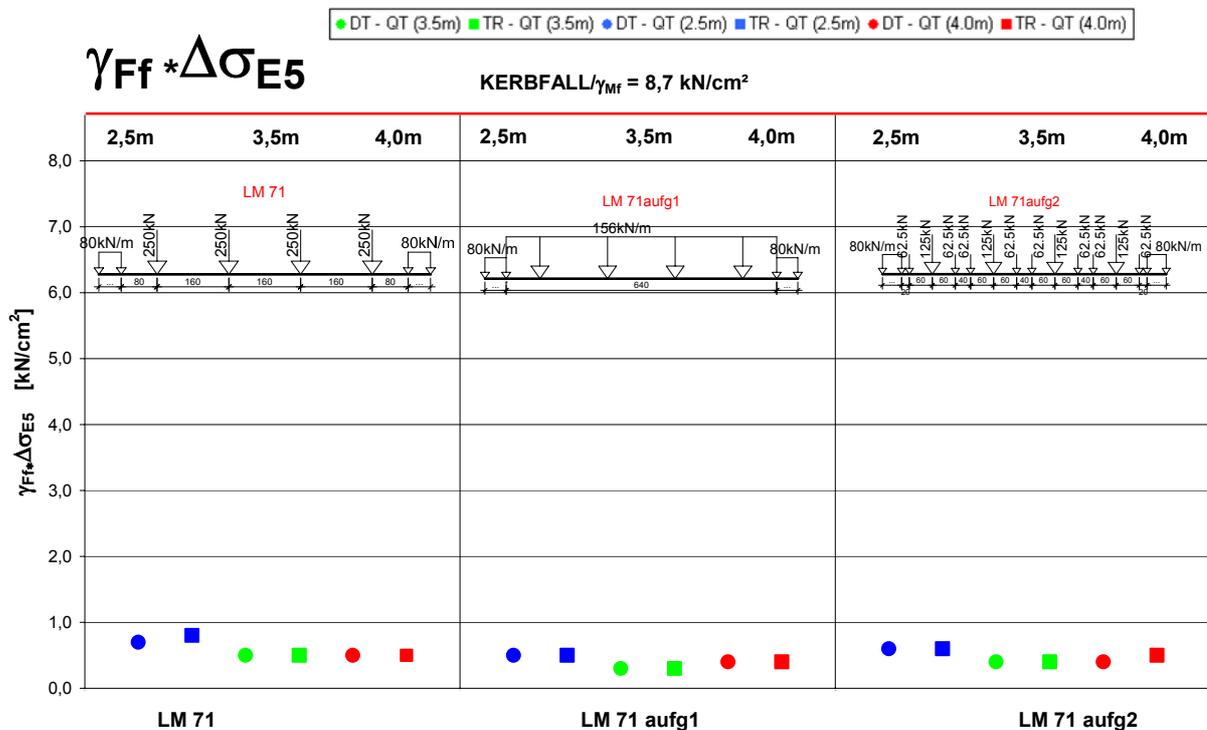


Abb. 148 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 5 (Schnitt III-III)

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E6}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	2,8	+12,0	1,8	-28,0	2,3	-8,0
	3,5 m	2,5	+8,7	1,9	-17,4	2,2	-4,3
	4,0 m	2,7	+12,5	2,0	-16,7	2,4	0,0
$\Delta\sigma_{c6}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 8,7 kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E6}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	3,0	+20,0	2,0	-20,0	2,5	0,0
	3,5 m	2,6	+13,0	1,9	-17,4	2,3	0,0
	4,0 m	2,8	+16,7	2,1	-12,5	2,4	0,0
$\Delta\sigma_{c6}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 8,7 kN/cm ² laut Detail 7 der Tab.8.2 [10]					

Tab. 137 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 6 (Schnitt III-III)

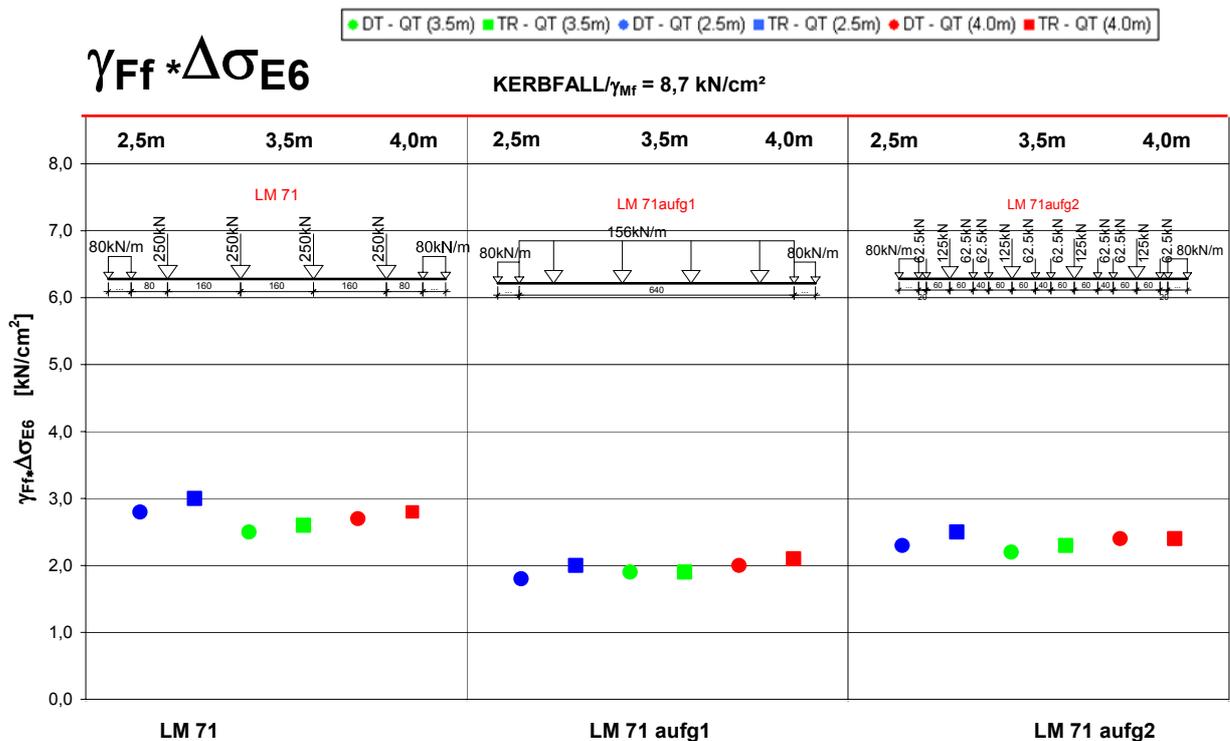


Abb. 149 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 6 (Schnitt III-III)

6.2.2.2.d Spannungen im 1. Zahn

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{Zahn}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	8,9	+13,5	5,8	-25,9	7,3	-6,9
	3,5 m	9,6	+11,8	7,1	-17,6	8,3	-3,3
	4,0 m	10,3	+11,7	7,8	-15,2	9,0	-2,2
$\Delta\sigma_{c7}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 9,7 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{Zahn}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	9,6	+22,2	6,3	-19,6	7,8	0,0
	3,5 m	9,9	+15,1	7,3	-14,5	8,6	0,0
	4,0 m	10,5	+14,1	8,0	-13,0	9,2	0,0
$\Delta\sigma_{c7}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 9,7 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 138 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

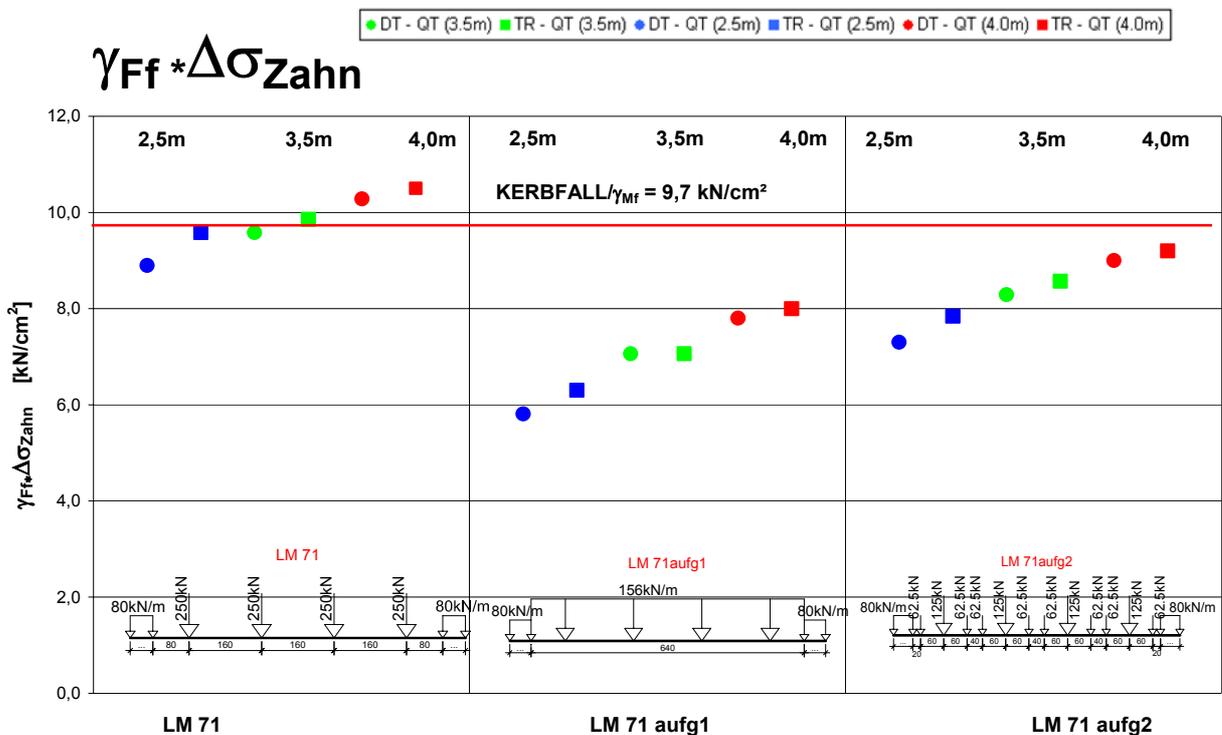


Abb. 150 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Aus Abb. 150 lässt sich die Überschreitung des Kerbfalles im Lastbild LM 71 erkennen. Die Überschreitung gilt jedoch nur für das Lastbild LM 71. Für das genauere Lastbild LM 71_{aufg2} sind die Nachweise erfüllt.

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{\text{Zahn}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	2,7	+12,5	1,8	-25,0	2,2	-8,3
	3,5 m	2,6	+13,0	1,9	-17,4	2,2	-4,3
	4,0 m	2,8	+12,0	2,1	-16,0	2,4	-4,0
$\Delta \tau_{c7} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 9,7 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{\text{Zahn}}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	2,9	+20,8	1,9	-20,8	2,4	0,0
	3,5 m	2,7	+17,4	2,0	-13,0	2,3	0,0
	4,0 m	2,8	+12,0	2,1	-16,0	2,5	0,0
$\Delta \tau_{c7} / \gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 9,7 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 139 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

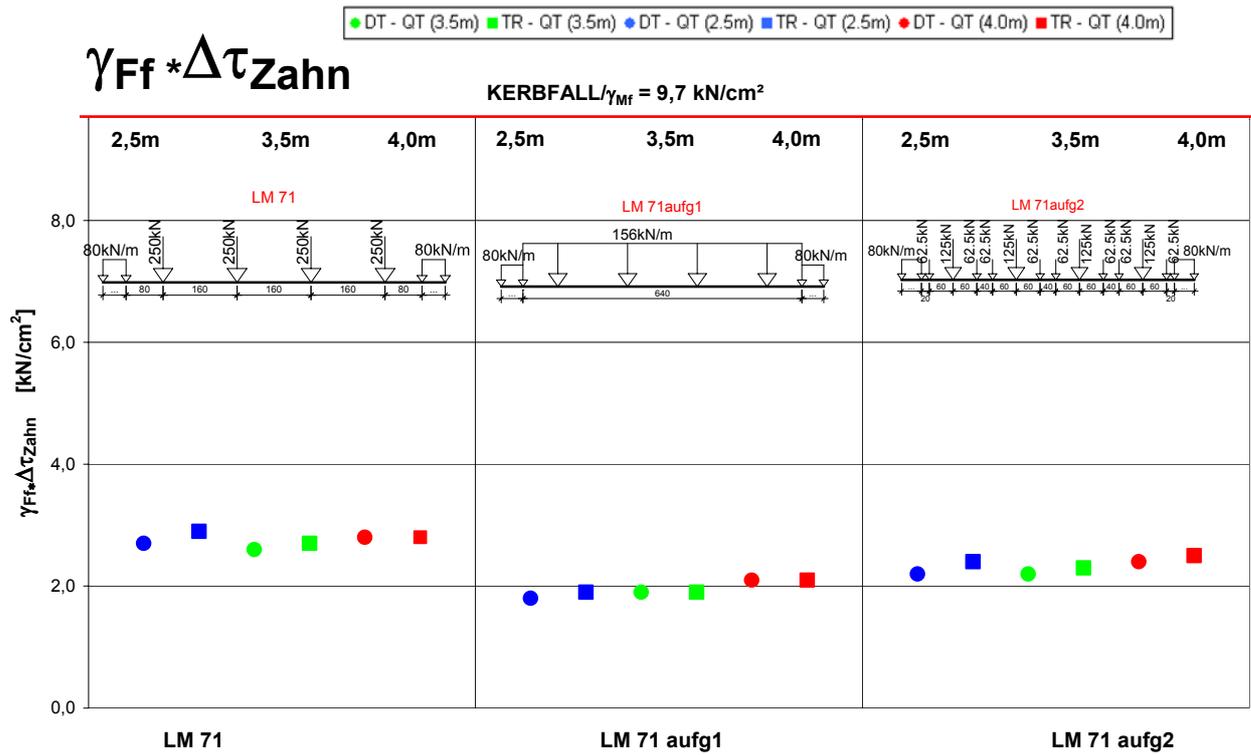


Abb. 151 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

7. Schlussfolgerungen

7.1 Längsrippen

7.1.1 Einflusslinien

In Tab. 140 werden alle Integralwerte der Einflusslinien zusammengefasst. Die Einflusslinien werden, auf der sicheren Seite liegend, einzeln ausgewertet und anschließend zusammengezählt. Die Gesamtfläche der Integralwerte der Einflusslinien aus der Trägerrostberechnung wird mit 100 % angesetzt. Damit lässt sich erkennen, dass die Integralwerte aus der Durchlaufträgerberechnung immer kleiner sind als die Werte der Trägerrostberechnung.

Gegenüberstellung der Integralwerte der Einflusslinien		Durchlauf- träger- berechnung	Trägerrostberechnung				Integralwert der Einflusslinie
		Integralwert der Einflusslinie	Teilflächen der Einflusslinien				
		LR 2 [%]	LR 1 [%]	LR 2 [%]	LR 3 [%]	LR 4 [%]	SUMME
negative Fläche	$A_{\text{Stütz}}^{-Vz}$	-91,0	-8,2	-73,6	-11,7	-6,5	-100
positive Fläche	$A_{\text{Stütz}}^{+Vz}$	+96,0	+1,5	+95,3	+2,1	+1,2	+100
negative Fläche	A_{Feld}^{-Vz}	-91,0	-3,8	-87,4	-5,7	-3,1	-100
positive Fläche	A_{Feld}^{+Vz}	+91,0	+3,8	+87,4	+5,7	+3,1	+100
negative Fläche	$A_{\text{Stütz}}^{-My}$	-92,9	-3,9	-87,7	-5,4	-3,0	-100
positive Fläche	$A_{\text{Stütz}}^{+My}$	+78,8	+12,0	+60,0	+18,0	+10,0	+100
negative Fläche	A_{Feld}^{-My}	-85,6	-4,4	-86,3	-6,3	-3,0	-100
positive Fläche	A_{Feld}^{+My}	+93,2	+2,4	+92,5	+3,3	+1,8	+100

Tab. 140 Zusammenstellung der Integralwerte der Einflusslinien für 3,5 m Querträgerabstand

Schlussfolgerungen:

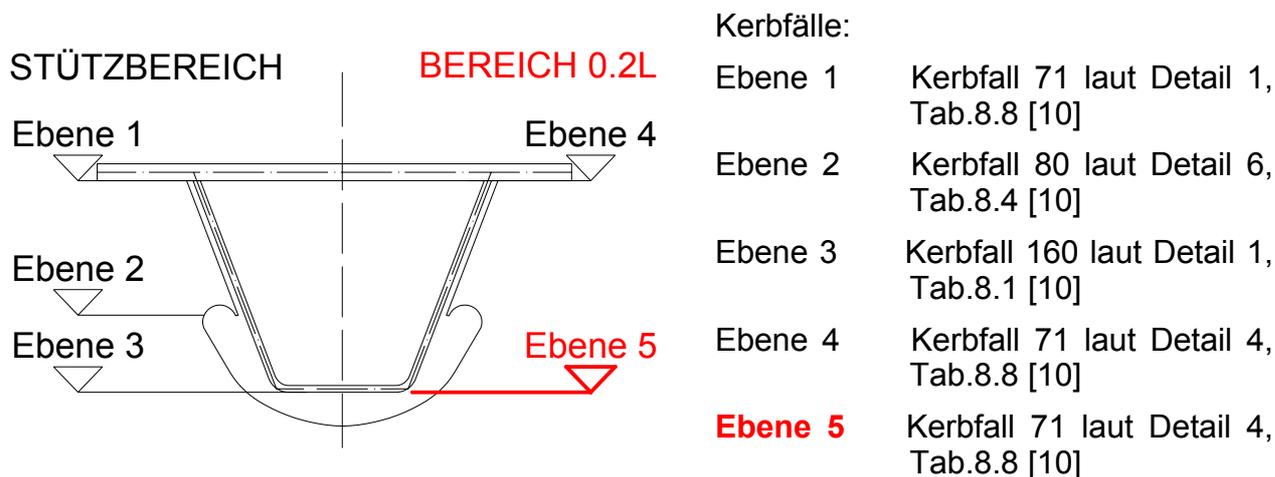
- Der Integralwert der Einflusslinien aus der Trägerrostberechnung ist insgesamt größer als jener aus der Durchlaufträgerberechnung, da bei der Trägerrostberechnung die benachbarten Längsrippen mitwirken.
- Aus den Einflusslinien und den prozentuellen Darstellungen der Ergebnisse erkennt man, dass je steifer die Querträger sind (je größer der Querträgerabstand), desto

mehr nähert sich die Trägerrostberechnung der Durchlaufträgerberechnung an. Das bedeutet, bei sehr steifen Querträgern wird aus der Trägerrostberechnung eine der Durchlaufträgerberechnung ähnlichen Berechnung. Jedoch muss die Mitwirkung der benachbarten Längsrippen immer berücksichtigt werden.

- Bei größerem Querträgerabstand werden die Beiwerte günstiger, somit ist rein wirtschaftlich ein kleinerer Querträgerabstand als 3,0 m nicht sinnvoll.
- Die prozentuellen Unterschiede der charakteristischen Schnittgrößen aus den Verkehrslastbildern sind größer als die Unterschiede der Bemessungsgrößen. Dies resultiert aus der Lastkombination für den Tragfähigkeitsnachweis ULS. Für diesen Nachweis stellen die Belastungen aus dem Tragwerkseigengewicht $G_{1,LR}$ und der Ausbaulast $G_{2,LR}$ einen wesentlichen Anteil der Einwirkungen dar. Aus diesem Grund werden die prozentuellen Unterschiede geringer.

7.1.2 Spannungsnachweise

Der maßgebende Nachweis für die Längsrippen ist der Ermüdungsnachweis in der Ebene 5 für die inneren Längsrippen (Längsrippen 2&3).



Tab. 141 Maßgebende Ebene für den Ermüdungsnachweis FLS

Durchlaufträgerberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E5}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	5,8	-3,3	3,8	-36,7	4,4	-26,7
	3,5 m	6,5	+6,6	4,8	-21,3	5,2	-14,8
	4,0 m	6,7	+4,7	5,4	-15,6	5,7	-10,9
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Längsrippen 2&3

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E5}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	7,7	+28,3	5,4	-10,0	6,0	0,0
	3,5 m	7,4	+21,3	5,7	-6,6	6,1	0,0
	4,0 m	7,4	+15,6	6,0	-6,3	6,4	0,0
$\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 6,2 kN/cm ² laut Detail 4 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 142 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L

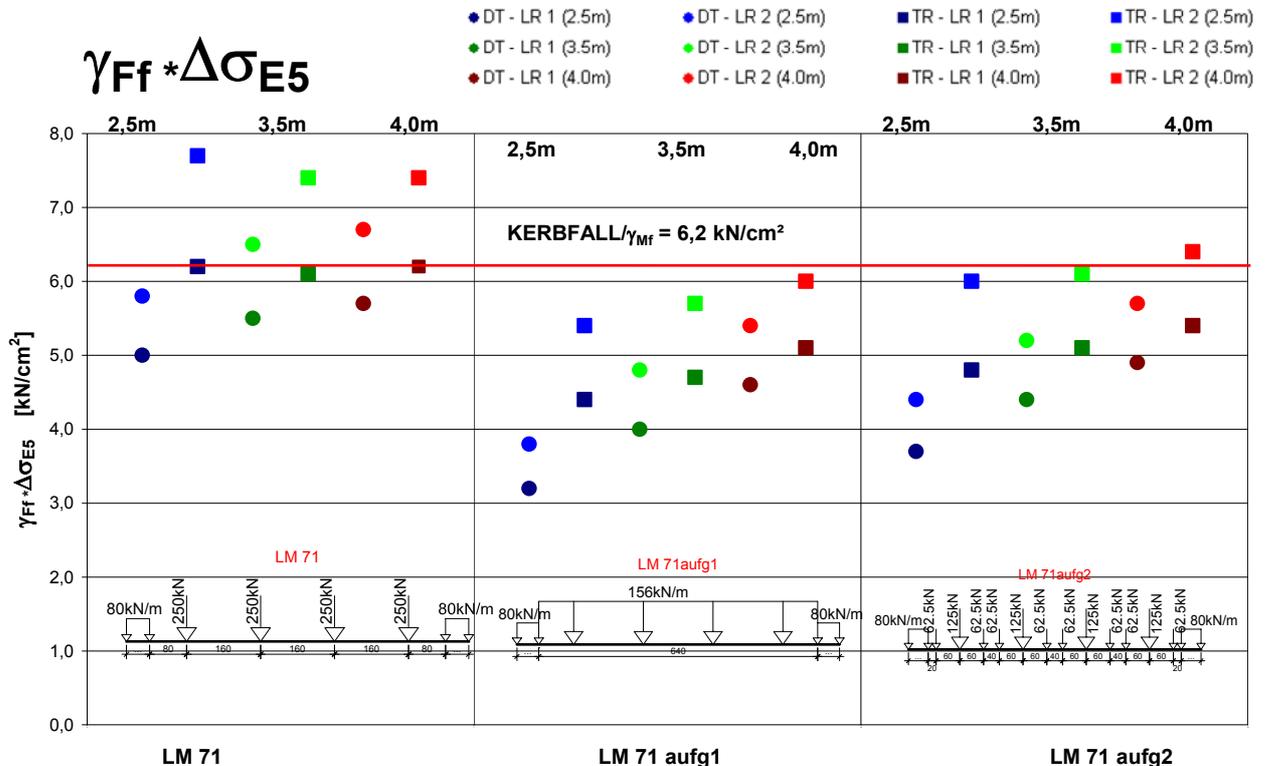


Abb. 152 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L

Aus Abb. 152 erkennt man, dass einige Ergebnisse über dem Kerbfall liegen. Vor allem lässt sich erkennen, dass der Kerbfall nur bei dem Lastbild LM 71 überschritten wird. Das bedeutet, für das genauere Lastbild LM 71_{aufg2} wird der Nachweis erfüllt und die Querschnitte sind gut ausgenützt. Jedoch wird bei 4,0 m Querträgerabstand der Nachweis nicht erfüllt. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass für diesen Querträgerabstand die Querschnittswerte für 3,5 m Querträgerabstand übernommen wurden (keine Bemessung).

Schlussfolgerungen:

- Die Ergebnisse aus den Spannungsberechnungen zeigen, je nachdem welchen Querträgerabstand man betrachtet, betragsmäßige Unterschiede von 10 % bis 30 % zwischen den beiden Berechnungsmethoden. Die Unterschiede verringern sich bei Erhöhung der Querträgerabstände. Daraus kann man schließen: eine Verkleinerung der Querträgerabstände unter 3,0 m bringt wirtschaftlich keine Vorteile, da der dynamische Beiwert bei Vergrößerung des Querträgerabstandes günstiger wird und der der Schadenäquivalenzfaktor bereits bei 3,0 m seinen Maximalwert erreicht.
- Wenn für das Verkehrslastbild LM 71 der Ermüdungsnachweis nicht erfüllt wird, kann es sinnvoll sein, das Tragwerk mit dem Lastbild LM 71_{aufg2} zu untersuchen. Damit können Reservern bis zu 30 % lukriert werden.

7.2 Querträger

7.2.1 Schnittgrößen

In Tab. 143 werden die prozentuellen Unterschiede der Schnittgrößen des Verkehrslastbildes LM 71_{aufg2} zusammengefasst. Dabei sieht man die größenordnungsmäßigen Unterschiede zwischen den einzelnen Querträgerabständen.

Schnittgrößen- unterschiede der Querträger		Nachweis	
		ULS	FLS
e _{QT}	2,5 m	-3,0 %	-7,0 %
	3,5 m	-1,5 %	-3,0 %
	4,0 m	-1,0 %	-2,0 %

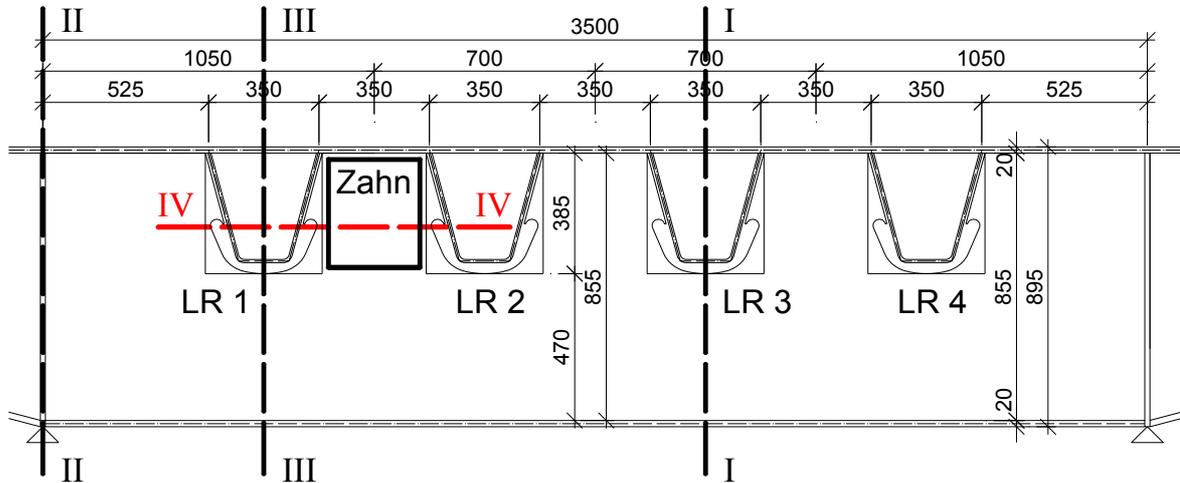
Tab. 143 Unterschiede der Schnittgrößen der Querträger (Trägerrostberechnung)

Schlussfolgerungen:

- Die Schnittgrößen der beiden Berechnungsmethoden, der Durchlaufträger- und der Trägerrostberechnung, weisen immer die gleichen prozentuellen Größenunterschiede auf.
- Die prozentuellen Größenunterschiede der Ergebnisse werden kleiner, je größer der Querträgerabstand wird.
- Die Größenunterschiede der Schnittgrößen sind bei dem genauesten Verkehrslastfall LM 71_{aufg2} am geringsten, jene aus der ungenauesten Lastaufteilung LM 71_{aufg1} sind am größten.

7.2.2 Spannungsnachweise

Den maßgebenden Nachweis für die Querträger stellt der Ermüdungsnachweis im ersten Zahn der Querträger dar.



Zahn (IV-IV) Kerbfall 112 laut Detail 6 der Tab.8.8 [10]

Abb. 153 Maßgebender Schnitt für den Ermüdungsnachweis FLS

Durchlaufträgerberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{Zahn}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	8,9	13,5	5,8	-25,9	7,3	-6,9
	3,5 m	9,6	11,8	7,1	-17,6	8,3	-3,3
	4,0 m	10,3	11,7	7,8	-15,2	9,0	-2,2
$\Delta\sigma_{c7}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 9,7 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.8 [10]					

Trägerrostberechnung

Querträger

$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{Zahn}$		LM 71		LM 71 _{aufg1}		LM 71 _{aufg2}	
		[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]	[kN/cm ²]	Abweichung in [%]
e _{QT}	2,5 m	9,6	22,2	6,3	-19,6	7,8	0,0
	3,5 m	9,9	15,1	7,3	-14,5	8,6	0,0
	4,0 m	10,5	14,1	8,0	-13,0	9,2	0,0
$\Delta\sigma_{c7}/\gamma_{Mf}$		Kerbfall/ γ_{Mf} = 9,7 kN/cm ² laut Detail 6 der Tab.8.8 [10]					

Tab. 144 Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

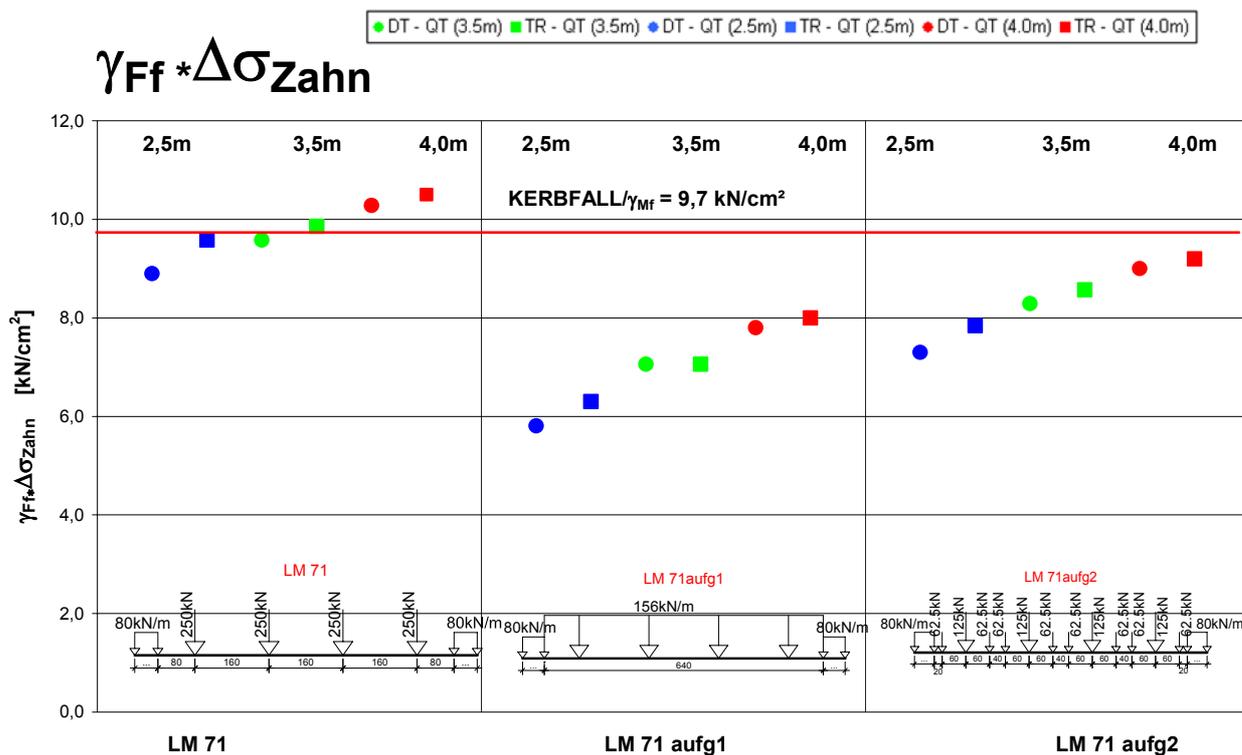


Abb. 154 Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)

Aus Abb. 154 lässt sich die Überschreitung des Kerbfalles im Lastbild LM 71 erkennen. Die Überschreitung gilt jedoch nur für das Lastbild LM 71. Für das genauere Lastbild LM 71_{aufg2} sind die Nachweise erfüllt.

Schlussfolgerung:

- Eine maßgebende Nachweisstelle stellt der erste Zahn im Querträger (auf Ermüdung) dar. Deshalb wird es notwendig, die Stegblechdicke der Querträger über die Empfehlung der Norm, $t_{max.} = 20 \text{ mm}$, anzuheben.

8. Anhang

8.1 Literaturverzeichnis

- [1] ÖNORM EN 1990: Grundlagen der Tragwerksplanung. März 2003
- [2] ÖNORM EN 1990 A1: Grundlagen der Tragwerksplanung – Anhang A2: Anwendung bei Brücken. Dezember 2005
- [3] ÖNORM B 1990-2: Grundlagen der Tragwerksplanung – Teil 2: Brückenbau – nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1990/A1: 2004. März 2003
- [4] ÖNORM EN 1991-1-1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1.1: Allgemeine Einwirkungen – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau. März 2003
- [5] ÖNORM B 1991-1-1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1.1: Allgemeine Einwirkungen
- [6] ÖNORM EN 1991-2: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken. August 2004
- [7] ÖNORM B 1991-2: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2: Verkehrslasten auf Brücken – Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-2 und nationale Ergänzungen. August 2004
- [8] ÖNORM EN 1993-1-1: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau. November 2005
- [9] ÖNORM EN 1993-1-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-5: Plattenbeulen. November 2005
- [10] ÖNORM EN 1993-1-9: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung. November 2005
- [11] ÖNORM EN 1993-2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 2: Stahlbrücken. November 2005
- [12] ÖBB Infrastruktur AG: B 45 - Technische Richtlinien für Eisenbahnbrücken, Bahnüberbrückungen und verwandte Bauwerke. März 2005
- [13] ÖBB Infrastruktur AG: Richtlinien für das Entwerfen von Bahnanlagen. Mai 2002
- [14] RVE 06.00.01: Technische Richtlinien für Eisenbahnbrücken. November 2005
- [15] FINK, Josef: Skriptum Stahlbau 3, Technische Universität Wien, Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau. Juni 2004
- [16] Riel Markus, Wiesinger Andreas: Diplomarbeit: Vereinfachte Last- und Tragmodelle für Eisenbahnbrücken auf Grundlage aktueller Eurocodes, Institut für Tragkonstruktionen – Stahlbau. Oktober 2006
- [17] Müller Michael, Bauer Thomas, Uth Hans-Joachim: Eisenbahnbrückenbau nach DIN–Fachbericht, Beispiele prüffähiger Standsicherheitsnachweise, Band 2 Stählerne Stabbogenbrücken nach DIN-Fachbericht 101 und 103, Bauwerk 2003
- [18] Acht Ziviltechniker GmbH: ÖBB Regeldetail: Radweg für Stahltrögbrücke mit Geländer und Lärmschutzwand – Detail A-A laut Regelplan Nr. 30021. Plannummer 3341. Dezember 2005

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 01	Querschnitt einer eingleisigen Eisenbahnbrücke.....	15
Abb. 02	Brückenquerschnitte bei 2,5 m / 3,5 m / 4,0 m Querträgerabstand	18
Abb. 03	Detail A laut ÖBB Regeldetailplanung [18]	19
Abb. 04	Eigengewichte ($G_{1,LR}$) und Abmessungen der Längsrippen bei $e_{QT} = 2,5$ m... 21	
Abb. 05	Eigengewichte ($G_{1,LR}$) und Abmessungen der Längsrippen bei $e_{QT} = 3,5$ m... 22	
Abb. 06	Eigengewichte ($G_{1,QT}$) und Abmessungen der Querträger (ohne Deckblech). 23	
Abb. 07	Längs- und Querverteilung der Lasten durch Schienen, Schwellen und Schotterbett	26
Abb. 08	Hebelgesetz zur Querverteilung der Ausbaulast $G_{2,LR}$	27
Abb. 09	Lastmodell LM 71	28
Abb. 10	Lastbild LM 71 _{aufg1}	28
Abb. 11	Ermittlung des Lastbildes LM 71 _{aufg2}	29
Abb. 12	Längsverteilung einer Einzel- oder Radlast durch die Schiene.....	30
Abb. 13	Hebelgesetz zur Querverteilung der veränderlichen Lasten	31
Abb. 14	Bezeichnungen der Bauteile und der Achsen des Koordinatensystems.....	38
Abb. 15	Bezeichnungen für Fahrbahnen mit Längsrippen und Querträgern laut ÖNORM EN 1993-2 [11].....	38
Abb. 16	Ausbildung des Freischnittes um die Längsrippen laut ÖNORM EN 1993-2 [11]	39
Abb. 17	Bezeichnungen für Fahrbahnen mit Längsrippen und Querträgern.....	40
Abb. 18	Abmessungen des Brückenquerschnitts bei 2,5 m Querträgerabstand	41
Abb. 19	Gesamtabmessungen der Längsrippen bei 2,5 m Querträgerabstand	42
Abb. 20	Gesamtabmessungen der Querträger bei 2,5 m Querträgerabstand	42
Abb. 21	Bezeichnungen der Teilgurte für die Ermittlung der mittragenden Breiten	43
Abb. 22	Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen 1&4	47
Abb. 23	Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen 2&3	48
Abb. 24	Gesamtabmessungen der Querträger bei 2,5 m Querträgerabstand	49
Abb. 25	Querschnittswerte der Querträger bei 2,5 m Querträgerabstand.....	51

Abb. 26	Abmessungen des Brückenquerschnittes bei 3,5 m Querträgerabstand	52
Abb. 27	Gesamtabmessungen der Längsrippen bei 3,5 m Querträgerabstand	53
Abb. 28	Gesamtabmessungen der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand	53
Abb. 29	Bezeichnungen der Teilgurte zur Ermittlung der mittragenden Breiten	54
Abb. 30	Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen 1&4	58
Abb. 31	Querschnitte und Querschnittswerte der Längsrippen 2&3	59
Abb. 32	Gesamtabmessungen der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand	60
Abb. 33	Querschnittswerte der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand.....	62
Abb. 34	Statisches System: Durchlaufträgermodell des Deckbleches.....	63
Abb. 35	Bemessungslasten des Deckbleches für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (Bemessungslasten mit α, Φ_2 und γ).....	64
Abb. 36	Momentenlinie des Deckbleches bei 3,5 m Querträgerabstand für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (Bemessungswerte mit α, Φ_2 und γ)	64
Abb. 37	Charakteristische Lasten des Deckbleches für den Ermüdungsnachweis FLS (Charakteristische Werte ohne Φ_2 und λ)	65
Abb. 38	Charakteristische Momentenlinie des Deckbleches bei 3,5 m Querträger- abstand für den Ermüdungsnachweis FLS (Char. Werte ohne Φ_2 und λ).....	65
Abb. 39	Statisches System: Durchlaufträgermodell der Längsrippen	66
Abb. 40	Querschnittsmodellierung im Programm SOFISTIK	67
Abb. 41	Einflusslinie der Querkraft (LR 2) im Stützbereich (Durchlaufträgerberechnung)	67
Abb. 42	Einflusslinie der Querkraft (LR 2) in Feldmitte (Durchlaufträgerberechnung) .	68
Abb. 43	Einflusslinie des Momentes (LR 2) im Stützbereich (Durchlaufträgerberechnung).....	68
Abb. 44	Einflusslinie des Momentes (LR 2) in Feldmitte (Durchlaufträgerberechnung)	68
Abb. 45	Charakteristische Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Eigengewichtes $G_{1,LR}$	69
Abb. 46	Charakteristische Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge der Ausbaulast $G_{2,LR}$	69
Abb. 47	Charakteristische max. Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71 _{aufg2} (Durchlaufträgerberechnung).....	70

Abb. 48	Charakteristische min. Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71 _{aufg2} (Durchlaufträgerberechnung).....	70
Abb. 49	Charakteristische Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Eigengewichtes G _{1,LR} (Durchlaufträgerberechnung)	71
Abb. 50	Charakteristische Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge der Ausbaulast G _{2,LR} (Durchlaufträgerberechnung)	71
Abb. 51	Charakteristische max. Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71 _{aufg2} (Durchlaufträgerberechnung).....	72
Abb. 52	Charakteristische min. Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71 _{aufg2} (Durchlaufträgerberechnung).....	72
Abb. 53	Statisches System: Trägerrostmodell der Längsrippen	74
Abb. 54	Querschnittsmodellierung im Programm SOFISTIK	75
Abb. 55	Einflusslinien der Querkraft (LR 2) im Stützbereich (Trägerrostberechnung) .	76
Abb. 56	Darstellung aller vier Einflusslinien der Querkraft (LR 2) im Stützbereich (Trägerrostberechnung).....	77
Abb. 57	Einflusslinien der Querkraft (LR 2) in Feldmitte (Trägerrostberechnung)	78
Abb. 58	Darstellung aller vier Einflusslinien der Querkraft (LR 2) in Feldmitte (Trägerrostberechnung).....	79
Abb. 59	Einflusslinien des Momentes (LR 2) im Stützbereich (Trägerrostberechnung)	80
Abb. 60	Darstellung aller vier Einflusslinien des Momentes (LR 2) im Stützbereich (Trägerrostberechnung).....	80
Abb. 61	Einflusslinien des Momentes (LR 2) in Feldmitte (Trägerrostberechnung)	81
Abb. 62	Darstellung aller vier Einflusslinien des Momentes (LR 2) in Feldmitte (Trägerrostberechnung).....	82
Abb. 63	Charakteristische max. Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71 _{aufg2} (Trägerrostberechnung)	82
Abb. 64	Charakteristische min. Querkraftlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71 _{aufg2} (Trägerrostberechnung)	83
Abb. 65	Charakteristische max. Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71 _{aufg2} (Trägerrostberechnung)	83
Abb. 66	Charakteristische min. Momentenlinie der zweiten Längsrippe zufolge des Verkehrslastbildes LM 71 _{aufg2} (Trägerrostberechnung)	84
Abb. 67	Statisches System: Einfeldträgermodell der Querträger	86

Abb. 68	Nachweisschnitte der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand.....	86
Abb. 69	Charakteristisches Eigengewicht $G_{1,QT}$ der Querträger.....	86
Abb. 70	Systembelastung der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand	87
Abb. 71	Charakteristische Auflagerreaktionen aus dem Eigengewicht der Längsrippen $G_{1,LR}$	87
Abb. 72	Charakteristische Auflagerreaktionen aus der Ausbaulast $G_{2,LR}$	88
Abb. 73	Belastende char. Auflagerreaktionen aus dem Verkehrslastbild LM 71 _{aufg2} (Trägerrostberechnung).....	88
Abb. 74	Entlastende char. Auflagerreaktionen aus dem Verkehrslastbild LM 71 _{aufg2} (Trägerrostberechnung).....	89
Abb. 75	Querkraftlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (Bemessungswerte mit α, Φ_2 und γ)	90
Abb. 76	Momentenlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Tragfähigkeitsnachweis ULS (Bemessungswerte mit α, Φ_2 und γ)	91
Abb. 77	Belastung und Geometrie im 1. Zahn der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand	92
Abb. 78	Char. max. Querkraftlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand zur Ermittlung der char. Querkraftlinie (Char. Werte ohne Φ_2 und λ).....	94
Abb. 79	Charakteristische Querkraftlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Ermüdungsnachweis FLS (Charakteristische Werte ohne Φ_2 und λ)..	95
Abb. 80	Char. max. Momentenlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand zur Ermittlung der char. Momentenlinie (Char. Werte ohne Φ_2 und λ).....	96
Abb. 81	Char. Momentenlinie der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Ermüdungsnachweis FLS (Charakteristische Werte ohne Φ_2 und λ).....	96
Abb. 82	Belastung und Geometrie im 1. Zahn der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand	97
Abb. 83	Randnormalspannungen im Stütz- und Feldbereich des Deckbleches	100
Abb. 84	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Deckblech	100
Abb. 85	Nachweisebenen für die Ermüdungsberechnungen der Längsrippen	102
Abb. 86	Bezeichnungen und Abstände der Längsrippen 2&3 für den Ermüdungsnachweis im Stützbereich.....	107
Abb. 87	Bezeichnungen und Abstände der Längsrippen 2&3 für den Ermüdungsnachweis im Bereich 0,2L	110

Abb. 88	Nachweisschnitte der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand.....	112
Abb. 89	Spannungsverteilung im Bereich von Stegausschnitten laut der ÖNORM EN 1993-2 [11]	115
Abb. 90	Belastung und Geometrie im 1. Zahn der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand	116
Abb. 91	Spannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	117
Abb. 92	Nachweisebenen der Querträger für die Ermüdungsberechnung FLS	119
Abb. 93	Belastung und Geometrie im 1. Zahn der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand für den Ermüdungsnachweis FLS.....	126
Abb. 94	Ermüdungswirksame Spannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV) für den Ermüdungsnachweis FLS.....	127
Abb. 95	Nachweispunkte für die Vergleichsspannungen im Deckblech.....	129
Abb. 96	Spannungen im Nachweispunkt A1	130
Abb. 97	Spannungen im Nachweispunkt A2	131
Abb. 98	Gegenüberstellung der Einflusslinien für die Querkraft im Stützbereich	134
Abb. 99	Einflusslinien der Querkraft (LR 2) im Stützbereich aus der Trägerrostberechnung	135
Abb. 100	Gegenüberstellung der Einflusslinien für die Querkraft in Feldmitte	136
Abb. 101	Einflusslinien der Querkraft (LR 2) in Feldmitte aus der Trägerrostberechnung	137
Abb. 102	Gegenüberstellung der Einflusslinien für das Moment im Stützbereich	138
Abb. 103	Einflusslinien des Momentes (LR 2) im Stützbereich aus der Trägerrostberechnung	139
Abb. 104	Gegenüberstellung der Einflusslinien für das Moment in Feldmitte	140
Abb. 105	Einflusslinien des Momentes (LR 2) in Feldmitte aus der Trägerrostberechnung	141
Abb. 106	Gegenüberstellung der charakteristischen Querkräfte aus dem Verkehrslastbild LM 71 _{aufg2}	142
Abb. 107	Grafische Zusammenstellung der Bemessungswerte der Querkräfte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	145
Abb. 108	Gegenüberstellung der charakteristischen Momente aus dem Verkehrslastbild LM 71 _{aufg2}	146

Abb. 109	Grafische Zusammenstellung der Bemessungswerte der Feldmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	148
Abb. 110	Grafische Zusammenstellung der Bemessungswerte der Stützmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	149
Abb. 111	Grafische Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	151
Abb. 112	Grafische Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	152
Abb. 113	Grafische Zusammenstellung der oberen Normalspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	154
Abb. 114	Grafische Zusammenstellung der unteren Normalspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	155
Abb. 115	Grafische Zusammenstellung der Feldmomente für den Ermüdungsnachweis FLS	157
Abb. 116	Grafische Zusammenstellung der Stützmomente für den Ermüdungsnachweis FLS	158
Abb. 117	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 1 im Stützbereich	160
Abb. 118	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 2 im Stützbereich	162
Abb. 119	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 3 im Stützbereich	163
Abb. 120	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 4 im Bereich 0,2L	165
Abb. 121	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L	167
Abb. 122	Nachweisschnitte der Querträger bei 3,5 m Querträgerabstand.....	168
Abb. 123	Grafische Zusammenstellung der Querkräfte im Auflagerbereich (Schnitt II-II)	169
Abb. 124	Grafische Zusammenstellung der Querkräfte im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	170
Abb. 125	Grafische Zusammenstellung der Momente im Feldbereich (Schnitt I-I)	171
Abb. 126	Grafische Zusammenstellung der Momente im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	172
Abb. 127	Grafische Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I)	174

Abb. 128	Grafische Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I)	175
Abb. 129	Grafische Zusammenstellung der Schubspannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)	176
Abb. 130	Grafische Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	177
Abb. 131	Grafische Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	178
Abb. 132	Grafische Zusammenstellung der Schubspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	179
Abb. 133	Grafische Zusammenstellung der Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	180
Abb. 134	Grafische Zusammenstellung der Normalspannungen 1 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	181
Abb. 135	Grafische Zusammenstellung der Normalspannungen 2 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	182
Abb. 136	Grafische Zusammenstellung der Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	183
Abb. 137	Nachweisebenen der Querträger für die Ermüdungsberechnung FLS	184
Abb. 138	Grafische Zusammenstellung der Querkraftdifferenzen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)	186
Abb. 139	Grafische Zusammenstellung der Querkraftdifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	187
Abb. 140	Grafische Zusammenstellung der Momentendifferenzen im Feldbereich (Schnitt I-I)	188
Abb. 141	Grafische Zusammenstellung der Momentendifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	189
Abb. 142	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 1 (Schnitt I-I)	192
Abb. 143	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 2 (Schnitt I-I)	193
Abb. 144	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 3 (Schnitt I-I)	194
Abb. 145	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)	195

Abb. 146	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 4 (Schnitt III-III).....	196
Abb. 147	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen in den Ebenen 4, 5 und 6 (Schnitt III-III).....	197
Abb. 148	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 5 (Schnitt III-III).....	198
Abb. 149	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 6 (Schnitt III-III).....	199
Abb. 150	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	200
Abb. 151	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	202
Abb. 152	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L	205
Abb. 153	Maßgebender Schnitt für den Ermüdungsnachweis FLS	207
Abb. 154	Grafische Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	208

8.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 01	Ständige und veränderliche Einwirkungen.....	17
Tab. 02	Zusammenfassung der Abmessungen der Brückenquerschnitte	20
Tab. 03	Lastaufstellung $G_{1,DB}$	21
Tab. 04	Lastaufstellung $G_{2,DB}$	24
Tab. 05	Lastaufstellung $G_{2,LR}$	25
Tab. 06	Abmessungen der Schwellen nach ÖNORM B 1991-2 [7]	26
Tab. 07	Querverteilungsfaktoren für die Ausbaulast $G_{2,LR}$	27
Tab. 08	Querverteilungsfaktoren für die veränderlichen Lasten	31
Tab. 09	Dynamische Beiwerte für das Deckblech und die Längsrippen	32
Tab. 10	Dynamischer Beiwert der Querträger	33
Tab. 11	Schadenäquivalenzfaktoren für die Längsrippen.....	34
Tab. 12	Schadenäquivalenzfaktoren für die Querträger	34
Tab. 13	Bezeichnungen der geführten Nachweise	35
Tab. 14	Beiwerte für die Nachweise ULS und FLS.....	36
Tab. 15	Quellen für die Beiwerte in Tab. 14	36
Tab. 16	Abmessungen und Abstände für Fahrbahnen mit Längsrippen und Querträgern	39
Tab. 17	Zusammenstellung der verwendeten Einwirkungen der drei Bauteile	63
Tab. 18	Bemessungsmomente des Deckbleches für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	65
Tab. 19	Charakteristische Momente des Deckbleches für den Ermüdungsnachweis FLS (Charakteristische Werte ohne Φ_2 und λ).....	66
Tab. 20	Bemessungswerte der Querkräfte (Durchlaufträgerberechnung)	70
Tab. 21	Bemessungswerte der Momente (Durchlaufträgerberechnung)	72
Tab. 22	Charakteristische Momentendifferenzen (Durchlaufträgerberechnung)	73
Tab. 23	Bemessungswerte der Querkräfte (Trägerrostberechnung)	83
Tab. 24	Bemessungswerte der Momente (Trägerrostberechnung)	84
Tab. 25	Charakteristische Momentendifferenzen (Trägerrostberechnung).....	85

Tab. 26	Charakteristische Auflagerkräfte aus dem Eigengewicht der Längsrippen $G_{1,LR}$	87
Tab. 27	Charakteristische Auflagerkräfte aus der Ausbaulast $G_{2,LR}$	88
Tab. 28	Belastende char. Auflagerreaktionen aus dem Verkehrslastbild LM 71 _{aufg2}	89
Tab. 29	Entlastende char. Auflagerreaktionen aus dem Verkehrslastbild LM 71 _{aufg2} ...	90
Tab. 30	Bemessungswerte der Querkräfte im Auflagerbereich (Schnitt II-II).....	91
Tab. 31	Bemessungswerte der Querkräfte im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	91
Tab. 32	Bemessungswerte der Momente im Feldbereich (Schnitt I-I)	91
Tab. 33	Bemessungswerte der Momente im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	92
Tab. 34	Aufintegrierte Schubkräfte im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	93
Tab. 35	Lokale Lasteinleitungskräfte P_1 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	94
Tab. 36	Lokale Lasteinleitungskräfte P_2 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	94
Tab. 37	Querkraftdifferenzen im Auflagerbereich (Schnitt II-II).....	95
Tab. 38	Querkraftdifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III).....	95
Tab. 39	Momentendifferenzen im Feldbereich (Schnitt I-I)	96
Tab. 40	Momentendifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III).....	96
Tab. 41	Aufintegrierte Schubkraftdifferenzen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	98
Tab. 42	Lokale Lasteinleitungskraftdifferenzen ΔP_1 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	98
Tab. 43	Lokale Lasteinleitungskraftdifferenzen ΔP_2 im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	98
Tab. 44	Randnormalspannungen im Stützbereich der Längsrippen (Durchlaufträgerberechnung).....	101
Tab. 45	Randnormalspannungen im Feldbereich der Längsrippen (Durchlaufträgerberechnung).....	102
Tab. 46	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 1 (Durchlaufträgerberechnung).....	103
Tab. 47	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 2 (Durchlaufträgerberechnung).....	103

Tab. 48	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 3 (Durchlaufträgerberechnung).....	103
Tab. 49	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich 0,2L der Längsrippen für die Ebene 4 (Durchlaufträgerberechnung).....	104
Tab. 50	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich 0,2L der Längsrippen für die Ebene 5 (Durchlaufträgerberechnung).....	104
Tab. 51	Randnormalspannungen im Stützbereich der Längsrippen (Trägerrostberechnung).....	106
Tab. 52	Randnormalspannungen im Feldbereich der Längsrippen (Trägerrostberechnung).....	106
Tab. 53	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 1 (Trägerrostberechnung).....	108
Tab. 54	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 2 (Trägerrostberechnung).....	109
Tab. 55	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Stützbereich der Längsrippen für die Ebene 3 (Trägerrostberechnung).....	109
Tab. 56	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich 0,2L der Längsrippen für die Ebene 4 (Trägerrostberechnung).....	111
Tab. 57	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich 0,2L der Längsrippen für die Ebene 5 (Trägerrostberechnung).....	111
Tab. 58	Randnormalspannungen im Feldbereich der Querträger (Schnitt I-I).....	113
Tab. 59	Schubspannungen im Auflagerbereich der Querträger (Schnitt II-II).....	114
Tab. 60	Randnormalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe der Querträger (Schnitt III-III).....	114
Tab. 61	Schubspannungen im Bereich der 1. Längsrippe der Querträger (Schnitt III-III).....	115
Tab. 62	Vergleichsspannungen im Bereich der 1. Längsrippe der Querträger (Schnitt III-III).....	115
Tab. 63	Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	118
Tab. 64	Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	118
Tab. 65	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I) der Querträger für die Ebene 1.....	121
Tab. 66	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I) der Querträger für die Ebene 2.....	121

Tab. 67	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I) der Querträger für die Ebene 3	122
Tab. 68	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III) der Querträger für die Ebene 4	123
Tab. 69	Ermüdungswirksame Schubspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III) der Querträger für die Ebene 4	123
Tab. 70	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III) der Querträger für die Ebene 5	124
Tab. 71	Ermüdungswirksame Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III) der Querträger für die Ebene 6	125
Tab. 72	Ermüdungswirksame Schubspannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II) der Querträger	126
Tab. 73	Ermüdungswirksame Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	128
Tab. 74	Ermüdungswirksame Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	129
Tab. 75	Vergleichsspannungen im Nachweispunkt A1	130
Tab. 76	Vergleichsspannungen im Nachweispunkt A2	132
Tab. 77	Zusammenstellung der Bemessungswerte der Querkräfte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	144
Tab. 78	Zusammenstellung der Bemessungswerte der Querkräfte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	144
Tab. 79	Zusammenstellung der Bemessungswerte der Feldmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	147
Tab. 80	Zusammenstellung der Bemessungswerte der Feldmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	147
Tab. 81	Zusammenstellung der Bemessungswerte der Stützmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	148
Tab. 82	Zusammenstellung der Bemessungswerte der Stützmomente für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	149
Tab. 83	Zusammenstellung der oberen Randspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	150
Tab. 84	Zusammenstellung der oberen Randspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	150
Tab. 85	Zusammenstellung der unteren Randspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	151

Tab. 86	Zusammenstellung der unteren Randspannungen im Stützbereich für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	152
Tab. 87	Zusammenstellung der oberen Randspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	153
Tab. 88	Zusammenstellung der oberen Randspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	153
Tab. 89	Zusammenstellung der unteren Randspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	154
Tab. 90	Zusammenstellung der unteren Randspannungen in Feldmitte für den Tragfähigkeitsnachweis ULS	155
Tab. 91	Zusammenstellung der charakteristischen Momentendifferenzen in Feldmitte für den Ermüdungsnachweis FLS.....	156
Tab. 92	Zusammenstellung der charakteristischen Momentendifferenzen in Feldmitte für den Ermüdungsnachweis FLS.....	156
Tab. 93	Zusammenstellung der charakteristischen Momentendifferenzen im Stützbereich für den Ermüdungsnachweis FLS.....	157
Tab. 94	Zusammenstellung der charakteristischen Momentendifferenzen im Stützbereich für den Ermüdungsnachweis FLS.....	158
Tab. 95	Nachweisebenen für die Ermüdungsberechnung FLS	159
Tab. 96	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 1 im Stützbereich (Längsrippen 1&4)	159
Tab. 97	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 1 im Stützbereich (Längsrippen 2&3)	160
Tab. 98	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 2 im Stützbereich (Längsrippen 1&4)	161
Tab. 99	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 2 im Stützbereich (Längsrippen 2&3)	161
Tab. 100	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 3 im Stützbereich (Längsrippen 1&4)	162
Tab. 101	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 3 im Stützbereich (Längsrippen 2&3)	163
Tab. 102	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 4 im Bereich 0,2L (Längsrippen 1&4)	164
Tab. 103	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 4 im Bereich 0,2L (Längsrippen 2&3)	164

Tab. 104	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L (Längsrippen 1&4)	165
Tab. 105	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L (Längsrippen 2&3)	166
Tab. 106	Zusammenstellung der Querkräfte im Auflagerbereich (Schnitt II-II)	168
Tab. 107	Zusammenstellung der Querkräfte im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	169
Tab. 108	Zusammenstellung der Momente im Feldbereich (Schnitt I-I)	170
Tab. 109	Zusammenstellung der Momente im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	171
Tab. 110	Zusammenstellung der Schubkräfte im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	172
Tab. 111	Zusammenstellung der lokalen Lasteinleitungskräfte (Punkt 1) im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	173
Tab. 112	Zusammenstellung der lokalen Lasteinleitungskräfte (Punkt 2) im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	173
Tab. 113	Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I)	174
Tab. 114	Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Feldbereich (Schnitt I-I)	175
Tab. 115	Zusammenstellung der Schubspannungen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)	176
Tab. 116	Zusammenstellung der oberen Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	177
Tab. 117	Zusammenstellung der unteren Normalspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	178
Tab. 118	Zusammenstellung der Schubspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	179
Tab. 119	Zusammenstellung der Vergleichsspannungen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III)	180
Tab. 120	Zusammenstellung der Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	181
Tab. 121	Zusammenstellung der Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	182
Tab. 122	Zusammenstellung der Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV)	183

Tab. 123	Zusammenstellung der Querkraftdifferenzen im Auflagerbereich (Schnitt II-II)	185
Tab. 124	Zusammenstellung der Querkraftdifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III).....	186
Tab. 125	Zusammenstellung der Momentendifferenzen im Feldbereich (Schnitt I-I)...	187
Tab. 126	Zusammenstellung der Momentendifferenzen im Bereich der 1. Längsrippe (Schnitt III-III).....	188
Tab. 127	Zusammenstellung der Schubkraftdifferenzen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	189
Tab. 128	Zusammenstellung der lokalen Lasteinleitungskraftdifferenzen (Punkt 1) im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	190
Tab. 129	Zusammenstellung der lokalen Lasteinleitungskraftdifferenzen (Punkt 2) im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	190
Tab. 130	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 1 (Schnitt I-I).....	191
Tab. 131	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 2 (Schnitt I-I).....	192
Tab. 132	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 3 (Schnitt I-I).....	193
Tab. 133	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen in der Ebene 3 (Schnitt II-II).....	195
Tab. 134	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 4 (Schnitt III-III).....	196
Tab. 135	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen in der Ebene 4 (Schnitt III-III).....	197
Tab. 136	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 5 (Schnitt III-III).....	198
Tab. 137	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen in der Ebene 6 (Schnitt III-III).....	199
Tab. 138	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	200
Tab. 139	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Schubspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	201
Tab. 140	Zusammenstellung der Integralwerte der Einflusslinien für 3,5 m Querträgerabstand	203

Tab. 141	Maßgebende Ebene für den Ermüdungsnachweis FLS	204
Tab. 142	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen der Ebene 5 im Bereich 0,2L.....	205
Tab. 143	Unterschiede der Schnittgrößen der Querträger (Trägerrostberechnung)....	206
Tab. 144	Zusammenstellung der ermüdungswirksamen Normalspannungen im 1. Zahn der Querträger (Schnitt IV-IV).....	207