Statischer Nachweis
einer Aluminiumbohle

Bauort:

n.b.

Auftraggeber:

Schmees & Lühn Holz- und Stahlingenieurbau GmbH & Co. KG
Lathener Straße 1
49779 Niederlangen

Aufsteller:

LINDSCHULTE Ingenieurgesellschaft mbH
Weseler Straße 253
48151 Münster
Rufnr.: 0251 6189999 34
Internet: www.lindschulte.de

Aufgestellt:

Münster, den 08.06.2026

i.A. B. Deinken

i.A. Benedikt Deinken M.Sc.
E-Mail: benedikt.deinken@lindschulte.de

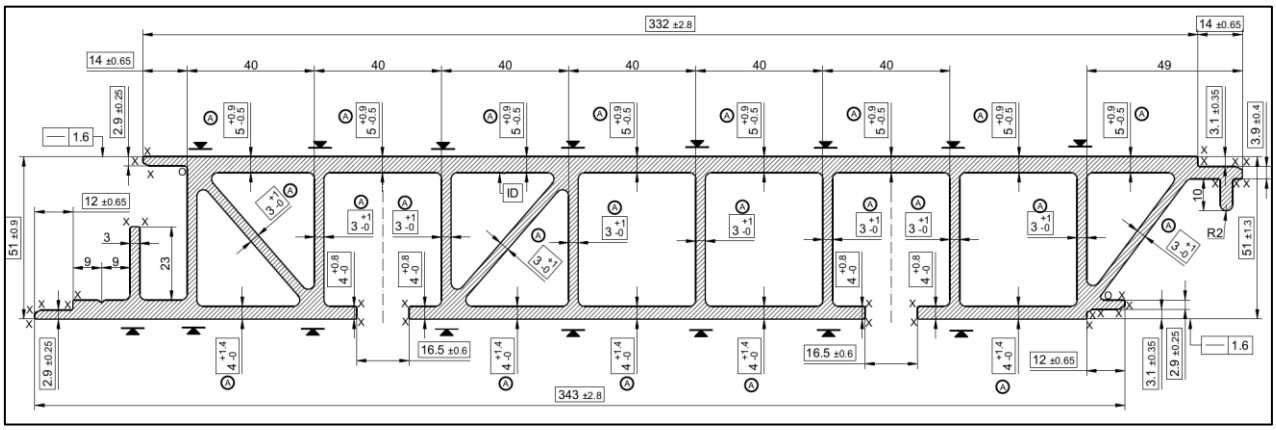
Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines ... 3
1.1 Querschnitt ... 3
1.2 Statische Systeme ... 4
1.3 Baustoffangaben ... 4
1.4 Technische Vorschriften ... 5
1.5 Abweichungen von Regelwerken ... 5
2 Einwirkungen ... 6
2.1 Ständige Einwirkungen ... 6
2.2 Veränderliche Einwirkungen ... 6
2.2.1 Gleichmäßig verteilte Flächenlast ... 6
2.2.2 Konzentrierte Einzellast ... 6
2.2.3 Planmäßiges Dienstfahrzeug ... 6
2.3 Teilsicherheitsbeiwerte ... 7
3 Querschnittsklassen ... 7
3.1 Allgemeines ... 7
3.2 Regelbereich Obergurt- und Untergurt ... 7
3.3 Regelbereich Steg und Diagonale ... 7
3.4 Sonderbereich 1: Auskragung Deckblech links ... 8
3.5 Angesetzter Querschnitt für GZT und GZT Berechnungen ... 8
4 Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ... 10
4.1 Spannung in Bohlenquerrichtung ... 10
4.1.1 LF Menschenmenge ... 10
4.1.2 LF konzentrierte Einzellast ... 10
4.1.3 LF Dienstfahrzeug ... 11
4.2 Spannungen in Längsrichtung ... 12
4.2.1 System 1: Einfeldträger, Breite zw. Geländer = 2,50m ... 12
4.2.1.1 LF Menschenmenge ... 12
4.2.1.2 LF konzentrierte Einzellast ... 12
4.2.2 System 2: Mehrfeldträger mit Einzelstützweite 1,50m ... 12
4.2.2.1 LF 3,5to Dienstfahrzeug ... 12
4.2.3 System 3: Mehrfeldträger mit Einzelstützweite 1,00m ... 13
4.2.3.1 LF 12to Dienstfahrzeug ... 13
4.3 Überlagerung der Spannungen ... 14
4.3.1 System 1 ... 14
4.3.2 System 2 ... 14
4.3.3 System 3 ... 14
5 Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ... 15
5.1 System 1 ... 15

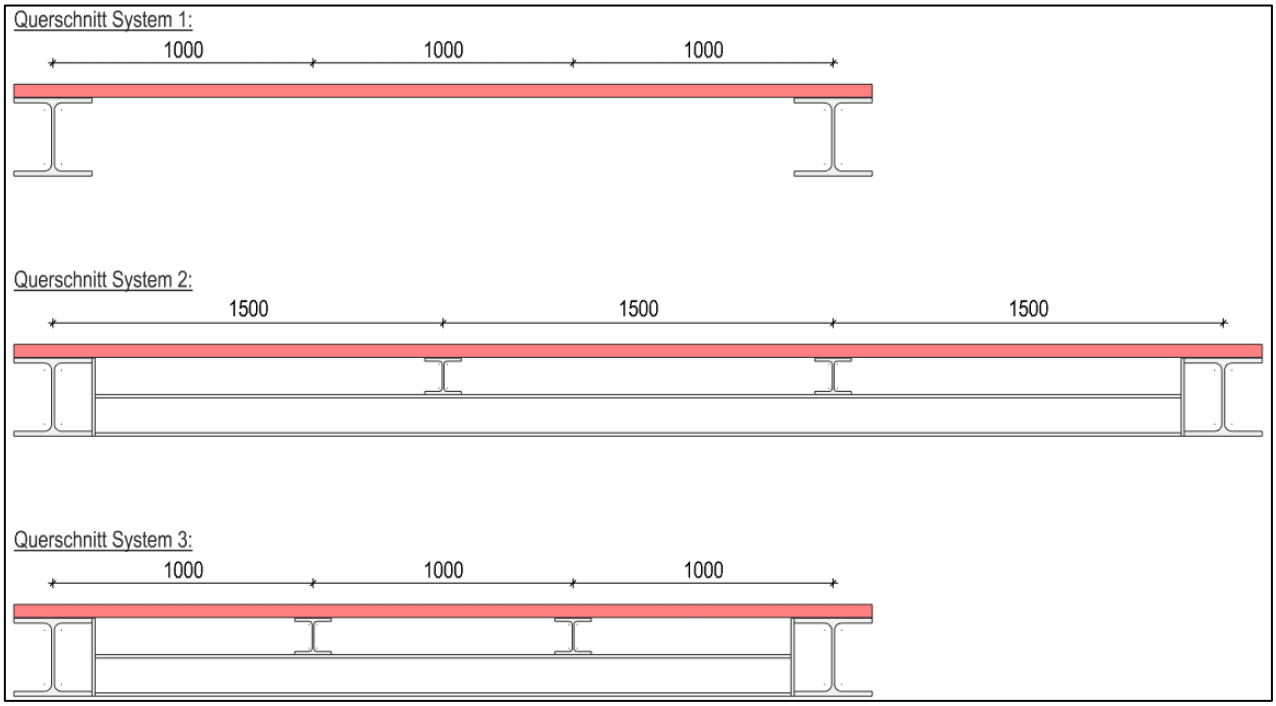
5.2 System 2 15
5.3 System 3 16
6 Schraubverbindungen 17
6.1 System 1 17
6.2 System 2 18
6.3 System 3 21
7 Anhang 25
7.1 Prüfbericht Auftrag – Nr.: 27/15 (Ausziehwiderstand Trimax Bohle) 25

1 Allgemeines

1.1 Querschnitt



1.2 Statische Systeme



1.3 Baustoffangaben

Die Bohle wird aus Aluminium EN AW-6005 T6 als Strangpressprofil gefertigt.

→DIN EN 1999-1-1 C.2.1 (1)

	Beschreibung	Symbol	Wert	Einheit
1	**Grundlegende Eigenschaften**			
2	**Elastizitätsmodul**	**E**	**70000,0**	**N/mm2**
3	**Schubmodul**	**G**	**27000,0**	**N/mm2**
4	**Querdehnzahl**	**ν**	**0,296**	**--**
5	**Dichte**	**ρ**	**2700,00**	**kg/m3**
6	**Spezifisches Gewicht**	**γ**	**27,00**	**kN/m3**
7	**Wärmedehnzahl**	**α**	**0,000023**	**1/°C**
8				
9	**Festigkeiten**			
10	**Anzahl der Dickenbereiche**	**n**	**2**	**--**
11				
12	**Dickenbereich Nr. 1**			
13	**Maximale Dicke**	**tmax**	**5,0**	**mm**
14	**Charakteristischer Wert der 0.2 %-Dehngrenz**	**fo**	**21,50**	**kN/cm2**
15	**Charakteristischer Wert der Grenzfestigkeit**	**fu**	**25,50**	**kN/cm2**
16	**0.2 %-Dehngrenze in Wärmeeinflusszone, WE**	**fo,wez**	**11,50**	**kN/cm2**
17	**Grenzfestigkeit in Wärmeeinflusszone, WEZ**	**fu,wez**	**16,50**	**kN/cm2**
18	**Verhältnis zwischen 0.2 %-Dehngrenze in WE**	**po,wez**	**0,530**	**--**
19	**Verhältnis zwischen Grenzfestigkeit in WEZ u**	**pu,wez**	**0,650**	**--**

Sämtliche Elemente haben eine Dicke von <= 5,0mm. Somit kann überall der Dickenbereich Nr. 1 angesetzt werden. Gemäß DIN EN 1999-1, Tab. 6.1 beträgt der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M = 1{,}1$. Das Material wird als linear elastisch angenommen. Somit beträgt der Bemessungswert der Vergleichsspannung: $\sigma_{Rd} = \frac{21{,}5}{1{,}1} = 19{,}55 kN/cm^2$

1.4 Technische Vorschriften

Folgende technischen Vorschriften, Gutachten und Bestandsunterlagen wurden der Planung zu Grunde gelegt:

Normen, Richtlinien und Literatur

[01] Eurocode 0 inkl. NA

[02] Eurocode 1 inkl. NA und ARS 22/2012

[03] Eurocode 3 inkl. NA und ARS 22/2012

[04] Eurocode 9 inkl. NA

[05] ZTV-ING [Stand 12/2023]

[06] Schneider Bautabellen, 21. Auflage

1.5 Abweichungen von Regelwerken

Abweichung zur DIN EN 1991-2

„Für Menschenansammlungen, Dienstfahrzeuge auf Brücken, Verkehrslasten auf Hinterfüllungen, die Erddruck erzeugen, gelten die Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN EN 1990, Tabelle NA.A.2.1 Zeile „Alle anderen veränderlichen Einwirkungen“

→ in der ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation wird für q_{fk} $\gamma_{sup} = 1{,}50$ verwendet

2 Einwirkungen

2.1 Ständige Einwirkungen

<u>Eigengewicht:</u>

Das Eigengewicht der Bohle wird programmintern berücksichtigt. Für die Spannungsnachweise kann es vernachlässigt werden.

2.2 Veränderliche Einwirkungen

2.2.1 Gleichmäßig verteilte Flächenlast

→DIN EN 1991-2, Kap. 5.3.2.1

$$q_{fk} = 5{,}00 kN/m^2$$

Eine Abminderung wird nicht vorgenommen.

→DIN EN 1991-2, Kap. 5.4 (2)

10% der vertikalen Einwirkung wird in horizontaler Richtung angesetzt. (Brückenlängsrichtung)

$$q_{flk} = 0{,}1 \cdot 5{,}00 = 0{,}50 kN/m^2$$

2.2.2 Konzentrierte Einzellast

→DIN EN 1991-2, Kap. 5.3.2.2

$Q_{fw} = 10kN$, Aufstandsfläche 100*100mm

2.2.3 Planmäßiges Dienstfahrzeug

→In Anlehnung an DIN EN 1991-2, Kap. 5.6.3, Bild 5.2

Es wird ein Dienstfahrzeug mit einer Gesamtmasse von 3,5 Tonnen (System 2) bzw. 12 Tonnen (System 3) in Anlehnung an Bild 5.2 gewählt. Die vordere Achslast beträgt $\frac{2}{3}$ der Gesamtlast. Somit beträgt die Radlast $\frac{1}{3}$ der Gesamtlast mit einer Aufstandsfläche von 200*200mm. Der Achsabstand beträgt 3,00m. Somit wird eine Bohle nur durch eine Achse belastet. Der Radabstand in Querrichtung beträgt 1,30m. Es werden nur geometrisch mögliche Radstellungen untersucht.

→DIN EN 1991-2, Kap. 5.4 (2)

60% der vertikalen Einwirkung wird in horizontaler Richtung angesetzt. (Brückenlängsrichtung)

2.3 Teilsicherheitsbeiwerte

Einwirkung	GZT-Ständig & vor.	GZG-char.
Eigengewicht	1,35	1,00
Gleichmäßig verteilte Flächenlast	1,50	1,00
Konzentrierte Einzellast	1,50	/
Planmäßiges Dienstfahrzeug	1,35	1,00

3 Querschnittsklassen

3.1 Allgemeines

Das Nachweisformat beruht auf einem linear elastischen Materialverhalten bis zum Erreichen der Dehngrenze. Somit muss das Ziel sein, dass jedes Querschnittsteil mindestens der Querschnittsklasse 3 zugeordnet werden kann.

→DIN EN 1999-1-1, Kap. 6.1.4.2 (1)

Querschnitte der Klasse 3 erreichen in der äußersten druckbeanspruchten Faser des Aluminiumbauteils die Dehngrenze, können aber wegen örtlichen Beulens nicht die plastische Momententragfähigkeit entwickeln.

Unabhängig der Nachweisstelle gilt:

$\epsilon = \sqrt{\frac{250}{f_0}} = \sqrt{\frac{250}{255}} = 0{,}99$ (nach Tab. 6.2)

Die Werkstoffklassifikation nach Tabelle 3.2 ist „Klasse A, ungeschweißt“

3.2 Regelbereich Obergurt- und Untergurt

Grundtyp: I (inneres beidseitig gehaltenes Teil) nach Bild 6.1

Fall nach 6.1.4.3 (1): Fall a)

$b = 33mm$; $t = 4mm$ (Ausrundungsradien berücksichtigt)

$\beta = \frac{b}{t} = \frac{33}{4} = 8{,}25$

$\frac{\beta}{\epsilon} = 8{,}33 < 11 \rightarrow QSK\ 1$ (innenliegende Teilfläche)

3.3 Regelbereich Steg und Diagonale

Grundtyp: I (inneres beidseitig gehaltenes Teil) nach Bild 6.1

Fall nach 6.1.4.3 (1): Fall a)*

* durch den lokalen Druck aus der Radlast wird der Steg wie ein vollständig gedrücktes QST betrachtet.

$b = 43{,}26mm$; $t = 3mm$ (Ausrundungsradien berücksichtigt)

$\beta = \frac{b}{t} = \frac{43{,}26}{3} = 14{,}42$

$\frac{\beta}{\epsilon} = 14{,}57 < 16 \rightarrow QSK\ 2$ (innenliegende Teilfläche)

3.4 Sonderbereich 1: Auskragung Deckblech links

Grundtyp: UO (unsymmetrisch auskragendes Teil) nach Bild 6.1

Fall nach 6.1.4.3 (1): Fall a)

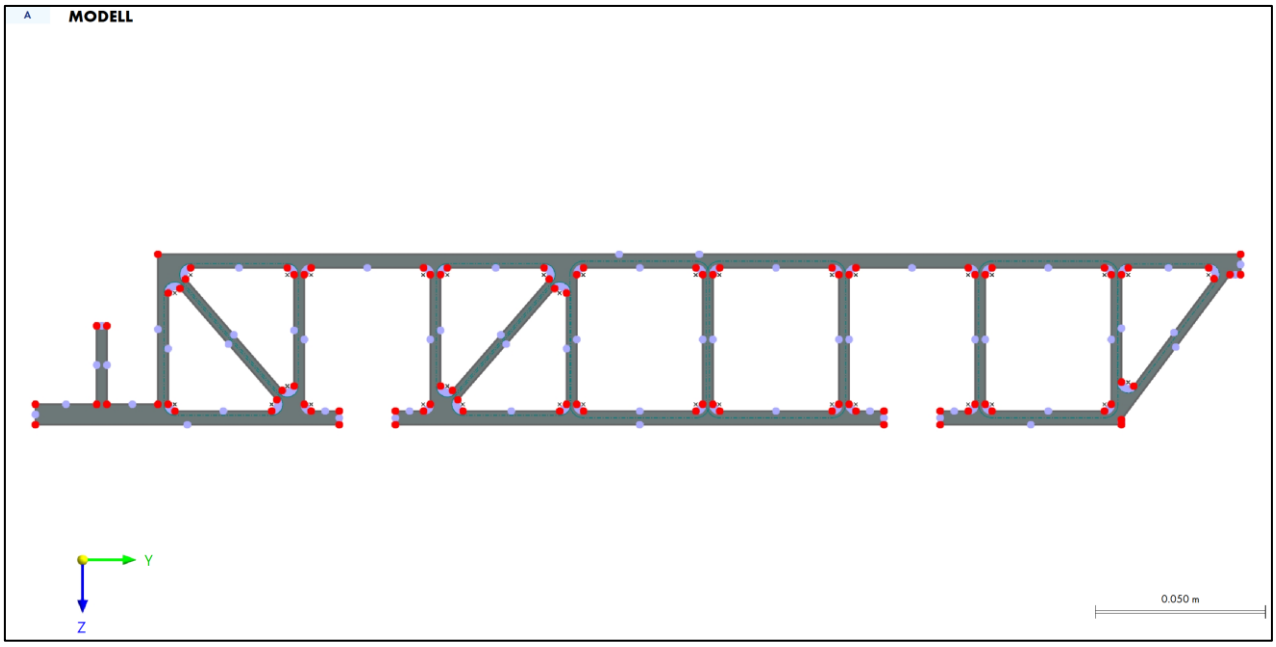
$b = 13{,}5mm$; $t = 2mm$ (Ausrundungsradien zum Steg berücksichtigt)

$\beta = \frac{b}{t} = \frac{13{,}5}{2} = 6{,}75$

$\frac{\beta}{\epsilon} = 6{,}82 > 6 \rightarrow QSK\ 4$ (außenliegende Teilfläche)

Dieser QST wird für die Bemessung entfallen.

3.5 Angesetzter Querschnitt für GZT und GZT Berechnungen



3.1 QUERSCHNITTSWERTE

Finite-Element-Analyse

Beschreibung	Symbol	Wert	Einheit	Kommentar
Geometrie				
Höhe	h	50.0	mm	
Breite	b	354.0	mm	
Querschnittsfläche				
Querschnittsfläche	A	41.37	cm^2	
Geometrische Querschnittsfläche	A_{geom}	41.37	cm^2	
Biegung				
Lage der Schwerachse in y-Richtung	e_y	203.8	mm	Bezogen auf den Nullpunkt
Lage der Schwerachse in z-Richtung	e_z	-105.0	mm	Bezogen auf den Nullpunkt
Flächenträgheitsmoment um y-Achse	I_y	156.59	cm^4	
Flächenträgheitsmoment um z-Achse	I_z	4090.41	cm^4	
Zentrifugalmoment um y,z-Achsen	I_{yz}	-139.14	cm^4	
Flächenträgheitsmoment um u-Achse	I_u	151.67	cm^4	
Flächenträgheitsmoment um v-Achse	I_v	4095.32	cm^4	
Polares Flächenträgheitsmoment	I_p	4246.99	cm^4	
Polares Flächenträgheitsmoment bezogen auf den Schubmittelpunkt	$I_{p,SC}$	4469.49	cm^4	
Hauptachsenneigung	α	-2.02	°	
Trägheitsradius um y-Achse	i_y	19.5	mm	
Trägheitsradius um z-Achse	i_z	99.4	mm	
Trägheitsradius um y,z-Achsen	i_{yz}	18.3	mm	
Trägheitsradius um u-Achse	i_u	19.1	mm	
Trägheitsradius um v-Achse	i_v	99.5	mm	
Polarer Trägheitsradius	i_p	101.3	mm	
Polarer Trägheitsradius bezogen auf den Schubmittelpunkt	$i_{p,SC}$	103.9	mm	
Elastisches Widerstandsmoment um y-Achse	$W_{y,min}$	-51.82	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um y-Achse	$W_{y,max}$	50.26	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um z-Achse	$W_{z,min}$	-252.15	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um z-Achse	$W_{z,max}$	233.59	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um u-Achse	$W_{u,min}$	-51.40	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um u-Achse	$W_{u,max}$	49.81	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um v-Achse	$W_{v,min}$	-223.44	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um v-Achse	$W_{v,max}$	237.74	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um y-Achse	W_y	50.26	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um z-Achse	W_z	233.59	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um u-Achse	W_u	49.81	cm^3	
Elastisches Widerstandsmoment um v-Achse	W_v	223.44	cm^3	

4 Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit

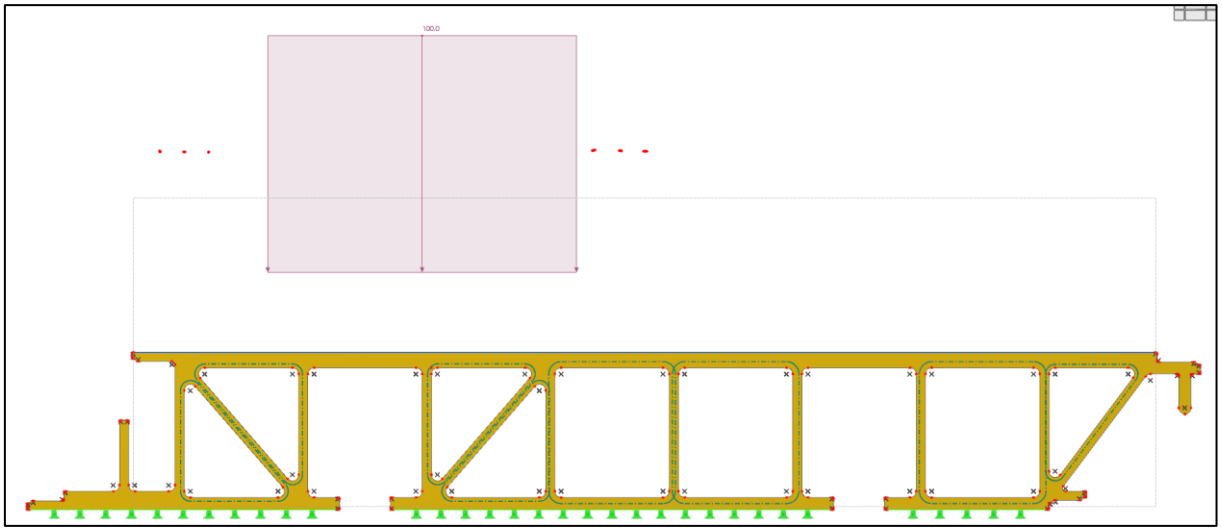
4.1 Spannung in Bohlenquerrichtung

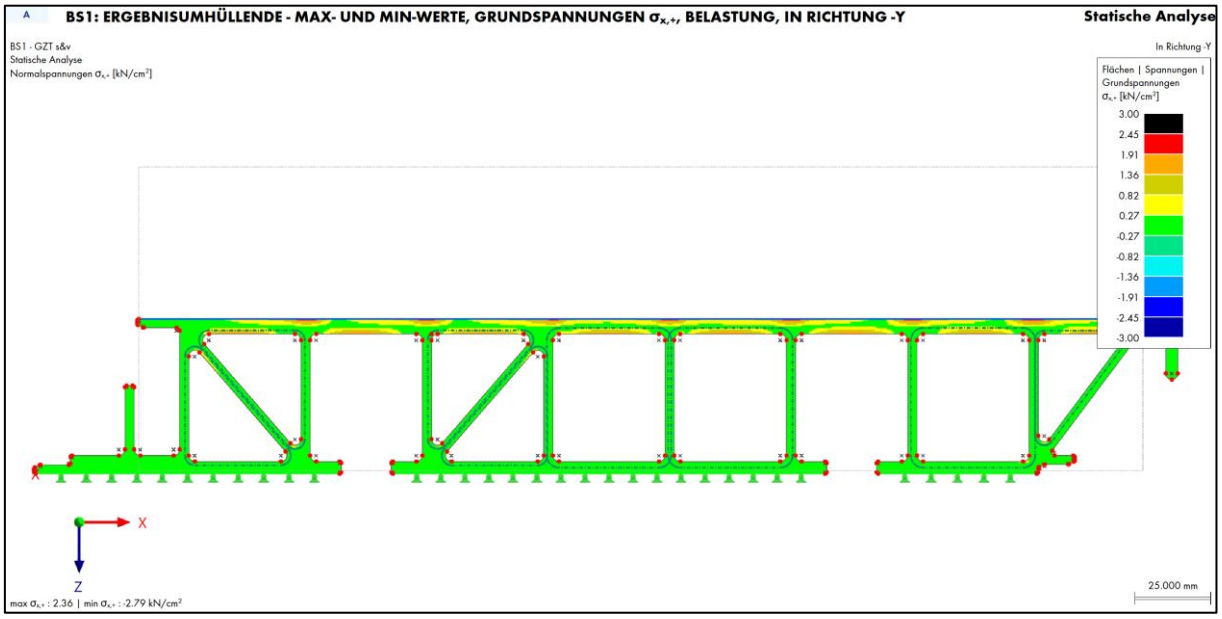
4.1.1 LF Menschenmenge

Die Spannungen in Querrichtung aus dem Lastfall $q_{fk} = 5{,}0kN/m^2$ sind vernachlässigbar klein

4.1.2 LF konzentrierte Einzellast

Die Spannungen in Querrichtung aus dem Lastfall $Q_{fw} = 10kN$ werden an einem FE-System in Querrichtung ermittelt. Dabei wird eine Blechdicke von 10cm angesetzt, da dies auch die Aufstandsfläche der konzentrierten Einzellast entspricht.



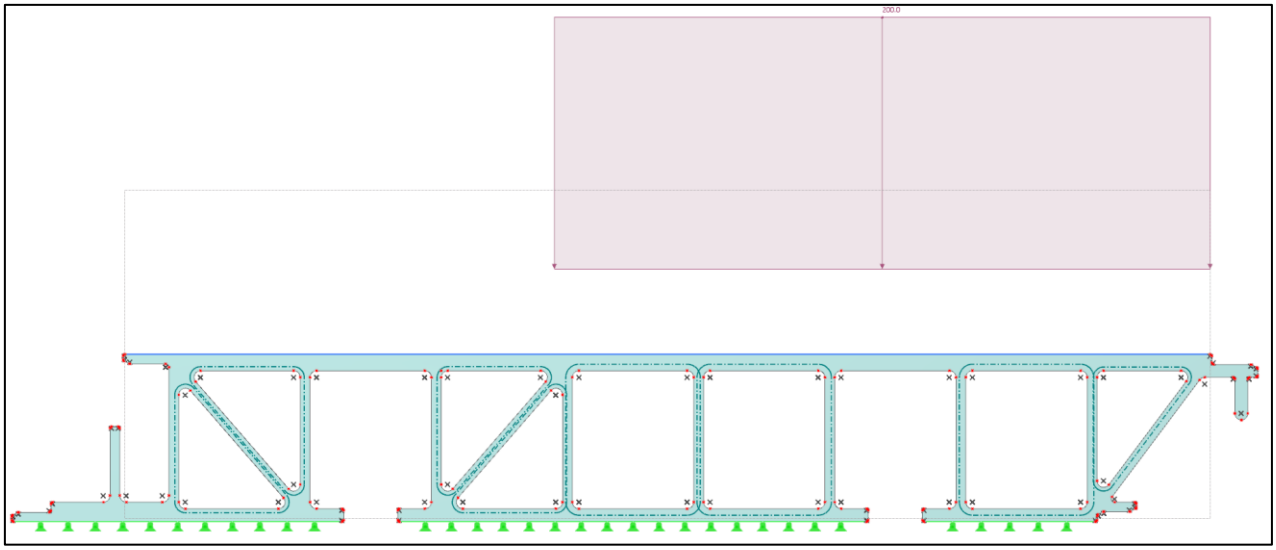


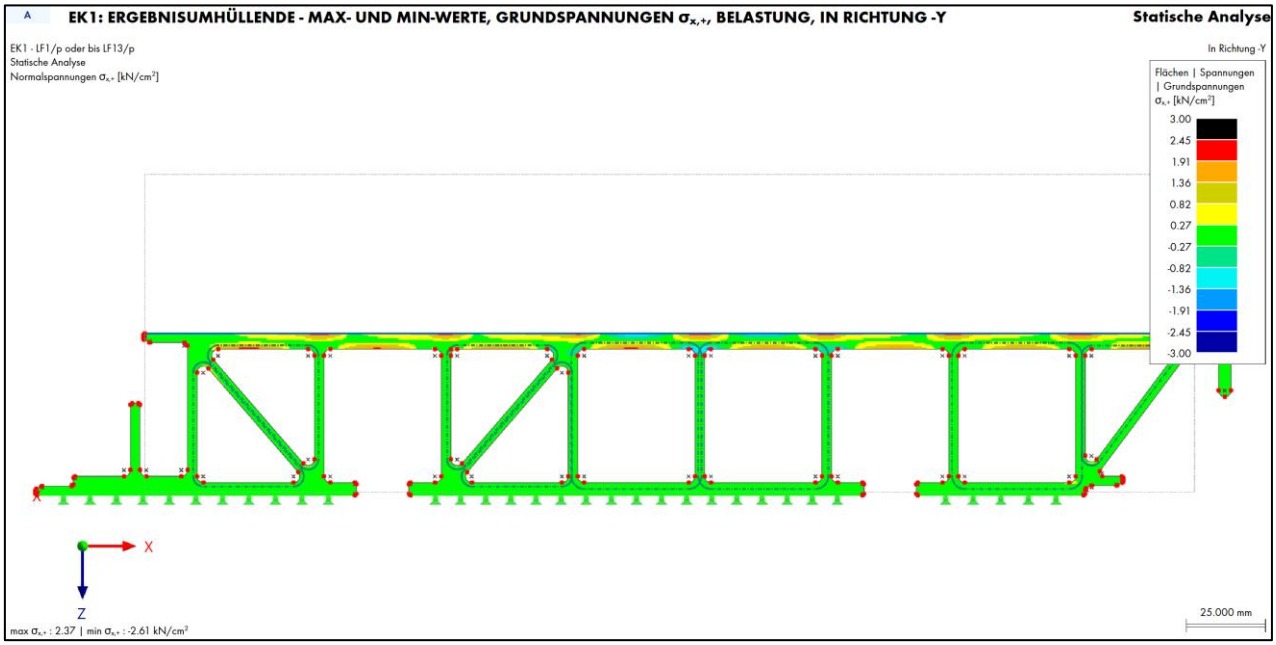
$$\sigma_{y,Qfw,max} = 2{,}36kN/cm^2$$

$$\sigma_{y,Qfw,min} = -2{,}79kN/cm^2$$

4.1.3 LF Dienstfahrzeug

Die Spannungen in Querrichtung aus dem Lastfall Q_{serv} werden an einem FE-System in Querrichtung ermittelt. Dabei wird eine Blechdicke von 20cm angesetzt, da dies auch die Aufstandsfläche des Reifens entspricht. Das folgende Spannungsbild wurde mit einer Radlast von 40kN ermittelt.





$$\sigma_{y,Qserv120,max} = 2{,}37 kN/cm^2$$

$$\sigma_{y,Qserv120,min} = -2{,}61 kN/cm^2$$

Für ein 3,50to Dienstfahrzeug wird entsprechend umgerechnet:

$$\sigma_{y,Qserv35,max} = 0{,}69 kN/cm^2$$

$$\sigma_{y,Qserv35,min} = -0{,}81 kN/cm^2$$

4.2 Spannungen in Längsrichtung

4.2.1 System 1: Einfeldträger, Breite zw. Geländer = 2,50m

Eine Breite von 2,50m zwischen den Geländern entspricht bei einer Auflagerbreite von 10cm etwa einer Stützweite von 2,40m. Mit dieser Stützweite wird weitergerechnet. Hier wird lediglich der Lastfall Menschenmenge und der Lastfall konzentrierte Einzellast betrachtet.

4.2.1.1 LF Menschenmenge

$$\sigma_{x,qfk} = \frac{q \cdot l^2}{8} \cdot \frac{1}{W_y} = \frac{0{,}32 \cdot 5{,}0 \cdot 2{,}40^2}{8} \cdot \frac{100}{50{,}76} = 1{,}152 kNm \cdot \frac{100cm}{50{,}76cm^3} = 2{,}27 kN/cm^2$$

$\tau_{xy,qfk}$ ist vernachlässigbar klein

4.2.1.2 LF konzentrierte Einzellast

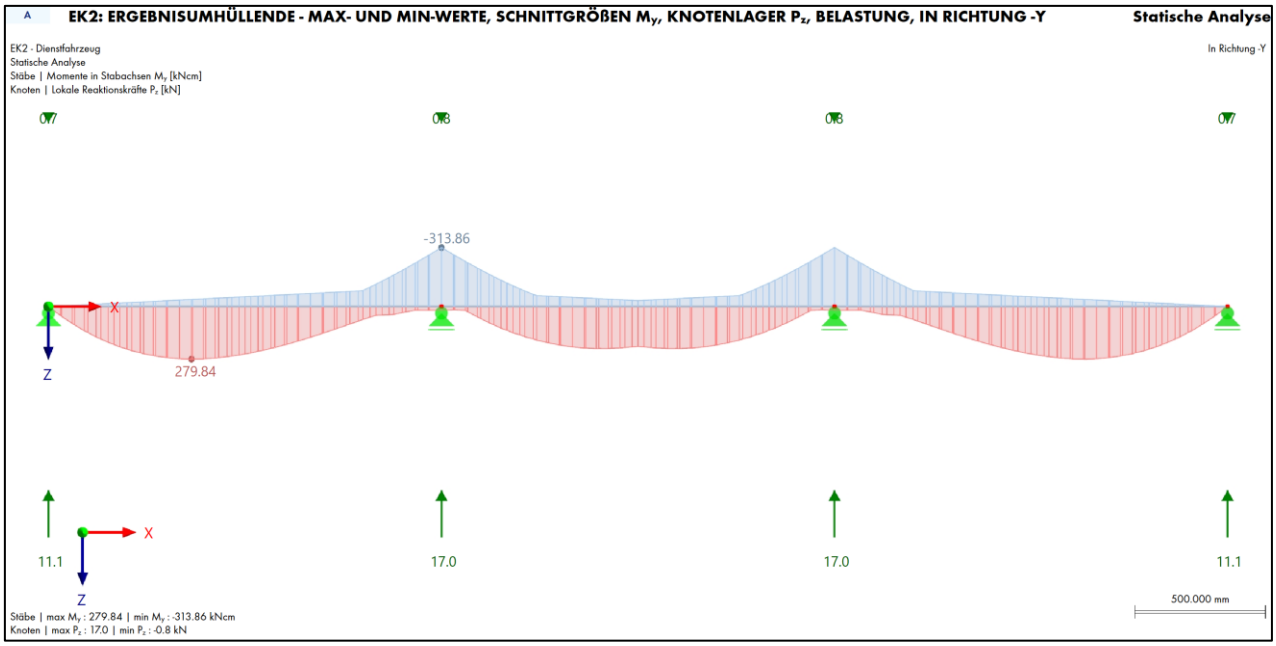
$$\sigma_{x,Qfw} = \frac{F \cdot l}{4} \cdot \frac{1}{W_y} = \frac{10 \cdot 2{,}40}{4} \cdot \frac{100}{-56{,}64} = 6{,}0 kNm \cdot \frac{100cm}{-56{,}64cm^3} = -10{,}59 kN/cm^2$$

$\tau_{xy,Qfw} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10}{3 \cdot 3{,}8 \cdot 0{,}3} = 1{,}46 kN/cm^2$ (Es werden immer mindestens 3 Stege belastet)

4.2.2 System 2: Mehrfeldträger mit Einzelstützweite 1,50m

Dieses System wird gegenüber System 1 für die Lastfälle Menschenmenge und konzentrierte Einzellast nicht maßgebend. Weiterhin wird nur der Lastfall 3,5to DF betrachtet.

4.2.2.1 LF 3,5to Dienstfahrzeug



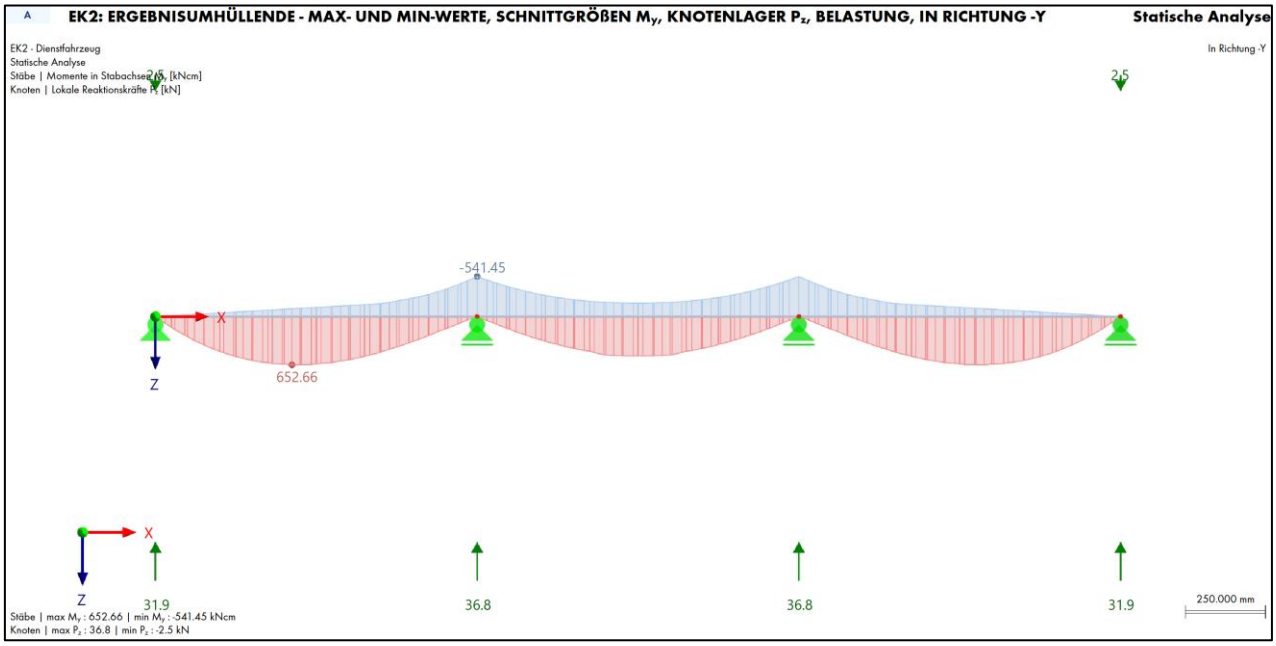
$$\sigma_{x,Qserv,35} = \frac{M_y}{W_{y,min}} = \frac{-314}{50{,}67} = -6{,}20 kN/cm^2$$

$\tau_{xy,Qserv,35} = \frac{1}{2} \cdot \frac{11{,}7}{5 \cdot 3{,}8 \cdot 0{,}3} = 1{,}02 kN/cm^2$ (Es werden immer mindestens 5 Stege belastet)

4.2.3 System 3: Mehrfeldträger mit Einzelstützweite 1,00m

Dieses System wird gegenüber System 1 für die Lastfälle Menschenmenge und konzentrierte Einzellast nicht maßgebend. Weiterhin wird nur der Lastfall 12to DF betrachtet.

4.2.3.1 LF 12to Dienstfahrzeug



$$\sigma_{x,Qserv,120} = \frac{M_y}{W_{y,max}} = \frac{653}{-56{,}64} = -11{,}53 kN/cm^2$$

$$\tau_{xy,Qserv,35} = \frac{1}{2} \cdot \frac{40}{5 \cdot 3{,}8 \cdot 0{,}3} = 3{,}50 kN/cm^2$$ (Es werden immer mindestens 5 Stege belastet)

4.3 Überlagerung der Spannungen

Die Spannungen werden mittels der Gestaltänderungshypothese (Mises-Vergleichsspannung) ermittelt.

$$\sigma_{v,M,k} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$$

4.3.1 System 1

Die maßgebende Belastung ist die konzentrierte Einzellast

$$\sigma_{v,M,Qfw,k} = \sqrt{(-10{,}59)^2 + 2{,}29^2 - (-10{,}59) \cdot 2{,}29 + 3 \cdot 1{,}46^2} = 12{,}17 kN/cm^2$$

$$\sigma_{v,M,Qfw,d} = \gamma_{sup} \cdot \sigma_{v,M,Qfw,k} = 1{,}50 \cdot 12{,}17 = 18{,}25 kN/cm^2 \leq \sigma_{Rd} = 19{,}55 kN/cm^2$$

4.3.2 System 2

$$\sigma_{v,M,Qserv,35,k} = \sqrt{(-6{,}2)^2 + 0{,}65^2 - (-6{,}2) \cdot 0{,}65 + 3 \cdot 1{,}02^2} = 6{,}78 kN/cm^2$$

$$\sigma_{v,M,Qserv,35,d} = \gamma_{sup} \cdot \sigma_{v,M,Qfw,k} = 1{,}35 \cdot 6{,}78 = 9{,}15 kN/cm^2 \leq \sigma_{Rd} = 19{,}55 kN/cm^2$$

4.3.3 System 3

$$\sigma_{v,M,Qserv,120,k} = \sqrt{(-11{,}53)^2 + 2{,}24^2 - (-11{,}53) \cdot 2{,}24 + 3 \cdot 3{,}50^2} = 14{,}16 kN/cm^2$$

$$\sigma_{v,M,Qserv,120,d} = \gamma_{sup} \cdot \sigma_{v,M,Qfw,k} = 1{,}35 \cdot 14{,}16 = 19{,}12 kN/cm^2 \leq \sigma_{Rd} = 19{,}55 kN/cm^2$$

5 Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

5.1 System 1

Nachweis für Menschenmenge + Eigengewicht:

$$u_z = \frac{5}{384} \cdot \frac{(q_{fk}+g_k)\cdot l^4}{E\cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(0{,}0005\cdot 32+0{,}001255)\cdot 250^4}{7000\cdot 144} = 0{,}87cm \approx \frac{l}{300} = \frac{250}{300} = 0{,}83cm$$

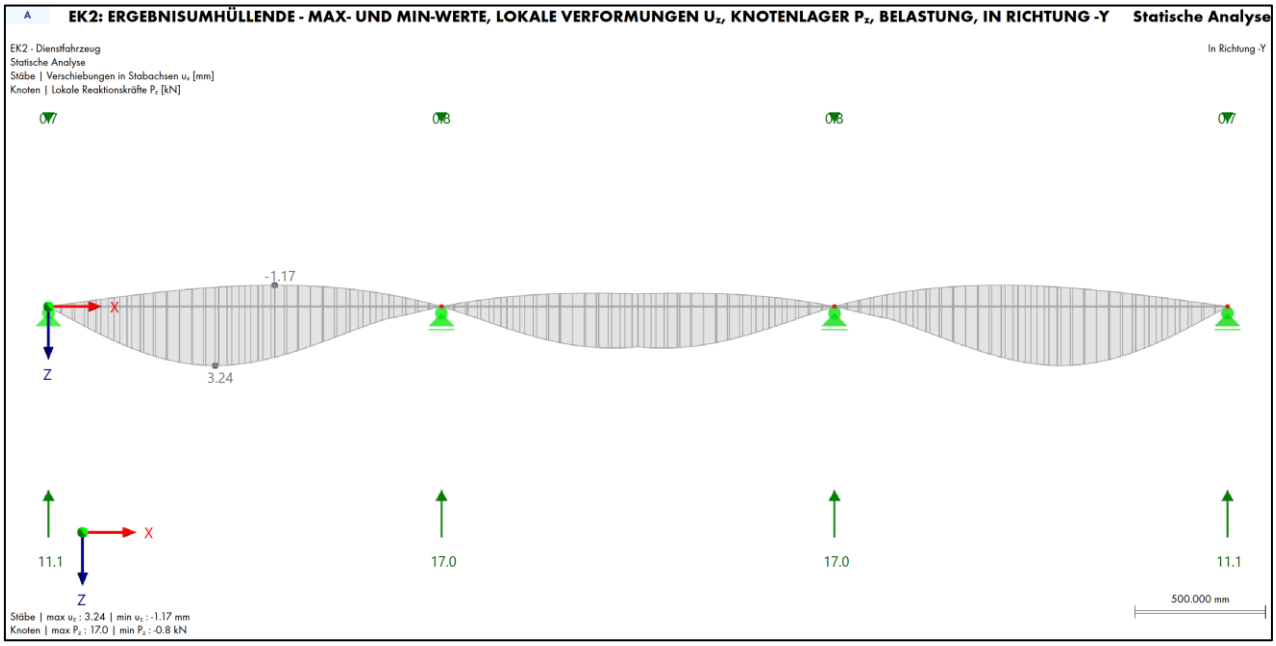
Nachweis für konzentrierte Einzellast + Eigengewicht:

an die konzentrierte Einzellast wird keine Durchbiegungsanforderung gestellt. → Nachweis entfällt.

5.2 System 2

Nachweis für 3,5to Dienstfahrzeug:

Das Eigengewicht kann vernachlässigt werden.

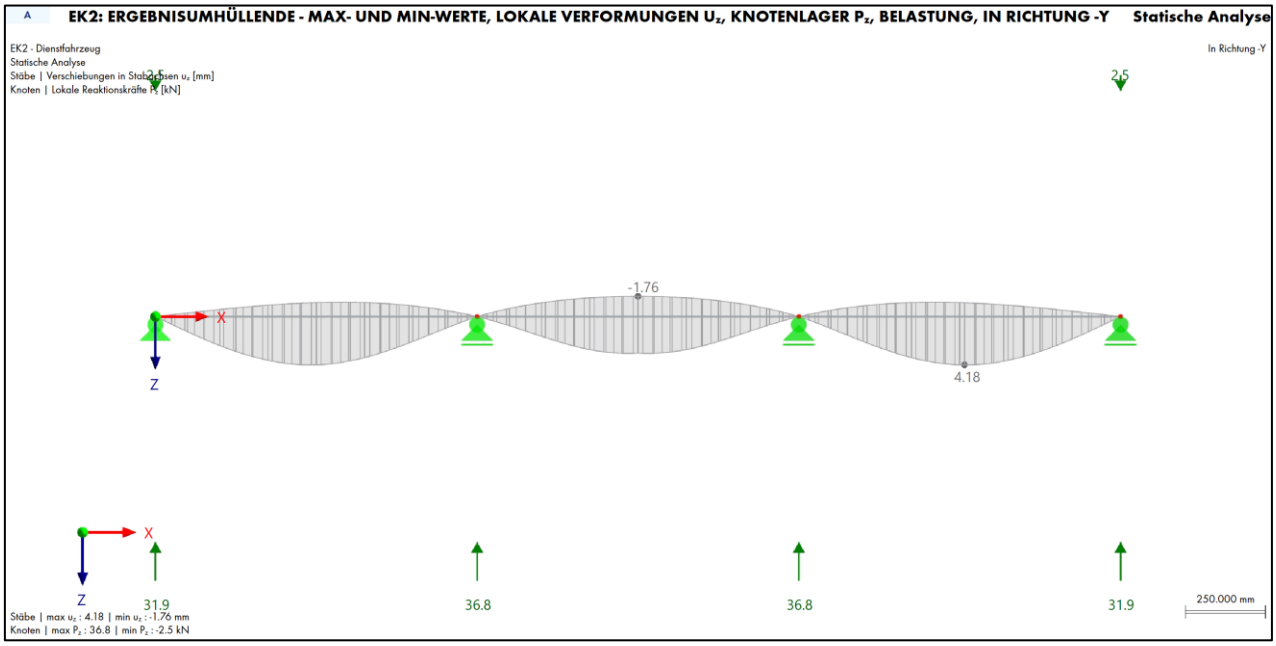


$$u_z = 0{,}32cm \leq \frac{l}{200} = \frac{150}{200} = 0{,}75cm$$

5.3 System 3

<u>Nachweis für 12to Dienstfahrzeug:</u>

Das Eigengewicht kann vernachlässigt werden.



$$u_z = 0{,}42cm \leq \frac{l}{200} = \frac{100}{200} = 0{,}50cm$$

6 Schraubverbindungen

6.1 System 1

Diese Verbindung findet ausschließlich Anwendung, sofern kein Dienstfahrzeug vorgesehen wird.

Horizontale Einwirkung:

Die hor. Einwirkung entsteht aus 10% der vertikalen Last aus der gleichmäßig verteilten Flächenlast. Durch den EPDM-Streifen kann die gesamte horizontale Last über Reibung abgetragen werden, da die horizontale Einwirkung nur in Kombination mit der vertikalen Einwirkung auftritt (Reibbeiwert EPDM: $\mu = 0{,}10$).

Vertikale Einwirkung:

Bei einem Einfeldträger entstehen keine abhebenden Lagerreaktionen. Somit wirken auf die Schraubverbindung planmäßig keine Kräfte. Im Folgenden wird die maximale Tragfähigkeit der Schraubverbindung zur Lagesicherung ermittelt.

Verwendete Holzbauschrauben:

Je Lagerungspunkt 1x Schraube DIN 571 6*50 mm mit Scheibe DIN 125

Mindestabstände gemäß *Zulassung Nr. Z-10.9-357*

Es sind keine Mindestabstände angegeben.

Mindestabstände für Schraubverbindungen in Aluminium:

DIN EN 1999-1-1, Tab. 8.2

$e_1 \geq 1{,}2 \cdot d = 7{,}2mm$ (Es gibt keinen belasteten Rand)

$e_2 \geq 1{,}5 \cdot d = 9mm$ (alle Ränder sind unbelastet)

$p_1 \geq 2{,}5 \cdot d = 15mm$ (nicht vorhanden)

$p_2 \geq 3 \cdot d = 18mm$

Wie in den Konstruktionszeichnungen zu erkennen ist, sind alle Mindestabstände eingehalten.

Bemessung:

Die Bemessung erfolgt über einen Prüfbericht über Ausziehwiderstände von Holzschrauben in TRIMAX-Kunststoffprofilen.

Prüfbericht Auftrag – Nr.: 27/15 Ausziehwiderstand von Holzschrauben in TRIMAX-Kunststoffprofilen vom 17.11.2015

Bei der Verwendung von Holzbauschrauben mit einer Gewindelänge im TRIMAX-Balken von $l_{ef} \geq 35mm$ und einem Nenndurchmesser von $d = 6{,}0mm$ ergibt sich je Schraube ein charakteristischer Wert des Ausziehwiderstandes von $R_{ax,k} = 5{,}33kN$. Der Bemessungswert gemäß *Zulassung Nr. Z-10.9-357* beträgt somit:

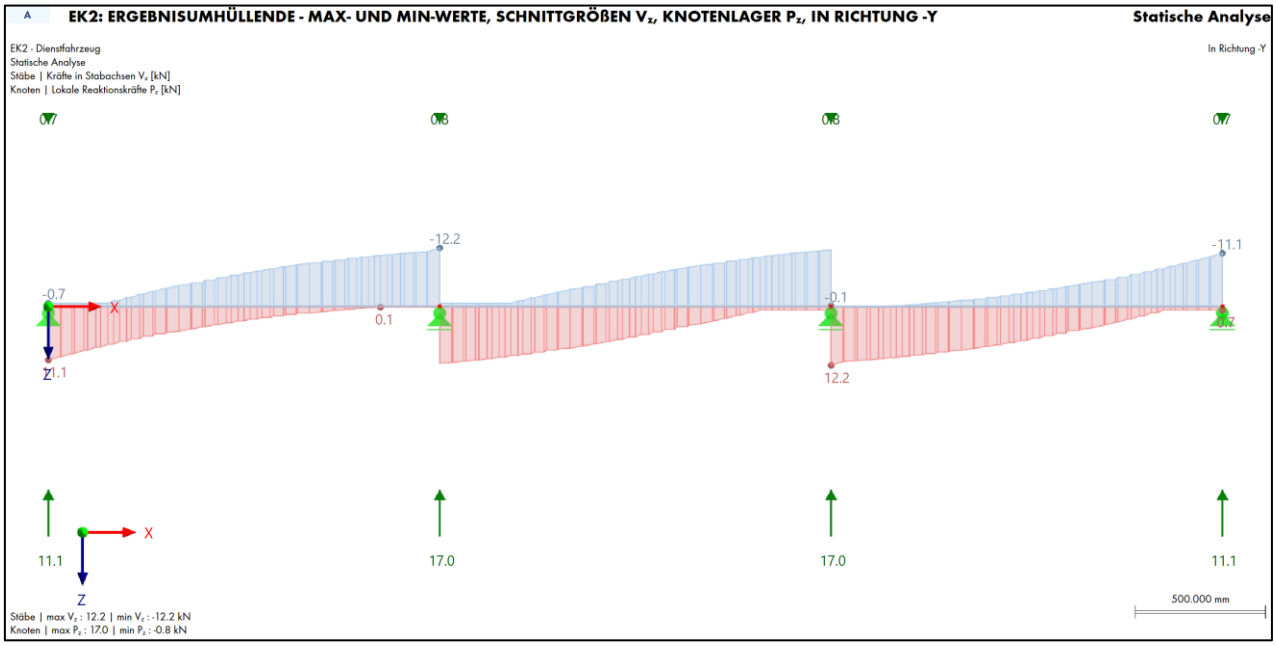
$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M \cdot A_2 \cdot A_3} = \frac{5{,}33}{1{,}30 \cdot 1{,}05 \cdot 2{,}0} = 1{,}95kN \text{ je Schraube}$$

6.2 System 2

Diese Verbindung findet ausschließlich Anwendung, sofern ein Dienstfahrzeug vorgesehen wird.

<u>Einwirkung:</u>

<u>Umhüllende Auflagerkräfte des 3,5to Dienstfahrzeugs als Wanderlast:</u>



Die maximale vertikale Auflagerkraft beträgt $B_{z,Qserv} = 17kN$.

Die horizontale Kraft setzt sich zusammen auf 60% der Radlast. Die Horizontalkraft kann durch das Deckblech über Druckkontakt auf mehrere Bohlen verteilt werden. Der Spalt zwischen den Bohlen ist mit 1,5mm so gering, dass sich die Bohle in Querrichtung so weit verformt, dass sie kurzzeitig Kontakt mit der benachbarten Bohle hat. Damit entzieht sich die Bohle aufgrund ihrer Biegesteifigkeit in Querrichtung der vollen Bremslast des Dienstfahrzeuges. Für den Nachweis der Schraubverbindung wird angesetzt, dass die Bremslast auf 3 Bohlen verteilt wird. Damit wird folgende Last angesetzt:

$$F_{x,k} = \frac{1}{3} \cdot 17 \cdot 0{,}6 = 3{,}4kN$$

$$F_{x,d} = 1{,}35 \cdot 3{,}4 = 4{,}59kN$$

Nachweis 1: Pressung Aluminiumsteg-Flachstahl:

Seitliche Fläche des Flachstahls:

$A_{seite} = h \cdot l = (1{,}0 - 0{,}2) \cdot 3{,}5 = 2{,}8cm^2$ (2mm Fase unten)

Pressung:

$\sigma_{x,d} = F_{x,d}/A_{seite} = 4{,}59/2{,}8 = 1{,}64kN/cm^2 < \sigma_{Rd} = 21{,}5/1{,}1 = 19{,}55kN/cm^2$

Nachweis 2: Schraubverbindung (Stahlbauschraube M12 A4-70):

Es wird eine Schraubverbindung der Kategorie A vorgesehen, die Schraube wird nicht vorgespannt.

Mindestrandabstände:

$p_{1,2}$: nicht vorhanden

$e_{1,2} = 1{,}2 \cdot d_0 = 1{,}2 \cdot 13 = 15{,}6mm < e_{1,2,vorh.} = 35/2 = 17{,}5mm$ → eingehalten

Mindesteinschraubtiefe:

DIN EN 1993-1-8, NCI zu 3.5 Schraubverbindungen mit Sackloch

$f_{u,k} = 700N/mm^2$ (Material 1.4571)

$f_{u,b,k} = 700N/mm^2$ (Stahlbauschraube M12 A4-70)

$\xi = \left(\frac{600}{700}\right) \cdot \left(0{,}3 + 0{,}4 \cdot \frac{700}{500}\right) = 0{,}7371 = \frac{l_{ef}}{d}$

$d = 12mm$

Einschraubtiefe $l_{ef} = \xi \cdot d = 0{,}7371 \cdot 12 = 8{,}84mm$

Vorhandene Einschraubtiefe: $l_{ef,vorh} = h = 10mm$

Abschertragfähigkeit:

$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{u,b} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}5 \cdot 70 \cdot 0{,}843}{1{,}25} = 23{,}6kN > F_{x,d}$ → eingehalten

Zugtragfähigkeit:

$F_{t,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 0{,}9 \cdot 7 \cdot \frac{0{,}843}{1{,}25} = 42{,}5kN$

Lochleibungstragfähigkeit: für den Flachstahl 10*35mm:

$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$

$\alpha_b = \min\{\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1{,}0\} \rightarrow \alpha_d = \frac{19}{3 \cdot 12} = 0{,}5278$ (am Rand liegende Schraube)

$\min\{0{,}5278; \frac{700}{700}; 1{,}0\} = 0{,}5278 \rightarrow k_1 = 2{,}5$, da kein p_2 vorhanden ist

$F_{b,Rd} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}5278 \cdot 700 \cdot 12 \cdot 10}{1{,}25} \cdot 10^{-3} = 89kN$ → eingehalten

Für die Unterkonstruktion:

Es wird mit den Mindestabständen gerechnet, sowie mit einer Unterkonstruktion $t \geq 8mm$ sowie mit dem Material S235.

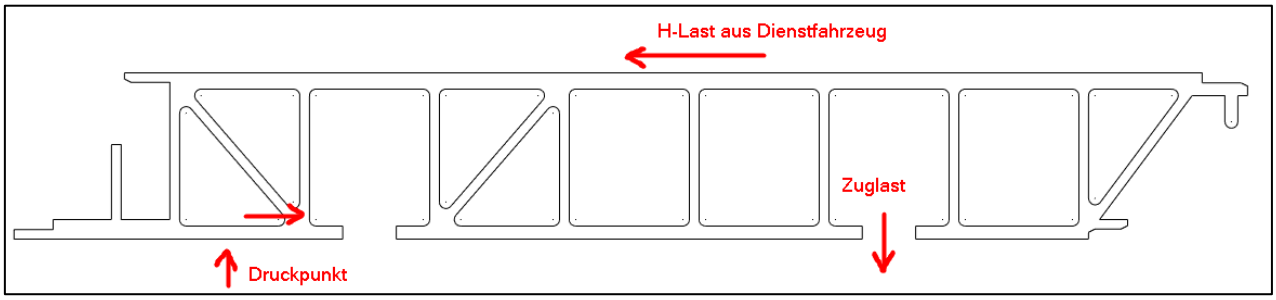
$e_1 = e_2 = 1{,}2 \cdot 13 = 15{,}6mm$

$p_1 = 250mm$; p_2: nicht vorhanden

$\alpha_d = \frac{15{,}6}{3 \cdot 12} = 0{,}4333$

$F_{b,Rd} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}4333 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 8}{1{,}25} \cdot 10^{-3} = 29{,}95kN$ → eingehalten

Nachweis 3: Schraube in rechter Kammer für Zugbeanspruchung:



H-Last aus Dienstfahrzeug (auf drei Bohlen aufgeteilt):

$$F_{x,d} = 4{,}6kN$$

Abstand zw. Druck- und Zugpunkt:

$$e \approx 20cm$$

Höhe der Bohle:

$$h = 5cm$$

Zuglast in Schraube:

$$F_{z,abheb.,d} = 4{,}6kN \cdot \frac{5cm}{20cm} = 1{,}15kN$$

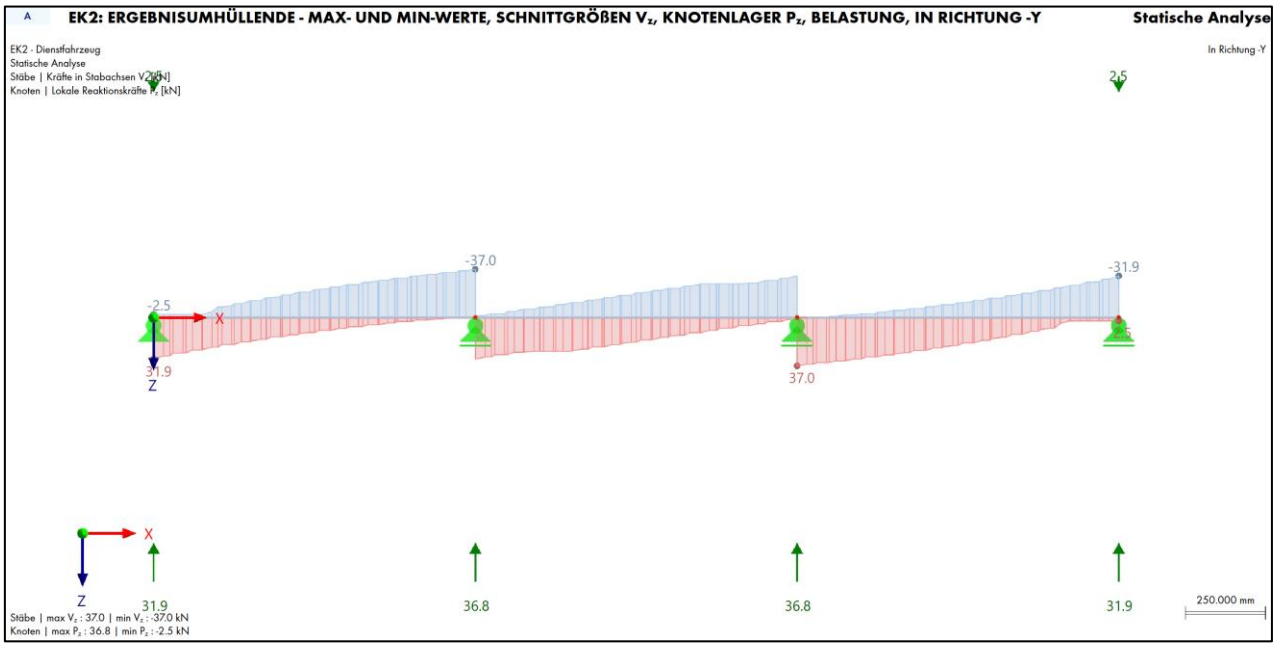
Nachweis: siehe System 3.

6.3 System 3

Diese Verbindung findet ausschließlich Anwendung, sofern ein Dienstfahrzeug vorgesehen wird.

Einwirkung:

Umhüllende Auflagerkräfte des 12to Dienstfahrzeugs als Wanderlast:



Die maximale vertikale Auflagerkraft beträgt $B_{z,Qserv} = 36{,}8kN$.

Die horizontale Kraft setzt sich zusammen auf 60% der Radlast. Die Horizontalkraft kann durch das Deckblech über Druckkontakt auf mehrere Bohlen verteilt werden. Der Spalt zwischen den Bohlen ist mit 1,5mm so gering, dass sich die Bohle in Querrichtung so weit verformt, dass sie kurzzeitig Kontakt mit der benachbarten Bohle hat. Damit entzieht sich die Bohle aufgrund ihrer Biegesteifigkeit in Querrichtung der vollen Bremslast des Dienstfahrzeuges. Für den Nachweis der Schraubverbindung wird angesetzt, dass die Bremslast auf 3 Bohlen verteilt wird. Damit wird folgende Last angesetzt:

$$F_{x,k} = \frac{1}{3} \cdot 36{,}8 \cdot 0{,}6 = 7{,}36kN$$

$$F_{x,d} = 1{,}35 \cdot 7{,}36 = 9{,}94kN$$

Nachweis 1: Pressung Aluminiumsteg-Flachstahl:

Seitliche Fläche des Flachstahls:

$A_{seite} = h \cdot l = (1{,}0 - 0{,}2) \cdot 3{,}5 = 2{,}8cm^2$ (2mm Fase unten)

Pressung:

$\sigma_{x,d} = F_{x,d}/A_{seite} = 9{,}94/2{,}8 = 3{,}55kN/cm^2 < \sigma_{Rd} = 21{,}5/1{,}1 = 19{,}55kN/cm^2$

Nachweis 2: Schraubverbindung (Stahlbauschraube M12 A4-70):

Es wird eine Schraubverbindung der Kategorie A vorgesehen, die Schraube wird nicht vorgespannt.

Mindestrandabstände:

$p_{1,2}$: nicht vorhanden

$e_{1,2} = 1{,}2 \cdot d_0 = 1{,}2 \cdot 13 = 15{,}6mm < e_{1,2,vorh.} = 35/2 = 17{,}5mm$ → eingehalten

Mindesteinschraubtiefe:

DIN EN 1993-1-8, NCI zu 3.5 Schraubverbindungen mit Sackloch

$f_{u,k} = 700N/mm^2$ (Material 1.4571)

$f_{u,b,k} = 700N/mm^2$ (Stahlbauschraube M12 A4-70)

$\xi = \left(\frac{600}{700}\right) \cdot \left(0{,}3 + 0{,}4 \cdot \frac{700}{500}\right) = 0{,}7371 = \frac{l_{ef}}{d}$

$d = 12mm$

Einschraubtiefe $l_{ef} = \xi \cdot d = 0{,}7371 \cdot 12 = 8{,}84mm$

Vorhandene Einschraubtiefe: $l_{ef,vorh} = h = 10mm$

Abschertragfähigkeit:

$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{u,b} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}5 \cdot 70 \cdot 0{,}843}{1{,}25} = 23{,}6kN > F_{x,d}$ → eingehalten

Zugtragfähigkeit:

$F_{t,Rd} = k_2 \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}} = 0{,}9 \cdot 7 \cdot \frac{0{,}843}{1{,}25} = 42{,}5kN$

Lochleibungstragfähigkeit: für den Flachstahl 10*35mm:

$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$

$\alpha_b = \min\{\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1{,}0\} \rightarrow \alpha_d = \frac{19}{3 \cdot 12} = 0{,}5278$ (am Rand liegende Schraube)

$\min\{0{,}5278; \frac{700}{700}; 1{,}0\} = 0{,}5278 \rightarrow k_1 = 2{,}5$, da kein p_2 vorhanden ist

$F_{b,Rd} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}5278 \cdot 700 \cdot 12 \cdot 10}{1{,}25} \cdot 10^{-3} = 89kN$ → eingehalten

Für die Unterkonstruktion:

Es wird mit den Mindestabständen gerechnet, sowie mit einer Unterkonstruktion $t \geq 8mm$ sowie mit dem Material S235.

$e_1 = e_2 = 1{,}2 \cdot 13 = 15{,}6mm$

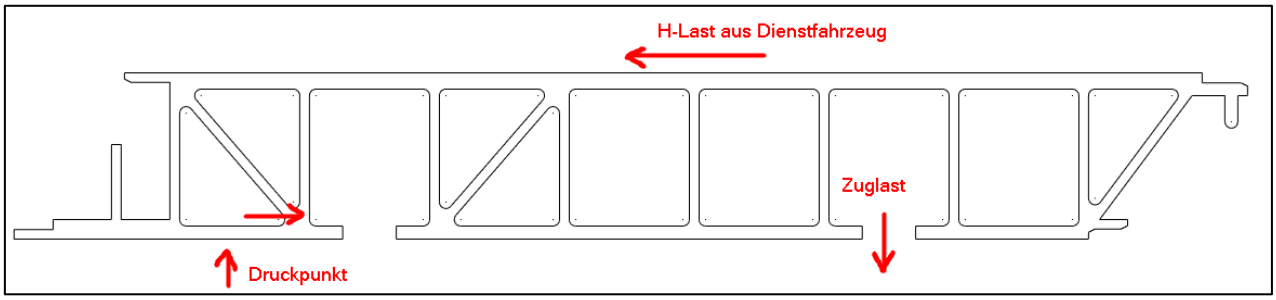
$p_1 = 250mm$; p_2: nicht vorhanden

$\alpha_d = \frac{15{,}6}{3 \cdot 12} = 0{,}4333$

$F_{b,Rd} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}4333 \cdot 360 \cdot 12 \cdot 8}{1{,}25} \cdot 10^{-3} = 29{,}95kN$ → eingehalten

Nachweis 3: Schraube in rechter Kammer für Zugbeanspruchung:

Die H-Kraft aus dem Dienstfahrzeug wird auf drei Bohlen aufgeteilt. Die Bohle, auf der die Achse des DF steht, wird durch die hohe Auflast überdrückt. Die anderen beiden Bohlen erfahren keine Auflast, jedoch 1/3 der H-Last. Das Versatzmoment erzeugt eine Zuglast, welche durch eine M12 A4-70 Schraube inkl. des eingeschobenen Flachstahls (wie linke Kammer) aufgenommen werden muss.



H-Last aus Dienstfahrzeug (auf drei Bohlen aufgeteilt):

$$F_{x,d} = 9{,}94kN$$

Abstand zw. Druck- und Zugpunkt:

$$e \approx 20cm$$

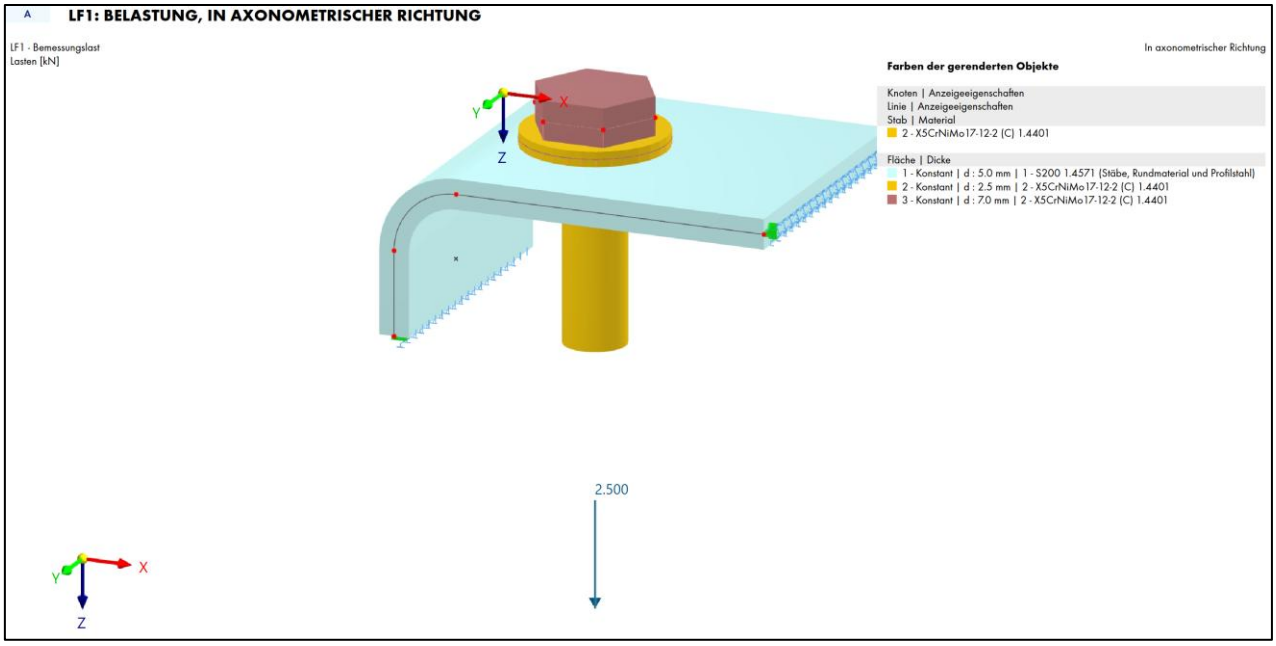
Höhe der Bohle:

$$h = 5cm$$

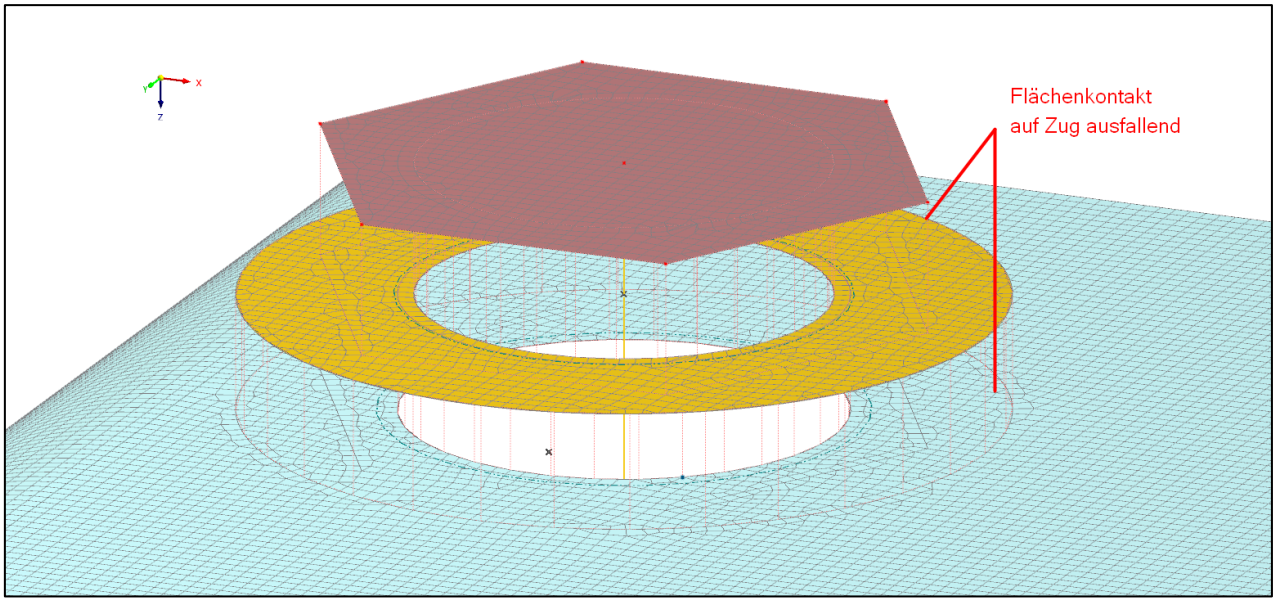
Zuglast in Schraube:

$$F_{z,abheb.,d} = 9{,}94kN \cdot \frac{5cm}{20cm} = 2{,}5kN$$

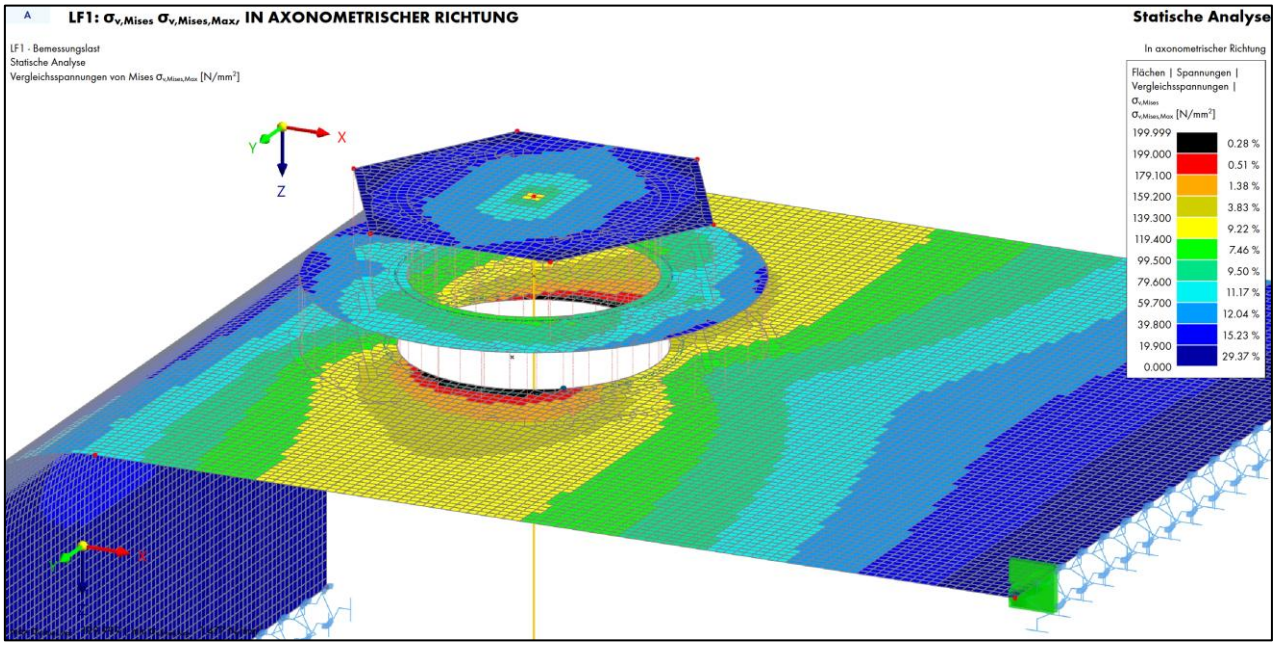
Ohne weitere Nachweise kann diese Kraft durch die M12 A4-70 Schraubverbindung aufgenommen werden. Die Klemme wird jedoch an einem separaten FE-Modell nachgewiesen:



FE-Netz:



Vergleichsspannung im Blech:



In den schwarz gekennzeichneten Bereich fließt das Material 1.4571 ($f_{yd} = 200 N/mm^2$). Die plastischen Dehnung sind mit $\epsilon_{pl} = 0{,}19‰$ zu vernachlässigen.

7 Anhang

7.1 Prüfbericht Auftrag – Nr.: 27/15 (Ausziehwiderstand Trimax Bohle)

Kunststoffprüfstelle Franken
Ingenieurbüro Franken
Dipl.- Ing. Helmuth W. Franken Beratender Ingenieur BYIK , VBI
Kunststoffprüfung - Bauteilprüfung - Gutachten - Beratung - Baustatik

Auftrag - Nr.: 27/15 Aus

PRÜFBERICHT

Für : **Ausziehwiderstand von Holzschrauben**
in
TRIMAX- Kunststoffprofilen/Balken
aus
glasfaserverstärktem Mischpolymerisat (Recyclat)
aus Polyethylen (PE) und Polypropylen (PP)

Hersteller : TEPRO
Kunststoff- Recycling GmbH & Co.
Industriestraße 17

D - 29389 Bodenteich

Auftraggeber : TEPRO
Kunststoff- Recycling GmbH & Co.
Industriestraße 17

D - 29389 Bodenteich

Seiten : 1

Anlagen : 1

Unsere Zeichen
F/bs

Datum
17.11.2015

Kunststoffprüfstelle Franken
KPF
ERKELENZ
NRW 22
amtlich anerkannt

Helmuth W. Franken

Dieser Prüfberiicht darf nur ungekürzt an Dritte weitergegeben werden. Die Wiedergabe, Vervielfältigung und Übersetzung bedarf der schriftlichen Genehmigung der Kunststoffprüfstelle Franken

Gewerbestraße Süd , D - 41812 Erkelenz
Telefon : (02431) 73651
Telefax : (02431) 73652
e-mail : info@kpf-erkelenz.de

Röckertstraße 19 , D - 97271 Kleinrinderfeld
Telefon : (09366) 8312

TE027150Aus.mcd

Kunststoffprüfstelle Franken

Gewerbestraße Süd 24 - 41812 Erkelenz Tel. 02431-73651

Röckertstraße 19 - 97271 Kleinrinderfeld Tel. 09366-8312

Auftr. Nr.: 27/15 Aus

Seite: 1

1 Vorbemerkungen

1.1 Allgemeines

Nachfolgend wird für TRIMAX- Kunststoffprofile/Balken aus glasfaserverstärktem Mischpolymerisat der Ausziehwiderstand von Holzschrauben ermittelt.

1.2 Unterlagen

1.2.1 Algemeine bauaufsichtliche Zulassung (AbZ)
Zulassungsnummer:
Z-10.9-357

2 Prüfungen

Die Prüfunge zur Emittlung des Ausziehwiderstandes wurden bei Normalklima DIN EN ISO 291 - 23/50, Klasse 2 durchgeführt.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in nachstehend zusammengestellt

Kunststoffprüfstelle Franken KPF ERKELENZ NRW 22 amtlich anerkannt

Kunststoffprüfstelle Franken

Gewerbestraße Süd 24 - 41812 Erkelenz Tel. 02431-73651

Röckertstraße 19 - 97271 Kleinrinderfeld Tel. 09366-8312

Auftr. Nr.: 27/15.Aus

Seite: 2

Schraubenauszugskräfte

Statistische Auswertung nach EN 1990 : 2002 , Anhang D

Holzschraube

Einschraubtiefe $l_{ef} := 22$ mm $i := 0..4$ $n := 5$

(Gewindelänge im TRIMAX - Balken)

Nenndurchmesser $d := 5.0$ mm

nicht vorgebohrt

Charakteristische Wert (5 % Fraktile) des Ausziehwiderstandes $R_{ax.k}$

lognormale Verteilung V_x nicht bekannt

$x_0 := 2458$ N

$x_1 := 2638$

$x_2 := 2506$

$x_3 := 2688$

$x_4 := 2644$

$n := 5$

$$m_y := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{4} \ln(x_i) \qquad m_y = 7.86 \qquad k_n := 2.33$$

$$s_y := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=0}^{4} \left(\ln(x_i) - m_y\right)^2} \qquad s_y = 0.04$$

$$X_k := \exp(m_y - k_n \cdot s_y)$$

$$X_k = 2.36 \cdot 10^3 \qquad R_{ax.k} := X_k \qquad R_{ax.k} = 2363 \text{ N}$$

Kunststoffprüfstelle Franken KPF ERKELENZ NRW 22 amtlich anerkannt

Kunststoffprüfstelle Franken

Gewerbestraße Süd 24 - 41812 Erkelenz Tel. 02431-73651

Röckertstraße 19 - 97271 Kleinrinderfeld Tel. 09366-8312

Auftr. Nr.: 27/15.Aus

Seite: 1

Schraubenauszugskräfte

Statistische Auswertung nach EN 1990 : 2002 , Anhang D

Holzschraube

Einschraubtiefe $l_{ef} := 35$ mm $i := 0..4$ $n := 5$

(Gewindelänge im TRIMAX - Balken)

Nenndurchmesser $d := 6.0$ mm

Vorgebohrt $d_v := 4.0$ mm

Charakteristische Wert (5 % Fraktile) des Ausziehwiderstandes $R_{ax.k}$

lognormale Verteilung V_x nicht bekannt

$x_0 := 5485$ N

$x_1 := 6056$

$x_2 := 6108$

$x_3 := 5886$

$x_4 := 6100$

$n := 5$

$$m_y := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{4} \ln(x_i) \qquad m_y = 8.69 \qquad k_n := 2.33$$

$$s_y := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=0}^{4} \left(\ln(x_i) - m_y\right)^2} \qquad s_y = 0.05$$

$$X_k := \exp(m_y - k_n \cdot s_y)$$

$X_k = 5.33 \cdot 10^3$ $R_{ax.k} := X_k$ $R_{ax.k} = 5328$ N

Einschraubtiefe $l_{ef} := 55$ mm $i := 0..4$ $n := 5$

(Gewindelänge im TRIMAX - Balken)

Nenndurchmesser $d := 6.0$ mm

Vorgebohrt $d_v := 4.0$ mm

Charakteristische Wert (5 % Fraktile) des Ausziehwiderstandes $R_{ax.k}$

lognormale Verteilung V_x nicht bekannt

$x_0 := 8990$ N

$x_1 := 7906$

$x_2 := 9115$

$x_3 := 8632$

$x_4 := 8093$

$n := 5$

$$m_y := \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^{4} \ln(x_i) \qquad m_y = 9.05 \qquad k_n := 2.33$$

$$s_y := \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=0}^{4} \left(\ln(x_i) - m_y\right)^2} \qquad s_y = 0.06$$

$$X_k := \exp(m_y - k_n \cdot s_y)$$

$X_k = 7.37 \cdot 10^3$ $R_{ax.k} := X_k$ $R_{ax.k} = 7370$ N

Kunststoffprüfstelle Franken KPF ERKELENZ NRW 22 amtlich anerkannt

TE0271501Auszug.mcd