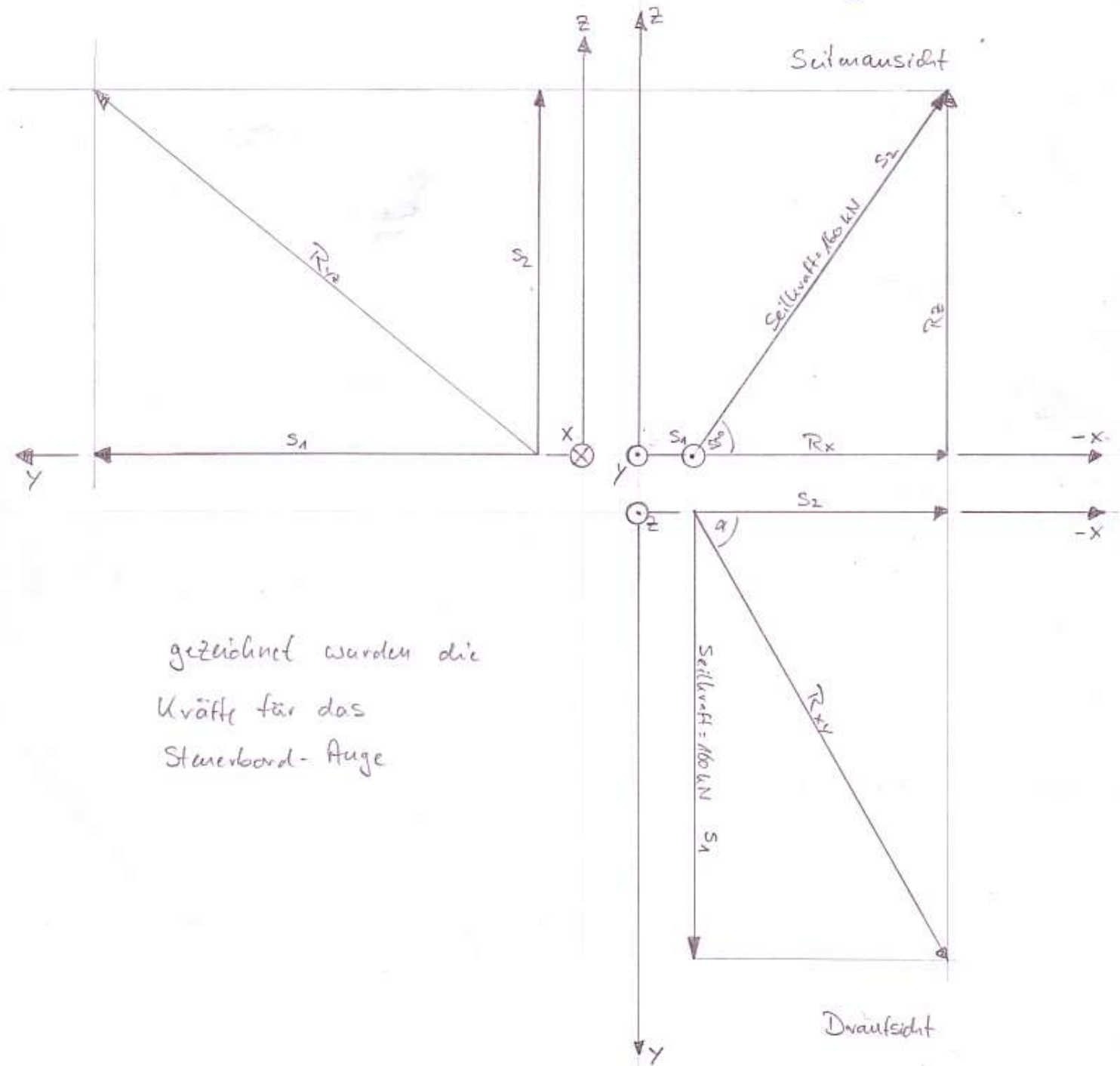


Sowohl Form und Abmessungen des Auges, als auch die räumliche Ausrichtung sind von Betrag und Richtung der Kraft abhängig, die aus den zwei angreifenden Seilkräften resultiert

Um die geometrischen Verhältnisse darzustellen, werden die Kräfte zunächst in Drei-Sichten-Ansicht gezeichnet.



gezeichnet wurden die Kräfte für das Steuerbord-Auge

Aus der Seitenansicht lässt sich die vertikale Komponente des Resultierenden (R_z) errechnen.

$$R_z = \sin 55^\circ \cdot 160 \text{ kN}$$

$$\underline{R_z = 131 \text{ kN}}$$

Sowie die Komponente des Resultierenden in x-Richtung:

$$R_x = 160 \text{ kN} \cdot \cos 55^\circ$$

$$\underline{R_x = 92 \text{ kN}}$$

Mit dem nun bekannten R_x und S_1 kann gemäß der Draufsicht der Winkel α berechnet werden.

$$\alpha = \arctan \frac{S_1}{R_x} = \arctan \frac{160}{92} \quad [-]$$

$$\underline{\alpha = 60^\circ}$$

Die horizontale Komponente von R ergibt sich ebenfalls aus der Draufsicht:

$$R_{xy} = \frac{S_1}{\cos(90^\circ - \alpha)} = \frac{160}{\cos 30^\circ} \text{ [kN]}$$

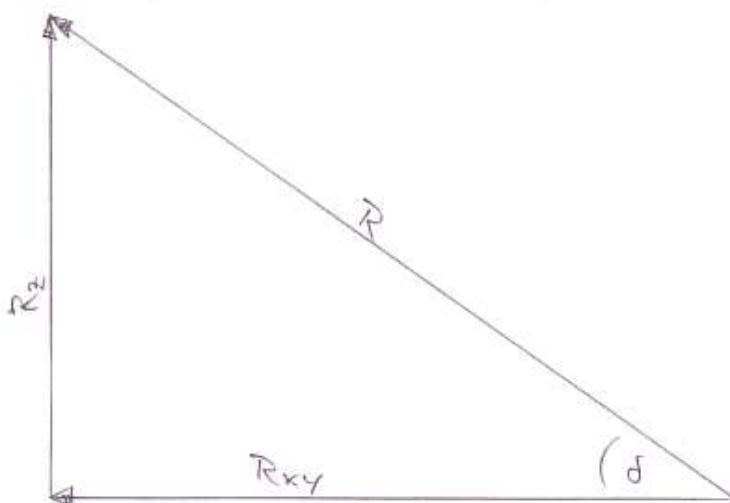
$$\underline{R_{xy} = 185 \text{ kN}}$$

Damit kann R errechnet werden:

$$R = \sqrt{R_{xy}^2 + R_z^2} = \sqrt{185^2 + 131^2} \text{ [}\sqrt{\text{kN}^2}\text{]}$$

$$\underline{R = 227 \text{ kN}}$$

Der Winkel zwischen des Resultierenden und der x - y -Ebene kann wie folgt beschrieben werden



$$\tan \delta = \frac{R_z}{R_{xy}}$$

$$\delta = \arctan \frac{131}{185} \text{ [-]}$$

$$\underline{\delta = 35^\circ}$$

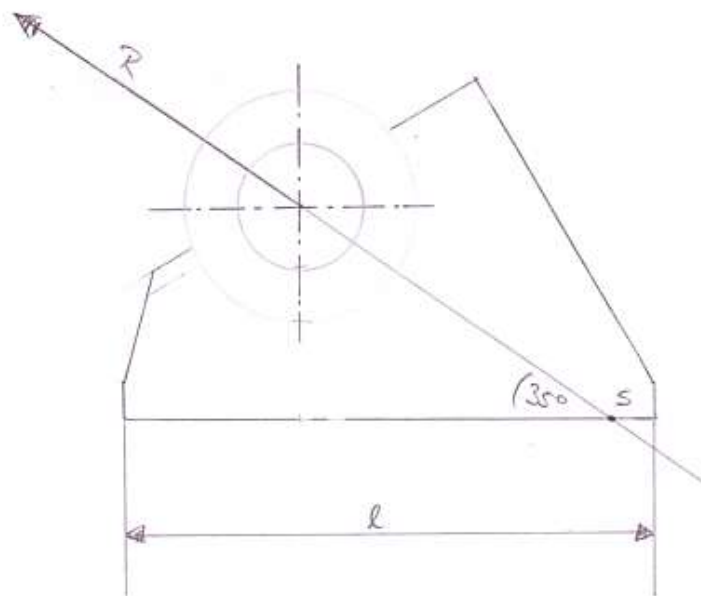
Gemäß der Belastung von 227 kN wird ein Auge der Nenngröße 25 gewählt.

Das Auge muss so ausgerichtet werden, dass dessen Ebene mit der von R_{xy} und R_z aufgespannten Ebene zusammenfällt.

Das kann dadurch erreicht werden, dass das Auge mit seiner Längsachse an der x - oder y -Achse des Schnitts ausgerichtet und gleichzeitig geneigt wird, oder durch Ausrichten des Auges mit dem Winkel α gegenüber der Schnittlängsrichtung.

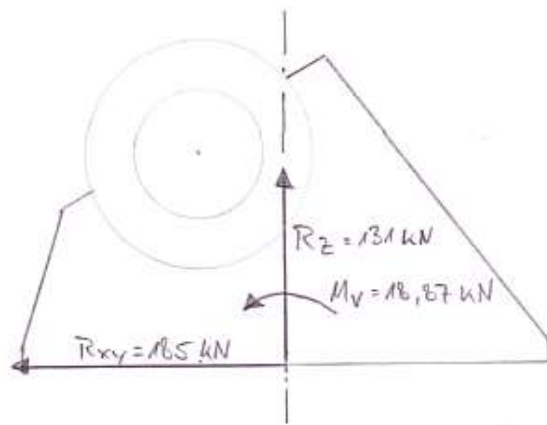
Die letzte Möglichkeit wird gewählt und überprüft, ob der Angriffswinkel des Resultierenden ~~einmal~~ in einem für das Auge zulässigen Bereich liegt.

Das wird als gegeben angenommen, wenn die Wirklinie des Resultierenden die Basis des Auges innerhalb der Länge l schneidet.



S liegt innerhalb von l , die Zugrichtung ist zulässig.

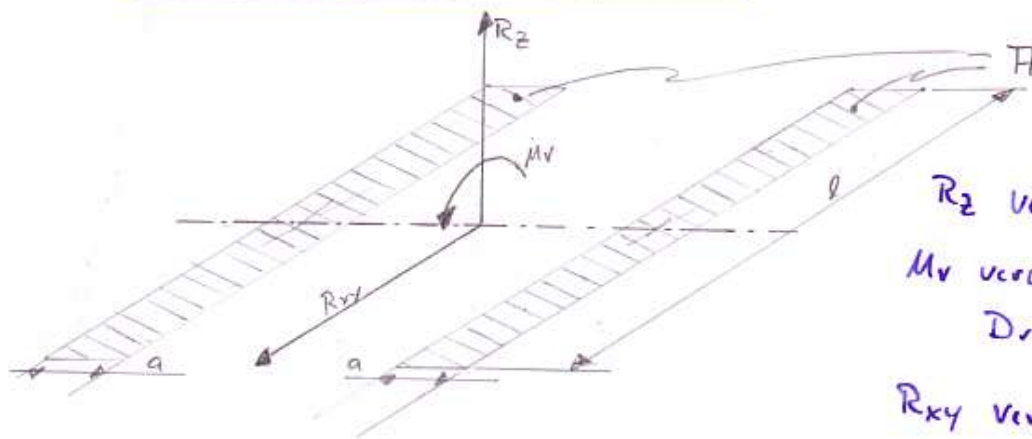
Es ergeben sich folgende Belastungen:



Es können nun die Spannungen in den Schweißnahtflächen mit dem aus der Tabelle entnommenen $a = 7 \text{ mm}$ berechnet werden.

Der Hebelarm des Verschiebemoments M_v , der auf die horizontale Schweißnahtebene bezogen ist, wird für die vertikale Schweißnahtebene übernommen.

horizontale Schweißnahtebene



R_z verursacht in A Zugspannung
 M_v verursacht Zug- und
Druckspannung
 R_{xy} verursacht Schubspannung

$$A = 2 \cdot a \cdot l$$

$$A = 2 \cdot 7 \cdot 360 \text{ [mm} \cdot \text{mm]}$$

$$\underline{A = 5040 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_z = \frac{R_z}{A}$$

$$\sigma_z = \frac{131000}{5040} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\underline{\sigma_z = 26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$W = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6}$$

$$W = \frac{2 \cdot 7 \cdot 360^2}{6} \text{ [mm} \cdot \text{mm}^2]$$

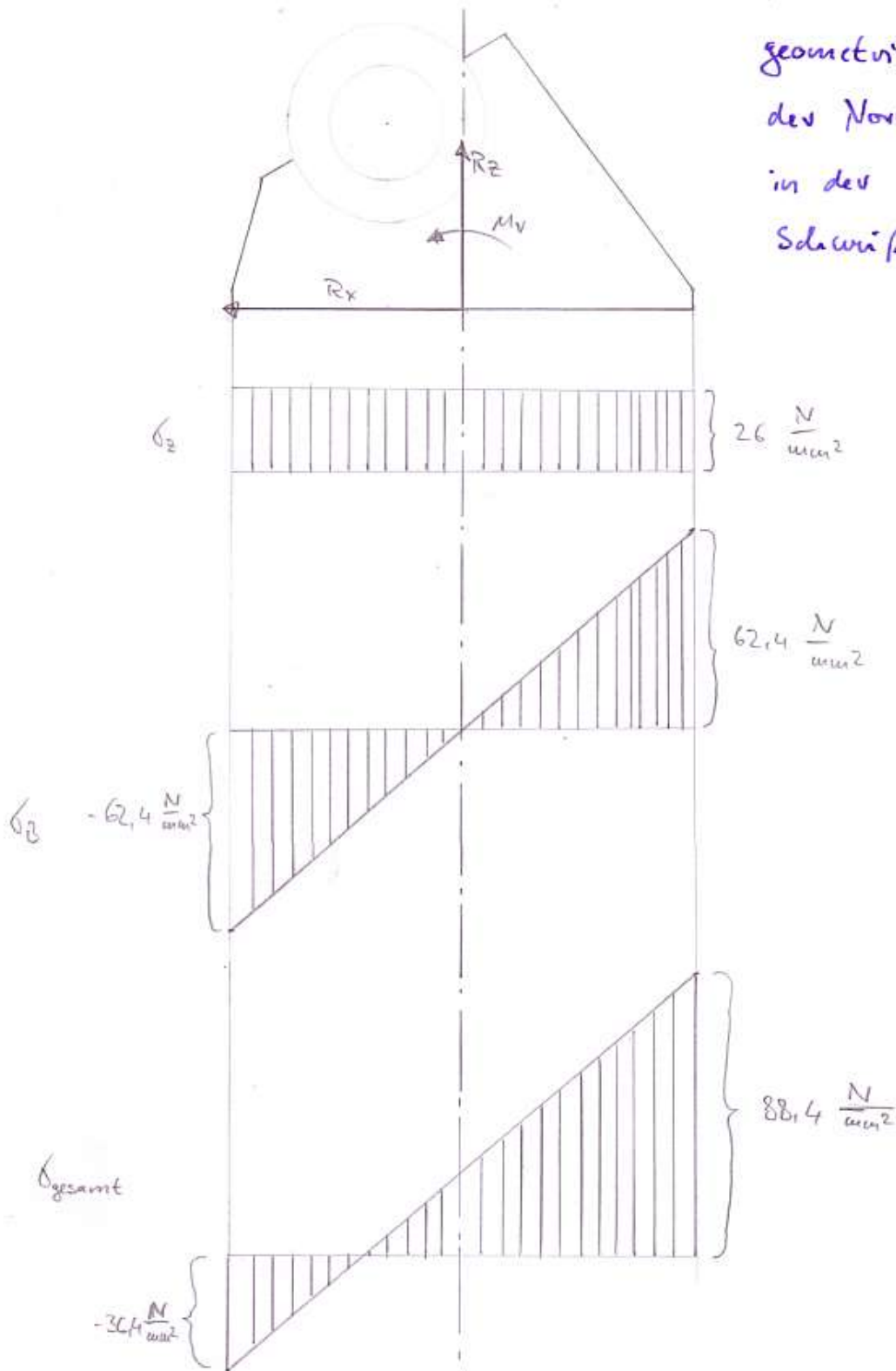
$$\underline{W = 302400 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_{B_{\max}} = \frac{1887000}{302400} \frac{M_v}{W}$$

$$\sigma_{B_{\max}} = \frac{1887000}{302400} \left[\frac{\text{Nmm}}{\text{mm}^3} \right]$$

$$\underline{\sigma_{B_{\max}} = 62,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

geometrische Überlagerung
der Normalspannungen
in der horizontalen
Schweißnahtebene



$$\tau = \frac{R_{xy}}{A}$$

$$\tau = \frac{185\,000}{5040} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\tau = 37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_{\text{ges}}^2 + 3\tau^2}$$

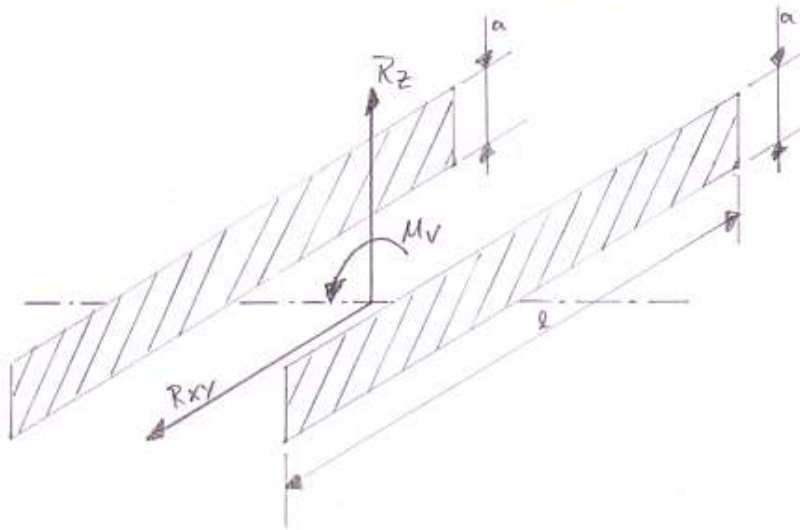
$$\sigma_v = \sqrt{88,4^2 + 3 \cdot 37^2} \left[\sqrt{\left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)^2} \right]$$

$$\sigma_v = 109 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Als σ_v -zulässig wird eine Spannung von $150 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ angenommen.

Damit ist $a = 7 \text{ mm}$ für die Beanspruchungen in der horizontalen Schweißnahtebene ausreichend.

vertikale Schweißnahtebene



R_z verursacht Schubspannung
in vertikaler Richtung

R_{xy} verursacht Schubspannung
in horizontaler Richtung

M_v verursacht Torsionsspannung

$$\tau_v = \frac{R_z}{A}$$

$$\tau_v = \frac{131000}{5040} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\underline{\tau_v = 26 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$\tau_H = \frac{R_{xy}}{A}$$

$$\tau_H = \frac{185000}{5040} \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\underline{\tau_H = 37 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$\tau_T = \frac{M_v}{W_t}$$

$$W_t = c \cdot a \cdot l^2 \cdot 2$$

$$c = 0,333$$

} nach Mayr, Technische Mechanik

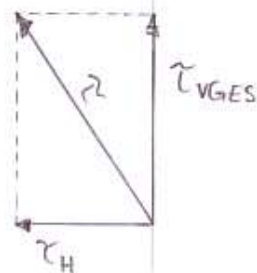
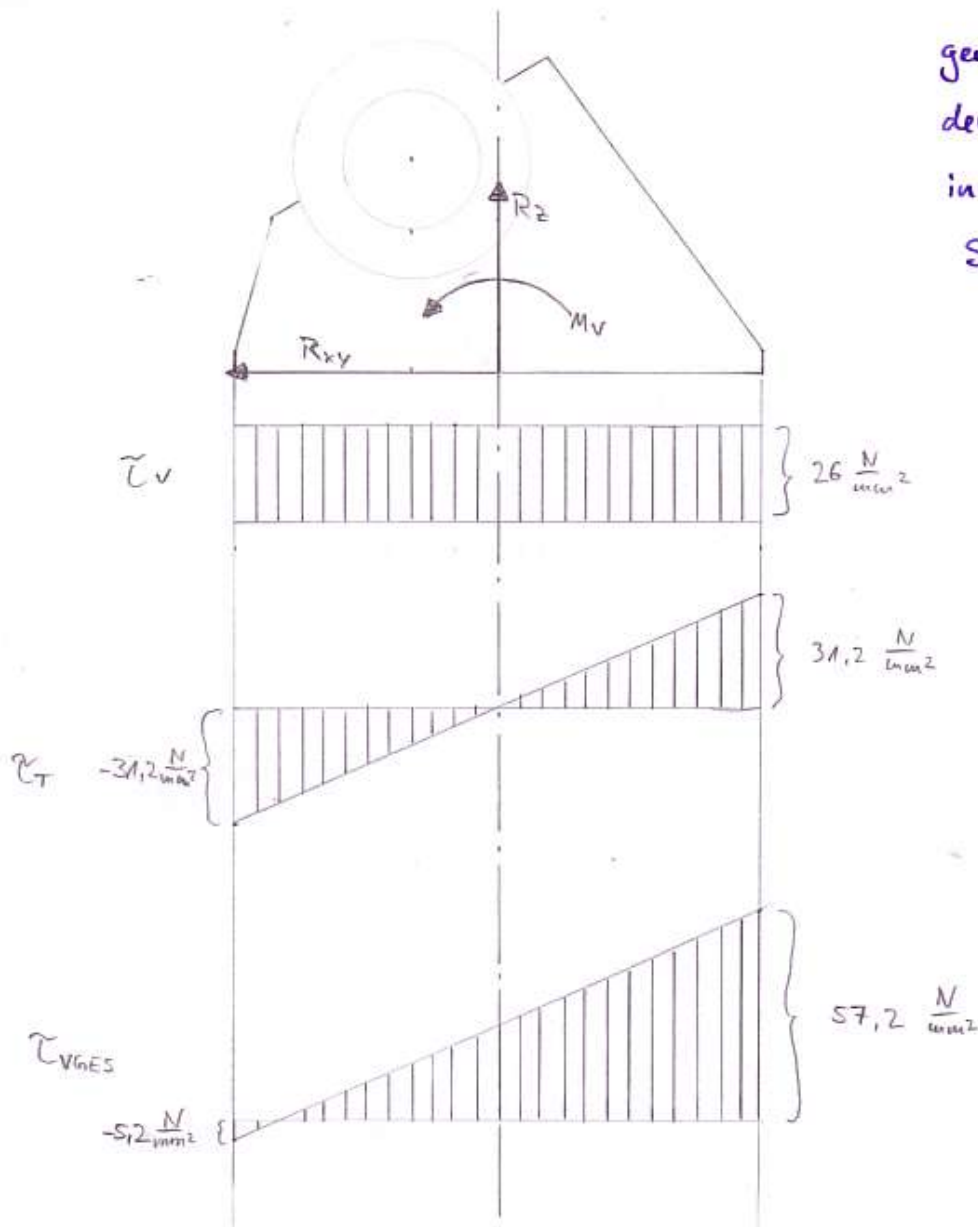
$$W_t = 0,333 \cdot 7 \cdot 360^2 \cdot 2 \left[\text{mm} \cdot \text{mm}^2 \right]$$

$$W_t = 604155 \text{ mm}^3$$

$$\tau_T = \frac{18870000}{604155} \left[\frac{N \text{ mm}}{\text{mm}^3} \right]$$

$$\underline{\tau_T = 31,2 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

geometrische Überlagerung
der Schubspannungen
in der vertikalen
Schweißnahtebene



$$\tau = \sqrt{\tau_{VGES}^2 + \tau_H^2}$$

$$\tau = \sqrt{57,2^2 + 37^2} \quad \left[\sqrt{\left(\frac{N}{mm^2}\right)^2} \right]$$

$$\tau = 68 \frac{N}{mm^2}$$

Als zulässige Schubspannung wird
gemäß Gestaltänderungshypothese angenommen,

$$\tau_{zul} = \frac{\sigma_{zul}}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{zul} = \frac{150}{\sqrt{3}} \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_{zul} = 87 \frac{N}{mm^2}$$

$\tau < \tau_{zul} \Rightarrow a = 7 \text{ mm}$ ist ausreichend groß

Da bei einem Maß $a = 7 \text{ mm}$ in beiden
Schweißnahtebenen die zulässigen Spannungen
nicht überschritten werden ist die Schweißnaht
damit ausreichend ausgelegt.

$$\underline{a = 7 \text{ mm}}$$

Schweißnaht zwischen Sohlange und Deck

Die horizontale Kraft wird vom Deck aufgenommen, es müssen vom Deck zur Sohlange nur die Vertikalkraft R_z und das Moment M_v übertragen werden.

Da das Moment auf die Oberseite des Decks bezogen ist, wird der Hebel um die Dicke des Decks vergrößert.

$$M_v = R_{xy} \cdot h_2$$

$$h_2 = 0,102 \text{ m}$$

$$R_{xy} = 185 \text{ kN}$$

$$t_{\text{Deck}} = 0,012 \text{ m}$$

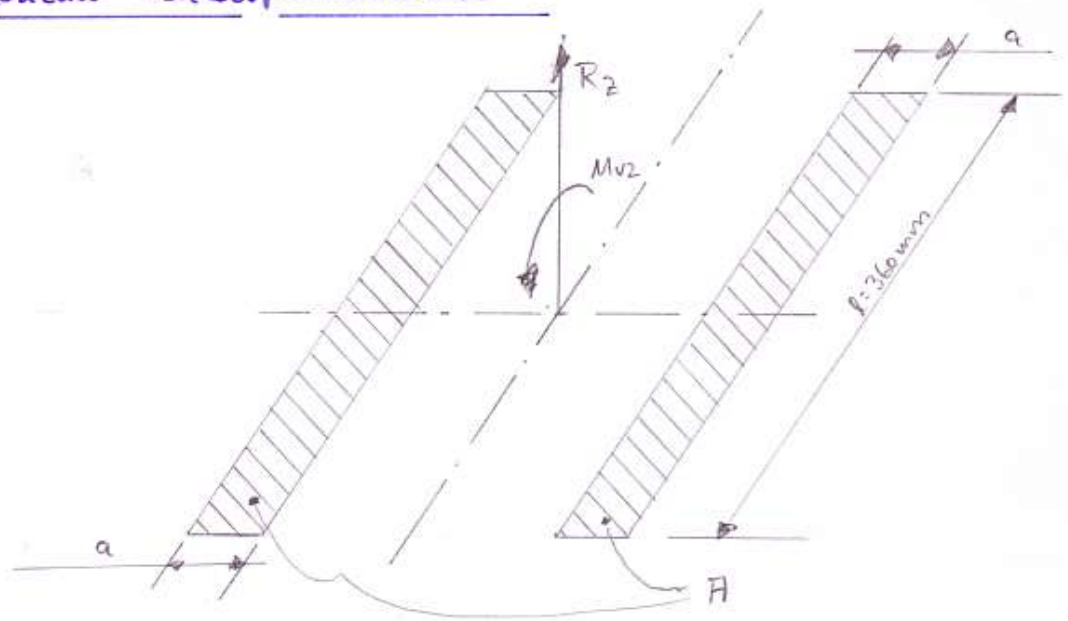
$$M_{v2} = R_{xy} \cdot (h_2 + t_{\text{Deck}})$$

$$M_{v2} = 185 \cdot (0,102 + 0,012) \quad [\text{kN} \cdot \text{m}]$$

$$\underline{M_{v2} = 21,03 \text{ kNm}}$$

Die Schweißnaht wird für eine Länge ausgelegt, die der des Ankers entspricht. Sie soll jedoch in dieser Form über die gesamte Länge ausgeführt werden.

Horizontale Schweißnahtebene



Es werden Spannungen für $a = 5 \text{ mm}$ überprüft.

$$\sigma_z = \frac{R_2}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M_{v2}}{W}$$

$$W = \frac{2 \cdot a \cdot l^2}{6}$$

$$A = 2 \cdot a \cdot l$$

$$A = 2 \cdot 5 \cdot 360 \text{ [mm} \cdot \text{mm]}$$

$$\underline{A = 3600 \text{ mm}^2}$$

$$W = \frac{2 \cdot 5 \cdot 360^2}{6} \text{ [mm} \cdot \text{mm}^2]$$

$$\underline{W = 216\,000 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma_2 = \frac{R_2}{A}$$

$$\sigma_2 = \frac{131\,000}{3600} \quad \left[\frac{N}{\text{mm}^2} \right]$$

$$\underline{\sigma_2 = 36,4 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

$$\sigma_B = \frac{Mv_2}{W}$$

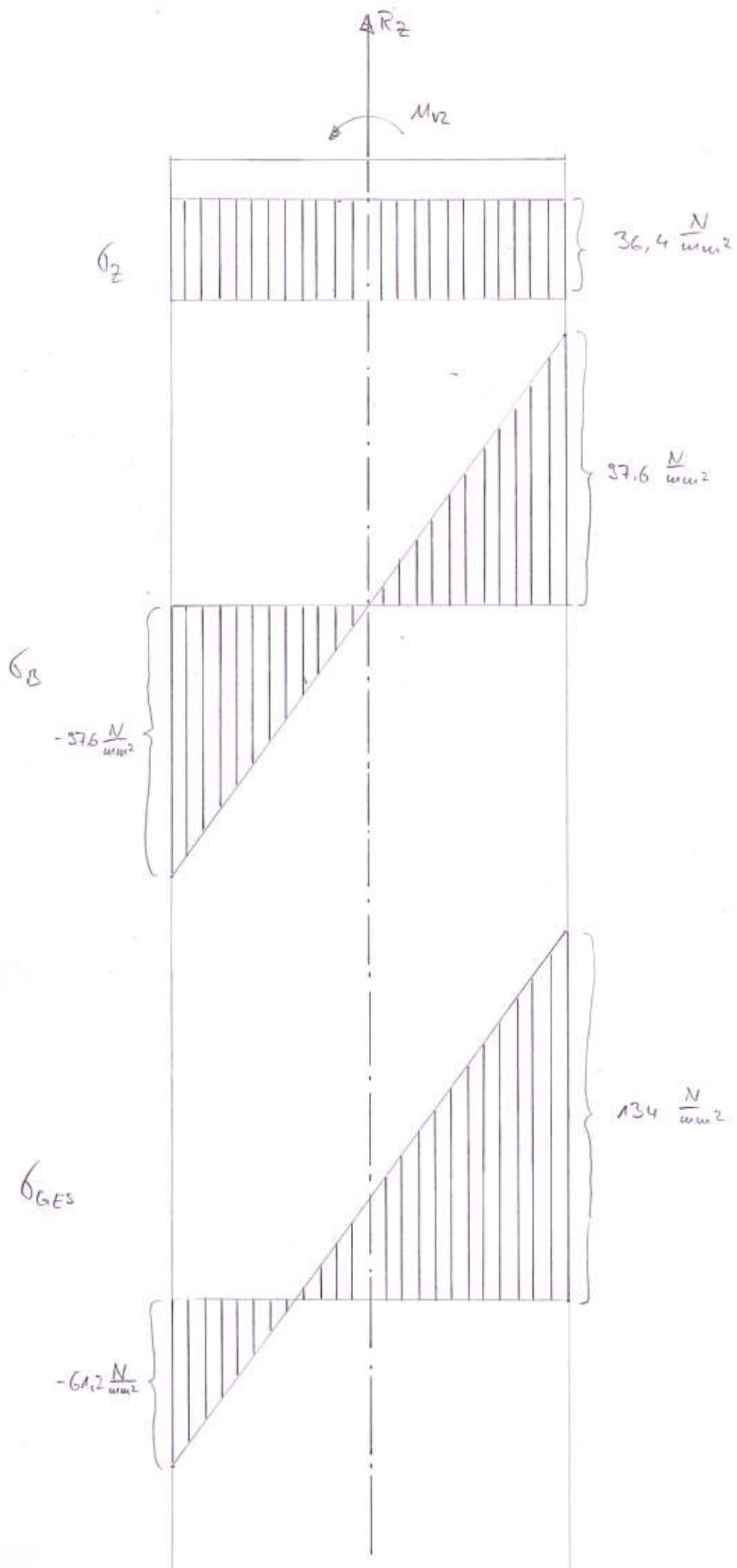
$$\sigma_B = \frac{2\,1030\,000}{216\,000} \quad \left[\frac{N \text{ mm}}{\text{mm}^3} \right]$$

$$\underline{\sigma_B = 97,6 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

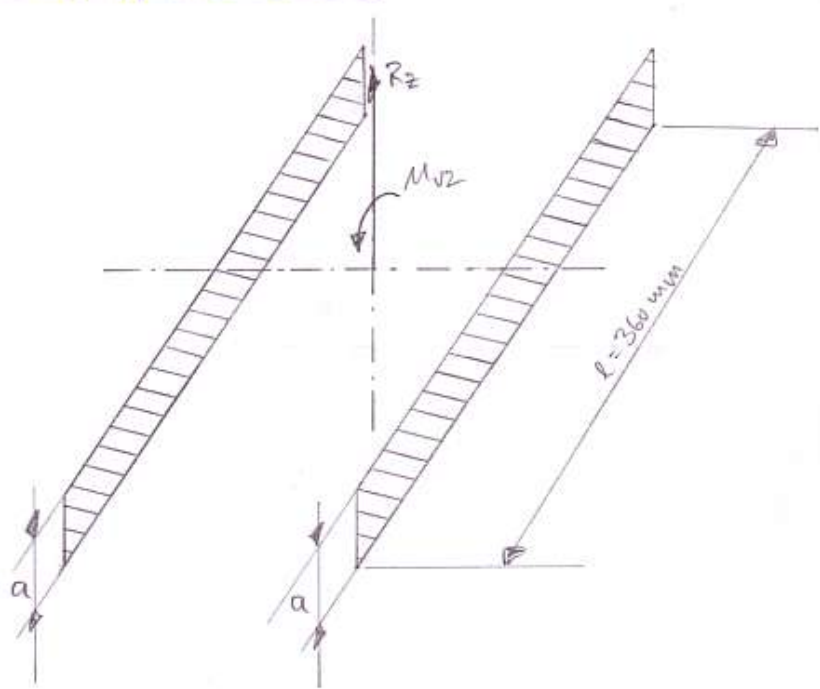
Die Überlagerung der Spannungen gemäß Skizze auf der nächsten Seite ergibt:

$$\underline{\sigma_{GES} = 134 \frac{N}{\text{mm}^2}}$$

Die auftretende Spannung ist damit geringer als $\sigma_{zul} = 150 \frac{N}{\text{mm}^2}$ und $a = 5 \text{ mm}$ für die horizontale Schweißnahtebene ausreichend.



vertikale Schweißnahtebenen



$$\tau_T = \frac{M_{v2}}{W_t}$$

$$W_t = 0,333 \cdot a \cdot l^2 \cdot 2$$

$$W_t = 0,333 \cdot 5 \cdot 360^2 \cdot 2 \text{ [mm mm}^2\text{]}$$

$$\underline{W_t = 431568 \text{ mm}^3}$$

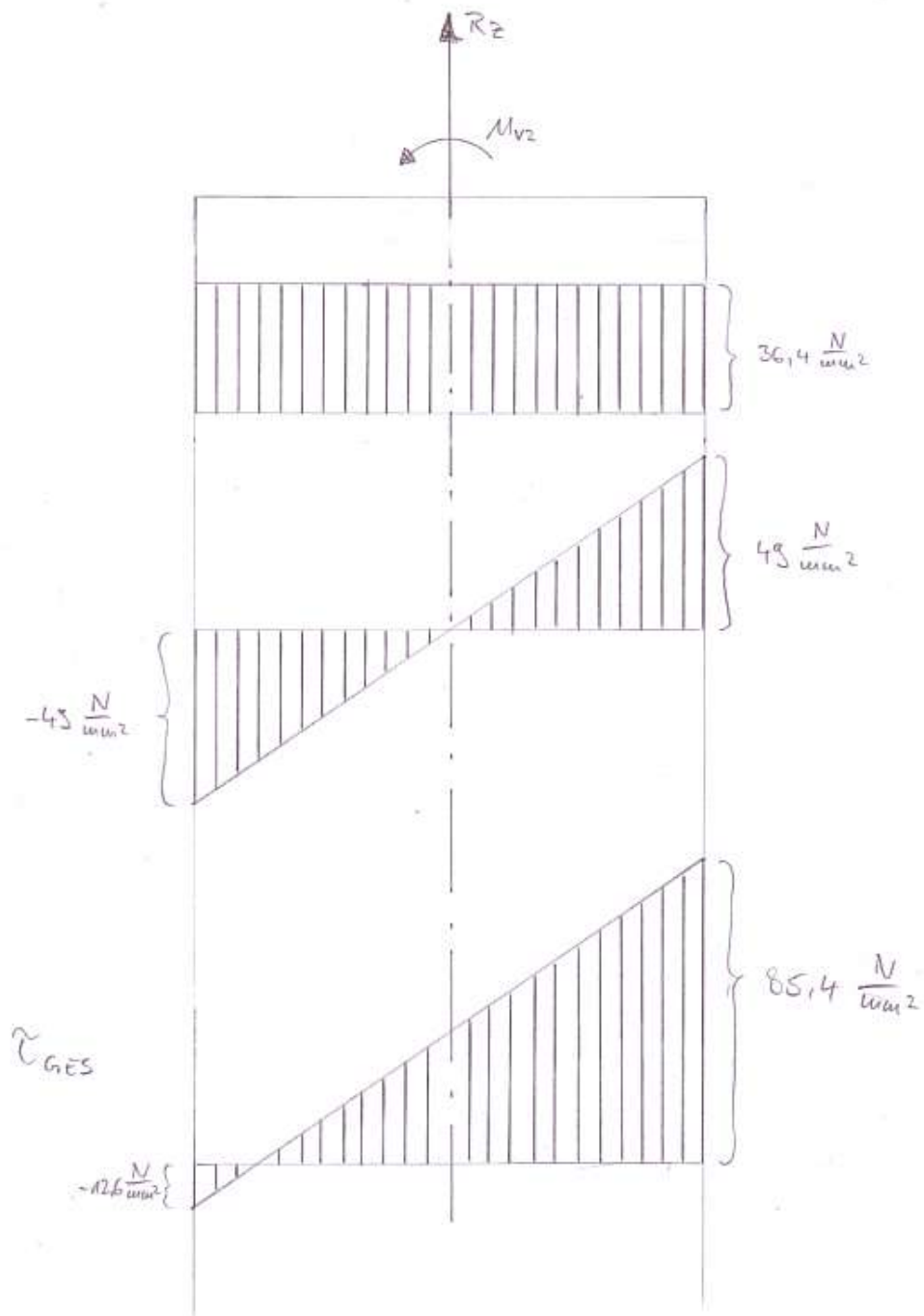
$$\tau_T = \frac{21030000}{431568} \text{ [} \frac{\text{N mm}}{\text{mm}^3}\text{]}$$

$$\underline{\tau_T = 49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$\tau_v = \frac{R_z}{A}$$

$$\tau_v = \frac{131000}{3600} \text{ [} \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\text{]}$$

$$\underline{\tau_v = 36,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$



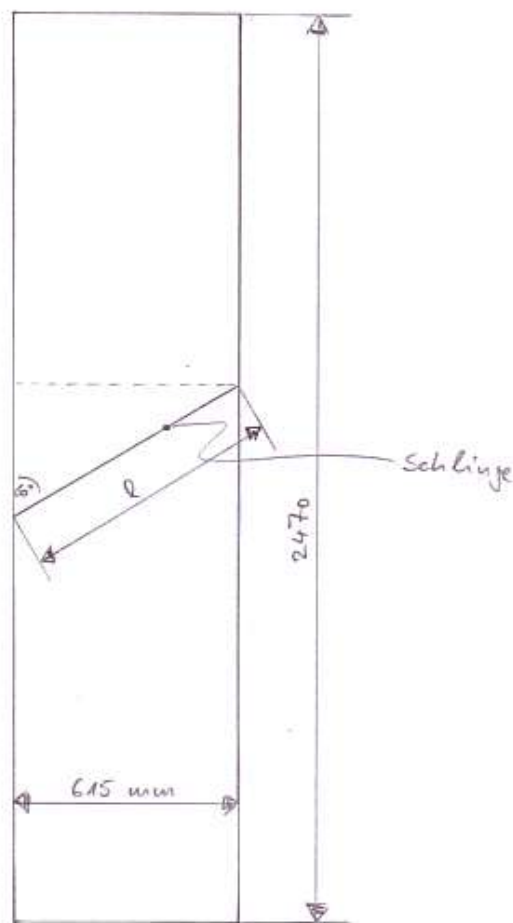
Die auftretende maximale Spannung von $85,4 \frac{N}{mm^2}$
 ist geringer als $\sigma_{zul} = 87 \frac{N}{mm^2}$. Somit ist
 $a = 5 \text{ mm}$ für beide Schweißnahtebenen ausreichend.

$a = 5 \text{ mm}$

Dimensionierung der Schlinge

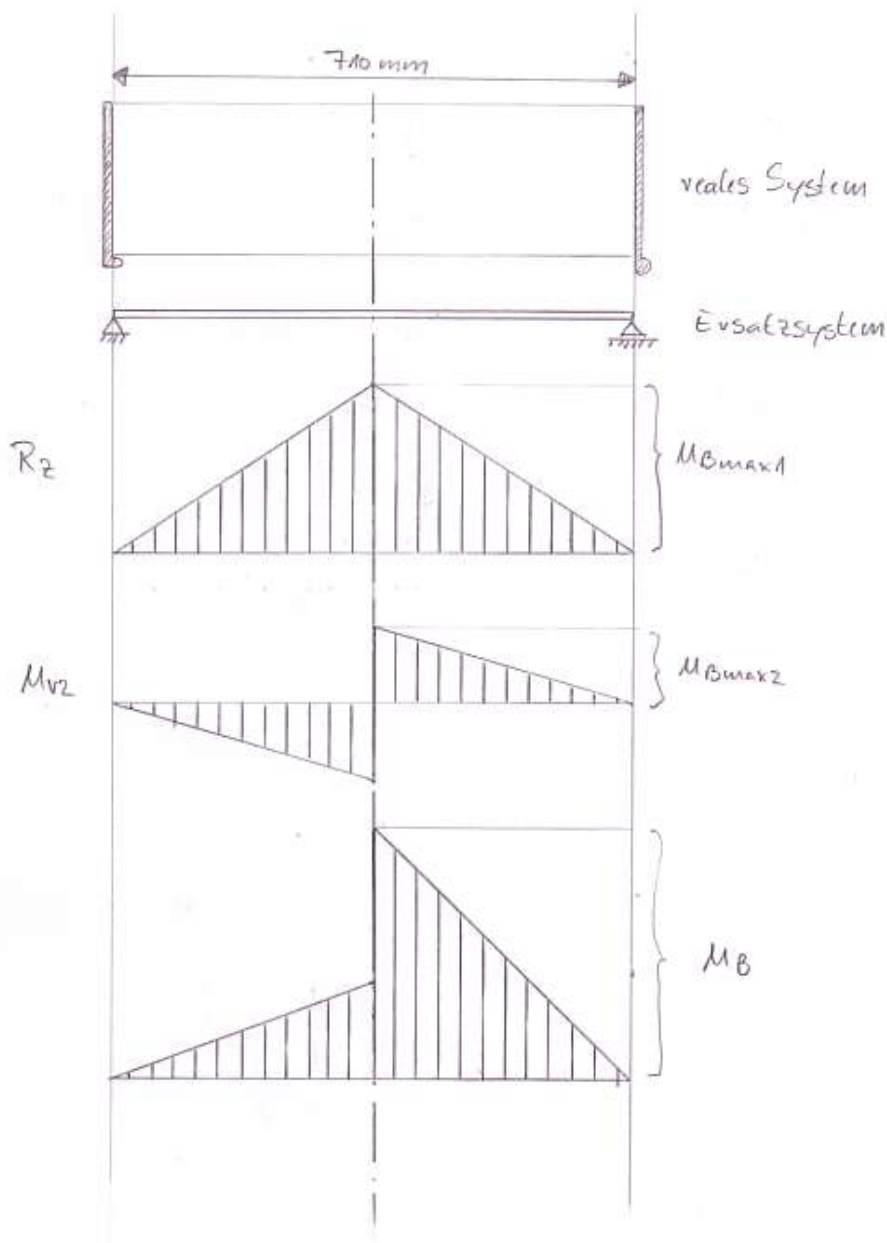
Die Maße der Schlinge werden aus dem erforderlichen Widerstandsmoment W_{REQ} ermittelt. W_{REQ} kann aus der zulässigen Spannung und dem auftretenden Biegemoment ermittelt werden.

Im ungünstigsten Fall greifen die Vertikalkraft R_z und das Moment M_{Vz} mittig an der Schlinge mit der größtmöglichen Länge gemäß folgender Skizze an.



$$l = \frac{615}{\sin 60^\circ} \text{ [mm]}$$

$$\underline{l = 710 \text{ mm}}$$



$$M_{Bmax1} = \frac{F \cdot l}{4}$$

$$M_{Bmax1} = \frac{131 \cdot 0,71}{4} \text{ [kNm]}$$

$$\underline{M_{Bmax1} = 23,3 \text{ kNm}}$$

$$M_{Bmax2} = \frac{M_{vz}}{2}$$

$$M_{Bmax2} = \frac{21,05}{2} \text{ [kNm]}$$

$$\underline{M_{Bmax2} = 10,5 \text{ kNm}}$$

$$M_B = M_{Bmax1} + M_{Bmax2}$$

$$\underline{M_B = 33,8 \text{ kNm}}$$

$$W_{REQ} = \frac{M_B}{\sigma_{zul}}$$

$$W_{REQ} = \frac{33\,800\,000}{150} \left[\frac{\text{Nmm} \text{ mm}^2}{\text{N}} \right]$$

$$\underline{W_{REQ} = 225\,333 \text{ mm}^3}$$

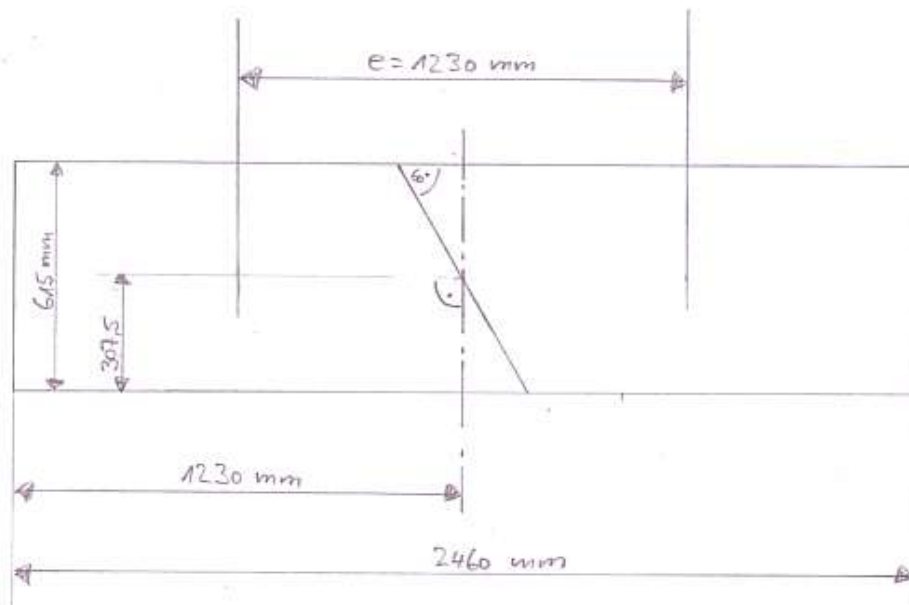
Das erforderliche Widerstandsmoment wird von der Schlinge und der mittl. ragenden Plattenbreite aufgebracht.

Die mittl. ragende Plattenbreite wird in Anlehnung an die Bauvorschriften des GL, Teil 1, Kapitel 1, Abschnitt 3 ermittelt.

Die ununterstützte Länge des frei gelagerten Trägers beträgt gemäß Abb. 14 und Abb. 15:

$$l = 710 \text{ mm}$$

Die Lastbreite von Mitte zu Mitte der jeweils angrenzenden ununterstützten Plattenfelder wird gemäß folgender Skizze angenommen:



$$e = 1230 \text{ mm}$$

Zur Ermittlung der Lastbreite hätte auch der Abstand rechtwinklig zur Schlinge zwischen Schlinge und Längsbalken dienen können.

Es wurde die Variante gewählt, die die geringere mitttragende Breite zur Folge hat, da bereits hier eine deutlich geringere Dicke der Schlinge gegenüber der Auslegung ohne mitttragende Plattenbreite erreicht wird.

Berechnung der mitttragenden Plattenbreite

nach Tabelle 3.1

$$\frac{e}{e} = \frac{710 \text{ mm}}{1230 \text{ mm}}$$

$$\frac{e}{e} = 0,58$$

Der Quotient $\frac{e_{m2}}{e}$ wird geradlinig aus den benachbarten Werten gemittelt.

| | | |
|--------------------|---|-----|
| $\frac{e}{e} =$ | 0 | 1 |
| $\frac{e_{m2}}{e}$ | 0 | 0,2 |

$$\frac{e_{m2}}{e} = 0,2 \cdot 0,58 \quad [1]$$

$$\underline{\underline{\frac{e_{m2}}{e} = 0,116}}$$

$$\frac{e_{m2}}{1230} = 0,116$$

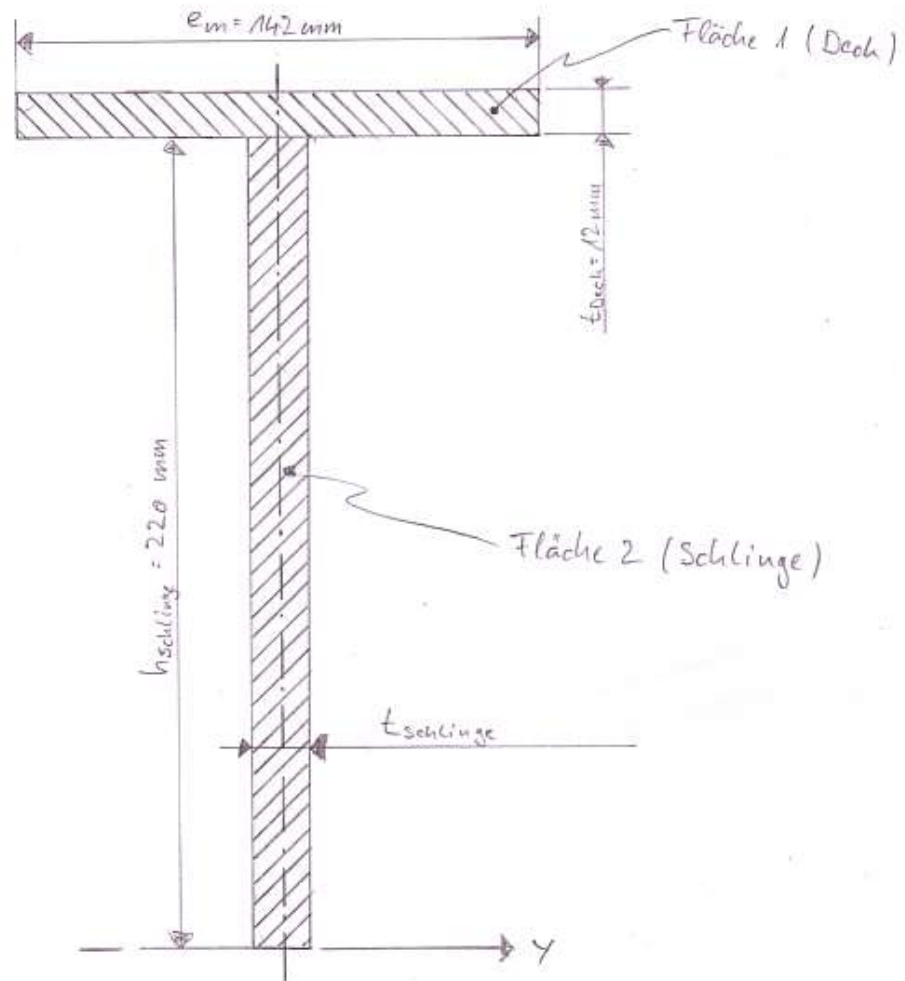
$$e_{m2} = 0,116 \cdot 1230 \text{ [mm]}$$

$$e_{m2} = 142,68 \text{ mm}$$

wähle $e_m = 142 \text{ mm}$

Die Höhe der Schlinge wird gleich der Höhe der Längsbalken, an die sie angeschlossen wird, gewählt.

Somit muss die Dicke der Schlinge t gemäß folgender Skizze so bestimmt werden, dass Wocq erreicht wird.



W wird mit einem angenommenen $t_{schlinge} = 15 \text{ mm}$
mit unten stehender Tabelle errechnet.

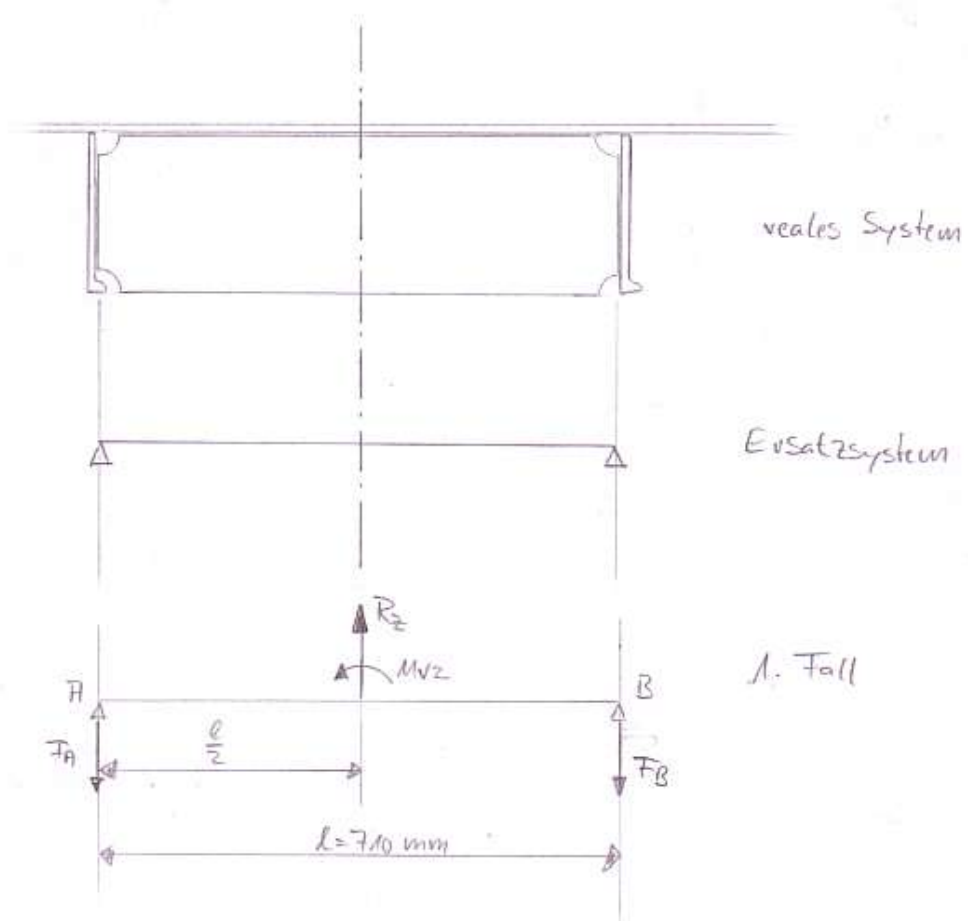
| Flächenmoment 2. Ordnung, Schwerpunkt, Widerstandsmoment | | | | | | |
|--|------------------------------|---|---|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Nr. Teilfläche | Fläche [mm ²] | Abstand zur y-Achse z_i [mm] | Statisches Moment $z_i \cdot A_i$ [mm ³] | Abstand zum Gesamt- schwerpunkt $z_{si} = z_i - z_s$ [mm] | Moment 2. Ordnung bzgl. Teilschwerpunkt J_{yi} [mm ⁴] | Steiner Anteil $J_{Sii} = z_{si}^2 \cdot A_i$ [mm ⁴] |
| 1 | 1704 | 226 | 385104 | 82,4 | 20448 | 11571584 |
| 2 | 4180 | 110 | 459800 | -33,6 | 16859333 | 4717220 |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |
| $\Sigma A_i =$ | 5884 | $\Sigma z_i \cdot A_i =$ | 844904 | $\Sigma J_i:$ | 16879781 | 16285804 |
| $J_s = \Sigma z_i \cdot A_i / \Sigma A_i =$ | | 143,6 | | $J_{ges} =$ | 33165585 | mm ⁴ |
| $z_{max} =$ | | 143,6 | | $W = J_{ges} / z_{max} =$ | 230958 | mm ³ |

Das Maß $t_{\text{Schlinge}} = 13 \text{ mm}$ ist ausreichend.

Gewählt wird $t_{\text{Schlinge}} = 20 \text{ mm}$.

Zur Berechnung der Schweißnähte zwischen Schlinge und Längsbalken wird die Position des Auges auf dem Deck so angenommen, dass die Belastungen in den Schweißnähten einer Schlinge-Längsbalken-Verbindung maximal werden.

Dazu werden die Auflagerreaktionen für drei verschiedene Positionen des Auges bestimmt.



$$\sum F_{\text{vertikal}} = 0 = R_2 - F_B - F_A$$

$$\sum M_A = 0 = M_{V2} + \frac{l}{2} \cdot R_2 - l \cdot F_B$$

$$F_B = \frac{M_{V2} + \frac{l}{2} R_2}{l}$$

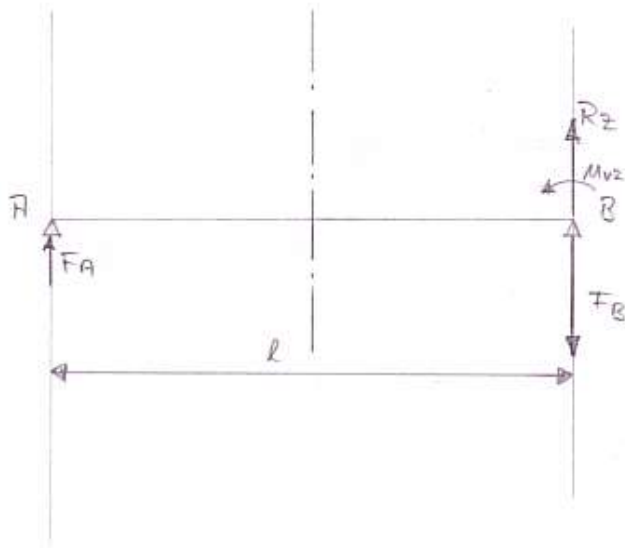
$$F_B = \frac{21,03 + 0,355 \cdot 131}{0,71} \quad \left[\frac{\text{kNm} + \text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}} \right]$$

$$\underline{F_B = 95,2 \text{ kN}}$$

$$F_A = R_2 - F_B$$

$$F_A = 131 - 95,2 \text{ [kN]}$$

$$\underline{F_A = 35,8 \text{ kN}}$$



2. Fall

$$\sum F_{\text{vertikal}} = 0 = R_2 - F_B + F_A$$

$$\sum M_A^{\curvearrowright} = 0 = l \cdot R_2 + M_{V2} - l \cdot F_B$$

$$F_B = \frac{l \cdot R_2 + M_{V2}}{l}$$

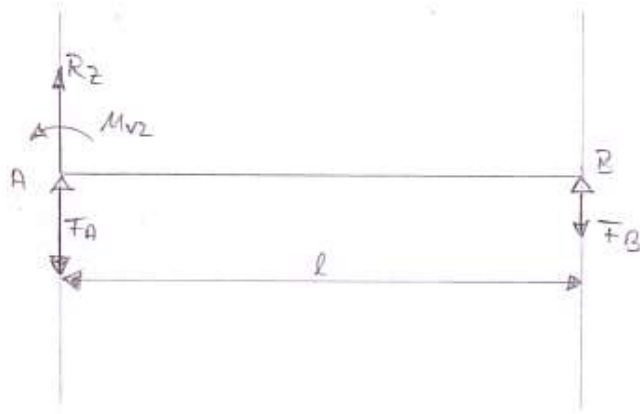
$$F_B = \frac{0,71 \cdot 131 + 21,05}{0,71} \left[\frac{\text{kN} \cdot \text{m} + \text{kNm}}{\text{m}} \right]$$

$$\underline{F_B = 160,7 \text{ kN}}$$

$$F_A = -(R_2 - F_B)$$

$$F_A = -(131 - 160,7) \text{ [kN]}$$

$$\underline{F_A = 29,7 \text{ kN}}$$



3. Fall

$$\sum F_{\text{vertical}} = 0 = R_z - F_A - F_B$$

$$\sum M_A^{\curvearrowright} = 0 = M_{v2} - l \cdot F_B$$

$$F_B = \frac{M_{v2}}{l}$$

$$F_B = \frac{21,03}{0,71} \quad \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

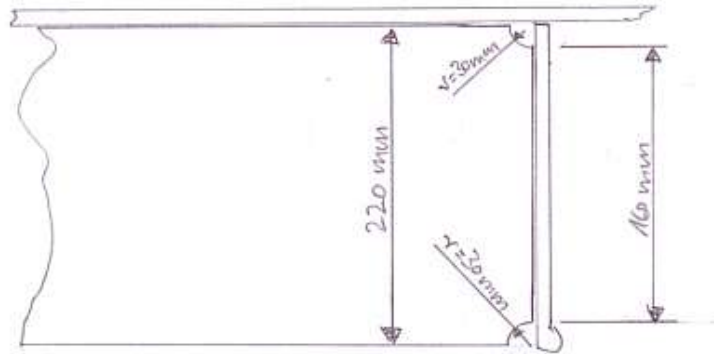
$$\underline{F_B = 29,7 \text{ kN}}$$

$$F_A = R_z - F_B$$

$$F_A = 131 - 29,7 \quad [\text{kN}]$$

$$\underline{F_A = 101,3 \text{ kN}}$$

Die größte auftretende Kraft ist
160,7 kN und dient zur Auslegung
der Schweißnaht



Gemäß obiger Skizze beträgt die Länge
der Schweißnaht:

$$l = 2 \cdot 160 = \underline{\underline{320 \text{ mm}}}$$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$\tau = \frac{F}{l \cdot a}$$

$$\Leftrightarrow a_{\min} = \frac{F}{\tau_{\text{zul}} \cdot l}$$

$$a_{\min} = \frac{160700}{85 \cdot 320} \left[\frac{\text{N mm}^2}{\text{N mm}} \right]$$

$$a_{\min} = 5,9 \text{ mm}$$

Wähle $a = 6 \text{ mm}$

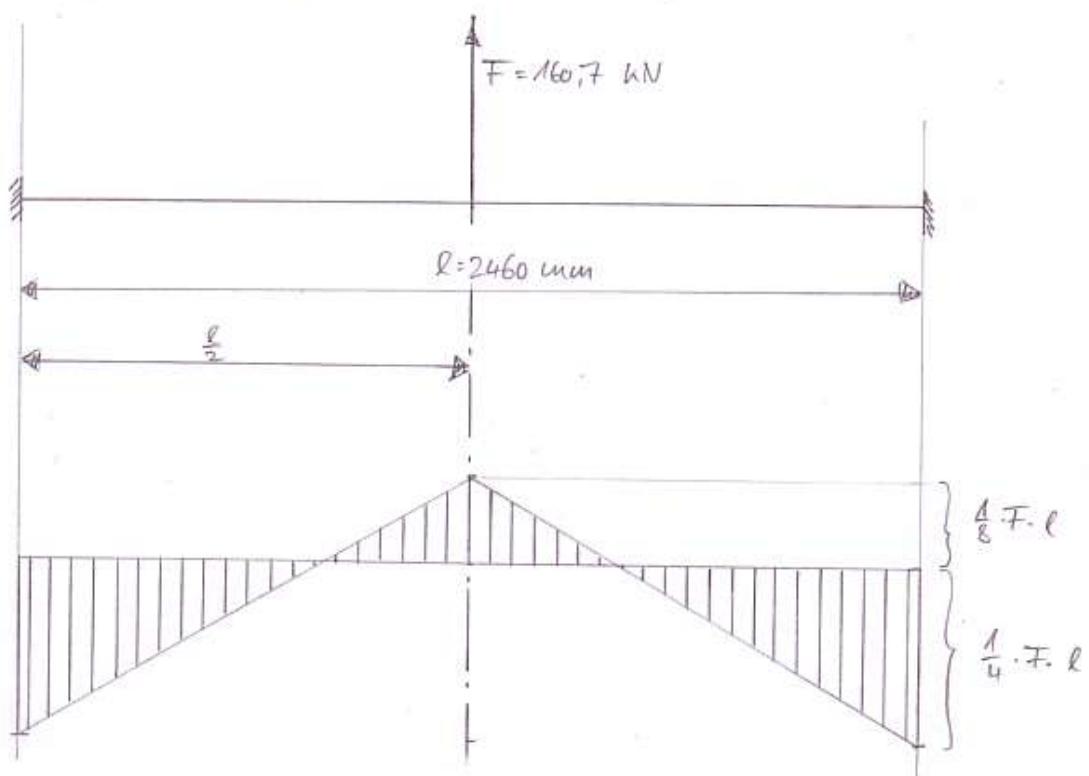
Biegespannung im Längsbalken

Das Widerstandsmoment des HP 220 x 10 wird einer Tabelle des GL entnommen, in der eine mittlere Deckbreite von $40 \cdot t_{\text{Deck}}$ bereits enthalten ist.

$$W = 276\,400 \text{ mm}^3$$

Der Berechnung liegt die maximale von der Schlinge auf den Längsbalken übertragene vertikale Kraft von $160,7 \text{ kN} = F$ zu Grunde.

Es wird angenommen, dass F auf der halben Länge zwischen zwei Querverahmen angreift. Wird als Ersatzsystem eine Fest Einspannung angenommen, ergibt sich folgende Darstellung:



Somit ist das maximale Biegemoment:

$$\begin{aligned} M_{Bmax} &= \frac{1}{4} \cdot F \cdot l \\ &= \frac{1}{4} \cdot 160,7 \cdot 2460 \quad [\text{kN} \cdot \text{mm}] \end{aligned}$$

$$M_{Bmax} = 98,83 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} \sigma_B &= \frac{M_B}{W} \\ &= \frac{98,83 \cdot 10^6}{0,2764 \cdot 10^6} \quad \left[\frac{\text{Nmm}}{\text{mm}^3} \right] \end{aligned}$$

$$\sigma_B = 357 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$