Engesser, Friedrich

Sammlung von Scripten

Band 6

1907/18

6

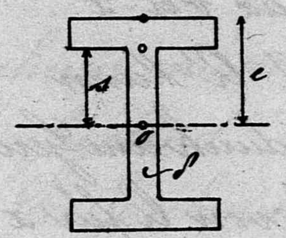
Blechträger.

[1918]

Blechträger.

Träger mit voller Wand.

Die Träger mit voller Wand sind entweder Balken oder Barren, welche aus einem Walzstück oder Gußstück bestehen, oder Blechträger, welche aus Blechen, Winkeleisen und Flacheisen zusammengesetzt sind. Die Berechnung ist für beide Anordnungen im Wesentlichen die gleiche, nur ist sie im letzteren Falle insofern umfangreicher, als sie sich auch auf die Stärke der Vernietungen und Querschnittbildung erstrecken muß. Sie gründet sich auf die in der Festigkeitslehre entwickelten Formeln für die inneren Spannungen.



Die allgemeine Gleichung für die Ersatzspannung lautet:

$$(\sigma) = \frac{3}{8}\sigma + \frac{5}{8}\sqrt{4\tau^2 + \sigma^2} = \frac{3 M e}{8 J} + \frac{5}{8}\sqrt{\frac{4 Q^2 \cdot S^2}{\delta^2 \cdot J^2} + \frac{M^2 \cdot e^2}{J^2}}$$

(sh. Gl. 31 der Festigkeitslehre)

Die größten Werte von (σ) erhält man in den Punkten e (äußerste Faser), o (neutrale Faser) und s (Anschluß der Wand an die Gurtung)

<u>Punkt e</u> $(\sigma) = \frac{M e}{J} \leqq K$ (1)

<u>Punkt o</u> $(\sigma) = \frac{5}{4}\tau_0 = \frac{5}{4}\frac{Q \cdot S}{\delta \cdot J} = \frac{5 Q}{4 \delta h_0}$, wenn $h_0 = \frac{J}{S}$ (2)

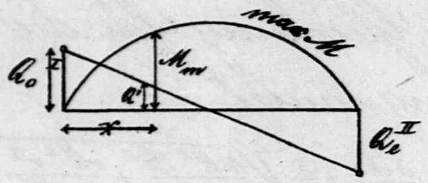
angenähert $= \frac{5 Q}{8 \delta s}$ für $h_0 = 2 s$

Die Richtung von (σ) bildet mit der neutralen Achse, bezw. mit der Längsfaser einen Winkel von 45° Nach dieser Richtung ist jedoch Walzeisen weniger fest als nach der Längsfaser (namentlich Stabeisen), so daß hier zur Sicherheit der Spannungskoeffizient nur gleich 0,8 K, wo K = Koeffizient für die Längsfaser gesetzt werden soll,

$(\sigma) = \frac{5}{4}\frac{Q}{\delta h_0} \leqq 0{,}8\,K$ angenähert $\frac{5Q}{8\delta s} \leqq 0{,}8\,K$. (für $h_0 = 2s$)

Punkt s: $(\sigma) = \frac{3Ms}{8J} + \frac{5}{8}\sqrt{\frac{4Q^2S^2}{\delta^2J^2} + \frac{M^2 \cdot s^2}{J^2}} \leqq K$ (3)

In Formel (1) u. (2) sind selbstverständlich die Maximalwerte von M und Q für den betr. Querschnitt einzuführen. In Gl. (3) sind strenggenommen jeweils 2 zusammengehörige Werte von Q und M, d.h. solche, die bei dem gleichen Belastungsfall eintreten, zu wählen, und zwar diejenigen Werte, welche max (σ) erzeugen. Diese Werte können durch Probieren gefunden werden. Man vergleiche die Kombinationen: (max M und zugehöriges Q') und (max Q und zugehöriges M'). M' ist für das Eigengewicht bekannt; für die Verkehrslast ist: $M' = \max v Q \cdot x$

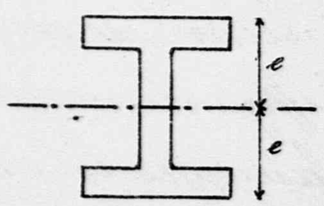


$[M' = eM + v Q^{I} \cdot x]$. Q' kann nährungsweise durch eine Gerade dargestellt werden, welche die Größtwerte von Q für $x = 0$ u. $x = l$, d.h. Q_0^{I} u. Q_e^{II}, verbindet. $[Q^{I} = Q_0^{II}(1 - \frac{2x}{l})]$. Hierbei ist $Q_0^{I} = -Q_e^{II}$.

Würde man gleichzeitig max M und max Q in Gl. (3) einführen, so erhielte man ein zu grosses (σ). In vielen Fällen genügt jedoch dieses Verfahren, nämlich dann, wenn das entsprechende (σ) kleiner als K sich ergibt; man hat dann die Sicherheit, daß auch das richtige (σ) unter dem Werte von K bleibt.

α) Balken oder Barren.

Querschnitt in der Regel konstant und symmetrisch

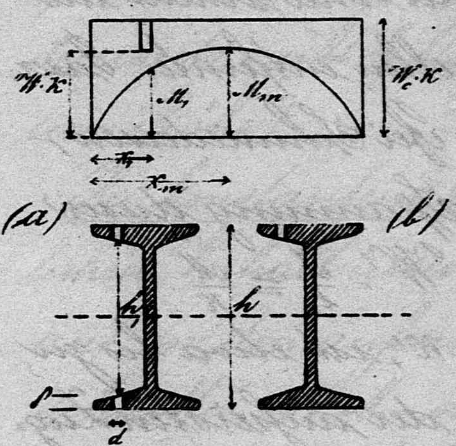


zur horizontalen Schwerpunktsachse; in normalen Fällen ist nur Gl. (1) in Betracht zu ziehen, da bei den üblichen Profilen und Belastungsverhältnissen die äußersten Fasern am ungünstigsten beansprucht werden.

Gl. (1) ergibt $\frac{J}{e} \geqq \frac{M}{K}$ oder $W \geqq \frac{M}{K}$ (4)

wenn man das Widerstandsmoment $\frac{J}{e}$ mit W bezeichnet.

Unter J und W sind selbstverständlich die nutzbaren Werte, nach Abzug etwaiger Lochschwächungen zu verstehen.



Befindet sich z.B. eine Lochschwächung bei Querschnitt x, so muß sein $W \geqq \frac{M}{K}$, außerdem aber auch für den Querschnitt des Maximalmomentes M_m: totales Widerstandsmoment $W_0 \geqq \frac{M_m}{K}$ sein. In der Regel wird man mit einer Lochschwächung bei x_m rechnen müssen, dann ist nur die eine Bedingung maßgebend: $W \geqq \frac{M_m}{K}$

Die Berechnung des nutzbaren Widerstandsmomentes W aus dem totalen Widerstandsmoment W_0 erfolgt im Falle (a), wo die Lochschwächungen symmetrisch zur horizontalen Schwerpunktsachse liegen, nach der Formel:

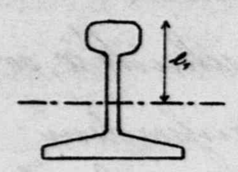
$W = W_0 - d\delta(h - 2\delta) = W_0 - d\delta h$. (5)

Im Falle (b), wo nur die eine Gurtung geschwächt ist, kann man genau genug die gleiche Formel anwenden, da die Spannungen des geschwächten Gurtes nicht wesentlich durch die Verhältnisse des anderen Gurtes beeinflußt werden.

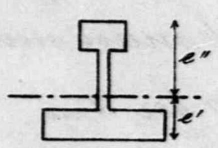
Sind die Löcher durch Nieten voll ausgefüllt, so tritt streng genommen eine Schwächung des Druckgurtes nicht ein. In der Regel wird jedoch mit Rücksicht auf etwaige mangelhafte Ausfüllung die Verschwächung voll in Abrechnung gebracht; bisweilen begnügt man sich auch mit Abrechnung der halben Lochschwächung.

Eine Berücksichtigung der Gl. (2) und (3) ist nur in Ausnahmefällen erforderlich (sehr starke Belastungen bei kleiner Spannweite). Siehe hierüber das Verfahren bei Blechträgern.

Bei Querschnitten, welche unsymmetrisch zur neutralen Achse angeordnet sind, erhält die am weitesten von derselben entfernte Faser die größte Spannung. Bei Schmiedeisen, wo $K' = K'' = K$, ist die Spannung dieser äußersten Faser (e_1) maßgebend. $W' = \frac{J}{e_1} \geqq \frac{M}{K}$

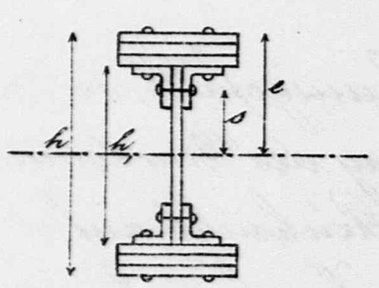


Bei Gußeisen, wo $K'' > K'$, ist etwa bis zu $e'' = 3e'$ die Spannung der äußersten Zugfaser maßgebend. Es muß hierfür sein. $W' = \frac{J}{e'} \geqq \frac{M}{K}$



Die Spannungszahl K kann aus den früher entwickelten Gründen (Bessere Ausnutzung des im Innern gelegenen Materials bei Gußeisen, das der Elastizitätsgleichung $\sigma = E \cdot \varepsilon$ nur unvollkommen folgt) höher als K' für reinen Zug angenommen werden. (Siehe Anmerkung 8 der Festigkeitslehre). Es ist zweckmäßig e'' nicht größer als $3e'$ zu wählen. Für $e'' > 3e'$ wird die Sicherheit der Druckfaser maßgebend.

B. Blechträger mit geraden Gurtungen.



In der Regel ist der Querschnitt symmetrisch zur neutralen Achse, die Gurtungen gerade und parallel (Parallelträger). Verhältnis der Trägerhöhe zur Spannweite $\frac{h}{l}$ meist $= \frac{1}{9}$ bis $\frac{1}{11}$ bei Hauptträgern. Günstigstes Verhältnis bezüglich des Materialaufwandes

bei eingleisigen Eisenbahnbrücken u. $l = 10^m$ $\frac{h}{l} = 0{,}13$; $l = 30^m$ $\frac{h}{l} = 0{,}1$

" zweigleisigen " " $l = 10^m$ $\frac{h}{l} = 0{,}17$; $l = 30^m$ $\frac{h}{l} = 0{,}13$

Man kann übrigens beträchtlich vom günstigsten Verhältnis abweichen, ohne den Materialaufwand wesentlich zu erhöhen, so daß man bei Hauptträgern gewöhnlich $\frac{h}{l}$ in den Grenzen $\frac{1}{9} - \frac{1}{11}$ wählt. (Bei Querträgern wird $\frac{h}{l}$ oftmals $> \frac{1}{10}$ bis zu $\frac{1}{5}$, zur Erhöhung der Steifigkeit; andererseits sinkt $\frac{h}{l}$ bis auf $\frac{1}{20}$ bei beschränkter Konstruktionshöhe).

Bei konstantem Querschnitt treten unter gewöhnlichen Verhältnissen die stärksten Beanspruchungen auf: in den äußersten Fasern des mittleren Bruchquerschnittes, wo $M = max$, und in der neutralen Achse der Endquerschnitte, wo $Q = max$, so daß hier Gl. (1) und (2) in Betracht kommen.

Gl. (2) liefert für die Wandstärke:

(6) $\delta \geqq \frac{1{,}5\,Q}{K \cdot h_0}$ und $\frac{1{,}6\,Q}{K \cdot h_0}$ angenähert $\delta \geqq \frac{1{,}6\,Q}{K \cdot 2s}$ zur größeren Sicherheit $\geqq \frac{2Q}{K \cdot h}$ wo s = Entfernung des Halsnietes von der neutralen Achse ($2s$ = theoretische Steghöhe)

Aus praktischen Gründen wählt man die Wand meistens stärker und zwar etwa nach folgenden Regeln

(7)

- Bei eingleisigen Eisenbahn- und gewöhnlichen Landstraßenbrücken $\delta_0 = 0{,}9 + 0{,}01\, l^m$ cm
- Bei zweigleisigen Eisenbahnbrücken $\delta_0 = 1{,}2 + 0{,}015\, l^m$ cm
- Bei Brücken in Nebenwegen, Fußstegen, Fußwegen $\delta_0 = 0{,}7 + 0{,}01\, l^m$ cm

Nur bei außergewöhnlich niederen und besonders stark belasteten Trägern ist eine Kontrolle der Resultate von Gl. (7) durch Gl. (6) erforderlich.

Es bedeutet in obigen Gleichungen δ_0 die totale Wandstärke, δ die nutzbare Wandstärke. Sofern die Wand keine anderen Schwächungen als durch die Halsnieten erleidet, kann $\delta = \delta_0$ gesetzt werden. Bei Vorhandensein von vertikalen oder horizontalen Nietreihen in der neutralen Achse:

$\delta =$ ca 0,7 bis 0,8 δ_0

Aus Gl. (1) ergibt sich das erforderliche nutzbare Trägheitsmoment:

$$(8) \quad J = \frac{M_m \cdot l}{K} = \frac{M_m \cdot h}{2K}$$

Der Querschnitt ist nun derart anzuordnen, dass er bei der Höhe h ein Trägheitsmoment J besitzt.

Zu diesem Zwecke setzen wir annähernd $J = \frac{\delta h_s^3}{12} + \frac{f \cdot h_s^2}{2}$, wo h_s = Entfernung der Gurtschwerpunkte bezw. annähernd = Höhe des Wandbleches, f = nutzbarer Querschnitt einer Gurtung, δ = nutzbare Wandstärke.

Man erhält:

$$(9) \quad f = \frac{2J}{h_s^2} - \frac{\delta h_s}{6} \text{ angenähert } = \frac{W}{h_s}$$

Es ist nun ein Querschnitt aus 2 Winkeleisen und Flacheisen (Platten) zusammenzusetzen, der nach Abzug der Nietlöcher die Grösse f besitzt.

[Die Nietlöcher werden der Sicherheit wegen auch im Druckgurt abgezogen]

Bezüglich der Querschnittsbildung ist zu bemerken: Man wählt selten Eisenstärken unter 0,8 cm (ausgenommen Fussstege und Fussweg-Konsolen, wo bis auf 0,6 cm herabgegangen werden kann.)

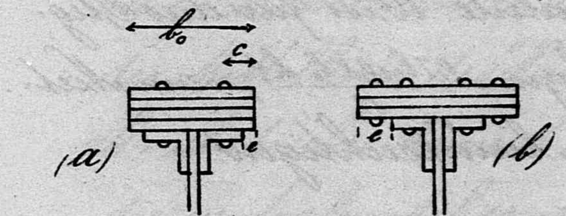
Die Winkeleisen sind in normalen Fällen gleichseitig, die Seitenlänge selten unter 7,5 cm (bei Fusswegen bis zu 6 cm). Als Anhaltspunkte für die Einzelmasse können folgende Regeln dienen:

	Eingleisige Eisenbahnbrücke	Zweigleis. Eisenbahnbrücke
Schenkeldicke = Stegdicke:	$\delta = 0,9 + 0,01\, l^m$ cm	$\delta = 1,2 + 0,015\, l^m$ cm
Totale Gurtbreite:	$b_0 = 15 + 0,6\, l^m$ cm	$b_0 = 15 + 1,2\, l^m$ cm

Bei offenen Brücken ist b_0 um ca 25% grösser anzunehmen. Die Seitenlängen der Winkel ergeben sich entsprechend den Dicken δ.

Bei stärkeren Trägern empfiehlt es sich den nötigen Gurtquerschnitt f so zu verteilen, dass $\frac{1}{3}$ auf die Winkel und $\frac{2}{3}$ auf die Gurtplatten entfällt.

Landstrassenbrücken nähern sich, je nach den Belastungen, mehr den Verhältnissen der ein- oder zweigleisigen Bahnbrücken.



Ferner ist zu bemerken, dass die Nietlängen (mit Berücksichtigung etwaiger Deckplatten) nicht gern über 3 d, höchstens = 4 d (d = Nietdurchmesser) gewählt werden. Aus dieser Bedingung ergeben sich bei niedrigen, stark belasteten Trägern breite Gurtungen.

Das Überstehen der Platten über die Winkel e soll bei 2 Nietreihen höchstens 1,0 d ÷ 1,5 d betragen, um ein Klaffen der Fugen zu verhüten (a); der Abstand c der Nieten vom Rand soll $\leqq$ 3d sein, bei 4 Nietreihen soll e mindestens 3 ÷ 3,5 d sein, um für die äusseren Nietreihen bequem Platz zu haben (b).

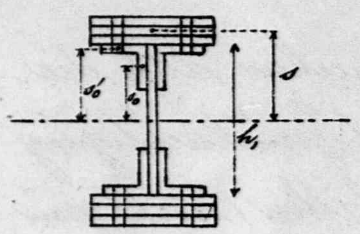
Nietstärke d etwa $= 2 + 0,01\, l^m$ cm bis $2 + 0,015\, l^m$ cm bei Eisenbahnbrücken (Hauptnieten).

Für die Nebennieten (äussere Nietreihe im Falle b) genügt meist d = 2 cm bis 1,8 cm.

Bei Landstrassenbrücken können dieselben Durchmesser gewählt werden. Bei Nebenstraßenbrücken, Fußwegen u.s.w. ist d entsprechend den geringen Eisenstärken und etwa nach $d = \delta + 1$ cm festzusetzen, wo δ die mittlere Stärke der verwendeten Eisensorten bezeichnet.

Ist der Querschnitt nach vorstehenden Gesichtspunkten angeordnet, so ist zur Kontrolle dessen genaues Trägheitsmoment J unter Berücksichtigung der Nietverschwächung zu berechnen; eventuell ist an den Einzelmaßen zu ändern, falls das berechnende J zu sehr von der Größe $\frac{M \cdot h}{2K}$ abweicht.

Am zweckmäßigsten berechnet man J nach folgender Formel:



$J = \Sigma i$ = Summe der Trägheitsmomente der Einzelbestandteile. Es ist für das Stegblech: $i = \frac{\delta_0 \cdot h_1^3}{12}$ bezw. $= \frac{0{,}7 \text{ bis } 0{,}8\; \delta_0 \cdot h_1^3}{12}$, wenn Nietschwächung zu berücksichtigen. (10)

Für einen Winkel:

$i = f_0 \cdot s_0^2 + J_y - f_0' \cdot s_0'^2$, wo

f_0 = voller Querschnitt

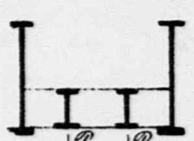
s_0 = Schwerpunktabstand

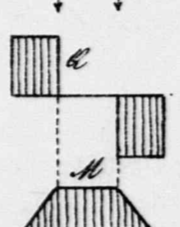
J_y = Trägheitsmoment um die eigene Achse

f_0' u. s_0' die auf das Nietloch bezüglichen Größen

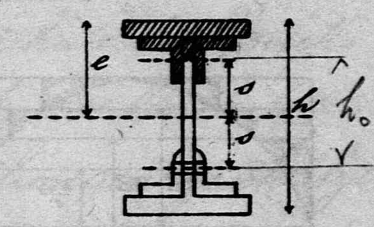
J_y kann meist vernachlässigt werden.

Für eine Kopfplatte: $i = f s^2$ wo f = nutzbarer Querschnitt, s = Schwerpunktabstand.





Bei solchen Trägern, wo max Q und max M im gleichen Querschnitt vorkommen (z.B. Querträger eingleisiger Bahnbrücken, Konsolen) treten am Anschluß der Wand an die Gurtung (Punkt s) stärkere Spannungen auf als in der neutralen Achse; so daß zur Kontrolle der Wandstärke Gl. (3) statt Gl. (2) zu benutzen ist.



Man erhält

$$\delta \geqq \frac{1{,}25\, Q\, St}{K J \sqrt{1 - \frac{3}{4}\frac{M \cdot s}{K \cdot J} - \frac{1}{4}\left(\frac{M s}{K J}\right)^2}} \qquad (11)$$

[NB. Die Spannung der äußersten Faser ist allgemein $= \frac{M \cdot e}{J}$. Wird nun in der Regel J derart gewählt, daß $\frac{M \cdot e}{J} = K$, so vereinfacht sich Gl. (11) zu

$$(11a) \qquad \delta \geqq \frac{1{,}25\, Q\, St}{J K} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4}\frac{s}{e} - \frac{s^2}{4e^2}}}$$, da $\frac{M \cdot s}{J} = \frac{M \cdot e}{J} \cdot \frac{s}{e} = \frac{K \cdot s}{e}$ wird.

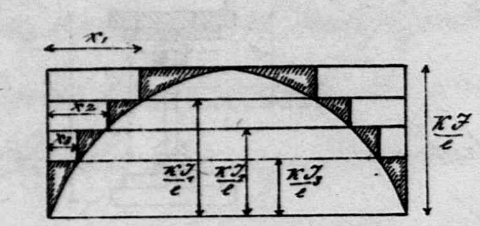
Wie in obenstehender Figur angegeben ist s = Entfernung der Mittellinie des Halsnietes von der neutralen Achse, St = statisches Moment der schraffierten Fläche bezüglich der neutralen Achse. Angenähert ist hier $\frac{J}{St} = h$, also nährungsweise

$$(11b) \qquad \delta \geqq \frac{1{,}25\, Q}{K \cdot h} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4}\frac{s}{e} - \frac{s^2}{4e^2}}}$$

Ergeben diese Gleichungen zu große Werte für δ, so ist dies ein Zeichen, daß $\frac{M \cdot e}{J}$ kleiner als K, d.h. $J > \frac{M e}{K}$ gewählt werden muß. Die zutreffenden Werte von J und δ sind dann mit Hilfe der Gl. (11) zu bestimmen.]

<u>Veränderlicher Querschnitt bei parallelen Gurtungen.</u>

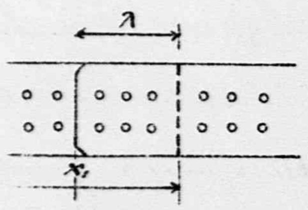
Bei größeren Spannweiten, wo das oben beschriebene Verfahren mehrere Platten für den Querschnitt ergibt, läßt man, entsprechend den abnehmenden Werten von M auch die Plattenzahl nach den Auflagern hin abnehmen. (In der Regel bis auf je 1 Platte oben und unten). Das Trägheitsmoment des Trägers ändert sich hierbei sprungweise und werde für die verschiedenen Querschnitte mit $J\ J_1\ J_2\ J_3$ ....



Die Grössen $\frac{KJ}{e}$ $\frac{KJ_1}{e}$ $\frac{KJ_2}{e}$ $\frac{KJ_3}{e}$ .... stellen dann diejenigen Momente dar, welche die einzelnen Querschnitte ohne Überanstrengung aushalten können. Durch Konstruktion findet man dann leicht die Abszissen derjenigen Punkte, bei welchen je eine Platte weggelassen werden kann (Siehe nebenstehende Figur). Der Abstand der äussersten Faser e ist etwas veränderlich mit der Plattenzahl. Nimmt man jedoch K im gleichen Verhältnis veränderlich an, so kann man $\frac{K}{e}$ konstant, entsprechend dem grössten Querschnitt setzen.

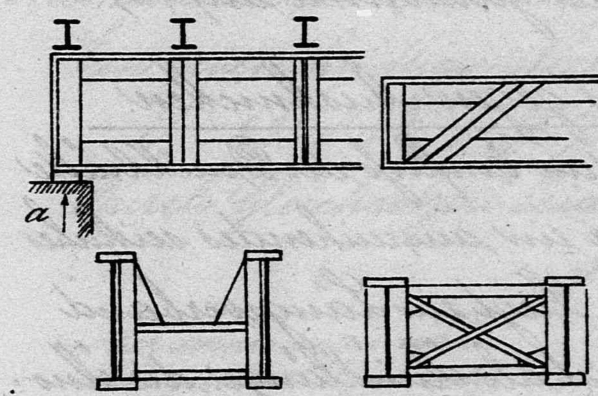
Zur Kontrolle, ob nicht etwa in der neutralen Achse der Endquerschnitte, oder in den Punkten s der Querschnitte $x_3\ x_2\ x_1$ die Spannung das zulässige Maß K übersteigt, dienen die Gl. 2 u. 3. Erforderlichenfalls ist entweder S entsprechend zu vergrößern (nach Gl. 6 od. 11a), oder man muß die Platten noch soweit verlängern, bis Gl. 3 erfüllt ist.

Die auf vorstehende Weise ermittelten Plattenlängen müssen jedoch noch mit Rücksicht darauf vergrössert werden, daß infolge der sprungweisen Änderung der Trägheitsmomente die angewandten Formeln in der Nähe der Stufen nur näherungsweise gültig sind, und daher an diesen Stellen ein Überschuß an rechnungsmäßiger Sicherheit wünschenswert erscheint. Man wird die Plattenverlängerung nach jeder Seite ($=\lambda$) mindestens so groß annehmen, daß auf derselben die dem Plattenquerschnitt entsprechende Anzahl Nieten n angebracht werden kann. (In nebenstehender Figur $n = 6$). Näheres hierüber folgt später.

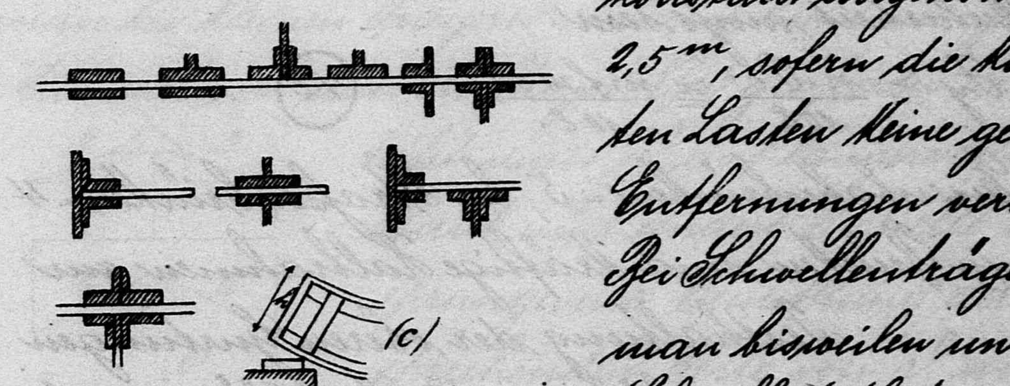


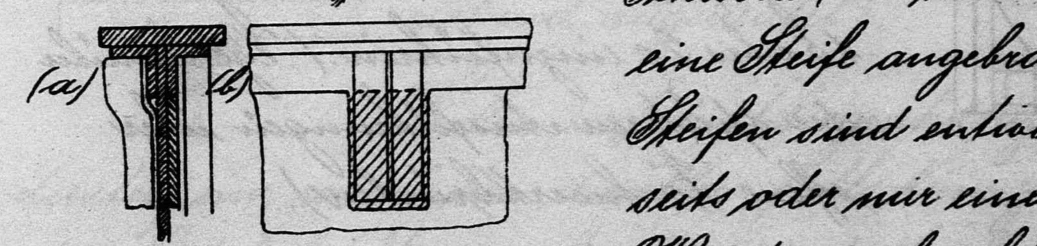
Aussteifung der Blechwand.

Damit die dünne Blechwand bei Aufnahme der Druckspannungen nicht seitlich ausbaucht oder knittert, muß dieselbe durch besondere Aussteifungen geschützt werden. Dieselben werden meist vertikal angeordnet und dann gleichzeitig zur Befestigung der vertikalen Querverbindungen bezw. Querträger benützt. Geneigte Anordnung der Aussteifungen ist selten, höchstens im Endfeld. Besonders notwendig sind die Steifen dort, wo konzentrierte Kräfte (Lasten, Auflagerdrücke) auf die Träger wirken und die Blechwand vertikal auf Druck in Anspruch nehmen, hier muß die Steife außer dem Schutz der Blechwand gegen Knicken auch noch die Verteilung der Kraft über die Blechwand bewirken.



Die Abstände der Steifen werden in der Regel konstant angenommen, 1,5-2,5 m, sofern die konzentrierten Lasten keine geringeren Entfernungen verlangen. Bei Schwellenträgern findet man bisweilen unter jeder Schwelle (Abstand 0,6-0,75 m) eine Steife angebracht. Die Steifen sind entweder beiderseits oder nur einerseits der Wand angebracht. Dimensionen derselben nach prakti-





schen Rücksichten.

Namentlich kräftig müssen die Endsteifen (Endständer) mit Rücksicht auf den Auflagerdruck konstruiert sein.

Bisweilen bestehen dieselben aus 2-3 Stücken, was jedoch weniger vorteilhaft, als ein kräftiger Querschnitt erscheint, da infolge der Durchbiegung in der Hauptsache doch nur eine Steife zum Tragen kommt. (c).

Um Kröpfungen der Steifen über die Gurtwinkel (a) zu vermeiden, füttert man meistens die Blechwand durch ein Futterstück von der Dicke der Gurtwinkel auf (b).

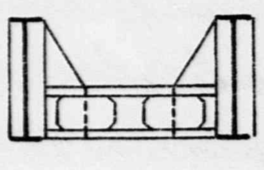
Sicherheit des Druckgurtes gegen Ausknicken.

Damit der Druckgurt unter dem Einfluss der Druckkräfte nicht seitlich ausknickt, muss er ein ausreichendes seitliches Trägheitsmoment J_y besitzen. Liegt ein Längsverband zwischen den Druckgurten, so ist als Knicklänge die Knotenpunktsentfernung c einzuführen. Die Druckkraft P ist gleich $f \cdot \sigma''$, wo σ'' = Druckspannung des Gurtschwerpunktes; angenähert $P = f \cdot \frac{M \cdot e}{J}$, in max. $P = f \cdot K$. Bei n-facher Sicherheit muss sein:

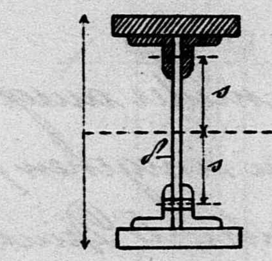
$$J_y \geqq \frac{n \cdot P \cdot c^2}{10E} \geqq \frac{n \cdot f \cdot K c^2}{10E} \qquad (12)$$

n ist bei Eisenbahnbrücken = 5, bei Strassenbrücken = 4.

Bei <u>offenen</u> Brücken sind kräftige Halbrahmen zur Festhaltung der oberen Gurtungen auszuführen. Als Knicklänge ist 1,5 c bis 2 c einzuführen. (Vgl. hierüber die späteren Ausführungen über offene Fachwerkbrücken).



Verbindung der Blechwand mit den Gurtwinkeln (Halsnieten).



Die Halsnieten haben die zwischen Gurtung und Wand herrschenden horizontalen Schubspannungen τ zu übertragen.

$\tau = \frac{Q \cdot St.}{\delta J}$, wo St. = stat. Moment der schraffierten Fläche bezüglich der neutralen Achse.

Bei einer Nietentfernung (Nietteilung) ϑ trifft auf <u>einen</u> Niet eine Kraft: $S_1 = \tau \cdot \delta \vartheta = \frac{Q\, St\, \vartheta}{J}$.

Ein zweischnittiger Niet kann übertragen eine Kraft:

$S_1 = 2{,}25\, \delta\, d\, K$ (Gl. 73 der Festigkeitslehre).

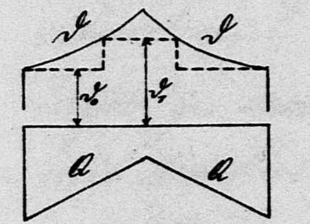
Durch Gleichsetzen beider Ausdrücke erhält man:

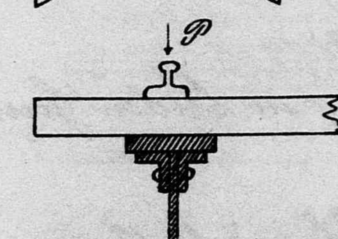
$$\vartheta = \frac{2{,}25\, \delta\, d\, K}{Q} \cdot \frac{J}{St}$$

oder wenn man näherungsweise $\frac{J}{St} = h$ setzt:

$$\vartheta = \frac{2{,}25\, \delta\, d\, h\, K}{Q} \qquad (13)$$

Hiernach nimmt ϑ umgekehrt Q zu, ist am Auflager am kleinsten, in der Mitte am grössten. In praxi nimmt man bei kleinen Trägern ϑ meist konstant, gleich dem Minimalwert dem Auflager. Bei grösseren Trägern lässt man ϑ auf längere Strecken konstant und ändert dasselbe sodann sprungweise. Ermittlung der entsprechenden Werte von ϑ wie nebenstehend angedeutet.

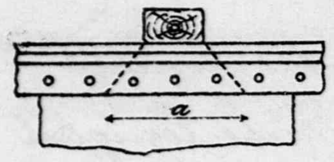




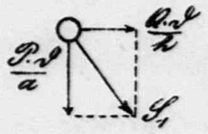
Wirken auf den Obergurt konzentrierte Lasten ein, so müssen dieselben, falls keine zwischenden Vertikalstützen vorhanden sind, ebenfalls durch die Halsnieten übertragen werden, da auf eine direkte

Berührung zwischen Platten und Steg nicht sicher zu rechnen ist.

(NB. Häufig wird sogar der Steg etwas zu nieder ausgeführt, um ein seitliches Abhobeln derselben zu umgehen).



Verteilt sich dieser konzentrierte Druck P auf a cm in der Längsrichtung, so ist der Druck für den lfd. cm gleich $\frac{P}{a}$ und für 1 Niet $\frac{P}{a} \cdot \vartheta$ kg.



Die totale, auf einen Niet entfallende Kraft ist nun:

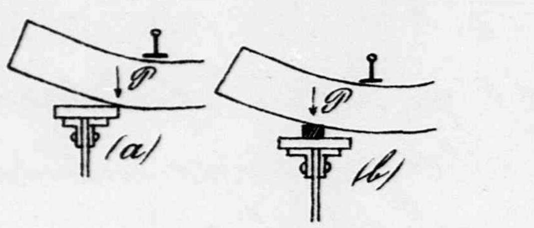
$$S_1 = \sqrt{(\tau \delta \vartheta)^2 + \left(\frac{P \vartheta}{a}\right)^2} = 2{,}25\, \delta\, d\, K$$

Nach Einsetzen der entsprechenden Werte erhält man

$$\vartheta = \frac{2{,}25\, \delta\, d\, K}{\sqrt{\frac{Q^2 S^2}{J^2} + \frac{P^2}{a^2}}}, \text{ angenähert} = \frac{2{,}25\, \delta\, d\, K}{\sqrt{\frac{Q^2}{h^2} + \frac{P^2}{a^2}}} \quad (14)$$

a kann bei hölzernen Querschwellen etwa = 30 cm gesetzt werden.

[Anmerkung 1. Wirkt P exzentrisch (a), dann werden die beiden Nietquerschnitte ungleich beansprucht, die Nietteilung muss schätzungsweise enger ausgeführt werden.

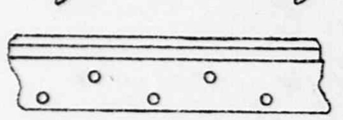


Durch konstruktive Mittel (b) kann der zentrische Angriff von P gesichert werden.]

Aus praktischen Rücksichten wählt man

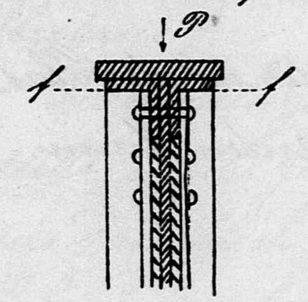
$$\vartheta \begin{array}{l} > 3{,}5 - 4\,d \\ < 8 - 10\,d \text{ bezw. } \vartheta < 16\,\delta \text{ (Zuggurtung)} \\ < 6\,d \quad \text{ bezw. } \vartheta < 12\,\delta \text{ (Druckgurtung)} \end{array}$$

Der Einfachheit wegen wird die Nietteilung in beiden Gurtungen meist gleich ausgeführt.



Bei Schenkelbreiten grösser als 12 cm werden die Halsnieten meist zweireihig angeordnet, um dichten Schluss zu erzielen.

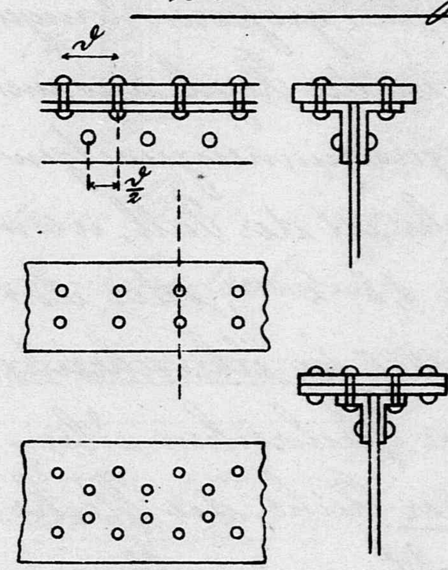
Man kann die Last P auch unmittelbar durch Vertikalsteifen aufnehmen, welche durch direkte Berührung längs der Fläche ff die Last P aufnehmen und die Halsnieten entsprechend entlasten.



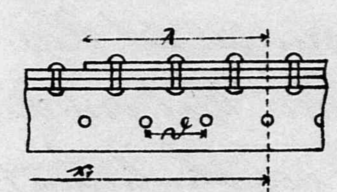
Ausserdem werden hierbei die durch die Steifen gehenden Halsnieten vierschnittig gemacht.

Derartige Steifen sind unbedingt einzuziehen, sobald es sich, wie bei obenliegenden Querträgern, um grosse Lasten handelt.

Vertikale Gurtnieten (Kopfnieten).



Diese Nieten haben geringere Schubkräfte zu übertragen als die Halsnieten. Sie erhalten gleiche Teilung ϑ wie letztere, gegen welche sie um $\frac{\vartheta}{2}$ versetzt wird. Gewöhnlich werden 2 vertikale Nieten in dem gleichen Querschnitt angeordnet.

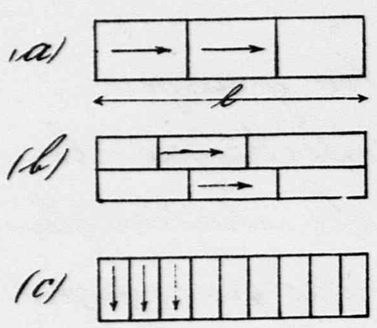
Bei breiten Gurtplatten sind 4 vertikale Nietreihen erforderlich, die beiden äusseren um ein Klaffen der Fugen zu verhüten. Die Nieten der letzteren liegen jeweils mit den Halsnieten in den gleichen Querschnitten.

Die Enden der neu aufgelegten Gurtplatten müssen nach dem früher gesagten noch um eine gewisse Länge r über die theoretisch bestimmte Stelle (x_1) hinausragen. r soll mindestens so lang sein, dass darauf so viel Vertikalnieten Platz finden als dem nutzbaren Plattengurtquerschnitt entspricht. Ist letzterer = f, so muss sein

(15) Nietzahl $n = \frac{1,4 S}{K d^2} = \frac{1,4 f}{d^2}$, da die in der Platte wirkende Kraft S gleich f.K gesetzt werden kann.

(16) $\begin{cases} \lambda = \frac{n}{2}\vartheta & \text{bei 2 Nietreihen} \\ \lambda = \frac{n}{4}\vartheta & \text{" 4 Nietreihen} \end{cases}$

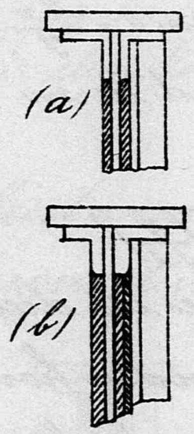
Sind $\frac{n}{2}$ und $\frac{n}{4}$ gemischte Zahlen, so sind die nächst größeren ganzen Zahlen einzusetzen.

Stoßverbindungen des Wandblechs.



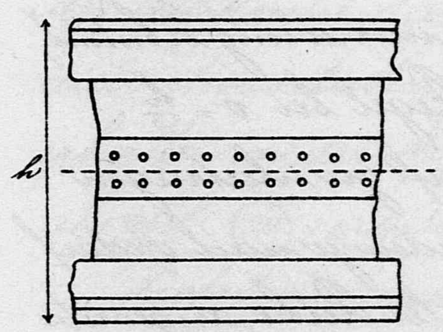
Bei Trägerlängen unter 6-10 m reicht ein Blech für die Wand aus; bei größeren Längen ist die Wand in der Regel aus mehreren Stücken zusammenzusetzen (a). Das Gleiche ist der Fall, wenn die Wandhöhe 1,8-2 m, oder ihr Gewicht 800-1000 kg überschreitet. Man muss dann entweder mehrere Blechreihen übereinander anordnen (b), oder bei einer Reihe, die Bleche vertikal stellen (c), wobei die Walzrichtung desselben normal zur Trägerachse steht, wie dies in der Skizze angedeutet ist. Letztere Anordnung ist insofern weniger gut, als die Elastizitätskoëffizienten parallel und senkrecht zur Walzfaser verschieden sind, außerdem auch die Festigkeit des Materials quer zur Faser geringer ist. Zur Sicherheit wird man bei Anordnung (c) den Wert von k etwas niedriger halten (ca 90-95% des gewöhnlichen). Für Zahl und Anordnung der Stöße sind die Dimensionen der erhältlichen Bleche maßgebend. Unter normalen Verhältnissen sind als Maximalwerte anzusehen: Breite b = 1,8-2 m. Max. Gewicht eines Stückes 800-1000 kg. (Ausnahmsweise b = 3 m, G = 1500 kg (mit Überpreis)).

Die Stoßfugen werden beiderseits durch Laschen gedeckt, welche zusammen einige Millimeter stärker als das Wandblech, einzeln selten schwächer als 0,8 cm sind. Befinden sich an der gleichen Stelle Vertikalsteifen, so macht man häufig das betreffende Laschenstück



so stark, wie den Gurtwinkel (a), um Kröpfungen zu vermeiden, falls nicht der Gurtwinkel so stark ist, daß auf dem Laschenblech von normaler Dicke noch ein besonderes Futterstück Platz finden kann (b).

Die Form der Laschenbleche bezw. deren Breite, hängt von der Zahl und Anordnung der erforderlichen Nieten ab.



Bei horizontalen Blechstößen ist die auf die Längeneinheit in der Stoßfuge wirksame bezw. durch die Stoßverbindung zu übertragende Kraft: $\tau\delta = \frac{Q \cdot St}{J}$. Auf einen doppelschnittigen Niet, welcher $2,25\, d\, \delta\, K$ übertragen kann, entfällt bei der Nietteilung ϑ die Kraft: $\vartheta\tau\delta = \frac{\vartheta\, Q\, St}{J}$;

Hieraus ergibt sich: $\vartheta = \frac{2,25\, d\, \delta\, K\, J}{St\, Q}$ (17)

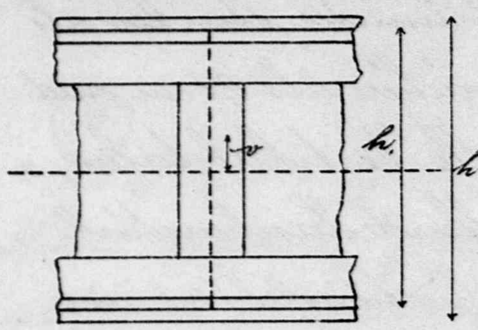
Speziell für die neutrale Achse ist $\frac{J}{St} = h_s$ angenähert $= 0,9h$

somit $\vartheta = \frac{2\, d\, \delta\, h\, K}{Q}$ (18)

Wie bei den Halsnieten wählt man aus praktischen Gründen $\vartheta \gtrless \begin{matrix} 3,5-4d \\ 8-10d \end{matrix}$.

Auch hier wird man, wie bei den Halsnieten, die Nietteilung konstant über die ganze Spannweite oder doch über längere Strecken durchführen.

Vertikale Blechstöße

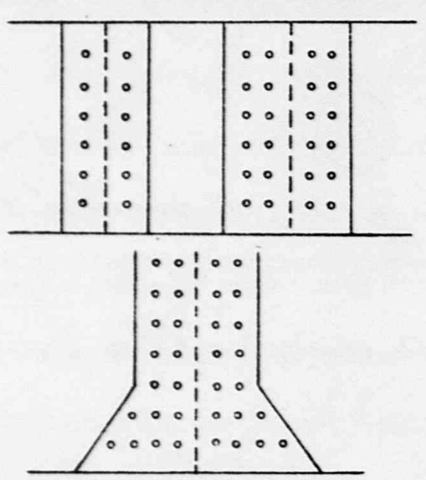


In den einzelnen Punkten einer vertikalen Fuge herschen im allgemeinen schiefe Spannungen, welche sich zusammensetzen aus den Normalspannungen $\sigma = \frac{M \cdot v}{J}$ und den Tangentialspannungen $\tau = \frac{Q \cdot S}{\delta J}$, und deren Werte erhalten werden aus

(19) $$x = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = \sqrt{\left(\frac{M v}{J}\right)^2 + \left(\frac{Q \cdot S}{\delta J}\right)^2} \quad \sqrt{\left(\frac{M v}{J}\right)^2 + \left(\frac{Q}{\delta \cdot h_1}\right)^2}$$

In der neutralen Achse wird $\sigma = 0$; $x = \tau_0$; es ist dies die gleiche Spannung, wie in der entsprechenden horizontalen Fuge; es wird daher hier auch die gleiche Teilung ϑ erforderlich. Mit wachsendem v wächst unter gewöhnlichen Verhältnissen auch der Wert von x, da σ proportional mit v zunimmt, τ aber nur wenig abnimt; der Maximalwert von x liegt in der Regel bei $v = \frac{h}{2}$.

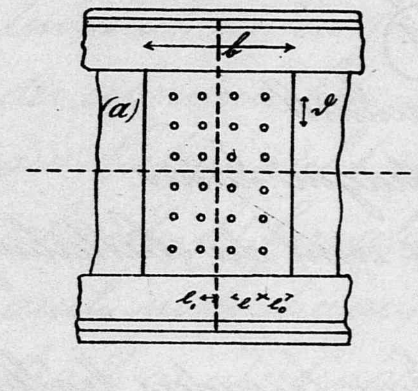
Auf die Länge ϑ ist nun eine Kraft zu übertragen $= x \cdot \delta \cdot \vartheta$. Zur Aufnahme derselben werden je nach Bedarf 1, 2 oder mehrere Nieten in horizontaler Reihe angeordnet, deren Widerstandsfähigkeit pro Stück $S_1 = 2{,}25\, d\, \delta\, K$ beträgt.



Die Nietteilung muß sonach sein:

(20) $$\left.\begin{aligned} &\text{bei 1 Nietreihe: } \vartheta = \frac{2{,}25\, d\, K}{x} \\ &\text{bei 2 Nietreihen: } \vartheta = \frac{4{,}5\, d\, K}{x} \\ &\text{bei } i \text{ Nietreihen: } \vartheta = \frac{i \cdot 2{,}25\, d \cdot K}{x} \end{aligned}\right\}$$

wo x der Gl. (19) zu entnehmen ist.



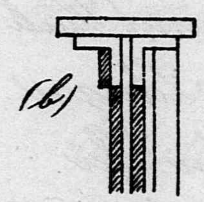
Gewöhnlich ordnet man rechteckige Laschenbleche an mit 2 Nietreihen beiderseits des Stoßes mit folgenden Dimensionen:

$$\left[\begin{aligned} b &= 12 - 16\, d \\ e &= 3 - 4\, d \\ e_0 &= 2\, d \end{aligned}\right.$$

Für die Nietteilung genügt: $\vartheta = 3{,}5 - 4\, d$ (außen)

$= 7{,}5\, d$ (in der neutralen Faser)

Meist wird eine konstante Nietteilung der Einfachheit wegen durchgeführt.



Der unter dem Gurtwinkel liegende Teil des Wandblechs wird vielfach nicht besonders gedeckt, indem die Laschenbleche nur bis an die Gurtwinkel reichen (a). Mit Rücksicht darauf werden die Laschenbleche zusammen etwas dicker als das Wandblech ausgeführt und erhalten in der Nähe der Gurtwinkel engere Teilung als Gl. (20) ergibt.

Trotzdem lassen sich bei dieser Anordnung Überanstrengungen schwer vermeiden, auch wenn man das ungedeckte Wandstück bei Berechnung des Widerstandsmomentes außer Acht läßt.

Legt man, was korrekter ist, zur Deckung des unter den Gurtwinkeln liegenden Stückes eine besondere Lasche auf einen der Winkel (b), so ist die Länge derselben, bezw. die erforderliche Nietzahl mit Rücksicht auf den verdeckten Stoß und mit Rücksicht darauf zu bestimmen, daß die Stoßnieten gleichzeitig auch noch die Schubspannungen zwischen Wand und Gurtung zu übertragen haben.

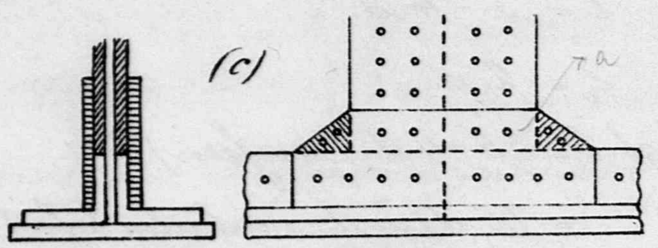
Die erforderliche Nietzahl kann gesetzt werden:

$$n = \frac{\beta \cdot f \cdot K(1+0{,}3)}{S_1} \qquad (21)$$

wo f = zu deckender nutzbarer Querschnitt

$\beta = 1{,}2$; S_1 = Kraft, die 1 Niet übertragen kann.

Zur Verringerung der Laschenlänge ist event. die Nietteilung zu verkleinern.

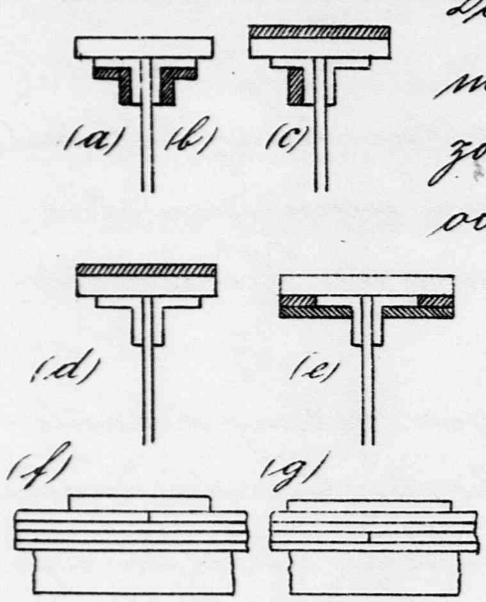


Eine besonders kräftige Stoßdeckung zeigt nebenstehende Skizze (c).

Die Nieten a können als 4 schnittig vorausgesetzt werden

Stoßverbindungen der Gurtung

Die einzelnen Gurtteile (Lamellen), Winkeleisen und Flacheisen, sind je nach den Querschnittsgrößen in Längen von 8–16 m (ausnahmsweise bis 20 m) zu erhalten. Bei größeren Längen werden Stöße erforderlich, welche im Zuggurt und im Druckgurt meist auf die gleiche Weise gedeckt werden.



Die Deckung der Gurtwinkel erfolgt meist durch direkt aufgelegte horizontale und vertikale Flacheisen (a) od. durch eine oben aufgelegte Platte (Deckplatte) indirekte Stoßdeckung (d), oder durch ein vertikales Flacheisen in Verbindung mit einer Deckplatte (e), wobei ersteres den vertikalen, letzteres den horizontalen Winkelschenkel deckt. Bisweilen werden zur Stoßdeckung „Deckwinkel" (b) verwendet.–

Die Deckung der Gurtplattenstöße erfolgt durch Deckplatten, welche in der Regel oben (d) die beiden Gurten, auch unten (e) aufgelegt werden. Bei Bestimmung der erforderlichen Nietzahl ist darauf zu achten, daß die Nieten nicht nur die im gestoßenen Gliede (Querschnitt = f) herrschende Kraft $f \cdot K$ sondern gleichzeitig auch noch die auf Stoßplattenlänge wirkende Schubkraft zu übertragen haben, und daß die Kraftübertragung meist über mehrere Zwischenglieder hinweg (indirekte Stoßdeckung) geschehen muß.

Die erforderliche Nietzahl auf jeder Seite des Stoßes beträgt

$$n = \frac{\beta \cdot f \cdot K(1+0{,}3m)}{S_1} \qquad (22)$$

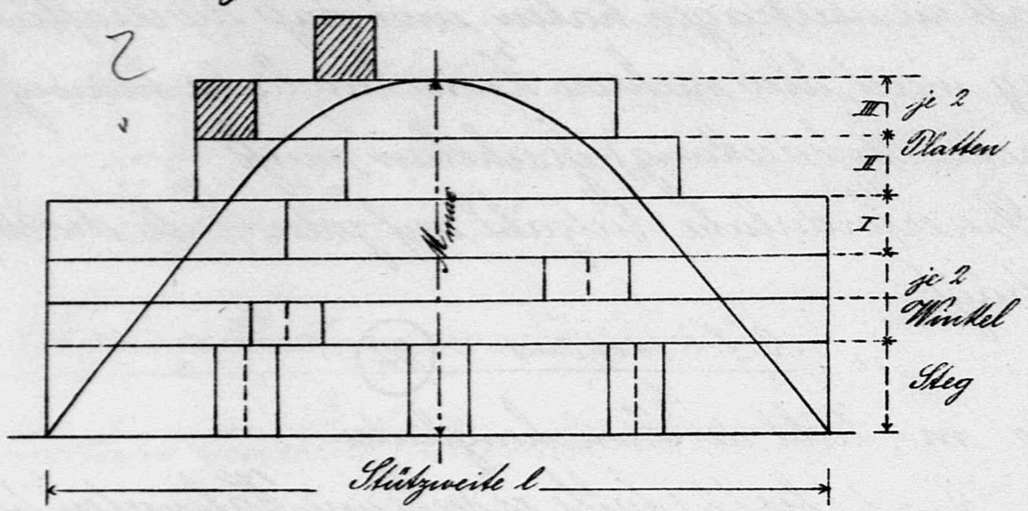
wo m = Zahl der Zwischenglieder

$\beta = 1{,}1$ bis $1{,}2$ (falls es sich um Halsnieten handelt)

Ist die Nietzahl n nach vorstehenden Regeln bestimmt, so ergibt sich bei gewählter Nietteilung d die Länge der Stoßplatten. Sehr häufig wendet man an den Stößen eine kleinere Teilung an als in den Zwischenstrecken um kürzere Stoßplatten zu erhalten. Bei einer normalen Nietteilung größer als 7 d wird man an den Stößen zweckmässig eine halb so große Teilung durch Zwischensetzen je eines Nietes zur Ausführung bringen. Bei kleinen Spannweiten, bei welchen die Minimalteilung in den freien Strecken konstant über die ganze Länge durchgeführt wird, findet in der Regel auch an den Stößen keine Verringerung der Nietteilung statt.

Stoßverteilung.

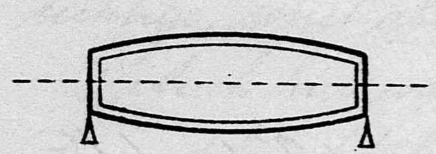
Die Stöße der einzelnen Glieder werden entweder möglichst zusammengelegt oder über den Träger verteilt. Letzteres ist konstruktiv besser, da die Stöße stets die schwächsten Stellen des Trägers bilden; auch wird es hierbei vielfach möglich, die Stöße dorthin zu legen, wo überschüssiger Querschnitt vorhanden ist. Bei der erstgenannten Anordnung wird dagegen an Stoßplatten gespart.



Um eine zweckmässige Stoßverteilung vornehmen zu können, löst man das, dem Maximalquerschnitt entsprechende Moment $\frac{K \cdot J}{e}$ in die Summe seiner Teile auf:

$\frac{K i_1}{e} + \frac{K i_2}{e} + \frac{K i_3}{e} + \ldots$, wobei unter i_1, i_2 u. s. w. jeweils die Summe der 2 entsprechenden Glieder im Obergurt und Untergurt verstanden ist. Die einzelnen Summanden werden sodann als horizontale Streifen im Momentenmaßstab aufgetragen; desgl. die Momentenkurve. Die Stöße sind nun derart zu legen, daß nirgends die verfügbaren Eisenlängen überschritten werden und eine gute Deckung jedes einzelnen Stoßes ermöglicht wird. In letzter Beziehung wird man suchen die Stöße dorthin zu legen, wo überschüssiger Querschnitt vorhanden ist.

γ. Blechträger mit 2 symmetrisch gekrümmten Gurtungen.



Nach Gl. 14 der Festigkeitslehre ist allgemein:

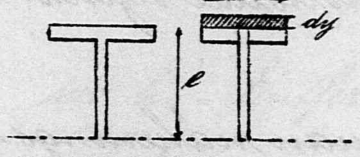
$$(\sigma) = \frac{3}{8}(\sigma + \sigma_1) + \frac{5}{8}\sqrt{4\tau^2 + (\sigma - \sigma_1)^2}$$

wo $\sigma = \frac{M \cdot v}{J}$ die Normalspannung eines vertikalen

σ_1 die Normalspannung eines horizontalen Flächenelementes bezeichnet.

Die Tangentialspannung eines horizontalen bezw. vertikalen Flächenelements ist nach Gl. 25

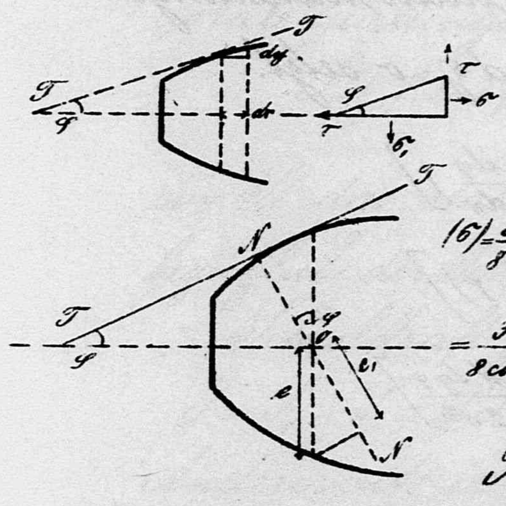
$$\tau = \frac{1}{n}\left[\frac{Q\,St}{J} + M\frac{d}{dx}\left(\frac{St}{J}\right)\right] = \frac{1}{n}\left[\frac{Q\,St}{J} + \frac{M}{J^2}\left(J\frac{d\,St}{dx} - St \cdot \frac{dJ}{dx}\right)\right]$$



a) Für die äußere Faser ist

$$St = 0;\ d\,St = n \cdot dy \cdot e;\ \sigma = \frac{Me}{J}$$

$$\tau = \frac{1}{n}\frac{M}{J^2}\frac{J\,d\,St}{dx} = \frac{Me\,dy}{J\,dx} = \frac{Me}{J}\,tg\,\varphi = \sigma\,tg\,\varphi$$



$$\sigma_1\,dx = \tau\,dy;\ \sigma_1 = \tau \cdot \frac{dy}{dx} = \tau\,tg\,\varphi = \sigma\,tg^2\varphi = \frac{Me}{J}\,tg\,\varphi^2$$

$$(\sigma) = \frac{3}{8}\sigma(1 + tg^2\varphi) + \frac{5}{8}\sqrt{4(\sigma\,tg\,\varphi)^2 + \sigma^2(1 - tg^2\varphi)^2} = \frac{3}{8}\sigma(1 + tg^2\varphi) + \frac{5}{8}\sqrt{\sigma^2(1 + tg^2\varphi)^2}$$

$$= \frac{3\sigma}{8\cos^2\varphi} + \frac{5\sigma}{8\cos^2\varphi} = \frac{\sigma}{\cos^2\varphi} = \frac{Me}{J\cos^2\varphi} \leqq K \qquad 23$$

Richtung von (σ):

$$tg\,2\alpha_\xi = \frac{2\tau}{\sigma - \sigma_1} = \frac{2\sigma\,tg\,\varphi}{\sigma - \sigma\,tg^2\varphi} = tg\,2\varphi$$

Also: $\alpha_\xi = \varphi$ 24

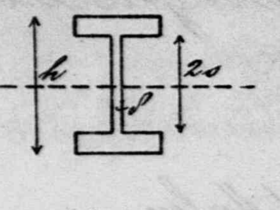
D. h. die Richtung von (σ) fällt in die Tangente TT. Fällt man vom Schwerpunkt o des Querschnittes eine Normalebene NN auf die Tangente TT, projiziert den Querschnitt F auf diese Normalebene, so wird für diesen projizierten Querschnitt F, das Widerstandsmoment.

$$W_1 = \frac{J_1}{e_1} = \frac{J \cdot \cos^3\varphi}{e \cdot \cos\varphi} = \frac{J \cdot \cos^2\varphi}{e}$$

also auch:

$$(\sigma) = \frac{Me}{F\cos^2\varphi} = \frac{M}{W_1} = \frac{Me_1}{J} \leqq K$$

b) Für die neutrale Faser ist



$\sigma = 0;\ \sigma_1 = 0$

Bezeichnet man mit F den totalen Querschnitt, mit f den Querschnitt einer Gurtung und setzt die Steghöhe $2s$ angenähert $= \frac{J}{St}$ bezw. = Entfernung der Schwerpunkte der Querschnittshälften, so erhält man:

$$St = \frac{F}{2}s;\ dSt = \frac{F}{2}(s+dy) - \frac{F}{2}s = \frac{F}{2}dy$$

$J = Fs^2 + 2J$, wo J das Trägheitsmoment einer Querschnittshälfte um ihre eigene Schwerpunktsaxe bezeichnet.

$dJ = F(s+dy)^2 - Fs^2 = 2Fsdy$, wenn man näherungsweise $dy = 0$ setzt.

somit:

$$\tau_0 = \frac{1}{\delta}\left[\frac{Q}{2s} + \frac{M}{J^2}\left(J.\frac{F}{2}.\frac{dy}{dx} - St.F2s\frac{dy}{dx}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{\delta}\left[\frac{Q}{2s} + \frac{M}{J^2}\left(\frac{F^2s^2}{2}tg\varphi - F^2s^2 tg\varphi\right)\right]$$

$$= \frac{1}{\delta}\left[\frac{Q}{2s} - \frac{M}{J^2}\ \frac{F^2s^2 tg\varphi}{2}\right] = \frac{1}{\delta}\left[\frac{Q}{2s} - \frac{M\,tg\varphi}{2s^2}\right]$$

$$\tau_0 = \frac{1}{\delta 2s}\left(Q - \frac{M\,tg\varphi}{s}\right)$$

Nach Einsetzen dieses Wertes in die Gl $(\sigma) = \frac{5}{4}\tau_0 \leqq 0{,}8K$ erhält man als Kontrollgleichung für die Wandstärke

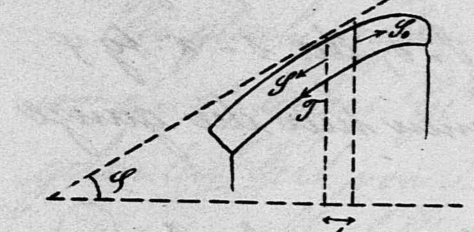
(25) $\delta \geqq \frac{0{,}8}{sK}\left(Q - \frac{M}{s}tg\varphi\right)$

M kann näherungsweise $= Q.x$ gesetzt werden; dieser Ausdruck ist für die Verkehrslast genau richtig, für das Eigengewicht nur am Auflager richtig, für alle anderen Querschnitte etwas zu klein. Nach Einsetzen erhält man:

(25a) $\delta \geqq \frac{0{,}8Q}{sK}\left(1 - \frac{x\,tg\varphi}{s}\right)$, welche Gleichung nach dem eben Gesagten für den Auflagerquerschnitt richtige, sonst aber etwas zu grosse Werte liefert.

Auch hier wählt man die Wandstärke nach Gl. (7) und benutzt Gl. (25) u. (25a) nur zur Kontrolle.

c) Schubspannung zwischen Wand und Gurtung.



(zur Berechnung der Halsnieten)
Größte Spannung der äußersten Gurtfaser (parallel der Tangente) $= \frac{Me}{F.\cos^2\varphi}$. Größte Spannung im Gurtschwerpunkt:

$$\xi = \frac{M.e}{F\cos^2\varphi}\cdot\frac{hs}{2e} = \frac{M.hs}{2F\cos^2\varphi}$$

wo hs = Entfernung der Gurtschwerpunkte.
Totale Gurtungskraft (parallel der Tangente wirkend)

$$S = \xi.f.\cos\varphi = \frac{M.hs.f}{2F\cos\varphi} = \frac{M}{F\cos\varphi}.St,$$

wo St das statische Moment des Gurtquerschnittes f bezüglich der Schwerpunktsachse bezeichnet.

Schubkraft zwischen Wand und Gurtung

$$T = S_1 - S = dS.$$

Andererseits ist auch $T = \xi\delta.\frac{dx}{\cos\varphi}$, wo ξ = Schubspannung parallel der Tangente.

Also $\xi\frac{dx}{\cos\varphi} = dS$, $\xi = \frac{\cos\varphi.dS}{\delta.dx} = \frac{\cos\varphi}{\delta}\frac{d}{dx}\left(\frac{M.St}{F.\cos\varphi}\right)$

$$= \frac{1}{\delta}\frac{d}{dx}\left(\frac{M.St}{F}\right) = \tau,$$

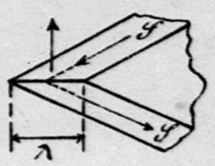
(wenn man näherungsweise $\cos\varphi$ unter dem Differenzialzeichen als konstant ansieht), wo τ die Schubspannung in horizontaler und vertikaler Richtung. τ nimmt von der neutralen Achse bis zur Gurtung (Punkt s) nur wenig ab, man kann für Punkt s annähernd setzen:

$\tau = \tau_0 \cdot \frac{s}{e}$, wo τ_0 = Schubspannung in der neutralen Achse.

Somit $F = \tau_0 \frac{2s}{h} = \frac{1}{\delta h}\left(Q - \frac{M \cdot tg\varphi}{s}\right)$, annähernd $= \frac{Q}{\delta h}\left(1 - \frac{x\, tg\varphi}{s}\right)$

Nietteilung: $\vartheta \leqq \frac{2{,}25\, d\, \delta\, K}{F\, \delta} = \frac{2{,}25\, d\, \delta\, h\, K}{Q - \frac{M \cdot tg\varphi}{s}}$, annähernd $= \frac{2{,}25\, d\, \delta\, h\, K}{Q\left(1 - \frac{x\, tg\varphi}{s}\right)}$ (26)

[__Anmerkung 2.__ Wird die Trägerhöhe am Auflager = 0, so ergibt sich nach Gl. (25a) auch $\delta = 0$, da $s = x \cdot tg\varphi$ wird; d. h. die Gurtungen übernehmen hier die ganze Querkraft Q $(= A)$.



Die Wand ist hier jedoch nötig, um die Horizontalkomponenten der Gurtungskraft S aufzunehmen, bezw. als Stoßplatte für die Gurtungen zu dienen.

Horizontalkomponente: $T = S \cdot \cos\varphi = \frac{A \cdot tg\varphi}{2}$

Zur Aufnahme dieser Kraft ist ein Querschnitt $f = \frac{A \cdot tg\varphi}{2t}$ erforderlich. (27)

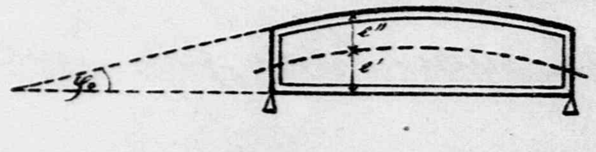
$$\left.\begin{array}{l} \text{Für } t = 0{,}8\, K \text{ (Blech) wird } f = \frac{A \cdot tg\varphi}{1{,}6\, K} \\ \text{„ } t = 0{,}6\, K \text{ (Flacheisen) „ } f = \frac{A \cdot tg\varphi}{1{,}2\, K} \end{array}\right\} \quad (27a)$$

Verteilt sich t auf eine Länge λ, so ist:

$f = \delta \cdot \lambda$ also

$$\text{bezw.} \left\{\begin{array}{l} \delta = \frac{A \cdot tg\varphi}{1{,}6\, K \lambda} \text{ od. } \lambda = \frac{A \cdot tg\varphi}{1{,}6\, K \delta} \\ \delta = \frac{A \cdot tg\varphi}{1{,}2\, K \lambda} \text{ od. } \lambda = \frac{A \cdot tg\varphi}{1{,}2\, K \delta} \end{array}\right\} \quad (28)$$

δ) Blechträger mit einer gekrümmten und einer geraden Gurtung.



Die Achse dieser Träger ist gekrümmt, es sind daher die bisher entwickelten Formeln, welche auf gerader Stabachse beruhen, hier nicht mehr genau richtig. Näherungsweise sind folgende Formeln gültig, welche durch Kombination der Formeln unter (β) und (γ) gebildet werden:

a.) __Äußerste Fasern__

(29) Gekrümmte Gurtung: $(\sigma) = \frac{M e''}{F \cos^2\varphi_0} \leqq K$, woraus $F \geqq \frac{M e''}{\cos^2\varphi_0 \cdot K}$

(30) Gerade Gurtung: $(\sigma) = \frac{M e'}{F} \leqq K$, woraus $F \geqq \frac{M e'}{K}$

Bei gleich großen Gurtquerschnitten (Vertikalschnitte), wo $e' = e''$, liefert Gl. (29) den größeren, und daher maßgebenden Wert von F. Für $e'' = e' \cdot \cos^2\varphi_0$ geben Gl. (29) und (30) denselben Wert für F.

Wenn $e'' < e' \cos^2\varphi$ wird Gl. (30) maßgebend.

b.) __Neutrale Faser.__

$$\tau_0 = \left(Q - \frac{M}{2s}\, tg\,\varphi_0\right) : \delta\, 2s \text{ angenähert} = \frac{Q}{\delta\, 2s}\left(1 - \frac{x}{2s}\, tg\,\varphi_1\right)$$

$(\sigma) = \frac{5}{4}\tau_0 \leqq K$ woraus

$$\delta \geqq \frac{0{,}8\, Q}{s\, K}\left(1 - \frac{x}{2s}\, tg\,\varphi_0\right) \quad (31)$$

c.) __Halsnieten.__

$$\left.\begin{array}{l} \text{Gekrümmte Gurtung } \xi'' = \frac{Q}{\delta h}\left(1 - \frac{x\, tg\varphi_0}{2s}\right) \\ \text{Nietteilung } \vartheta'' = \frac{2{,}25\, d\, \delta\, h\, K}{Q\left(1 - \frac{x\, tg\varphi_0}{2s}\right)} \end{array}\right\} \quad (32)$$

Für die gerade Gurtung kann $\vartheta = \vartheta''$ gesetzt werden. Hierin bezeichnet φ_0 den Winkel der Tangente der gekrümmten Gurtung mit der horizontalen; $2s$ die theoretische Wandhöhe (= Entfernung der Halsnieten).

Engesser.