

dadurch wieder verloren, dafs es bei Walzträgern unmöglich ist, sich der Abnahme der Biegemomente durch Verschwächung des Querschnittes anzuschließen.

Die schwersten Profile soll man für etwas ermäßigte Beanspruchungen berechnen, da ihre Herstellung an Sicherheit derjenigen der schwachen Profile nachsteht.

### 3) Blechträger.

Blechträger werden zusammengesetzt aus Winkeleisen und vollen Blechplatten, und zwar fast ausschliesslich in I-Form (Fig. 568) oder in Kastenform (Fig. 569); letztere erreicht bei thunlichster Höheneinschränkung eine breite Oberfläche, z. B. zum Tragen starker Mauern, macht aber eine Revision der Innenflächen unmöglich.

Die Kopf- und Fußplatten läßt man nicht mehr, als um ihre achtfache Dicke über die Winkeleisen frei vorragen; sind mehrere da, so werden alle gleich breit gemacht. Die verticalen Blechwände müssen über allen Auflagern und an den Angriffstellen von Einzellasten durch 1, 2 oder 4 angenietete Winkeleisen versteift werden, welche entweder gekröpft (Fig. 568 u. 569 rechts) oder beim Einlegen von Füllstreifen (Fig. 568 u. 569 links) gerade gelassen werden.

Die verwendeten Blechdicken steigen von 6 bis 20 mm; die Gröfse der einzelnen Tafeln richtet sich danach, dafs keine mehr als 350 kg, höchstens 400 kg wiegen soll. Die Breite der Bleche kann bis zu 1,2 m steigen.

Von den in Theil I, Band 1 (Art. 182, S. 194 u. 195) mitgetheilten Normalprofilen für Winkeleisen werden vorwiegend die gleichschenkeligen mit Schenkelbreiten von 4 bis 12 cm verwendet; ungleichschenkelige benutzt man mit absteigendem langen Schenkel dann, wenn man vom Träger grofse Seitensteifigkeit verlangt.

Die Niete, deren Dicke sich nach der Stärke der verwendeten Eisen (siehe Art. 206, S. 142) richtet, sind in den Winkeleisen nach Fig. 422 bis 426, S. 149 u. 150) anzuordnen. In den Gurtungsplatten hat man die Niete der verschiedenen (meist 2) Reihen gegen einander versetzt. Dies ist indess verkehrt, weil die excentrische Lochung die Platten mehr schwächt, als die doppelte; dagegen werden die Niete in den beiden Schenkeln der Winkeleisen stets versetzt (Fig. 572). Die Kopf- und Fußplatten laufen nicht bis zu den Trägereenden, sondern hören da auf, wo der Querschnitt ohne sie für das gröfste Moment dieser Stelle stark genug ist.

Wirken die Lasten in der verticalen Mittelaxe, so erfolgt die Spannungsermittlung nach Theil I, Band 1 dieses »Handbuches« (Art. 298, S. 262), bei schiefer Beanspruchung nach Art. 324 (S. 282) und dem obigen Beispiele 2 (S. 207) für Walzträger. In allen Fällen wird das Trägheitsmoment für die horizontale Schweraxe gebraucht. Dasselbe beträgt nach Fig. 568 für I-förmige Träger

$$J = (b - 2d) \frac{h_1^3}{12} - 2b_1 \frac{h_2^3}{12} - 2(b_2 - d) \frac{h_3^3}{12} - 2b_3 \frac{h_4^3}{12};$$

307.  
Querschnitt  
und  
Construction.

Fig. 568.

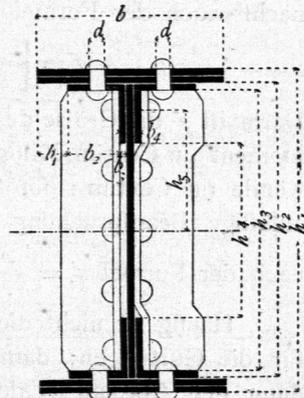
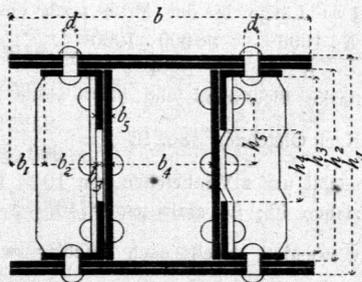


Fig. 569.



308.  
Ermittlung  
der  
Querschnitte.

fehlen die Kopf- und Fußplatten, so sind die Nieten in den verticalen Winkelfchenkeln nach dem Ansatz  $-2 b_4 d h_5^2$  in Abzug zu bringen.

Für Kastenträger nach Fig. 569 beträgt das Trägheitsmoment

$$\mathcal{I} = (b - 2d) \frac{h_1^3}{12} - (2b_1 + b_4) \frac{h_2^3}{12} - 2(b_2 - d) \frac{h_3^3}{12} - 2b_3 \frac{h_4^3}{12};$$

fehlen hier die Platten, so ist der Nietabzug für die Nieten in den Blechwänden  $2 \cdot 2 d b_5 h_5^2$ .

In die Formeln für die Spannungen sind die Trägheitsmomente einzuführen, zu deren Berechnung man den Querschnitt zunächst annehmen muß. Die Profile müssen also durch Probieren fest gestellt werden. Um schnell zum Ziele zu gelangen, bestimme man, wenn eine bestimmte Trägerhöhe vorgeschrieben ist, das Profil zunächst nach der Formel

$$f = \left[ \frac{M h}{s' (h - 6)^2} - \frac{\delta (h - 6)}{6} \right] \text{Quadr.-Centim.} \quad \dots \quad 180.$$

Darin ist  $f$  die Größe des Gurtungsquerschnittes (in Quadr.-Centim.),  $M$  das Angriffsmoment (in Centim.-Kilogr.),  $h$  die Trägerhöhe (in Centim.),  $\delta$  die Stärke der Blechwände (in Centim.; für den I-Träger = 1 cm, für den Kastenträger = 2 cm),  $s'$  die zulässige Beanspruchung (in Kilogr. für 1 qcm). Das gefundene Profil wird dann

nach der Formel  $s' = \frac{M e}{\mathcal{I}}$  geprüft, worin  $e$  die halbe Trägerhöhe ist.

Häufig ist nicht die Höhe des Trägers, sondern die Auswahl der Eifenforten für die Gurtungen, damit also das Gurtungsprofil vorgeschrieben. Man berechne dann den Abstand  $x_0$  des Schwerpunktes der bekannten Gurtungsfläche  $f$  von der Aufsenkante, indem man das Stück von der Blechwand bis zur Winkeleifen-Innenkante mit zum Gurtungsquerschnitt rechnet. Die der Gurtung entsprechende Trägerhöhe ergibt sich dann aus der Formel

$$h = 2 x_0 + \frac{M + \sqrt{M(M + 8 f s' x_0)}}{2 f s'} \quad \dots \quad 181.$$

309.  
Beispiele.

Beispiele. 1) Ein Träger von 10 m Länge trägt außer 5 kg gleichförmig verteilter Last auf 1 cm Länge in der Mitte noch eine Einzellast von 30000 kg. Das Maximal-Moment in der Mitte ist  $\frac{5 \cdot 1000^2}{8} + \frac{30000 \cdot 1000}{4} = 8125000$  cmkg; der Träger soll einen I-förmigen Querschnitt, eine 1 cm starke Blechwand und 80 cm Höhe haben, schliesslich mit  $s' = 900$  kg für 1 qcm beansprucht werden.

Nach Gleichung 180. ist  $f = \frac{8125000 \cdot 80}{900 (80 - 6)^2} - \frac{1 (80 - 6)}{6} = 120$  qcm. Die Fläche wird hergestellt zunächst aus 2 Winkeleifen von  $10 \times 10 \times 1,2$  cm, in deren jedem 1 Nietloch von 2,5 cm Durchmesser abzuziehen ist; sie enthalten  $2 (10 + 8,8 - 2,5) 1,2 = 39$  qcm; außerdem werden 3 Platten von 1 cm Dicke verwendet, welche nach Zuschlag zweier Nietlöcher  $\frac{120 - 39}{3} + 5 = 32$  cm breit sein müssen.

Das genaue Trägheitsmoment des so entstandenen Querschnittes ist nach obiger Formel:

$$\mathcal{I} = (32 - 2 \cdot 2,5) \frac{80^3}{12} - 2 \cdot 5,5 \frac{74^3}{12} - 2 (8,8 - 2,5) \frac{71,6^3}{12} - 2 \cdot 1,2 \frac{54^3}{12} = 362640.$$

Die genaue Maximal-Spannung ist somit

$$s' = \frac{M e}{\mathcal{I}} = \frac{8125000 \cdot 80}{362640 \cdot 2} = 896 \text{ kg.}$$

Das Ergebnis der Annäherungsgleichung ist also befriedigend.

2) Für einen gleich belasteten und gleich langen Träger wie in 1, aber mit Kastengericht (Fig. 569) sollen zu den Gurtungen je 2 Platten von 40 cm Breite und 1 cm Dicke und 2 Winkeleifen von  $11 \times 11 \times 1,0$  cm verwendet werden. Die Nieten haben 2 cm Durchmesser. Der Schwerpunkt der entstandenen Gurtung liegt über der Unterkante (nach Fig. 570) um

$$x_0 = \frac{(40 - 2 \cdot 2) \cdot 2 \cdot 1 + 2(11 + 1 - 2) \cdot 2,5 + 2 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 8}{(40 - 2 \cdot 2) 2 + 2(11 + 1 - 2) + 2 \cdot 2 \cdot 10}$$

$$x_0 = 3,35 \text{ cm};$$

der Gurtungsquerschnitt ist der Nenner von  $x_0$ , demnach  $f = 132 \text{ qcm}$ .

Nach der Näherungsformel ist somit

$$h = 2 \cdot 3,35 + \frac{8125000 + \sqrt{8125000(8125000 + 8 \cdot 132 \cdot 900 \cdot 3,35)}}{2 \cdot 132 \cdot 900}$$

$$h = 81 \text{ cm}.$$

Das Trägheitsmoment dieses Querschnittes ist nach der obigen Formel

$$\mathcal{I} = (40 - 2 \cdot 2) \frac{81^3}{12} - (2 \cdot 3 + 10) \frac{77^3}{12} - 2(10 - 2) \frac{75^3}{12} - 2 \cdot 1 \frac{55^3}{12} = 395382;$$

folglich die genaue grösste Beanspruchung

$$s' = \frac{8125000 \cdot 81}{395382 \cdot 2} = 832 \text{ kg}.$$

Da 900 kg zugelassen werden sollen, so kann man den Träger um etwas erniedrigen, etwa auf 78 cm, welches Maß durch Neuaufstellung des Trägheitsmomentes nochmals zu prüfen ist.

Ein wesentlicher Vortheil der zusammengesetzten Träger liegt in der Möglichkeit, den Querschnitt durch Weglassen einzelner Gurtungstheile der Abnahme des Biegemomentes entsprechend variiren zu können.

310.  
Variation  
des  
Querschnittes.

Beispiel. Der Träger des vorstehenden Beispiels 1 behält nach Wegnahme der äußersten Platte in beiden Gurtungen noch ein Trägheitsmoment  $\mathcal{I} = 362640 - (32 - 2 \cdot 2,5) \frac{80^3 - 78^3}{12} = 278400$ .

Der Auflagerdruck des Trägers ist  $A = \frac{30000}{2} + \frac{5 \cdot 1000}{2} = 17500 \text{ kg}$ , das Moment in der Abscisse  $x$

also  $17500 x - \frac{5 x \cdot x}{2}$ , und dieses ist gleich dem noch vorhandenen Widerstandsmomente  $\frac{900 \cdot 278400}{78}$

zu setzen. Aus  $17500 x - \frac{5 x^2}{2} = \frac{2 \cdot 900 \cdot 278400}{78}$  folgt  $x = 370 \text{ cm}$ . Es kann ferner die äußerste

Blechplatte 370 cm vor dem Auflager aufhören. Thatächlich muß sie jedoch über diesen Punkt hinaus nach dem Auflager noch so weit verlängert werden, daß mindestens ein Niet in der regelmäßigen Theilung die Platte noch außerhalb des theoretischen Endpunktes mit den übrigen Gurtungstheilen verbindet. Ganz eben so sind die Stellen zu berechnen, wo die zweite, bzw. dritte Platte aufhören kann.

Um die Stelle zu berechnen, wo die innerste Gurtungsplatte aufhören darf, ist zunächst das Trägheitsmoment für den bloß aus Wand und Winkeleifen bestehenden Querschnitt wegen des nun veränderten Nietabzuges neu aufzustellen. Dasselbe beträgt (Fig. 571)

$$\mathcal{I} = 21 \cdot \frac{74^3}{12} - 2 \cdot 8,8 \frac{71,6^3}{12} - 2 \cdot 1,2 \frac{54^3}{12} - 2 \cdot 2,5 \cdot 3,4 \cdot 32^2 = 121892.$$

Die Gleichung für die Abscisse des theoretischen Endes der letzten Platte ist also

$$17500 x - \frac{5 x^2}{2} = \frac{900 \cdot 121892 \cdot 2}{74}$$

und giebt  $x = 175 \text{ cm}$ . Ueber den Punkt, welcher 175 cm von Auflagermitte entfernt ist, muß also die letzte Platte noch so weit nach dem Lager zu hinausgeführt werden, daß sie außerhalb dieser Stelle noch von einem Niete in der regelmäßigen Theilung gefaßt wird.

Die Niettheilung der Winkeleifen ergibt sich nach Theil I, Band I dieses »Handbuches«, Art. 329 (S. 289) aus den verticalen Scherkräften, muß jedoch nur bei sehr niedrigen Trägern berechnet werden.

311.  
Anordnung  
der  
Niete.

Bei normalen Trägern wird man innerhalb der zulässigen Grenzen bleiben, wenn man die Theilung gleich  $3 d$  bis  $4 d$  macht. Die Theilung wird theoretisch in den

Fig. 570.

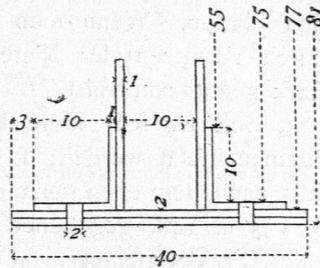
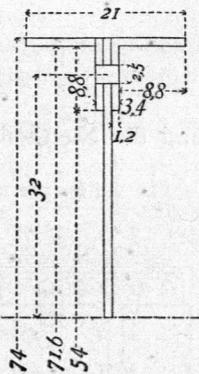


Fig. 571.



verticalen Winkelschenkeln und in der Wand enger, als in den horizontalen und in den Platten. Wenn man also die für die verticalen Schenkel berechnete Theilung durch Veretzen der Niete auf die horizontalen überträgt, so hat man jedenfalls stark genug confruiert.

Soll für fehr hohe Träger die Wand aus zwei Blechtafeln über einander zusammengefügt werden, so ergibt sich die Lafschung der horizontalen Fuge gleichfalls nach dem eben genannten Artikel und den im Vorhergehenden (Art. 189 u. 216, S. 133 u. 148) gegebenen Regeln; diese Anordnung ist indess höchst selten.

Die Verlafschung von Gurtungstheilen ist zu berechnen, indem man ihren Querschnitt abzüglich der Nietlöcher als mit der in der obersten Fafer zugelassenen Spannung voll beansprucht betrachtet und die Nietung auf die so ermittelte Kraftgröße einrichtet. Bezüglich der Form dieser Lafschungen sind Fig. 422 bis 425 u. 451 maßgebend.

Häufig kommen Stöße der Blechwand in verticaler Fuge vor, deren exacte Berechnung für die oberen und unteren Theile enge, für die Mitte weite Theilung der Niete ergeben würde. In der Praxis macht man die Theilung constant und berechnet sie, indem man die durch die Nieten geschwächte Wand von der Höhe  $h$  mit der an der Ober- und Unterkante wirkenden Spannung  $s'$  gleichmäßig belastet annimmt. In Gleichung 85. (S. 142), ist dann für  $d > \delta$  bei einreihiger Nietung der Lafchen  $P = \delta (h - n d) s'$  zu setzen.

Gleichung 85. lautet alsdann:

$$n = \frac{\delta (h - n d) s'}{d \delta s''} \quad \text{oder} \quad n = \frac{h}{d \left(1 + \frac{s''}{s'}\right)}; \quad \dots \quad 182.$$

dabei ist die Niettheilung nach Gleichung 91. (S. 143)  $e = d \left(1 + \frac{s''}{s'}\right)$  zu machen.

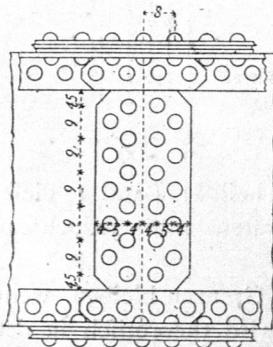
Meist werden diese Lafschungen jedoch zweireihig genietet. Es ist dann  $P = \delta \left(h - \frac{n}{2} d\right) s'$ , fonach nach Gleichung 85. (S. 142)

$$n = \frac{\delta \left(h - \frac{n}{2} d\right) s'}{d \delta s''}, \quad \text{also} \quad n = \frac{2h}{d \left(1 + 2 \frac{s''}{s'}\right)}, \quad \dots \quad 183.$$

und die Niettheilung für  $n' = 2$  nach Gleichung 97. (S. 144)  $e = d \left(1 + \frac{2s''}{s'}\right)$ .

312.  
Beispiel.

Fig. 572.



Beispiel. Wäre die Wand des I-Trägers in obigen Beispielen (Fig. 571) zu stoßen mittels zweier doppelreihigen Lafchen, so wäre  $\delta = 1$ ,  $h = 74$ ,  $\frac{s''}{s'} = 1,5$ ,  $d = 2,5$ , folglich nach Gleichung 183.

$$n = \frac{2 \cdot 74}{2,5 (1 + 2 \cdot 1,5)} = 14,8 = \infty 15,$$

d. h. die Reihe zunächst am Stoße erhält 8, die zweite 7 Niete; dabei wird  $e = 2,5 (1 + 2 \cdot 1,5) = 10$  cm. Wenn man den Stoß in die Nähe der Stelle des Maximal-Momentes legt, so kann man die Niete in den Winkelseifen als Lafschungsniete der Wand mit benutzen, da sie an dieser Stelle unbelastet sind. Zwischen den Winkelseifenkanten sind also noch 6 Niete in der ersten, 5 in der zweiten unterzubringen. Die Höhe zwischen den Winkeln ist jedoch nur 54 cm; also werden die 6 Niete in 9 cm Theilung gesetzt werden müssen, was unbedenklich ist, da die Lafschung auf den

größeren Theil der Höhe nicht voll beansprucht ist. Die Lafche stellt man in der Höhe aus 3 Theilen auf und zwischen den Winkeln her. Die Niettheilung in den Winkeln wird in diesem Falle  $3d = 7,5$  cm bis  $4d = 10$  cm betragen; es mag 8 cm angenommen sein. Man lege dann den Stofs mitten in eine Theilung. Der Randabstand  $a'$  mufs nach Gleichung 103. (S. 145) betragen

$$a' = d \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \frac{s''}{l'} \right) = 2,5 \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} 1,9 \right) = 3,63 \text{ cm,}$$

ist thatfächlich = 4 cm, genügt also. Der Abstand der Nietreihen im Mittelfstücke der Lafche wird nach Gleichung 106. (S. 145)

$$e' = d \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{s''}{l'} \right) = 2,5 \left( 1 + \frac{1}{2} 1,9 \right) = 4,875 = \approx 5 \text{ cm.}$$

Es ergibt sich also die Lafchung nach Fig. 572.

#### 4) Gitterträger.

Gitterträger kommen an Stelle der Blechträger in Anwendung, wenn das Trägerprofil sehr hoch wird oder wenn das schwere Aussehen der vollen Wand vermieden werden soll. Man verwendet sie aber auch sehr häufig dann, wenn es sich um die Aufnahme eines regelmässigen Systemes von Einzellasten (Balken einer Balkenlage etc.) handelt.

Die gedrückte Gurtung mufs so steif sein, dafs sie zwischen zwei Knotenpunkten nach keiner Richtung ausknickt; die Knotenpunkte selbst werden meist durch die zu tragende Construction versteift. Die Entfernung der Knotenpunkte ist demnach höchstens gleich der Länge  $l$  eines auf Zerknicken in Anspruch genommenen Stabes zu wählen, welche aus Gleichung 109.  $\left( P = \frac{E \mathcal{I} \pi^2}{l^2} \right)$  in Theil I, Band 1 dieses »Handbuches« (S. 299) bei  $n$ -facher Sicherheit ( $n = 5$ ) folgt, wenn darin  $E$  den Elasticitäts-Modul bezeichnet und wenn  $P$  dem  $n$ -fachen der Druckkraft in der Gurtung und  $\mathcal{I}$  dem kleinsten Trägheitsmomente des Gurtungsquerschnittes gleich gesetzt wird. Dabei sind die ganze Gurtungskraft und das Trägheitsmoment des ganzen Querschnittes einzuführen, wenn die Theile der Gurtung durch Nietung zu einem Ganzen verbunden sind. Sind sie von einander getrennt (z. B. 2 Winkeleisen mit Schlitz), so ist für jeden einzelnen das  $n$ -fache des auf ihn kommenden Theiles der Gurtungs- spannung und sein kleinstes Trägheitsmoment einzuführen.

Die Gitterstäbe sollen mindestens 30 Grad gegen die Horizontale geneigt sein. Ist also die Lasttheilung mit Rücksicht auf Zerknicken als Knotentheilung zulässig, und bleiben die Stäbe dabei steiler als 30 Grad, so wird nur ein System von Gitterstäben eingefügt (Fig. 573, ausgezogen); kommen dabei aber die Stäbe flacher zu liegen, als 30 Grad, so hat man noch Knotenpunkte zwischen die Lastpunkte einzulegen. Liegen dagegen die Lastpunkte bei grosser Trägerhöhe eng, so reicht häufig ein Stab noch über den nächsten Lastpunkt hinaus, und man kommt dann zum mehrfachen Gitterwerke (Fig. 574).

Das Gitterwerk ist  $m$ -fach, wenn ein Wand- glied  $\frac{m}{2}$  Knotentheilungen unterspannt. Sind die Gitterstäbe schwach ausgebildet (Bandeisen), so

313.  
Anwendung  
und  
Gestaltung.

Fig. 573.

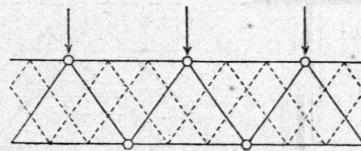


Fig. 574.

