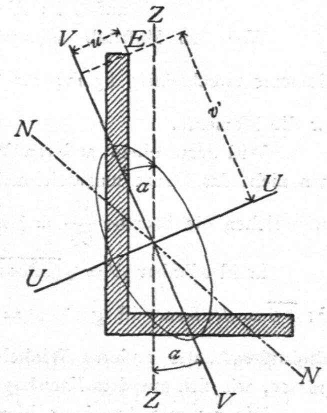
1 cm = 0,7 . 10 000 = 7000 kgcm bedeutet. Für die Werthe $K = 1000$ und 800 kg ſind die Maſsſtäbe auf der Tafel ſogleich mit angegeben.

Bei den beiden betrachteten Querſchnittsformen, der rechteckigen und der I-förmigen, iſt es in den meiſten Fällen nicht zweifelhaft, welche Punkte am meiſten beanſprucht werden; da dieſe Punkte die Coordinaten $\frac{b}{2}$, bezw. $\frac{h}{2}$ haben, ſo konnte man die ſog. Widerſtandsmomente in die Gleichung einführen und in der graphiſchen Tafel mit Nutzen verwenden. Bei ſehr vielen anderen Querſchnittsformen iſt dies nicht möglich, weil einmal von vornherein nicht feſt ſteht, welche Punkte am meiſten beanſprucht werden, und dieſe meiſt beanſpruchten Punkte gewöhnlich nicht diejenigen ſind, welche gleichzeitig von beiden Hauptaxen die gröſsten Abſtände haben. Der Gang der vorzunehmenden Rechnung iſt beim nachfolgenden Querſchnitte beſprochen.

Fig. 92.



100. Winkeleiſen-querſchnitt.

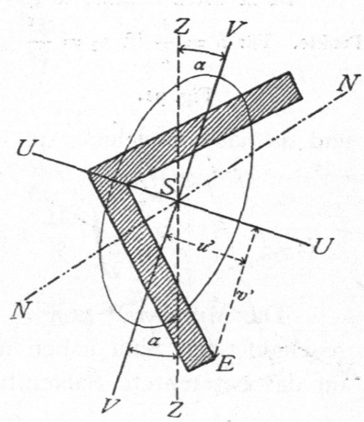
3) Winkeleiſen-Querſchnitt (Fig. 92).

Die Kraftebene ſchneide das (gleichſchenkelige oder ungleichſchenkelige) Winkeleiſen in der Linie ZZ. Man conſtruire für ein zunächſt angenommenes Kaliber die Hauptaxen, ſuche mit Hilfe der Trägheitsellipſe die Nulllinie und kann nun nach Art. 97 (S. 71) den oder die Querſchnittspunkte beſtimmen, in welchen die gröſste Beanſpruchung ſtattfindet. (In Fig. 92 iſt dies der Punkt E mit den Ordinaten u' und v'.) Es muſs dann

$$K = M \cos \alpha \frac{v'}{A} + M \sin \alpha \frac{u'}{B} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 54.$$

ſein. Die Werthe von A und B (die Hauptträgheitsmomente) ſind in den Profil-Tabellen enthalten; man kann demnach bei bekanntem M, α und K durch Verſuchen leicht dasjenige Kaliber finden, welches der Gleichung 54 möglichſt genau entſpricht. Zu beachten iſt, daſs auch die Werthe von v' und u' bei den verſchiedenen Kalibern verſchieden ſind, ſo wie daſs, da das Kaliber bei Beginn der Berechnung nicht bekannt war, auch die Conſtruction in Fig. 92 nur eine vorläufige war. Es iſt alſo wohl möglich, daſs bei der wiederholten genauen Conſtruction mit dem gefundenen Kaliber ſich ein anderer Punkt E ergiebt.

Fig. 93.



Iſt Lage und Belaſtung des Winkeleiſens diejenige in Fig. 93 (Pfette bei Wellblechdächern), ſo iſt das Verfahren genau dem eben vorgeführten entſprechend. Der meiſt geſpannte Punkt iſt E.

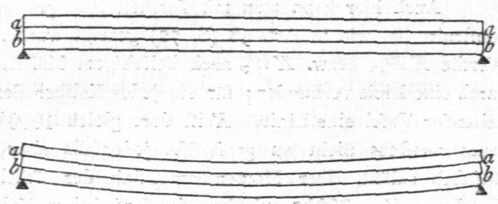
c) Schubſpannungen.

101. Wagrechte Schubſpannungen.

Auſser den oben ermittelten Biegungsſpannungen treten bei den verſchiedenen Belaſtungen der Balken auch noch Schubſpannungen auf, von denen hier zunächſt die wagrechten Schubſpannungen betrachtet werden ſollen.

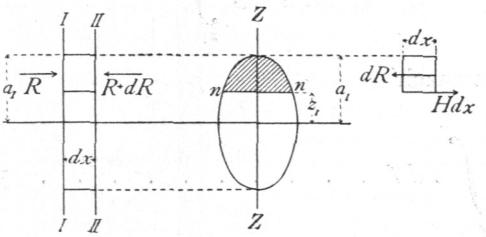
Denkt man ſich eine Anzahl Lagen dünner Bretter über einander gelegt, an den Endpunkten unterſtützt und in der Mitte belaſtet, ſo werden ſich dieſelben gegen einander etwa in der Weiſe verſchieben, welche in Fig. 94 angedeutet iſt. Dieſe Verſchiebung iſt eine Folge der in den Fugen $a\,a$, $b\,b$ auftretenden Schubkräfte; werden dieſelben nicht durch künſtliche Mittel (Zähne, Dübel u. dergl.) oder den Abſcherungswiderſtand des Materials aufgehoben, ſo verurſachen ſie eine Verſchiebung.

Fig. 94.



Für die rechnungsmäſsige Ermittelung dieſer Schubſpannungen möge, wie oben, angenommen werden, daſs nur ſenkrecht zur Balkenaxe gerichtete Kräfte wirken; es ſollen die wagrechten Schubſpannungen aufgeſucht werden, welche in der Schicht $n\,n$ (Fig. 95) zwiſchen zwei unendlich nahe an einander gelegenen Querſchnitten $I\,I$ und $II\,II$ wirken, wenn die Schicht $n\,n$ um z_1 über der Balkenaxe liegt. Dabei ſollen die vereinfachenden Annahmen gemacht werden, daſs die Querſchnitte $I\,I$ und $II\,II$ einander gleich ſeien, daſs die wagrechte Schubſpannung für die Flächeneinheit in der ganzen Breite der Schicht $n\,n$ gleich groſs ſei und daſs die Kraftebene ſämmtliche Querſchnitte in Symmetrieaxen ſchneide.

Fig. 95.



Auf den Theil des Balkenſtückes zwiſchen $I\,I$ und $II\,II$, welcher oberhalb der Faſerſchicht $n\,n$ liegt, wirkt ſenkrecht zur Ebene $I\,I$ die Summe R der axialen Biegungsſpannungen und ſenkrecht zur Ebene $II\,II$ die Kraft $R + d\,R$. Nun iſt

$$R = \int_{z_1}^{a_1} N\,d\,f,$$

und da nach Gleichung 42 $N = \frac{M}{\mathfrak{J}}\,z$ iſt,

$$R = \int_{z_1}^{a_1} \frac{M}{\mathfrak{J}}\,z\,d\,f \quad \text{und} \quad R + d\,R = \int_{z_1}^{a_1} \frac{M + d\,M}{\mathfrak{J}}\,z\,d\,f.$$

Die Mittelkraft von R und $R + d\,R$ iſt, da beide gleiche Richtung, aber entgegengeſetzten Sinn haben und in dieſelbe Linie fallen, gleich $d\,R$, d. h. es wirkt auf das betrachtete Balkenſtück als Mittelkraft aller axialen Biegungsſpannungen

$$d\,R = \int_{z_1}^{a_1} \frac{M + d\,M}{\mathfrak{J}}\,z\,d\,f - \int_{z_1}^{a_1} \frac{M}{\mathfrak{J}}\,z\,d\,f.$$

Für die Integration zwiſchen z_1 und a_1 ſind M, $d\,M$ und $\mathfrak{J}$ conſtant; dieſe Werthe können alſo vor das Integralzeichen geſetzt werden, d. h. es iſt

$$d\,R = \frac{M + d\,M}{\mathfrak{J}} \int_{z_1}^{a_1} z\,d\,f - \frac{M}{\mathfrak{J}} \int_{z_1}^{a_1} z\,d\,f = \frac{d\,M}{\mathfrak{J}} \int_{z_1}^{a_1} z\,d\,f.$$

Damit das Balkenſtück im Gleichgewicht ſei, muſs die algebraiſche Summe der auf daſſelbe wirkenden wagrechten Kräfte gleich Null ſein; es muſs alſo noch eine Horizontalkraft auf das Balkenſtück wirken, welche der Gröſse nach genau gleich der obigen Kraft $d\,R$, der Richtung nach derſelben entgegengeſetzt iſt. Dieſe Kraft kann nur in der wagrechten Schicht wirken, mittels deren dieſes Stück mit dem anderen Balkentheile zuſammenhängt, d. h. in der um z_1 über der neutralen Axe liegenden Schicht. Längs derſelben entſteht demnach eine Schubſpannung. Wird die Gröſse derſelben für die Längeneinheit des Balkens mit H bezeichnet, ſo beträgt ſie für $d\,x$ Längeneinheiten $H\,d\,x$, und es ergiebt ſich für die Ermittelung von H die Bedingungsgleichung

$$H\,d\,x = d\,R = \frac{d\,M}{\mathfrak{J}} \int_{z_1}^{a_1} z\,d\,f \quad \text{und} \quad H = \frac{d\,M}{d\,x}\,\frac{1}{\mathfrak{J}} \int_{z_1}^{a_1} z\,d\,f.$$

Nach Gleichung 40 iſt $\frac{d\,M}{d\,x} = Q$; demnach

$$H = \frac{Q}{\mathfrak{J}} \int_{z_1}^{a_1} z\,d\,f \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 55.$$

$\int_{z_1}^{a_1} z\,d\,f$ iſt das ſtatiſche Moment des Flächentheiles zwiſchen den Ordinaten z_1 und a_1 bezogen auf die Schweraxe. Setzt man nun

$$\int_{z_1}^{a_1} z\,d\,f = S_{z_1}^{a_1},$$

ſo wird

$$H = \frac{Q\,S_{z_1}^{a_1}}{\mathfrak{J}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 56.$$

Die wagrechte Schubſpannung für die Längeneinheit des Balkens und irgend eine Schicht ($n\,n$) wird demnach erhalten, indem man die Querkraft für den betreffenden Querſchnitt mit dem auf die neutrale Axe bezogenen ſtatiſchen Moment des Querſchnittstheiles oberhalb der betreffenden Schicht multiplicirt und dieſes Product durch das Trägheitsmoment des für die neutrale Axe genommenen ganzen Querſchnittes dividirt.

Hieraus folgt:

1) Da Q und $\mathfrak{J}$ für denſelben Querſchnitt bei beſtimmter Belaſtung ganz beſtimmte Conſtante ſind, ſo iſt die wagrechte Schubſpannung für die Längeneinheit des Balkens an den verſchiedenen Stellen eines Querſchnittes mit S veränderlich. H wird für diejenigen Schichten am gröſsten, für welche S ſeinen gröſsten Werth hat. S iſt aber am gröſsten für die wagrechte Schweraxe; dort iſt es gleich $S_{o}^{a_1}$. S iſt am kleinſten für die äuſserſten Schichten; daſelbſt iſt $S = 0$.

Demnach nimmt H in demſelben Querſchnitt bei derſelben Belaſtung von der neutralen Axe — der wagrechten Schweraxe — nach den beiden am weiteſten entfernten Faſern bis auf Null ab.

2) In denſelben Schichten verſchiedener Querſchnitte iſt nach obiger Gleichung H mit Q veränderlich, iſt demnach in demjenigen Querſchnitte am gröſsten, in welchem die Querkraft ihren gröſsten Werth hat. Sind verſchiedene Belaſtungszuſtände möglich, ſo ruft derjenige das gröſste H hervor, welcher die gröſste Querkraft Q erzeugt.

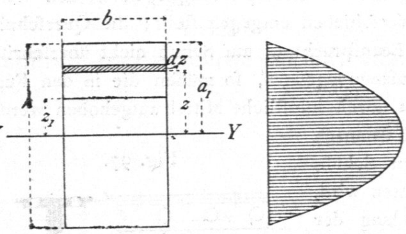
3) Werden, wie üblich und zweckmäſsig, ſowohl S, wie $\mathfrak{J}$ auf Centimeter bezogen, alſo S in cm^3, $\mathfrak{J}$ in cm^4 ausgedrückt, ſo erhält man H an irgend einer Balkenſtelle als die wagrechte Schubſpannung für das laufende Centimeter.

4) Der in Gleichung 56 gefundene Ausdruck giebt die Schubſpannung für die Längeneinheit des Balkens an; dieſe Schubſpannung kann für die Fälle der Praxis genügend genau als gleichmäſsig über die Breite der Schicht vertheilt angenommen werden. Iſt demnach die Breite des Querſchnittes in der Höhe der betrachteten Schicht gleich w, ſo vertheilt ſich H über $w \, . \, 1$ Flächeneinheiten, ſo daſs ſich als Schubſpannung für die Flächeneinheit ergiebt

$$\mathfrak{H} = \frac{Q \, S_{z_1}^{a_1}}{w \, \mathfrak{J}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 57.$$

Im Nachſtehenden ſollen für einige im Hochbauweſen häufig vorkommende Querſchnittsformen die wagrechten Schubſpannungen beſtimmt werden. 102. Rechteckiger Querſchnitt.

Fig. 96.



1) Für den **rechteckigen Querſchnitt** (Fig. 96) liegt die wagrechte Schwerpunktsaxe in halber Höhe. Die wagrechte Schubſpannung in der Höhe z_1 über der neutralen Axe iſt nach Gleichung 56 zu beſtimmen.

Für den vorliegenden Querſchnitt iſt

$$S_{z_1}^{a_1} = S_{z_1}^{\frac{h}{2}} = \int_{z_1}^{\frac{h}{2}} z \, d f \quad \text{und, da} \quad d f = b \, d z ,$$

$$S_{z_1}^{a_1} = \int_{z_1}^{\frac{h}{2}} b \, d z \, . \, z = \left[\frac{b z^2}{2} \right]_{z_1}^{\frac{h}{2}} = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - z_1^2 \right).$$

Da ferner $\mathfrak{J} = \frac{b h^3}{12}$, wird nach Gleichung

$$H = \frac{Q \, \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - z_1^2 \right)}{\frac{b h^3}{12}} = \frac{6 Q}{h^3} \left(\frac{h^2}{4} - z_1^2 \right) = \frac{6 Q}{h} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{z_1}{h} \right)^2 \right] \quad \ldots \quad 58.$$

In dieſem Ausdruck iſt auf der rechten Seite nur eine Veränderliche, nämlich z_1; alle anderen Gröſsen haben für ſämmtliche Schichten gleiche Werthe. Das Geſetz der Veränderlichkeit wird beſonders anſchaulich, wenn man in den verſchiedenen Abſtänden z_1 über und unter $Y Y$ die in den betreffenden Schichten herrſchenden Werthe von H nach Gleichung 58 wagrecht nach einem beliebigen Maſsſtabe aufträgt und die Endpunkte verbindet; man erhält die in Fig. 96 ſchraffirte Fläche; die begrenzende Verbindungslinie der Endpunkte iſt offenbar die Curve der Gleichung 58. Die Form der Gleichung zeigt, daſs dieſe Curve eine Parabel iſt.

Für $z_1 = 0$ iſt $H_0 = H_{max} = \frac{6 Q}{4 h} = \frac{3 Q}{2 h}$, und für $z_1 = \frac{h}{2}$ iſt $H_{\frac{h}{2}} = \frac{6 Q}{h} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{4} \right) = 0.$

Die wagrechte Spannung für die Flächeneinheit längs der einzelnen Schichten iſt $\mathfrak{H} = \frac{H}{b}$, d. h.

$$\mathfrak{H} = \frac{6 Q}{b h} \left[\frac{1}{4} - \left(\frac{z_1}{h} \right)^2 \right], \quad \text{ferner} \quad \mathfrak{H}_0 = \frac{3 Q}{2 b h} \quad \text{und} \quad \mathfrak{H}_{\frac{h}{2}} = 0.$$

Die in Fig. 96 gezeichnete Curve giebt alſo auch die graphiſche Darſtellung der für die Flächeneinheit ſtattfindenden wagrechten Schubſpannungen, natürlich in anderem Maſsſtabe, als die wagrechten Schubſpannungen für die Längeneinheit.

2) Für den **ſymmetriſchen I-förmigen Querſchnitt** liegt die wagrechte Schwerpunktsaxe gleichfalls in halber Höhe. Q und $\mathfrak{J}$ ſind wieder für alle Schichten deſſelben Querſchnittes gleich groſs, mithin H mit S veränderlich (natürlich nur in demſelben Trägerquerſchnitt und bei beſtimmter Belaſtung). Die gröſste wagrechte Schubſpannung findet wieder in der Neutralen ſtatt, und es iſt nach Gleichung 56 103. I-förmiger Querſchnitt.

$$H = \frac{Q S}{\mathfrak{J}},$$

worin S und $\mathfrak{J}$ auf die neutrale Axe bezogen ſind.

Bezeichnet man mit f die Querſchnittsfläche des oberen, bezw. unteren Flanſches des Trägers, mit $\mathfrak{h}$ den Abſtand der Schwerpunkte der Flanſche, mit d die Stegſtärke, ſo iſt bei kleinem d nahezu

$$S = \frac{f\mathfrak{h}}{2} \quad \text{und nach Gleichung 20:} \quad \mathcal{J} = \left(f + \frac{d\mathfrak{h}}{6}\right)\frac{\mathfrak{h}^2}{2};$$

mithin

$$H = \frac{Qf}{\left(f + \frac{d\mathfrak{h}}{6}\right)\mathfrak{h}}.$$

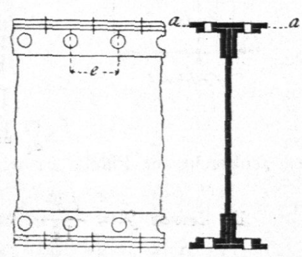
Iſt $\frac{d\mathfrak{h}}{6}$ gegen f klein, ſo iſt nahezu

$$H = \frac{Q}{\mathfrak{h}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 59.$$

104. Blechträger-Querſchnitt.

3) Querſchnitt der Blechträger. Bei den aus einem einzigen Stücke beſtehenden Querſchnitten werden die in den einzelnen Faſern wirkenden wagrechten Schubſpannungen durch den Widerſtand aufgehoben, den der Zuſammenhang der Faſern dem Verſchieben entgegen ſtellt; die Querſchnittsabmeſſungen ſind demnach ſo zu wählen, daſs die erlaubte Beanſpruchung auf Schub nicht überſchritten wird. Iſt dagegen der Querſchnitt aus mehreren Theilen zuſammengeſetzt, ſo müſſen die in den Fugen zwiſchen den einzelnen Theilen entſtehenden Schubſpannungen durch künſtliche Mittel aufgehoben werden. Bei den Blechträgern dienen dazu die Niete. Die Niete ſind demnach ſo zu beſtimmen, daſs ihr Schubwiderſtand die auftretenden Schubſpannungen aufhebt, ohne daſs die zuläſſige Grenze überſchritten wird. Um den Abſtand der Niete zu ermitteln, welche zur Verbindung der Lamellen mit den Winkeleiſen dienen, ſuche man demnach die für die Längeneinheit in der Fuge aa (Fig. 97) ſtattfindende Schubſpannung auf die oben gezeigte Weiſe.

Fig. 97.



Es iſt wieder $H = \frac{QS}{\mathcal{J}}$, worin S das ſtatiſche Moment der Lamellenfläche bezogen auf die neutrale Axe bezeichnet. Nennt man den Abſtand der Nietbolzen e, ſo iſt die Geſammtſchubſpannung auf die Länge e gleich

$$D = \frac{QS}{\mathcal{J}} e.$$

Allerdings iſt die Querkraft Q auf die Länge e allgemein nicht conſtant; es genügt aber ſtets, für Q irgend einen der auf der Strecke e ſich ergebenden Werthe einzuführen; zweckmäſsig wird man den gröſsten wählen.

Dieſe Schubſpannung erſtrebt eine wagrechte Verſchiebung der Lamelle in der Richtung der Trägeraxe; dieſelbe ſoll durch die Niete verhindert werden. Werden zwei einſchnittige Niete vom Durchmeſſer d verwendet, ſo darf deren Widerſtand gegen Abſcheren nach Art. 82 (S. 57)

$$W = \frac{2\,d^2\pi}{4}\; T$$

ſein, wenn T die zuläſſige Schubbeanſpruchung für die Flächeneinheit der abzuſcherenden Fläche iſt. Durch Gleichſetzung beider Werthe, derjenigen für D und für W, erhält man folgende Gleichung für e:

$$\frac{QSe}{\mathcal{J}} = \frac{2\,d^2\pi}{4}\; T, \quad \text{woraus} \quad e = \frac{d^2\pi T\mathcal{J}}{2\,QS}.$$

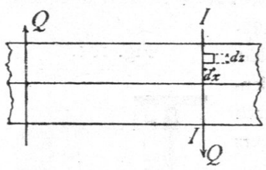
Je gröſser Q iſt, deſto kleiner wird e, deſto näher ſind alſo die Niete zu ſetzen.

Die angegebene Berechnung kann auch mit hinreichender Genauigkeit für die Ermittelung der in den lothrechten Fugen auftretenden wagrechten Schubkraft, alſo zur Beſtimmung derjenigen Niete dienen, welche die lothrechten Schenkel der Winkeleiſen mit der Blechwand verbinden. Alsdann iſt unter S das ſtatiſche Moment desjenigen Theiles der Querſchnittsfläche zu verſtehen, welcher durch dieſe Niete mit der Blechwand vereinigt wird, d. h. die Querſchnittsfläche der Winkeleiſen und Lamellen.

105. Lothrechte Schubſpannungen.

Auſser den betrachteten wagrechten wirken auch lothrechte Schubſpannungen. Für die Ermittelung derſelben ſoll die gleiche Annahme, wie oben, gemacht werden, daſs nur ſenkrecht zur Balkenaxe gerichtete äuſsere Kräfte vorhanden ſeien, die Balkenaxe aber wagrecht ſei (Fig. 98). Es ſei die Mittelkraft aller links vom beliebigen Querſchnitte II wirkenden Kräfte gleich Q; alsdann verlangt das Gleichgewicht

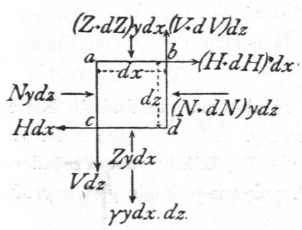
Fig. 98.



des Balkenstückes, dass an demselben noch eine lothrechte Kraft Q wirke, welche der ersten an Grösse genau gleich, der Richtung nach entgegengesetzt ist. Eine solche Kraft kann aber nur längs des Querschnittes II wirken, da nur in diesem das linksseitige Balkenstück mit dem anderen Balken zusammenhängt. Diese Kraft ist der lothrechte Abscherungswiderstand, welcher dem Verschieben des Balkenstückes längs des Querschnittes II entgegenwirkt.

Es folgt hieraus: In jedem lothrechten Querschnitte wirken lothrechte Schubspannungen, deren Summe genau gleich der Querkraft ist, welche sich für diesen Querschnitt ergiebt.

Fig. 99.



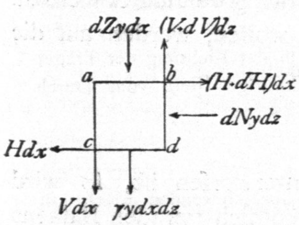
Die Vertheilung dieser Schubspannungen über den Querschnitt findet nach folgendem Gesetze statt: Die an irgend einer Stelle für die Längeneinheit wirkende lothrechte Schubspannung ist gleich der an derselben Stelle für die Längeneinheit wirkenden wagrechten Schubspannung.

Um dieses Gesetz nachzuweisen, betrachten wir ein im Abstande z (Fig. 99) über der neutralen Axe liegendes Balkenstück von der Länge dx, der Höhe dz und der Dicke y (senkrecht zur Bildfläche gemessen). Auf dieses Balkenstück wirken im Allgemeinen folgende Kräfte:

senkrecht zur Fläche	ac	wirkt	$Nydz$;	längs der Fläche	ac	wirkt	Vdz;
» »	bd	»	$(N+dN)\,ydz$;	» »	bd	»	$(V+dV)\,dz$;
» »	cd	»	$Zydx$;	» »	cd	»	Hdx;
» »	ab	»	$(Z+dZ)\,ydx$;	» »	ab	»	$(H+dH)\,dx$.

Hierin bedeuten Z und $Z+dZ$ die auf die wagrechten Flächen ab und cd wirkenden Normalspannungen, V, bezw. $V+dV$ die lothrechten Schubspannungen für die Längeneinheit in den Flächen ac, bezw. bd. Endlich wirkt noch das Eigengewicht des Stückes, nämlich $\gamma y \,.\, dz \,.\, dx$.

Fig. 100.



Lässt man diejenigen Kräfte, welche einander gegenseitig aufheben, fort, so bleiben die in Fig. 100 angegebenen übrig. Dieselben halten das Balkenstück im Gleichgewicht; es müssen also die Summen der statischen Momente, bezogen auf einen beliebigen Punkt der Bildebene, gleich Null sein.

Es sei b dieser Punkt; alsdann ist

$$0 = V\,dz\,dx - H\,dx\,dz + \gamma y \frac{dx\,.\,dz\,.\,dx}{2} + dZ\,y\,dx\frac{dx}{2} - dN\,y\,dz\frac{dz}{2}\,.$$

Die unendlich kleinen Grössen dritter Ordnung fallen gegen die unendlich kleinen Grössen zweiter Ordnung fort; es bleibt also

$$0 = V\,dz\,dx - H\,dx\,dz,$$

woraus

$$V = H \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 60.$$

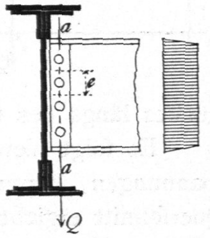
Dies gilt für jede Stelle des Balkens, womit der obige Satz bewiesen ist. Es ist mithin nach Gleichung 56

$$V = \frac{Q\,S_{z_1}^{a_1}}{\mathfrak{J}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 61.$$

Die in Art. 102 bis 104 für verſchiedene Querſchnittsformen ermittelten Werthe und graphiſchen Darſtellungen für H gelten alſo auch für V.

Das Geſetz, nach welchem ſich die lothrechten Schubſpannungen im Querſchnitt vertheilen, iſt von beſonderer Wichtigkeit, wenn es ſich darum handelt, die auf die einzelnen Niete in neben ſtehender Verbindung (Fig. 101) entfallenden Beanſpruchungen zu ermitteln. Der **I**-förmige Walzträger wird durch Winkeleiſen mit dem Blechträger vereinigt. Die im Querſchnitt $a\,a$ des **I**-Trägers entſtehende Querkraft Q iſt durch die Niete auf den Blechträger zu übertragen. Die einzelnen Niete ſind nun ſo zu vertheilen, daſs deren Entfernung der Gröſse der durch den betreffenden Niet zu übertragenden Schubſpannung entſpricht. Iſt an einer Stelle die Entfernung der Nietmitten e und die lothrechte Schubſpannung für die Längeneinheit im Mittel in dieſer Höhe gleich V, ſo kommt auf einen Niet die Schubkraft $V\,e$.

Fig. 101.



Der Niet wird in zwei Querſchnitten abgeſchert; mithin iſt der Abſcherungswiderſtand des Nietes $\frac{2\,d^2\pi}{4}\,T$; es ergiebt ſich alſo für e die Gleichung:

$$V\,e = \frac{2\,d^2\pi}{4}\,T, \quad \text{woraus} \quad e = \frac{\pi\,d^2\,T}{2\,V}.$$

Da V von der neutralen Axe nach der oberen und unteren Gurtung zu abnimmt, ſo ſind die Niete in der Nähe der Neutralen näher zu ſetzen, als in der Nähe der Gurtung. Für die gewöhnlichen **I**-förmigen Walzbalken kann man die oben ſtehende Fig. 101 als graphiſche Darſtellung der Veränderlichkeit der lothrechten Schubſpannung annehmen, d. h. mit genügender Annäherung V als gleich groſs über die ganze Trägerſteghöhe annehmen, worin nach Gleichung 59: $V = \frac{Q}{\mathfrak{h}}$.

106. Spannungen f. ein beliebiges Flächenelement.

In den bisherigen Betrachtungen ſind nur die Normalſpannungen, welche in den lothrechten Balkenquerſchnitten, und die Schubſpannungen, welche in den wagrechten und lothrechten Balkenquerſchnitten entſtehen, ermittelt worden. Um die Frage der im Inneren der Balken auftretenden Beanſpruchungen eingehend zu löſen, wären noch die Normal- und Schubſpannungen in einem Querſchnitte aufzuſuchen, welcher einen beliebigen Winkel mit der Wagrechten macht. Auf dieſe Unterſuchungen einzugehen, mangelt hier der Raum, und es kann auch in den meiſten Fällen des Hochbaues auf eine dahin gehende Berechnung verzichtet werden. Die Leſer, welche ſich über dieſen Gegenſtand unterrichten wollen, werden auf die S. 49 genannten Werke von *Graſhof* und *Winkler* verwieſen.

d) Elaſtiſche Linie.

107. Axiale Biegungsſpannung.

Wenn ein Balken dem Einfluſſe biegender Kräfte unterworfen iſt, ſo wird eine Formänderung deſſelben eintreten. Die Axe des urſprünglich geraden Balkens wird eine krumme Linie (Fig. 102), und zwar iſt dieſe krumme Linie eine ebene Curve, wenn alle Kräfte in einer Ebene wirken, welche ſämmtliche Querſchnitte in Hauptaxen — meiſt Symmetrieaxen — ſchneidet. Alsdann liegen alle Punkte der gebogenen Axe in der Kraftebene. Man nennt die Axe des gebogenen Balkens die elaſtiſche Linie.

Die Gleichung der elaſtiſchen Linie wird für eine groſse Zahl von Aufgaben gebraucht; bei vielen derſelben wirken nicht nur Kräfte ſenkrecht zur urſprünglichen Balkenaxe, ſondern auch ſolche, welche in die Axe fallen, ſog. Axialkräfte. Es ſoll deſshalb dieſer allgemeinere Fall für die Entwickelung der Gleichung zu Grunde gelegt, im Uebrigen aber angenommen werden, daſs die Kraftebene alle Querſchnitte in Hauptaxen ſchneide.

Es iſt zunächſt der Ausdruck für die alsdann an beliebiger Stelle irgend eines