die übrigen Gröſsen der Gleichung, welche unendlich kleine Gröſsen erſter Ordnung ſind. Es iſt demnach

$$d\,M = Q\,d\,x \quad \text{und, wie oben behauptet,} \quad Q = \frac{d\,M}{d\,x}, \quad . \quad . \quad . \quad 40.$$

Wird $Q = 0$, ſo iſt auch $\frac{d\,M}{d\,x} = 0$, alſo M ein Maximum. Hieraus folgt, daſs das Moment für denjenigen Querſchnitt zum Maximum wird, für den die Querkraft gleich Null iſt.

Fig. 79.

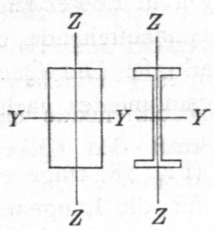
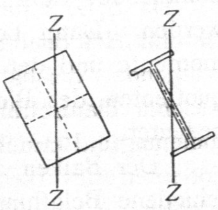


Fig. 80.



Für die Berechnung auf Biegung beanſpruchter Balken iſt es von grundlegender Bedeutung, wie die einzelnen Balkenquerſchnitte von der Kraftebene geſchnitten werden. Wenn, wie meiſtens der Fall, die Kraftebene alle Balkenquerſchnitte in Hauptaxen ſchneidet (ſiehe Art. 59, S. 39), ſo ergeben ſich für die Spannung ſehr einfache Formeln. Nach Früherem iſt jede Symmetrie-Axe eine Hauptaxe; wenn alſo z. B. die Querſchnitte die in Fig. 79 dargeſtellten Formen haben und die Kraftebene durch ZZ, ſenkrecht zur Bildebene geht, ſo iſt die obige Vorausſetzung erfüllt. Weſentlich verwickelter iſt die Berechnung, wenn die Kraftebene die Querſchnitte nicht in Hauptaxen ſchneidet; dieſer Fall wird durch Fig. 80 veranſchaulicht, in welcher die Querſchnitte lothrecht belaſteter Dachpfetten vorgeführt ſind.

a) Axiale Biegungsſpannungen, wenn die Kraftebene die Balkenquerſchnitte in Hauptaxen ſchneidet.

86. Axiale Biegungsſpannung.

Unter der Einwirkung des Biegungsmomentes entſtehen in den einzelnen Querſchnitten des Balkens an den verſchiedenen Stellen Spannungen; dieſelben dürfen gewiſſe durch die Natur des Materials vorgeſchriebene Grenzen nicht überſchreiten, wenn die Conſtruction ſicher ſein ſoll; es iſt daher die Kenntniſs dieſer Spannungen nothwendig. Zur Ermittelung derſelben möge der Betrachtung ein urſprünglich gerades Balkenſtück von der Länge $d\,x$ (Fig. 81) zu Grunde gelegt werden; AB fällt in die Axe des Balkens. Bei der Biegung erleidet daſſelbe Formänderungen, und es werden im Allgemeinen die vor der Biegung durch A und B gelegten Querſchnitte nach denſelben nicht mehr eben ſein; CD möge ſich in $C_1\,D_1$ (Fig. 82) geändert haben. Die urſprüngliche Länge von CD war $d\,x$; die jetzige Länge iſt $C_1\,D_1 = d\,x + \Delta\,d\,x$; mithin iſt die Verlängerung in Folge der Biegung $\Delta\,d\,x$ (welche Verlängerung ſowohl poſitiv, wie negativ ſein kann). Das Verlängerungsverhältniſs an dieſer Stelle iſt demnach

Fig. 81.

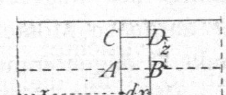
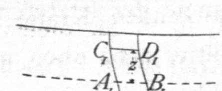


Fig. 82.



$$\frac{\Delta\,d\,x}{d\,x}.$$

Wird die an dieſer Stelle für die Flächeneinheit des Querſchnittes herrſchende Spannung mit N und der Elaſticitäts-Modul des Materials mit E bezeichnet, ſo iſt nach Gleichung 30 das Verlängerungsverhältniſs

$$\frac{\Delta\,d\,x}{d\,x} = \frac{N}{E}, \quad \text{alſo} \quad N = E\,\frac{\Delta\,d\,x}{d\,x}.$$

Da E bekannt iſt, ſo iſt auch N bekannt, falls $\frac{\Delta\,d\,x}{d\,x}$ gefunden iſt. Man macht nun die Annahme, daſs das Verlängerungsverhältniſs an den verſchiedenen Stellen des Querſchnittes dem Abſtande z von der durch den Schwerpunkt des Querſchnittes normal zur Kraftebene gelegten Axe YY (Fig. 83) proportional iſt, und zwar der erſten Potenz dieſes Abſtandes. Allgemein wird alſo ſtattfinden, wenn α und β zwei noch zu beſtimmende Conſtanten ſind,

$$\frac{\Delta dx}{dx} = \alpha + \beta z .$$

Demnach iſt

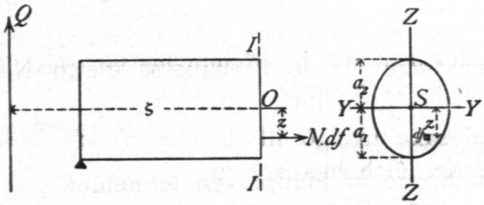
$$N = E \frac{\Delta dx}{dx} = E(\alpha + \beta z) .$$

Da E, α, β für den ganzen Querſchnitt conſtant ſind, ſo ſind auch die Producte $E\alpha$ und $E\beta$ conſtant. Es ſei $E\alpha = a$ und $E\beta = b$; alsdann wird

$$N = a + bz \text{ . . . . } 41.$$

Für die Beſtimmung der beiden Werthe a und b ſtehen zwei Gleichungen zur Verfügung. Betrachtet man den Balkentheil links von dem unterſuchten Querſchnitte II (Fig. 83), ſo muſs derſelbe unter der Einwirkung aller an ihm wirkenden Kräfte, der äuſseren und der inneren, im Gleichgewichte ſein (ſiehe Art. 4, S. 6). Auf dieſen Theil wirken aber:

Fig. 83.



1) Aeuſsere Kräfte, deren Mittelkraft Q iſt; letztere hat in Bezug auf den Querſchnitt II nach Vorſtehendem das Biegungsmoment $M = Q\zeta$.

2) Innere Kräfte, d. h. die axialen Spannungen im Querſchnitt II; für ein Flächentheilchen vom Inhalt df ſind dieſelben Ndf; für den ganzen Querſchnitt iſt deren Summe einzuführen, d. h. allgemein $\int N df$, wobei die Integration über den ganzen Querſchnitt auszuführen iſt. Die in den Querſchnitt fallenden Spannungen kommen bei der nachſtehenden Unterſuchung nicht in Betracht.

Das Gleichgewicht des Balkenſtückes verlangt nun, daſs die algebraiſche Summe der wagrechten Kräfte gleich Null ſei und daſs die algebraiſche Summe der ſtatiſchen Momente für einen beliebigen Punkt der Kraftebene, als welcher der Punkt O angenommen werden ſoll, ebenfalls gleich Null ſei.

Wagrechte Kräfte ſind auſser den axialen Spannungen nicht vorhanden; die Summe der letzteren iſt $\int N df$. Es wird alſo, wenn man die Ordinaten nach unten poſitiv, nach oben negativ annimmt,

$$\int_{-a_2}^{+a_1} N df = 0 .$$

Das Moment der äuſseren Kräfte iſt $M = Q\zeta$; jede Spannung Ndf hat in Bezug auf O das Moment $Nz\,df$. Das geſammte Moment aller dieſer Spannungen iſt alſo $\int_{-a_2}^{+a_1} Nz\,df$; da die Integration über den ganzen Querſchnitt auszudehnen iſt, ſo ſind für z die Grenzen $-a_2$ und $+a_1$. Die Bedingungsgleichungen heiſsen demnach:

$$\int_{-a_2}^{+a_1} N\,df = 0 \quad \text{und} \quad M - \int_{-a_2}^{+a_1} N z\,df = 0\,.$$

Führt man für N den Werth aus Gleichung 41 ein, so wird

$$\int_{-a_2}^{+a_1} (a + b z)\; df = 0 \quad \text{und} \quad M - \int_{-a_2}^{+a_1} (a + b z)\; z\,df = 0\,.$$

Da a und b constant sind, können sie vor die Integralzeichen gesetzt werden. Man erhält zunächst für die erste Gleichung

$$a \int_{-a_2}^{+a_1} df + b \int_{-a_2}^{+a_1} z\,df = 0\,.$$

Nun ist $\int_{-a_2}^{+a_1} df = F$, wenn F den Flächeninhalt des ganzen Querschnittes bedeutet;

$\int_{-a_2}^{+a_1} z\,df$ ist nach Art. 30 (S. 24) das statische Moment der Querschnittsfläche bezogen auf die Axe YY. Da YY eine Schwerpunktsaxe ist, so ist dasselbe gleich Null. Setzt man diese Werthe in obige Gleichung ein, so bleibt

$$a F = 0\,, \quad \text{woraus} \quad a = 0 \text{ folgt.}$$

Die zweite der obigen Gleichungen ändert sich hiernach in

$$M - b \int_{-a_2}^{+a_1} z^2 df = 0\,.$$

$\int_{-a_2}^{+a_1} z^2 df$ ist aber nach Art. 46 (S. 32) das Trägheitsmoment des Querschnittes für die Axe YY; dasselbe soll hier kurz mit $\mathcal{J}$ bezeichnet werden, so dass stattfindet:

$$\mathcal{J} = \int_{-a_2}^{+a_1} z^2 df\,;$$

alsdann wird

$$M = b\,\mathcal{J} \quad \text{und} \quad b = \frac{M}{\mathcal{J}}\,.$$

Nunmehr ist der Werth der axialen Biegungsspannung N durch Einsetzung der für a und b gefundenen Werthe in die Gleichung 41 leicht zu ermitteln; man erhält

$$N = \frac{M}{\mathcal{J}}\, z\,. \qquad \ldots\ldots\ldots \quad 42.$$

87.
Neutrale Axe oder Nulllinie.

Für alle Theile desselben Querschnittes haben bei einer gegebenen bestimmten Belastung sowohl M (das Biegungsmoment oder das Moment der an der einen Seite des Querschnittes wirkenden äusseren Kräfte bezogen auf die wagrechte Schweraxe desselben als Drehaxe), wie auch das Trägheitsmoment $\mathcal{J}$, welches nur von der Form und Grösse der Querschnittsfläche abhängt, denselben Werth. Demnach ist nach Gleichung 42 die axiale Spannung N an den verſchiedenen Stellen eines Querſchnittes nur mit dem Abſtande z derſelben von der wagrechten Schwerpunktsaxe veränderlich. Alle Punkte eines Querſchnittes, welche in gleicher Höhe z über der wagrechten Schwerpunktsaxe liegen, werden alſo gleich ſtark beanſprucht. Trägt man die in den verſchiedenen Höhen z für die Flächeneinheit wirkenden Axialſpannungen derart graphiſch auf, daſs man die z als Abſciſſen, die zugehörigen N als Ordinaten zeichnet, und verbindet man die Endpunkte der Ordinaten, ſo erhält man die Linie der Gleichung $N = \frac{M}{\mathcal{J}} z$. Dieſe Linie wird eine Gerade, weil die Veränderlichen N und z nur in der erſten Potenz vorkommen.

Für $z = 0$ wird $N = 0$, d. h. in allen in der wagrechten Schwerpunktsaxe liegenden Punkten iſt die Axialſpannung gleich Null.

An dieſen Stellen iſt alſo auch die Verlängerung oder Verkürzung gleich Null; denn dieſelben laſſen ſich aus der Gleichung ermitteln

$$\frac{\Delta dx}{dx} = \frac{N}{E}, \quad \text{ſonach} \quad \Delta dx = \frac{N}{E} dx = 0 .$$

Man nennt die Faſerſchicht, in welcher durch die Biegung weder eine Verlängerung, noch eine Verkürzung bewirkt wird, die neutrale Faſerſchicht, und die Axe YY, welche alle Punkte des Querſchnittes enthält, in denen die Axialſpannung gleich Null iſt, die neutrale Axe oder Nulllinie.

Hiermit iſt der Satz bewieſen: Bei einem geraden wagrechten Balken, deſſen Querſchnitte durch die Kraftebene in Hauptaxen geſchnitten werden, fällt, wenn nur lothrechte Kräfte wirken, in jedem Querſchnitt die neutrale Axe mit der wagrechten Schwerpunktsaxe zuſammen.

Aus Gleichung 42 folgt ferner, daſs N deſto gröſser iſt, je gröſser z iſt, d. h. je weiter der betreffende Punkt von der wagrechten Schwerpunktsaxe entfernt iſt. Die gröſsten Werthe von N finden alſo in den am weiteſten entfernten Punkten ſtatt. Es ſeien die Abſtände der am weiteſten nach oben und unten von der Neutralen entfernten Punkte (Fig. 83) bezw. $+ a_1$ und $- a_2$; alsdann iſt 88. Gröſste Beanſpruchung.

$$N_{max} = + \frac{M}{\mathcal{J}} a_1 \quad \text{und} \quad N_{min} = - \frac{M}{\mathcal{J}} a_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 43.$$

Die Gleichungen 43 werden benutzt, um die Gröſse und Form des Querſchnittes an den verſchiedenen Stellen des Balkens zu beſtimmen. Bedeutet M das gröſste für einen Querſchnitt mögliche Moment, ſo iſt die gröſste in dieſem Querſchnitt vorhandene Zug-, bezw. Druckſpannung aus den Gleichungen 43 zu ermitteln. Iſt für das betreffende Material und den vorliegenden Fall die zuläſſige Beanſpruchung für die Flächeneinheit des Querſchnittes K', bezw. $- K''$ (für Zug, bezw. Druck), ſo darf höchſtens ſtattfinden:

$$N_{max} = K' \quad \text{und} \quad N_{min} = - K'' ,$$

d. h. die Bedingungsgleichungen für den Querſchnitt werden:

$$K' = \frac{M}{\mathcal{J}} a_1 , \quad - K'' = - \frac{M}{\mathcal{J}} a_2 \quad \text{oder} \quad K'' = \frac{M}{\mathcal{J}} a_2 .$$

Die beiden Gleichungen für K' und K'' können auch geſchrieben werden:

$$\frac{\mathcal{J}}{a_1} = \frac{M}{K'} \quad \text{und} \quad \frac{\mathcal{J}}{a_2} = \frac{M}{K''} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 44.$$

Die rechten Seiten der Gleichungen 44 ſind bekannt; es wird weiterhin gezeigt werden, wie man für die verſchiedenen Fälle die Werthe von M ermittelt; diejenigen der zuläſſigen Beanſpruchungen, d. h. die Werthe für K' und K'' ſind ebenfalls (aus den Tabellen auf S. 53 u. 54) bekannt. Sollen alſo an den meiſt beanſpruchten Stellen der Querſchnitte die zuläſſigen Beanſpruchungen K' und K'' nicht überſchritten werden, ſo ſind $\frac{\mathcal{J}}{a_1}$ und $\frac{\mathcal{J}}{a_2}$ ſo zu beſtimmen, daſs die Gleichungen 44 erfüllt ſind. $\mathcal{J}$, a_1 und a_2 hängen aber nur von der Form und Gröſse der Querſchnittsfläche ab; man kann daher durch paſſende Anordnung des Querſchnittes dieſe Bedingung erfüllen.

89. Widerſtands-moment.

Für den Quotienten $\frac{\mathcal{J}}{a}$ hat man eine beſondere Bezeichnung: das Widerſtandsmoment eingeführt. Hierin bedeutet a den gröſseren von den beiden Werthen a_1 und a_2, ohne Rückſicht auf das Vorzeichen.

Es möge noch bemerkt werden, daſs die gröſsten Werthe der axialen Spannungen N nicht ohne Weiteres die überhaupt wirkenden Maximalſpannungen ſind. In den meiſten Fällen aber iſt die gröſste Spannung entweder gleich dem gröſsten Werth der axialen Spannung oder doch ſo wenig von demſelben verſchieden, daſs der letztere Werth unbedenklich als gröſster Werth der Spannung überhaupt eingeführt werden kann.

90. Querſchnitts-beſtimmung.

Die Querſchnitte der auf Biegung beanſpruchten Balken werden mittels der beiden Gleichungen 44 beſtimmt, indem für M der gröſstmögliche Werth des Biegungsmomentes für den betreffenden Querſchnitt, für K' und K'' die bezüglichen Werthe aus den Tabellen auf S. 53 u. 54 eingeführt werden. Eine günſtige Anordnung wird es ſein, wenn gleichzeitig in den am meiſten gezogenen und gedrückten Punkten des Querſchnittes die zuläſſigen gröſsten Beanſpruchungen auf Zug und Druck eintreten.

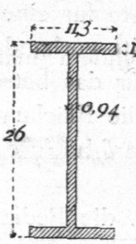
91. Stäbe aus Schmiedeeiſen und Stahl.

Für Schmiedeeiſen und Stahl ſind die zuläſſigen Zug-, bezw. Druckbeanſpruchungen (abſolut genommen) einander nahezu gleich, ſo daſs für die Querſchnittsbildung in den Gleichungen 44 $K' = K''$ zu ſetzen iſt. Es ergiebt ſich alsdann

$$\frac{M}{\mathcal{J}}\, a_1 = \frac{M}{\mathcal{J}}\, a_2 \quad \text{oder} \quad a_1 = a_2\,,$$

d. h. die Querſchnittsform für Stäbe aus Schmiedeeiſen und Stahl, welche auf Biegungselaſticität beanſprucht werden, iſt ſo zu wählen, daſs die am meiſten gezogenen, bezw. gedrückten Punkte gleich weit vom Schwerpunkte des Querſchnittes entfernt ſind, daſs alſo der Schwerpunkt der Querſchnittsfläche in halber Höhe liegt.

Fig. 84.



Beiſpiel. Das Maximalmoment in einem ſchmiedeeiſernen Walzbalken mit I-förmigem Querſchnitt betrage $M = 280\,000$ kgcm.

Nach der Tabelle auf S. 53 iſt für Schmiedeeiſen $K' = K'' = K = 700$ kg für 1 qcm, alſo

$$\frac{\mathcal{J}}{a_1} = \frac{\mathcal{J}}{a_2} = \frac{M}{K} = \frac{280\,000}{700} = 400.$$

Das neben ſtehende Profil Nr. 26 der »Deutſchen Normal-Profile für I-Eiſen« (Fig. 84) hat ein Trägheitsmoment $\mathcal{J} = 5798$; ferner iſt $a = \frac{26}{2} = 13$ cm, demnach $\frac{\mathcal{J}}{a} = 446$, ſo daſs dieſer Querſchnitt im vorliegenden Falle genügt.

92. Stäbe aus Guſseiſen.

Für Guſseiſen iſt die zuläſſige Beanſpruchung auf Druck doppelt ſo groſs, als diejenige auf Zug (vergl. die Tabelle auf S. 53), alſo $K'' = 2\,K'$, und demnach

$$\frac{M}{\mathcal{J}}\, a_2 = 2\,\frac{M}{\mathcal{J}}\, a_1 \quad \text{und} \quad a_2 = 2\,a_1\,.$$

Nun iſt die ganze Höhe des Querſchnittes $h = a_1 + a_2 = 3\,a_1$, woraus $a_1 = \frac{h}{3}$.

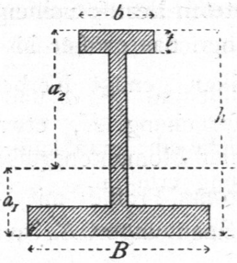


Fig. 85.

Daraus folgt die Regel: Die Querſchnitte der gufseiſernen Balken (Fig. 85) ſind ſo anzuordnen, daſs der Schwerpunkt um $\frac{1}{3}$ der Geſammthöhe des Querſchnittes von der am meiſten gezogenen Faſer entfernt liegt. Befinden ſich alſo die gezogenen Faſern, wie meiſtens, unten, die gedrückten Faſern oben, ſo ſoll der Schwerpunkt im Abſtande $\frac{h}{3}$ über der Grundlinie des Querſchnittes liegen.

Die auf Biegung beanſpruchten Stäbe aus Holz werden, der Natur des Materials entſprechend, mit rechteckigem Querſchnitt hergeſtellt; der Schwerpunkt des Querſchnittes liegt alſo in halber Höhe h, und es iſt $a_1 = a_2 = \frac{h}{2}$. Demnach wird $K' = K''$, und es iſt aus der Tabelle auf S. 53 der kleinere der beiden Werthe, welche als zuläſſige Zug-, bezw. Druckbeanſpruchung angegeben ſind, einzuführen. Wenn dieſer Werth K genannt wird, ſo iſt 93. Stäbe aus Holz.

$$\frac{\mathfrak{J}}{a} = \frac{M}{K}.$$

Beiſpiel. Es ſei etwa $M = 180\,000$ kgcm; alsdann muſs für kieferne Balken ſtattfinden:

$$\frac{\mathfrak{J}}{a} = \frac{180\,000}{60} = 3000.$$

Nach Gleichung 19 iſt

$$\mathfrak{J} = \frac{b\,h^3}{12} \quad \text{und} \quad \frac{\mathfrak{J}}{a} = \frac{b\,h^3}{12\,\frac{h}{2}} = \frac{b\,h^2}{6}.$$

Im vorliegenden Falle muſs alſo ſein

$$\frac{b\,h^2}{6} = 3000 \quad \text{oder} \quad b\,h^2 = 18\,000.$$

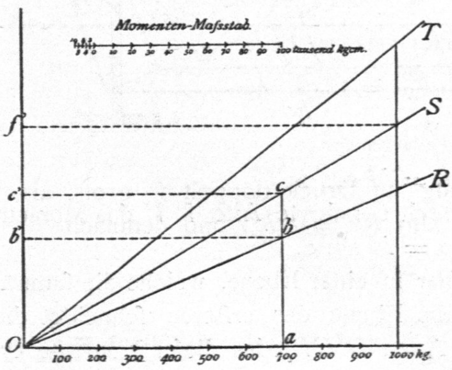
Iſt $b = \frac{3}{4}\,h$, ſo wird $\frac{3}{4}\,h^3 = 18\,000$ und $h = \sqrt[3]{24\,000} =$ rot. 29 cm, ſonach $b = 22$ cm.

Bei den ſchmiedeeiſernen Walzbalken I- und [-förmigen Querſchnittes, welche im Handel in ganz beſtimmten Kalibern erhältlich ſind, kann man das für jeden Fall nothwendige Kaliber mittels einer einfachen Figur ſehr leicht ermitteln. Die Bedingung für die Querſchnittsbildung iſt 94. Querſchnitts-beſtimmung mittels graphiſcher Tafel.

$$M = K\,\frac{\mathfrak{J}}{a}.$$

Je nachdem man bei einem Balken mit gegebenem Querſchnitt, alſo bekanntem

Fig. 86.



Widerſtandsmoment $\frac{\mathfrak{J}}{a}$, eine gröſsere oder geringere Beanſpruchung K als zuläſſig einführt, kann man ihn für ein gröſseres oder geringeres Moment M verwenden. Trägt man nun die Werthe von K als Abſciſſen, die zugehörigen Werthe $\frac{K\,\mathfrak{J}}{a} = M$ als Ordinaten auf, ſo ergiebt ſich für jedes Kaliber eine Gerade, etwa $O\,R$ (Fig. 86), die durch den Coordinatenanfang O geht und die Gröſse der Momente angiebt, welche dieſes Kaliber bei den verſchiedenen Beanſpruchungen K ertragen kann. In Fig. 86 ſind drei ſolche Linien $O\,R$, $O\,S$, $O\,T$ angegeben. Bei einer als zuläſſig erachteten Beanſpruchung $K = 700$ kg würde der zu $O\,R$ gehörige Balken genügen, ſo lange das gröſste Moment nicht gröſser als $\overline{a\,b} = \overline{O\,b'}$ iſt; der zu $O\,S$ gehörige Balken genügt hierbei noch für ein Moment $\overline{a\,c} = \overline{O\,c'}$. Wird eine gröſsere Beanſpruchung K, etwa $K = 1000$ kg, zugelaſſen, ſo genügt der Balken $O\,S$ bis zu einer Momentengröſse $\overline{O\,f'}$. Auf der neben ſtehenden Tafel ſind für die »Deutſchen Normal-Profile« mit **I**- und **[**-Form die Linien gezogen; auf der Abſciſſenaxe ſind die Spannungen K, auf der Ordinatenaxe die Momente abgetragen.

Wenn z. B. ein Moment von 125000 kgcm aufzunehmen iſt, ſo würde das **I**-Eiſen Nr. 20 dieſes mit einer gröſsten Beanſpruchung $K = 580$ kg ertragen können, Nr. 18 mit einer Beanſpruchung von 765 kg, Nr. 16 mit einer Spannung von 1060 kg. Wäre vorgeſchrieben, daſs K nicht gröſser ſein ſolle, als 700 kg, ſo würde das Kaliber zu wählen ſein, welches zunächſt über dem Punkte P liegt, in welchem die zu $K = 700$ kg gehörige Ordinate den Werth $M = 125\,000$ kgcm hat. Die Verwendung dieſer graphiſchen Tafel iſt ſonach ſehr bequem.

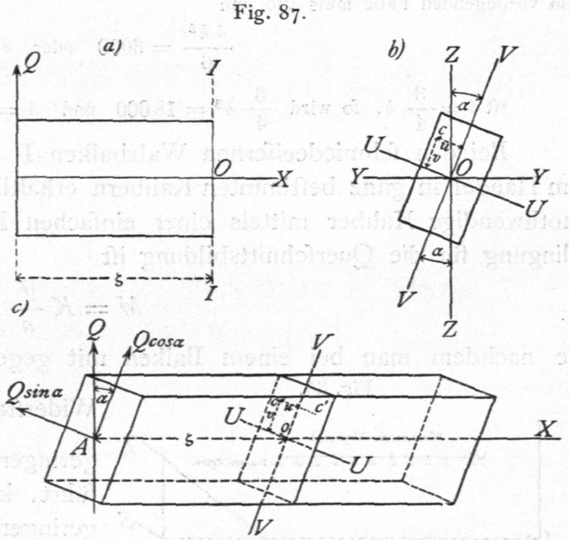
b) Axiale Biegungsſpannungen, wenn die Kraftebene die Balkenquerſchnitte nicht in Hauptaxen ſchneidet.

95. Axiale Biegungsſpannungen.

Auf den Querſchnitt $I\,I$ in Fig. 87a wirke das Biegungsmoment $M = Q\,\zeta$; Fig. 87b giebt die Vorderanſicht des Querſchnittes; die Kraftebene fällt mit der Bildebene der Fig. 87a zuſammen, geht durch die Balkenaxe und iſt die $X\,Z$-Ebene.

Bezeichnen $U\,U$ und $V\,V$ die beiden Hauptaxen des Querſchnittes, ſo kann nach bekannten Geſetzen der Statik das in der $X\,Z$-Ebene wirkende Moment M in zwei Seitenmomente zerlegt werden, welche in der $X\,U$- und $X\,V$-Ebene wirken; das erſtere iſt alsdann $M_u = M \sin\alpha$, das letztere $M_v = M \cos\alpha$. Dieſe Zerlegung, ſo wie die Drehrichtung der Seitenmomente wird durch die iſometriſche Anſicht in Fig. 87c verdeutlicht, bei welcher, der einfacheren Zeichnung halber, ein Rechteckquerſchnitt angenommen iſt. Q zerlegt ſich im Punkte A in $Q \cos\alpha$ und $Q \sin\alpha$, welche Kräfte bezw. in den Ebenen $X\,V$ und $X\,U$ wirken. Die erſtere Kraft hat in Bezug auf die durch O, den Schwerpunkt des betrachteten Querſchnittes, gelegte Hauptaxe $U\,U$ das Moment:

Fig. 87.



$$Q \cos\alpha \,.\, \zeta = Q\,\zeta \cos\alpha = M \cos\alpha;$$

die letztere hat in Bezug auf die gleichfalls durch O gelegte Axe $V\,V$ das Moment

$$Q \sin\alpha \,.\, \zeta = Q\,\zeta \sin\alpha = M \sin\alpha.$$

Jedes dieſer beiden Theilmomente wirkt nun aber in einer Ebene, welche die ſämmtlichen Querſchnitte in Hauptaxen ſchneidet; die Ebene des erſteren ſchneidet die Querſchnitte in $V\,V$, die des letzteren in den Axen $U\,U$; jedes dieſer Momente er-