tungen von h und v zerlegt. Ebenso s'' in Fig. 56f nach den wahren Richtungen von s.

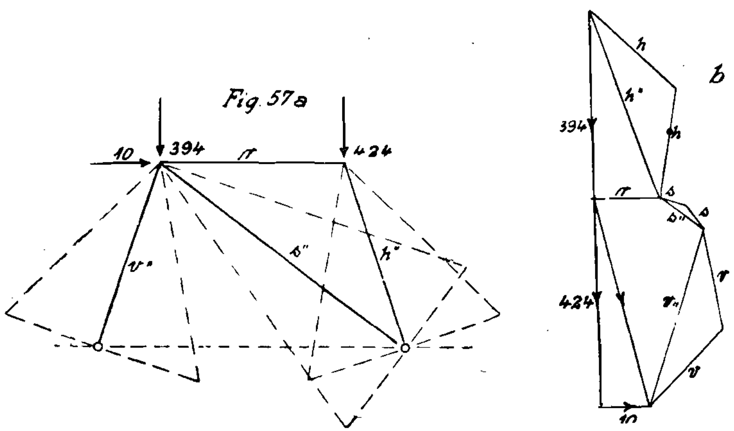
Bei Abtriebsbelastung ist mit dem gesamten Apparatgewicht ohne Abzug der Flügel zu rechnen. Die senkrechten Knotenlasten erhält man durch Multiplikation mit $\frac{1800}{1550}$.

Demnach $32 \cdot \frac{1800}{1550} = 37$ kg usf. Stirndruck + Komponente des Innenkabels $= \frac{37}{8} + 5 = 4{,}6 + 5 = 10$ kg.

Insgesamt ergeben sich demnach bei Abtrieb folgende Belastungen (siehe Fig. 48a).

$$\text{Senkrecht:}\quad 105 + 78 + 115 + 77{,}5 + \frac{37{,}2}{2} = 394 \text{ kg.}$$

$$105 + 93 + 115 + 92{,}5 + \frac{37{,}2}{2} = 424 \text{ „}$$



Horizontal: 10 kg.

In Fig. 57a sind die vor und hinter der Bildebene liegenden Streben in die Seitenrißebene geklappt und in dem Kräfteplan 57b die Parallelen zu diesen Richtungen v, h und s gezogen. Bei Auftriebsbelastung erhalten sämtliche Streben außer s Zug, bei Abtriebsbelastung alle ohne Ausnahme Druck.

Für diese gefährlichere Beanspruchung sind die Sicherheiten in folgender Tabelle zusammengestellt.

Strebe	Profil	l cm	J cm⁴	Knicklast	Spannkraft	Sicherheit
v	⌀ 25/1,0	103	0,45	935 kg	— 2·180 kg	2,6
h	⌀ 25/1,0	103	0,45	935 „	— 2·220 „	2,1
s	⌀ 25/1,0	157	0,45	400 „	— 2· 60 „	3,3
r	⌀ 25/1,0	90	0,45	1200 „	— 2·120 „	5,0

Oft ist es konstruktiv sehr schwierig, den Spannturm über den Motor bzw. den letzteren unter den ersteren durchzubringen, da Auspuffrohre, Hebel oder sonstige Konstruktionsteile mit den Spannturmstreben kollidieren. In solchen Fällen pflegt man auch den Bock in der Seitenansicht als offenen Rahmen auszuführen unter Fortlassung der seitlichen Streben.

Für eine solche Ausführung würde sich die Rechnung wie folgt gestalten.

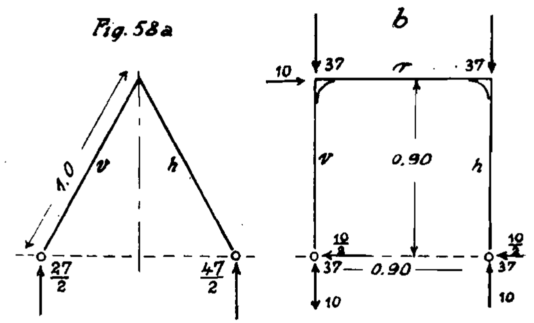


Fig. 58 zeigt einen sogenannten Zweigelenkrahmen, da die Streben an ihren Füßen durch Bolzengelenke angeschlossen sind. Ein solcher Rahmen ist einfach statisch unbestimmt wegen des auftretenden Horizontalschubes.

Als Belastung sei die in Fig. 58b eingezeichnete gewählt.

Außer den senkrechten Reaktionen von 37 kg gibt die Horizontalkraft von 10 kg auf der Strebenseite r eine Entlastung und auf der Seite h eine Belastung, da sie den Bock zu kippen sucht. Infolge der Horizontalbelastung treten an den Fußgelenken horizontale Reaktionen auf, und zwar bei H links wirkend $\frac{H}{2}$ an jedem Gelenk rechts wirkend.

Die senkrechten Zusatzreaktionen erhält man durch Aufstellung der Momentengleichung in bezug auf einen Fußpunkt.

Ist A die linke, B die rechte Reaktion, h die Höhe, b die Breite des Rahmens, so wird

$$A \cdot b = H \cdot h; \quad A = H \cdot \frac{h}{b} = B.$$

Im vorliegenden Falle $A = B = 10 \cdot \frac{90}{90} = 10$ kg.

Insgesamt wirken vorn $37 - 10 = 27$ kg und hinten $37 + 10 = 47$ kg als senkrechte Kräfte und vorn wie hinten $\frac{10}{2} = 5$ kg als horizontale Kräfte Die einzelnen Stäbe werden jetzt außer den drückenden Längskräften durch die horizontalen Kräfte beansprucht und zwar auf Biegung. Bei der Zerlegung der senkrechten Kräfte nach den Richtungen der Schrägstreben verhalten sich die Kräfte wie die zugehörigen Längen. Ferner ist zu berücksichtigen, daß sich die senkrechten Reaktionen jedesmal auf eine Strebenwand verteilen.

Es ergibt sich für $v = \frac{27}{2} \cdot \frac{1,0}{0,9} = 15$ kg.

„ $h = \frac{47}{2} \cdot \frac{1,0}{0,9} = 26$ kg.

„ $r = 10$ kg.

Das durch $\frac{10}{2} = 5$ t ausgeübte Biegungsmoment verteilt sich ebenfalls in jedem Falle auf zwei Streben, so daß von jeder Strebe v bzw. h aufzunehmen sind:

$$M = \frac{5}{2} \cdot 100 = 250 \text{ kgcm}.$$

Das Biegungsmoment wächst mit der Entfernung von den Fußpunkten, nimmt also geradlinig zu. An den Ecken ist

es am größten. Da der Querriegel beiden Strebenwänden angehört, so hat er ein Biegungsmoment von $2 \cdot 250 = 50$ kgcm aufzunehmen, vorausgesetzt, daß die Ecken durch Eckbleche biegungsfest ausgestaltet sind.

Strebe v:

Für Abtriebsbelastung sei eine dreifache Sicherheit vorgeschrieben. Für alle Stäbe sei Rohr $\varnothing$ 25/1,0 gewählt.

$$S = 3 \cdot 15 = 45 \text{ kg}; \quad M_0 = 3 \cdot 250 = 750 \text{ kgcm}.$$

$$P_k = \frac{10 \cdot 2\,200\,000 \cdot 0,45}{100 \cdot 100} = 990 \text{ kg}.$$

Knicksicherheit $n = \frac{990}{45} = 22.$

Gesamtmoment $M = 750 \cdot \frac{22}{21} = 785$ kgcm.

Biegungsbeanspruchung $\sigma = \frac{750}{0,36} = 2080 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$

Sicherheit gegen Bruch $n = \frac{5500}{2080} = 2,64$ und in bezug auf den einfachen Belastungsfall $n \sim 3 \cdot 2,64 = 7,9.$

Strebe h:

$$S = 3 \cdot 26 = 78 \text{ kg}; \quad M_0 = 3 \cdot 250 = 750 \text{ kgcm}.$$

$$P_k = 990 \text{ kg}; \quad n = \frac{990}{78} = 12,7.$$

$$M = 750 \cdot \frac{12,7}{11,7} = 815 \text{ kgcm}; \quad \sigma = \frac{815}{0,36} = 2260 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

Sicherheit gegen Bruch $n = \frac{5500}{2260} = 2,43$

bzw. $n \sim 3 \cdot 2,43 = 7,29.$

Querriegel r:

$$S = 3 \cdot 10 = 30 \text{ kg}; \quad M_0 = 3 \cdot 500 = 1500 \text{ kgcm}.$$

$$P_k = \frac{10 \cdot 2\,200\,000 \cdot 0,45}{90 \cdot 90} = 1220 \text{ kg}; \quad n = \frac{1220}{30} = 40,7.$$

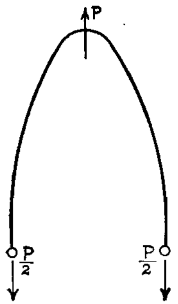
$$M = 1500 \cdot \frac{40,7}{39,7} = 1500 \text{ kgcm}; \quad \sigma = \frac{1550}{0,36} = 4320 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

Sicherheit gegen Bruch $n = \frac{5500}{4320} = 1,27$

bzw. $n = 3 \cdot 1,27 \sim 3,8.$

Obgleich hier die senkrechten Belastungen nahezu den zehnten Teil derjenigen des vorhergehenden Beispieles betragen, gehen die Sicherheitsgrade bei gleichen Querschnitten, bis auf 3,8 herunter.

Fig. 59.



Es folgt daraus, daß der Einfluß der Biegungsspannungen groß ist und daß, wenn angängig, derartige Konstruktionen besser zu vermeiden sind.

So sind die gekrümmten Spanntürme (Fig. 59) als äußerst bedenklich nur im Notfalle anzuwenden, da mit der zunehmenden Abweichung der Stabachse von der Kraftrichtung auch die Biegungsspannung zunimmt, und zwar bei Auftrieb wie bei Abtrieb.

Die bisher berücksichtigten Belastungsfälle wie Auftrieb, Abtrieb, Stirndruck erschöpfen noch nicht die überhaupt möglichen. So treten in der Kurve bei großen Geschwindigkeiten ungleiche Belastungen in beiden Zellenhälften auf, die den Spannturm seitlich beanspruchen.

In der folgenden Betrachtung ist der Nachweis der Größe des im Kurvenfluge auftretenden Horizontalschubes geführt, der infolge der unsymmetrischen Belastung der Zellenflügel auftritt.

Das Gewicht der betriebsfertigen mit Zuladung versehenen Maschine beträgt 1800 kg, das Gewicht der Flügel 250 kg. Die Spannweite oben wie unten gleich 16,0 m, Gesamtfläche gleich 52,80 qm. Zugrunde gelegt ist eine Grenzgeschwindigkeit von 180 km pro Stunde = 50 m pro Sekunde.

Wir bezeichnen mit P das Gesamtgewicht, mit v die Geschwindigkeit in m pro Sekunde, mit γ die Dichte der Luft mit 1,226 angenommen, mit $g = 9{,}81$ die Beschleunigung der Schwere, mit F den Gesamt-Flächeninhalt und mit ψ die Widerstandszahl. Das Gewicht P läßt sich nun ausdrücken durch

$$P = v^2 \cdot \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot \psi$$

und ψ durch $$\psi = \frac{1800}{50^2 \cdot \frac{1}{8} \cdot 52{,}80} = 0{,}109.$$

Bei einer Geschwindigkeit von 50 m pro Sekunde und einem Bahnradius von 50 m würde das Flugzeug zum Beschreiben eines Kreises

$t = \frac{2\pi \cdot R}{v}$ Zeit brauchen, d. h. $t = 6{,}28 \cdot \frac{50}{50} = 6{,}28$ Sek.

In derselben Zeit beschreiben auch die Flügelenden mit den Radien R_1 und R_2 die Bahn und auch für diese gelten

$$t = \frac{2\pi \cdot R_1}{v_1} = 6{,}28 \text{ und } t = \frac{2\pi \cdot R_2}{v_2} = 6{,}28.$$

Daraus folgt für v_1 bzw. v_2:

$$v_1 = \frac{2\pi \cdot R_1}{6{,}28} = R_1 = 42 \text{ m pro Sekunde.}$$

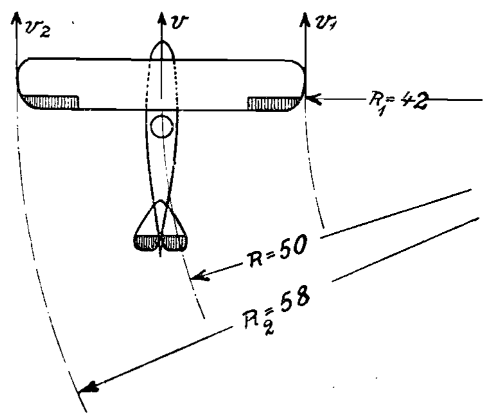
$$v_2 = \frac{2\pi \cdot R_2}{6{,}28} = R_2 = 58 \text{ m pro Sekunde.}$$

Der Mittelwert aus v und v_1 ist:

$$v_m' = \frac{42 + 50}{2} = 46 \text{ m/sek. und aus v und } v_2$$

$$v_m'' = \frac{58 + 50}{2} = 54 \text{ m/sek.}$$

Fig. 60.



Diese Geschwindigkeiten herrschen im Schwerpunkt der Flächenbelastung, d. h. nahezu in Flügelmitte in bezug auf die Länge oder in $\frac{1}{4}$ der Spannweite. Dort werden auch die Angriffspunkte der resultierenden Auftriebskräfte angenommen, sie betragen:

$$P_1 = 46^2 \cdot \tfrac{1}{8} \cdot \frac{52{,}8}{2} \cdot 0{,}109 = 760 \text{ kg.}$$

$$P_2 = 54^2 \cdot \tfrac{1}{8} \cdot \frac{52{,}8}{2} \cdot 0{,}109 = 1040 \text{ kg.}$$

Die Summe beider muß gleich dem Gesamtauftrieb sein

$$760 + 1040 = 1800 \text{ kg.}$$

Mit Abzug des halben Flügelgewichtes ergeben sich für die beiden Zellenhälften folgende Auftriebe.

Auf der einen Seite $760 - \frac{250}{2} = 635$ kg.

„ „ anderen „ $1040 - \frac{250}{2} = 915$ „

Horizontalkräfte in der Längsrichtung der Flügel treten am Spannturm beim normalen Flug deshalb nicht auf, weil die Druckkräfte der angrenzenden Holme gleich groß sind und sich deshalb aufheben.

Infolge eines Auftriebes von $\frac{1550}{2} = 775$ kg treten in unserem Beispiele beim Vorderholm — 755 kg und beim Hinterholm — 810 kg auf.

Spannkraft im Vorderholm infolge 635 kg:

$$\frac{635}{775} \cdot 755 = 618 \text{ kg.}$$

Spannkraft im Vorderholm infolge 915 kg:

$$\frac{915}{775} \cdot 755 = 890 \text{ kg.}$$

$$\overline{272 \text{ kg.}}$$

Spannkraft im Hinterholm infolge 635 kg:

$$\frac{635}{775} \cdot 810 = 664 \text{ kg.}$$

Spannkraft im Hinterholm infolge 915 kg:

$$\frac{915}{775} \cdot 810 = 956 \text{ kg.}$$

$$\overline{292 \text{ kg.}}$$

Es resultiert am vorderen Knoten des Spannturmes ein Horizontalschub von 272 kg und am hinteren ein solcher von 292 kg. Diese Schübe entlasten die eine Strebenseite und drücken die andere. Mit Berücksichtigung der Stablängen in Fig. 58a ergeben sich folgende Stabkräfte:

$\frac{1{,}0}{0{,}9} \cdot 272 = \pm 302$ kg in den vorderen Streben.

$\frac{1{,}0}{0{,}9} \cdot 292 = \pm 324$ kg in den hinteren Streben.

Da mit einer fünffachen Belastung gerechnet werden muß, so treten vorn 1510 kg und hinten 1630 kg auf.

Ein Rohr ⌀ 25/1,0 besitzt nur eine Knicklast von 990 kg, so daß eine etwas mehr als dreifache Sicherheit herrschen würde.

Bei Beibehaltung der zu Anfang der letzten Spannturmbetrachtung gemachten Voraussetzung würden also die Profile der Streben verstärkt werden müssen.

Die Kurve ist also gefährlich bei Apparaten mit großen Geschwindigkeiten oder mit großen Spannweiten und bei solchen mit schlanken Spanntürmen.

Fahrgestell.

Die Ermittelung der Spannkräfte in den Streben und in der Achse des Fahrgestelles sowie die zugehörige Dimensionierung ist im vorhergehenden Beispiel durchgeführt, so daß die Durchrechnung eines normalen Gestelles als erledigt angesehen werden kann.

4. Steuerflächen.

In der folgenden Betrachtung sei eine Dämpfungsfläche beliebiger Abmessung als maßgebendes Beispiel zugrunde gelegt.

Das Traggerippe besteht aus Rohrstreben, die mit Stoff umkleidet sind. Wir unterscheiden der Bedeutung entsprechend Zwischen- und Hauptrohre.