$$N_{max} = \frac{2\,P}{3\,x\,b}\,.$$

In ganz derſelben Weiſe kann man die Unterſuchung für eine Anzahl von Fugen führen.

2) Pfeiler. Die Stabilitätsunterſuchung eines zwiſchen zwei Gewölben befindlichen Mittelpfeilers wird entſprechend vorgenommen.

Die Punkte $E$ können auch leicht graphiſch ermittelt werden, indem man $R$ mit $G_1$ zu $R'$ zuſammenſetzt und in gleicher Weiſe weiter für die verſchiedenen Fugen verfährt.

## 3. Kapitel.

# Kreuz- und Kuppelgewölbe.

### a) Kreuzgewölbe.

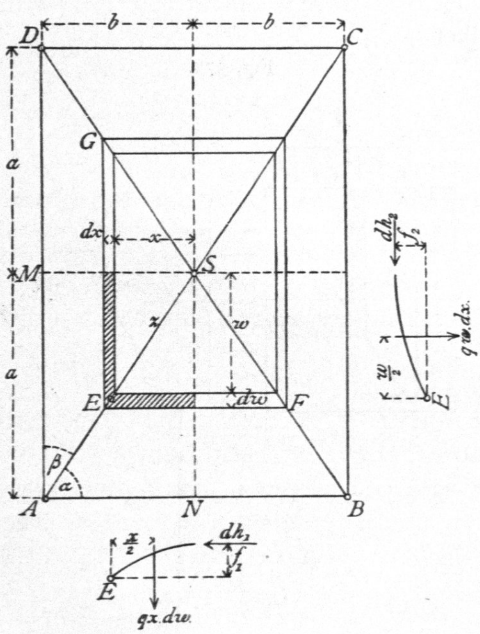
278. Lagerfugen.

Die Einwölbung erfolgt beim Kreuzgewölbe bekanntlich entweder ſo, daſs die Lagerfugen parallel zu den Längsaxen der einzelnen Kappen laufen, aus denen das Kreuzgewölbe beſteht, oder ſo, daſs ſie im Grundriſs ſenkrecht oder nahezu ſenkrecht zu den Graten verlaufen. Das ſtatiſche Verhalten iſt bei den beiden Anordnungen verſchieden.

279. Lagerfugen parallel zur Axe der Kappen.

1) Die Lagerfugen laufen zu den Längsaxen der Kappen parallel. Bei den hier vorzunehmenden Berechnungen ſoll die vereinfachende, mit der Wirklichkeit genügend genau übereinſtimmende Annahme einer über die Grundfläche gleichmäſsig vertheilten Belaſtung $g$ auf die Flächeneinheit gemacht werden. Für die Ermittelung der Seilcurve und damit auch des Horizontalſchubes werden ſtets drei Punkte angenommen werden. Die gefundenen Horizontalſchübe ſind nur dann richtig, wenn die drei Punkte in jedem Gewölbetheil richtig angenommen ſind. Es können dann nach Obigem auch leicht die Gröſst- und Kleinſtwerthe der Horizontalſchübe ermittelt werden.

Fig 368.




Der nachfolgenden Unterſuchung ſoll ein Kreuzgewölbe über rechteckigem Raume zu Grunde gelegt werden; die Anwendung für ein ſolches mit quadratiſchem Grundriſſe iſt dann leicht.

Zerlegt man jede Kappe durch ſenkrecht zur Längsaxe gelegte, lothrechte Ebenen in einzelne Streifen, welche im Grundriſs Paralleltrapeze bilden (Fig. 368), und betrachtet zwei ſolche Streifen $G\,E$ und $E\,F$, welche ſich im Punkte $E$ des Grates treffen, ſo ergeben ſich die auf dieſe Streifen in ihren Scheiteln übertragenen Horizontalſchübe folgendermaſsen. Bezeichnet man die Pfeilhöhen der Seilcurven in den Streifen bezw. mit $f_1$ und $f_2$, die Horizontalschübe mit bezw. $d\,h_1$ und $d\,h_2$, so erhält man nach Fig. 368

$$d\,h_1 = \frac{q\,x^2\,d\,w}{2\,f_1} \quad \text{und} \quad d\,h_2 = \frac{q\,w^2\,d\,x}{2\,f_2} \quad \ldots\ldots \quad 377.$$

Der Punkt $E$ ist der gemeinsame Kämpferpunkt für die beiden Bogen $GE$ und $EF$; die in diesem Punkte auf den Gratbogen von den beiden Bogen übertragenen Kräfte haben je eine wagrechte Seitenkraft, welche $d\,h_1$, bezw. $d\,h_2$ ist, und eine lothrechte Seitenkraft, deren Grössen

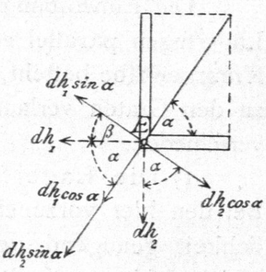
$$d\,v_1 = q\,x\,d\,w \quad \text{und} \quad d\,v_2 = q\,w\,d\,x$$

sind. Die lothrechten Seitenkräfte addiren sich einfach in $E$ zu einer abwärts wirkenden Kraft:

$$\mathfrak{v} = q\,(x\,d\,w + w\,d\,x).$$

$\mathfrak{v}$ ist also gleich dem halben Gewichte der anschliessenden Streifen (gleich dem Gewichte der in Fig. 368 schraffirten Fläche). Die beiden wagrechten Kräfte zerlegen sich (Fig. 369) in je eine Seitenkraft, welche in die Richtung der Diagonalen $AC$ fällt, und in eine Seitenkraft senkrecht zu der ersteren.

Fig. 369.




Soll die Mittelkraft von $d\,h_1$ und $d\,h_2$ in die lothrechte, durch die Diagonale gelegte Ebene fallen, so müssen sich die zuletzt genannten Seitenkräfte $d\,h_1 \sin\alpha$ und $d\,h_2 \cos\alpha$ aufheben; es muss also

$$d\,h_1 \sin\alpha = d\,h_2 \cos\alpha$$

sein, woraus

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{d\,h_2}{d\,h_1} = \frac{w^2\,d\,x\,.\,f_1}{x^2\,d\,w\,.\,f_2}.$$

Nun ist

$$w = x\operatorname{tg}\alpha \quad \text{und} \quad d\,w = \operatorname{tg}\alpha\,d\,x,$$

daher

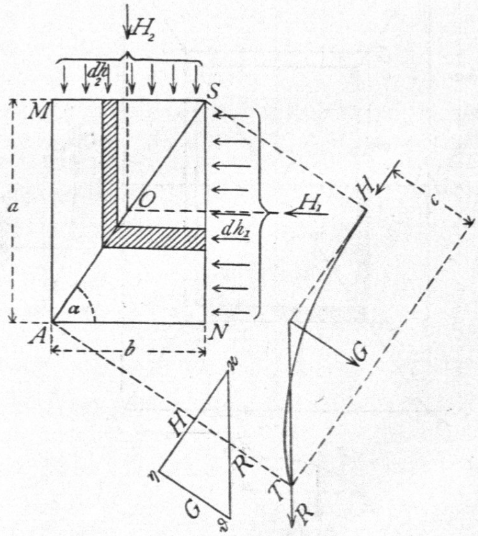
$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{x^2\operatorname{tg}^2\alpha\,.\,d\,x\,.\,f_1}{x^2\operatorname{tg}\alpha\,.\,d\,x\,.\,f_2} = \operatorname{tg}\alpha\,\frac{f_1}{f_2}.$$

Damit obige Bedingung erfüllt sei, muss daher

$$\frac{f_1}{f_2} = 1, \quad \text{d. h.} \quad f_1 = f_2$$

sein. Soll also die Mittelkraft beider Horizontalkräfte im Grundriss in die Richtung der Diagonalen fallen, so sind für die Seilcurven der beiden zusammengehörigen Streifen gleiche Pfeilhöhen einzuführen.

Fig. 370.




Betrachtet man nun ein Viertel des Gewölbes (Fig. 370), und zwar das Stück $MSNA$, so wirken auf dasselbe die Belastung $q$ für die Einheit der Grundfläche, also im Ganzen $G = q\,a\,b$ im Schwerpunkte $O$ des Rechteckes $MSNA$; ausserdem wirken in den Scheiteln der einzelnen Gewölbestreifen die Kräfte $d\,h_1$, bezw. $d\,h_2$, endlich der Kämpferdruck auf den Gratbogen in $A$. Diese Kräfte müssen den Gewölbetheil im Gleichgewicht halten. Die den einzelnen Streifen entſprechenden Seilcurven ſind, weil die Belaſtungen gleichmäſsig über die wagrechte Projection vertheilt ſind, Parabeln, und man kann annehmen, daſs ſich in allen Streifen desſelben Gewölbetheiles ($ASB$, bezw. $ASD$ in Fig. 368) dieſelbe Seilcurve bildet. Dann iſt, wenn $C_1$ und $C_2$ noch zu beſtimmende Feſtwerthe ſind, bezw.

$$x^2 = C_1 f_1 \quad \text{und} \quad w^2 = C_2 f_2.$$

Werden dieſe Werthe in die Gleichung 377 eingeführt, ſo ergiebt ſich

$$d\,h_1 = \frac{q\,C_1\,d\,w}{2} \quad \text{und} \quad d\,h_2 = \frac{q\,C_2\,d\,x}{2} \quad \ldots\ldots \quad 378.$$

Damit iſt das bemerkenswerthe Ergebniſs gefunden, daſs die in den Scheiteln der Gewölbſtreifen wirkenden Horizontalkräfte auf die ganze Länge des Gewölbes für die Längeneinheit die gleiche Gröſse haben (conſtant ſind). Man erhält demnach die auf die geſammten Scheitelſtrecken $SN$, bezw. $SM$ ausgeübten Horizontalkräfte zu

$$H_1 = \frac{q\,C_1\,a}{2} \quad \text{und} \quad H_2 = \frac{q\,C_2\,b}{2} \quad \ldots\ldots \quad 379.$$

Dieſe Mittelkräfte liegen in den Mitten der bezüglichen Scheitelſtrecken, weil alle Einzelkräfte gleich groſs ſind. Beide Kräfte $H_1$ und $H_2$ ſchneiden ſich in der Mitte der Diagonale $AS$, d. h. in der Lothrechten des Punktes $O$. Wird die Pfeilhöhe der Seilcurve im äuſserſten Gewölbeſtreifen ($AB$, bezw. $AD$) mit $c$ bezeichnet, ſo iſt $b^2 = C_1 c$ und $a^2 = C_2 c$; hiernach wird

$$H_1 = \frac{q}{2}\,a\,\frac{b^2}{c} \quad \text{und} \quad H_2 = \frac{q}{2}\,b\,\frac{a^2}{c}.$$

$H_1$ und $H_2$ ſetzen ſich in ihrem Schnittpunkte zu einer Mittelkraft $H$ zuſammen, welche im Grundriſs in die Richtung der Diagonalen $AS$ fällt; dieſelbe iſt

$$H = H_1 \cos\alpha + H_2 \sin\alpha = \frac{q}{2c}\,a\,b\,(b\cos\alpha + a\sin\alpha).$$

Nun iſt $\cos\alpha = \dfrac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}$ und $\sin\alpha = \dfrac{a}{\sqrt{a^2+b^2}}$; mithin wird

$$H = \frac{q\,a\,b\,(b^2+a^2)}{2c\sqrt{a^2+b^2}} = \frac{q\,a\,b}{2c}\sqrt{a^2+b^2}.$$

Dieſe Kraft $H$ vereinigt ſich in der Lothrechten des Punktes $O$ mit dem Gewichte $G = q\,a\,b$ zu der auf den Kämpfer wirkenden Mittelkraft. Damit iſt die auf einen jeden Eckpfeiler des rechteckigen Kreuzgewölbes wirkende Kraft gefunden; ſie hat eine wagrechte und eine lothrechte Seitenkraft, deren Gröſsen ſind:

$$H = \frac{q\,a\,b}{2c}\sqrt{a^2+b^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 380.$$

$$V = q\,a\,b \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 381.$$

Wenn das Gewölbe quadratiſchen Grundriſs hat, ſo bleibt alles Vorſtehende giltig; nur iſt $b = a$ einzuführen, ſo daſs man erhält: Beim Kreuzgewölbe über quadratiſchem Raume mit einer Seitenlänge $2a$ iſt der Horizontalſchub im Grat

$$H = \frac{q\,a^3}{c\sqrt{2}}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 382.$$

und die lothrechte auf jeden Pfeiler übertragene Kraft

$$V = q\,a^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 383.$$

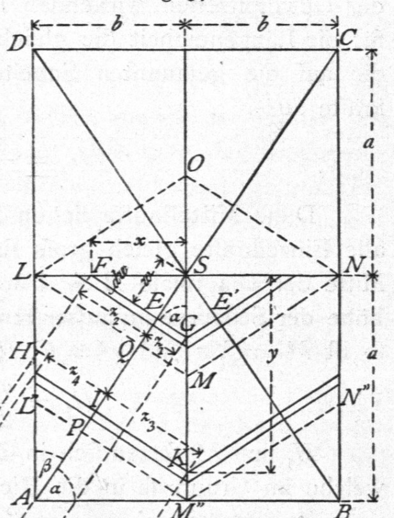
Die graphiſche Ermittelung von $H$ läuft auf die Zerlegung von $G = q\,a\,b$

(bezw. $q\,a^2$) in die beiden Kräfte $H$ und $R$ hinaus. Ist in Fig. 370: $G = \eta\,\vartheta$, so ist $\varkappa\,\eta = H$ und $\vartheta\,\varkappa = R$.

280. Lagerfugen senkrecht zu den Graten.

2) Die Lagerfugen sind im Grundrifs senkrecht zu den Graten. Der Unterfuchung wird wieder ein Gewölbe über rechteckigem Raume zu Grunde gelegt. Daffelbe werde durch lothrechte Ebenen, welche im Grundriffe senkrecht zu den Graten gerichtet sind, in Streifen zerlegt; dann besteht jeder Streifen aus zwei Theilen, welche sich im Grat treffen. Für jeden Theil stellt der Grat den einen Stützpunkt dar; die anderen Stützpunkte werden bei den innerhalb des Viereckes $LMNO$ (Fig. 371) liegenden Streifen durch die entsprechenden Streifen der benachbarten Gewölbeviertel gebildet, bei den aufserhalb dieses Viereckes liegenden Streifen einerseits durch die Streifen des benachbarten Gewölbeviertels, andererseits oder beiderseits durch die Gurtbogen $AB$, $BC$, $CD$, $DA$.

Fig. 371.




α) Es werde zuerst ein Streifen $FEG$ aus dem Viereck $LMNO$ betrachtet. Die Belastung für die Einheit der Grundfläche sei wiederum $q$; alsdann ist (Fig. 371)

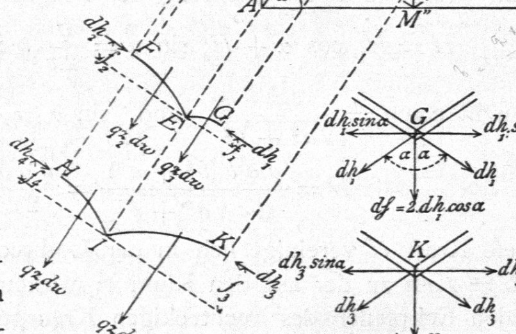
$$d\,h_1 = \frac{q\,z_1^{\,2}\,d\,w}{2\,f_1} \quad \text{und} \quad d\,h_2 = \frac{q\,z_2^{\,2}\,d\,w}{2\,f_2}, \qquad 384.$$

wenn $f_1$ und $f_2$ die Pfeilhöhen der betreffenden Seilcurven sind. Im Punkte $E$ wird auf den Grat nur eine lothrechte Kraft übertragen, falls $d\,h_1 = d\,h_2$, d. h. wenn $\frac{f_2}{f_1} = \frac{z_2^{\,2}}{z_1^{\,2}}$ ist. Nun ist

$$z_2 = w \operatorname{tg} \alpha \quad \text{und} \quad z_1 = \frac{w}{\operatorname{tg} \alpha};$$

mithin mufs

$$\frac{f_2}{f_1} = \operatorname{tg}^4 \alpha = \frac{a^4}{b^4}$$




sein. Die Pfeilhöhen der Seilcurven müssen also in einem von der Grundform des Gewölbes abhängigen Verhältnisse stehen.

Die im Punkte $E$ auf den Gratbogen nun übertragene lothrechte Kraft ist $\mathfrak{v} = q\,d\,w\,(z_1 + z_2)$; dieselbe ist gleich dem Gewichte des Streifens $FEG$. Da aber $z_1 + z_2 = \frac{x}{\sin \alpha}$ ist, so wird

$$\mathfrak{v} = \frac{q\,x\,d\,w}{\sin \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 385.$$

Im Punkte $G$ wirken die beiden wagrechten Kräfte $d\,h_1$ in den Richtungen der anschliefsenden Streifen; sie zerlegen sich in je zwei Seitenkräfte, welche in der Längsrichtung der Kappe, bezw. senkrecht zu dieser Richtung wirken. Die beiden letzteren haben je die Gröfse $d\,h_1 \sin \alpha$ und heben einander auf; die beiden ersteren setzen sich zu einer Kraft $d\,\mathfrak{h} = 2\,d\,h_1 \cos \alpha$ zusammen. Wird für $d\,h_1$

der obige Werth eingeführt und beachtet, dafs $w = z_1 \operatorname{tg} \alpha$, alfo $d w = d z_1 \operatorname{tg} \alpha$ ift, fo ergiebt fich

$$d \mathfrak{h} = \frac{q z_1^2 \sin \alpha \, d z_1}{f_1}.$$

Unter gleichen Annahmen, wie in Art. 279 (S. 263), wird

$z_1^2 = C f_1$ und $d \mathfrak{h} = q C \sin \alpha \, d z_1$; ferner, weil $z_1 = \frac{x \cos^2 \alpha}{\sin \alpha}$, $d z_1 = \frac{\cos^2 \alpha}{\sin \alpha} d x$,

$$d \mathfrak{h} = q C \cos^2 \alpha \, d x.$$

Jeder Doppelftreifen $E G E'$ innerhalb der Grenzen $x = 0$ bis $x = b$ übt eine wagrechte Kraft $d \mathfrak{h}$ auf den Scheitel des Gurtbogens aus. Die ganze Wirkung diefer Streifen ift alfo

$$\mathfrak{H}_1 = q C \cos^2 \alpha \, b = \frac{q C b^3}{(a^2 + b^2)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 386.$$

β) Es werde nunmehr ein Streifen $H J K$ unterfucht, welcher aufserhalb des Viereckes $L M N O$ liegt, aber an der einen Seite fich gegen den entfprechenden Streifen des benachbarten Gewölbeviertels lehnt (Fig. 371). Die Pfeilhöhen der betreffenden Seilcurven feien $f_3$ und $f_4$, die Horizontalfchübe $d h_3$ und $d h_4$; alsdann ift

$$d h_3 = \frac{q \, d w \, z_3^2}{2 f_3} \quad \text{und} \quad d h_4 = \frac{q \, d w \, z_4^2}{2 f_4}.$$

Wie oben mufs $d h_3 = d h_4$ fein, mithin $\frac{f_4}{f_3} = \frac{z_4^2}{z_3^2}$. Man erhält nach einfachen Umformungen

$$\frac{f_4}{f_3} = \left( \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{w_1} - 1 \right)^2.$$

Im Punkte $K$ wirken wiederum zwei Kräfte $d h_3$, deren in die Längsrichtung der Gewölbekappe fallenden Seitenkräfte fich zufammenfetzen, während die beiden fenkrecht dazu gerichteten Seitenkräfte einander aufheben. Man erhält erftere zu

$$d \mathfrak{h}' = 2 \, d h_3 \cos \alpha = \frac{2 \cos \alpha}{2 f_3} q \, d w_1 \, z_3^2.$$

Es ift $S J = w_1$ gefetzt; dann wird

$$w_1 = z_3 \operatorname{tg} \alpha \quad \text{und} \quad d w_1 = d z_3 \operatorname{tg} \alpha;$$

und, wenn wiederum $z_3^2 = C f_3$ angenommen wird,

$$d \mathfrak{h}' = q C \sin \alpha \, d z_3.$$

Ferner ift (Fig. 371) $z_3 = y \cos \alpha$ und $d z_3 = \cos \alpha \, d y$, alfo

$$d \mathfrak{h}' = q C \sin \alpha \cos \alpha \, d y.$$

Die Summe aller Kräfte $d \mathfrak{h}'$, welche von den Streifen zwifchen $L M N$ und $L'' M'' N''$ (Fig. 371) ausgeübt werden, ift

$$\mathfrak{H}_2 = q C \sin \alpha \cos \alpha \int_{\frac{b}{\operatorname{tg} \alpha}}^{a} d y = q C \sin \alpha \cos \alpha \left( a - \frac{b}{\operatorname{tg} \alpha} \right),$$

$$\mathfrak{H}_2 = \frac{q b C (a^2 - b^2)}{(a^2 + b^2)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 387.$$

γ) Endlich wenden wir uns zu einem Streifen $F'' E'' G''$, der fich beiderfeits gegen die Gurtbogen ftützt; dabei wird die Annahme gemacht, dafs auch in den betreffenden Streifentheilen Seilcurven ftattfinden, bei denen an der Anfatzftelle an die Gurtbogen die Tangenten wagrecht find. Die beiden in $E''$ (Fig. 372) auf den Grat übertragenen wagrechten Kräfte find, wenn die obigen Bezeichnungen (mit Abänderung der Zeiger) beibehalten werden,

$$d\,h_5 = \frac{q\,d\,\zeta\,z_5^{\,2}}{2\,f_5} \quad \text{und} \quad d\,h_6 = \frac{q\,d\,\zeta\,z_6^{\,2}}{2\,f_6};$$

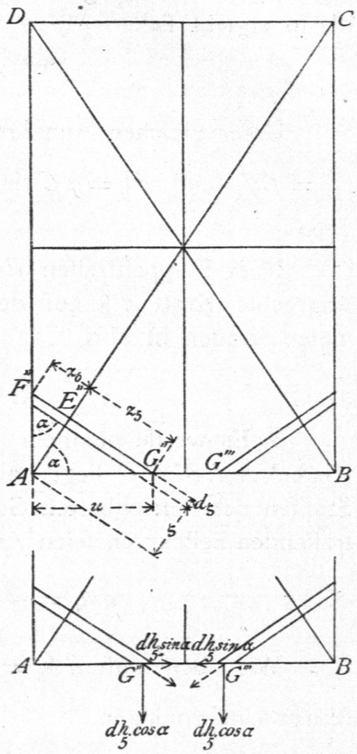
alsdann mufs $\frac{f_6}{f_5} = \frac{z_6^{\,2}}{z_5^{\,2}} = \frac{b^4}{a^4}$ fein, damit fich in $E''$ die beiden wagrechten Kräfte aufheben; auf den Gratbogen wirkt dann nur eine lothrechte Kraft, welche gleich dem Gewichte des Streifens ift; diefelbe ift

$$\mathfrak{v}_1 = q\,d\,\zeta\,(z_5 + z_6) = \frac{q\,d\,\zeta\,u}{\sin\alpha},$$

$$\mathfrak{v}_1 = \frac{q\,u\,d\,\zeta}{\sin\alpha} \quad \ldots\ldots \quad 388.$$

Das Gewicht eines um $\zeta$ von $A$ entfernten Streifens ift alfo eben fo grofs, wie dasjenige eines gleich weit von $S$ entfernten Streifens der Grundfläche $L\,S\,M$ (Fig. 371).

Fig. 372.




Die im Punkte $G''$ auf den Gurtbogen ausgeübte Kraft $d\,h_5$ zerlegt fich in eine fenkrecht zum Gurtbogen gerichtete Seitenkraft $d\,h_5 \cos\alpha$ und eine folche, welche im Grundrifs in die Richtung des Gurtbogens fällt: $d\,h_5 \sin\alpha$. Letztere wird durch eine gleich grofse, entgegengefetzt gerichtete Seitenkraft im fymmetrifch zur Mitte liegenden Punkte $G'''$ aufgehoben; die erftere ift

$$d\,h_5 \cos\alpha = \frac{q\,d\,\zeta\,z_5^{\,2}}{2\,f_5} \cos\alpha = \frac{q\,u^2\,d\,u \sin^2\alpha \cos^2\alpha}{2\,f_5} = \frac{q\,u^2\,a^2\,b^2\,d\,u}{2\,f_5\,(a^2 + b^2)^2}.$$

Seitens des Kreuzgewölbes werden alfo auf den Gurtbogen $A\,B$ wagrechte Kräfte übertragen, und zwar im Scheitel die Einzelkraft $\mathfrak{H} = \mathfrak{H}_1 + \mathfrak{H}_2$, welche unter Berückfichtigung der Ausdrücke 386 u. 387

$$\mathfrak{H} = \frac{q\,C\,b\,a^2}{a^2 + b^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 389.$$

ift, und aufserdem auf die laufende Einheit der wagrechten Projection des Gurtbogens

$$h = \frac{q\,u^2\,a^2\,b^2}{2\,f_5\,(a^2 + b^2)^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 390.$$

$f_5$ und $u$ find veränderlich. Wird die Pfeilhöhe $f_3$ der zum Streifen $L''\,M''$ gehörigen Seilcurve mit $e$ bezeichnet, für welchen Streifen $z_3$ den Werth $a \cos\alpha$ annimmt, fo ergiebt fich

$$a^2 \cos^2\alpha = C\,e, \quad \text{d. h.} \quad C = \frac{a^2 \cos^2\alpha}{e} = \frac{a^2\,b^2}{(a^2 + b^2)\,e}, \quad \text{und es wird}$$

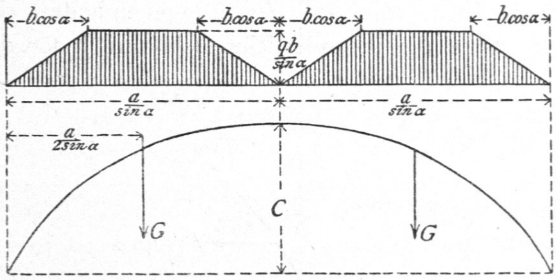
$$\mathfrak{H} = \frac{q\,a^4\,b^3}{e\,(a^2 + b^2)^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 391.$$

Die Kräfte $\mathfrak{H}$ und $h$ werden entweder durch gleiche, entgegengefetzt gerichtete, vom Nachbargewölbe ausgehende Kräfte aufgehoben, oder fie müffen von der Mauer aufgenommen werden, gegen welche fich das Gewölbe fetzt.

Die wagrechten, entfprechenden Kräfte gegen die Gurtbogen $A\,D$, bezw. $B\,C$ ergeben fich in ganz gleicher Weife.

δ) Die Belaftung des Gratbogens ift nach Vorftehendem nur lothrecht. Von $S$ bis $Q$ (Fig. 371) beträgt die Laft auf die Längeneinheit $\frac{q\,x}{\sin\alpha}$ (fiehe Gleichung 385); in $S$ ift fie Null; in $Q$ ift fie $\frac{q\,b}{\sin\alpha}$; auf diefer Strecke ift fie entfprechend den Ordinaten einer geraden Linie veränderlich. Auf der Strecke $PA$ nimmt die Belaftung nach demfelben Gefetze ab, nach welchem fie auf der Strecke $SQ$ zugenommen hatte; für $P$ ift fie $\frac{q\,b}{\sin\alpha}$, für $A$ Null (vergl. Gleichung 388). Auf der Strecke $QP$ hat fie überall den gleichen Werth $\frac{q\,b}{\sin\alpha}$. Die Gefetzmäfsigkeit der Belaftung ift durch die in Fig. 373 fchraffirte Fläche dargeftellt, in welcher an jeder Stelle die Ordinate die Gröfse der Laft für die Längeneinheit des Gratbogens angiebt. Ift jetzt die Pfeilhöhe der Seilcurve im Gratbogen gleich $c$, fo ergiebt fich als Horizontalfchub im Bogen

Fig. 373.




$$H = \frac{1}{c}\,G\,\frac{a}{2\sin\alpha}.$$

Es ift

$$G = \frac{q\,b}{\sin\alpha}\left(\frac{a}{\sin\alpha} - b\cos\alpha\right) = q\,a\,b \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 392.$$

Wird diefer Werth in die Gleichung für $H$ eingeführt, fo erhält man als Seitenkräfte $H$ und $V$ der auf den Eckpfeiler ausgeübten Kraft

für das Kreuzgewölbe über rechteckigem Raume:

$$H = \frac{q\,a\,b}{2\,c}\sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{und} \quad V = q\,a\,b\,; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 393.$$

für das Kreuzgewölbe über quadratifchem Raume:

$$H = \frac{q\,a^3}{c\sqrt{2}} \quad \text{und} \quad V = q\,a^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 394.$$

Die auf die Eckpfeiler ausgeübten Kräfte find alfo genau gleich grofs, mögen die Lagerfugen den Längsaxen der Kappen parallel laufen oder im Grundrifs fenkrecht zu den Graten angeordnet fein.

Man nehme $H$ im inneren Drittel der Scheitelfuge des Gratbogens wirkend an.

## b) Kuppelgewölbe.

Die Kuppelfläche entfteht durch Drehung einer krummen Linie um eine lothrechte Axe. In den folgenden Unterfuchungen follen die im Inneren des Kuppelgewölbes auftretenden Kräfte unter der Annahme ermittelt werden, dafs die Belaftung eine ruhende und über die einzelnen zwifchen den Parallelkreifen liegenden Ringe fo vertheilt fei, dafs ein jeder Ring entweder voll belaftet oder ganz unbelaftet ift. Weiter wird die Kuppelfläche als die Gleichgewichtsfläche angenommen; es werden demnach die auf ein beliebiges Kuppeltheilchen wirkenden inneren Kräfte in die betreffenden Berührungsebenen der Kuppelfläche fallen. Daraus ergeben fich 281. Voraus-fetzungen.