2. Kapitel.

Tonnen- und Kappengewölbe.

Die Zerftörung des Gewölbes kann erfolgen:

1) durch Umkanten eines Gewölbetheiles um eine innere oder äufsere Kante, 477. Stabilität.

2) durch Gleiten einzelner Gewölbetheile längs der Fugen und

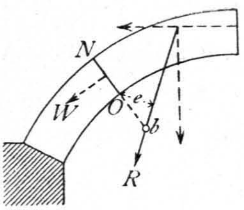
3) durch Zerdrücken der Wölbfteine.

Wenn die Lage der Stützlinie bekannt ift, fo können alle auf die Stabilität des Gewölbes bezügliche Fragen leicht beantwortet werden. Die wirkliche Lage der Stützlinie ift aber nach Art. 470, S. 439 nur mittels der Elafticitätslehre zu ermitteln, und es ift diefe Ermittelung fehr umftändlich. Wir werden defshalb im vorliegenden Kapitel nur die Bedingungen der Stabilität der Gewölbe entwickeln und gewiffe Grenzlagen ermitteln, zwifchen denen die Stützlinie zu liegen hat.

Soll das Gewölbe (Fig. 349) ftabil fein, fo mufs die Stützlinie ganz im Gewölbe liegen. 478. Stabilität gegen Kanten.

Wenn die Refultirende R aller an der einen Seite des Querfchnittes NO wirkenden Kräfte die Verlängerung des Querfchnittes etwa im Punkt b fchneidet, fo hat diefe Kraft in Bezug auf O ein Moment $M = Re$, welches eine Drehung des oberhalb NO liegenden Gewölbetheiles um O erftrebt. Diefe Drehung kann nur durch eine andere, entgegengefetzt drehende Kraft W (in Fig. 349 punktirt) mit gleich grofsem Momente in Bezug auf O aufgehoben werden, d. h. durch einen Zugwiderftand der Gewölbefafern. Die Wölbfteine können aber einen folchen, wenn von der Cohäfion des Mörtels abgefehen wird, nicht leiften, fo dafs alfo eine Kraft nicht exiftirt, welche das Gleichgewicht herftellen könnte. Der oberhalb der Fuge NO befindliche Gewölbetheil würde demnach um O kanten und einftürzen. Eine Aufhebung der Kraft R ift erft möglich, wenn diefelbe den Querfchnitt NO fchneidet; alsdann erzeugt fie in den einzelnen Fafern des Querfchnittes Druckfpannungen, welche R aufheben. Soll alfo das Gewölbe nicht um O kanten, fo mufs der Schnittpunkt der Refultirenden R mit dem Querfchnitte, d. h. der Schnittpunkt der Stützlinie mit dem Querfchnitte in das Gewölbe fallen. Was aber vom Querfchnitt NO gilt, gilt von allen Querfchnitten. Das Gewölbe ift alfo nur dann gegen Kanten ftabil, wenn die Stützlinie ganz im Gewölbe liegt.

Fig. 349.



In Art. 318 bis 322, S. 273 bis 277 ift nachgewiefen worden, wie fich die axialen Faferfpannungen für Balken mit gerader Axe ergeben, falls auf diefelben Axialkräfte und Momente wirken. Mit für die Praxis hinreichender Genauigkeit können die dort gefundenen Formeln auch gebraucht werden, um die Spannungsvertheilung in den Gewölbefugen zu ermitteln. Die Spannung in einer Fafer, welche um z von der normal zur Bildebene errichteten Schwerpunktsaxe des Querfchnittes abfteht, ift demnach nach Gleichung 50., bezw. 358. 479. Stabilität gegen Zerdrücken.

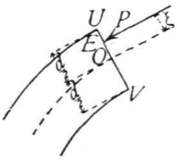
$$N = \frac{P}{F}\left(1 + \frac{F \xi z}{\mathcal{J}}\right).$$

Hier handelt es fich nur um rechteckige Querfchnitte von der Höhe d und der Breite 1 (normal zur Bildebene); mithin ift $F = d \cdot 1$, $\mathcal{J} = \frac{d^3}{12}$ und

$$N = \frac{P}{d}\left(1 + \frac{12\,\xi\,z}{d^2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 364.$$

Da P hier ſtets Druck iſt und wir P als poſitiv einführen, ſo bedeuten die poſitiven Werthe von N Druck, die negativen Werthe Zug. Der gröſste Druck N_{max} findet bei der in Fig. 350 gezeichneten Lage der Kraft N in der Faſer U ſtatt, für welche z ſeinen gröſsten Werth $\frac{d}{2}$ hat; der kleinſte Druck N_{min} in der Faſer V, für welche z ſeinen kleinſten Werth $-\frac{d}{2}$ hat; demnach wird

Fig. 350.



$$N_{max} = \frac{P}{d}\left(1 + \frac{12\,\xi\,d}{2\,d^2}\right) = \frac{P}{d}\left(1 + \frac{6\,\xi}{d}\right) \quad \text{und} \quad N_{min} = \frac{P}{d}\left(1 - \frac{6\,\xi}{d}\right) \quad . \quad 365.$$

N_{min} wird zu Null, wenn $1 - \frac{6\,\xi}{d} = 0$, d. h. wenn $\xi = \frac{d}{6}$ iſt.

In der am wenigſten gedrückten Faſer V findet alſo die Spannung Null ſtatt, wenn die Mittelkraft den Querſchnitt in der Höhe $\frac{d}{6}$ über der Mittellinie des Gewölbes ſchneidet. Schneidet die Kraft P, alſo die Stützlinie, den Querſchnitt unterhalb O, ſo ergiebt ſich leicht aus Gleichung 364. (indem man $-\xi$ ſtatt $+\xi$ einführt), daſs der gröſste Druck in der Faſer V, der gröſste Zug in der Faſer U ſtattfindet. In U findet demnach die Spannung Null ſtatt, wenn die Stützlinie den Querſchnitt in dem Abſtande $\frac{d}{6}$ unterhalb der Schwerpunktsaxe ſchneidet.

N_{max} und N_{min} haben gleiches Vorzeichen für diejenigen Werthe von ξ, für welche gleichzeitig ſtattfindet

$$1 + \frac{6\,\xi}{d} > 0 \quad \text{und} \quad 1 - \frac{6\,\xi}{d} > 0, \text{ d. h. für } \xi > -\frac{d}{6} \quad \text{und} \quad \xi < +\frac{d}{6}.$$

So lange alſo der Schnittpunkt der Reſultirenden nicht weiter von der Gewölbemittellinie entfernt iſt, als $\frac{d}{6}$, d. h. ſo lange der Schnittpunkt im inneren Gewölbedrittel liegt, haben N_{max} und N_{min} gleiches Vorzeichen, ſind demnach N_{max} und N_{min} Druck; dann findet aber im ganzen Querſchnitte nur Druck ſtatt.

Iſt dagegen ξ gröſser als $\frac{d}{6}$, ſo findet in der am meiſten gezogenen Faſer Zugbeanſpruchung ſtatt; dann gilt die Gleichung 358. für die Druckvertheilung nicht mehr, weil dieſe unter der Annahme einer Beanſpruchung aller Faſern entwickelt worden iſt; falls aber hier einzelne Faſern des Querſchnittes auf Zug beanſprucht werden, ſo findet entweder ein Klaffen der Fugen oder ein indifferentes Aneinanderliegen der Steine ſtatt. Die dann geltenden Gleichungen ſind in Art. 322, S. 275 entwickelt. Falls ξ gröſser als $\frac{d}{6}$ iſt, mit anderen Worten, falls die Stützlinie einen Querſchnitt auſserhalb des inneren Drittels ſchneidet, etwa im Abſtande c von der zunächſt gelegenen äuſseren Faſer, ſo vertheilt ſich nach Art. 322, S. 275 und 276 der Druck P auf eine Breite $3\,c$, wobei der Maximaldruck doppelt ſo groſs iſt, als wenn ſich der Druck über die gedrückte Fläche gleichmäſsig vertheilte. Wir erhalten alſo $N_{max} = \frac{2\,P}{3\,c}$ (Gleichung 56.).

Wird die gröſste, im Wölbmaterial zuläſſige Druckbeanſpruchung pro Flächeneinheit mit K bezeichnet, ſo kann Gleichung 56. benutzt werden, um zu ermitteln, wie weit ſich die Stützlinie der inneren oder äuſseren Gewölbelaibung nähern darf. Man erhält als Bedingungsgleichung:

$$K = \frac{2\,P}{3\,c}, \quad \text{woraus} \quad c = \frac{2\,P}{3\,K} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 366.$$

Damit haben wir die Bedingung für die Stabilität des Gewölbes gegen Zerdrücken gefunden: Soll das Gewölbe gegen Zerdrücken ſtabil ſein, ſo darf einmal der Abſtand der Stützlinie von den Gewölbelaibungen an keiner Stelle kleiner werden, als $\frac{2\,P}{3\,K}$, und ferner die Maximal-Druckbeanſpruchung niemals gröſser werden, als K.

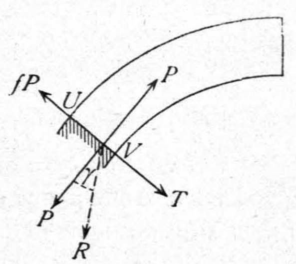
Da P für die verſchiedenen Gewölbeſtellen variabel iſt, ſo ergeben ſich für dieſelben auch verſchiedene Werthe von c. Meiſtens wird es jedoch genügen, den Maximalwerth von P, der ſich an den Kämpfern ergiebt, einzuſetzen und dann den für c erhaltenen Werth im ganzen Gewölbe conſtant anzunehmen. Man kann in dieſer Weiſe leicht die beiden Linien conſtruiren, zwiſchen denen die Stützlinie verlaufen ſoll.

Die Forderung, daſs in allen Faſern ſammtlicher Querſchnitte nur Druckbeanſpruchung ſtattfinden ſoll, iſt erfüllt, wenn ſämmtliche Querſchnitte von ihren zugehörigen Reſultanten im inneren Gewölbedrittel geſchnitten werden, d. h. wenn die ganze Stützlinie im inneren Drittel verläuft.

Der Einſturz des Gewölbes kann endlich auch dadurch verurſacht werden, daſs ein Theil deſſelben längs des anderen gleitet. Es ſei die Reſultirende aller auf den Gewölbetheil oberhalb der Fuge UV (Fig. 351) wirkenden Kräfte gleich R; alsdann iſt Gleichgewicht nur möglich, wenn Seitens der Fuge eine genau gleich groſse und gleich gerichtete Kraft mit entgegengeſetztem Sinne auf den betreffenden Gewölbetheil wirkt. Wir zerlegen R in eine Axialkraft $P = R \cos \gamma$ und eine Transverſalkraft $T = R \sin \gamma$. Die Axialkraft P wird, wenn ihr Schnittpunkt mit der Fuge nicht zu nahe an die Laibungen fällt, durch die normal zum Querſchnitt gerichteten axialen Faſerſpannungen, die Transverſalkraft T wird durch den Reibungswiderſtand an der Berührungsfläche UV aufgehoben.

480.
Stabilität
gegen
Gleiten.

Fig. 351.



Nennt man den Reibungscoefficienten f, ſo iſt der Reibungswiderſtand $W = f\,P = f\,R \cos \gamma$. Gröſser kann W nicht werden; Gleichgewicht gegen Verſchieben iſt alſo nur möglich, wenn ſtattfindet: $T \leqq f\,R \cos \gamma$, d. h. $R \sin \gamma \leqq f\,R \cos \gamma$ und $\operatorname{tg} \gamma \leqq f$.

Wird der Reibungswinkel mit φ bezeichnet, ſo iſt $f = \operatorname{tg} \varphi$, und es heiſst alsdann die Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht:

$$\operatorname{tg} \gamma \leqq \operatorname{tg} \varphi \quad \text{oder} \quad \gamma \leqq \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 366_a.$$

Sobald γ gröſser wird, als der Reibungswinkel, kann T nicht aufgehoben werden, und es findet dann ein Abgleiten des betrachteten Gewölbetheiles ſtatt.

Dieſelbe Schluſsfolgerung gilt auch, falls R um den Winkel γ nach oben von der Normalen zur Fuge abweicht; nur iſt dann das Beſtreben vorhanden, den oberen Gewölbetheil nach auſsen zu verſchieben. Was für die Fuge UV gilt, gilt für alle Fugen, ſo daſs wir folgendes Geſetz ermittelt haben: Soll das Gewölbe gegen Gleiten ſtabil ſein, ſo darf an keiner Stelle der Winkel, welchen das Reſultantenpolygon mit der betreffenden Fugennormalen bildet, gröfser fein, als der Reibungswinkel für die betreffenden Materialien.

In den meiften Fällen kann man ohne grofsen Fehler ftatt des Refultantenpolygons die Stützlinie einführen und als Bedingung für die Stabilität des Gewölbes angeben, dafs die Tangente an die Stützlinie nirgends einen Winkel mit der Fugennormalen macht, welcher gröfser ift, als der Reibungswinkel.

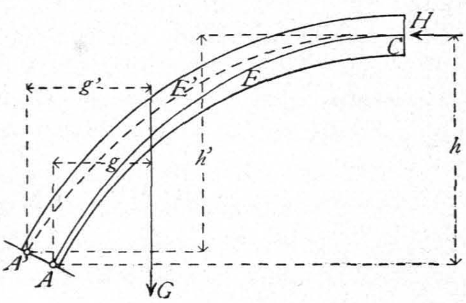
Man kann den Reibungscoefficienten f zwifchen 0,6 und 0,75 liegend annehmen, welchen Werthen die Winkel $\varphi = 31$ bis 37 Grad entfprechen. Bei frifchem Mörtel kann der Winkel φ bis auf 27 Grad hinabgehen (f bis auf 0,51). Die Tangenten an die Stützlinie bilden aber nur felten fo grofse Winkel mit den Fugennormalen, fo dafs, wenigftens im eigentlichen Gewölbe, die Stabilität gegen Gleiten felten in Frage kommt.

481. Grenzlagen der Stützlinie.

Nach Obigem giebt die Statik allein über die Lage der Stützlinie im Gewölbe keine genaue Auskunft; wir werden nun zeigen, wie man ohne die Elafticitätsgleichungen dennoch die Stabilität des Gewölbes nachweifen kann. Dabei werden wir zunächft abfolut feftes Material vorausfetzen.

Betrachtet man die eine Hälfte eines fymmetrifch geftalteten und fymmetrifch belafteten Gewölbes (Fig. 352), auf welche aufser der Belaftung G noch der Horizontalfchub H im Scheitel wirkt, und nimmt zunächft als Angriffspunkt von H den Punkt C beliebig und aufserdem an, dafs die Stützlinie die Kämpferfuge in A fchneide, fo geht die Refultirende von G und H durch A, hat alfo in Bezug auf den Drehpunkt A das ftatifche Moment Null. Das ftatifche Moment der Refultirenden ift aber gleich der algebraifchen Summe der ftatifchen Momente der Einzelkräfte H und G; mithin ift

Fig. 352.



$$0 = Hh - Gg \quad \text{und} \quad H = \frac{Gg}{h}.$$

Diefen Annahmen entfpricht eine ganz beftimmte Stützlinie CEA, die in Fig. 352 ausgezogen ift.

Wählt man ein zweites Mal unter Beibehaltung des Punktes C als Schnittpunkt der Stützlinie mit der Kämpferfuge den Punkt A', fo wird $H' = \frac{Gg'}{h'}$.

Diefen Annahmen entfpricht etwa die punktirte Stützlinie $CE'A'$. Da $\frac{g'}{h'} > \frac{g}{h}$, fo ift $H' > H$.

Man fieht, einer Vergröfserung des Horizontalfchubes entfpricht ein Flacherwerden der Stützlinie, und es ergiebt fich in gleicher Weife, dafs einer Verringerung von H ein Steilerwerden der Stützlinie entfpricht. Unter Beibehaltung des Punktes C als Scheitelpunkt der Stützlinie ift nun offenbar eine grofse Anzahl von Stützlinien möglich, welche fämmtlich ganz im Gewölbe verlaufen, demnach mit der Stabilität deffelben vereinbar find. Dem kleinften Werthe von H für C als Angriffspunkt entfpricht diejenige diefer Stützlinien, welche an irgend einer Stelle die innere Gewölbelaibung berührt (CFA in Fig. 353); denn eine weitere Verringerung

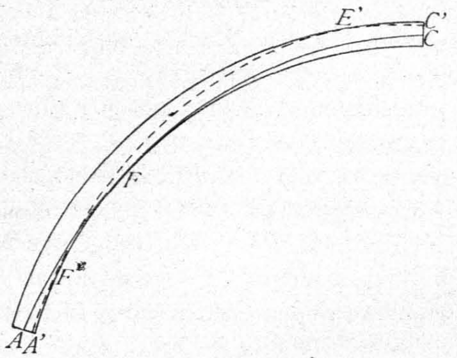


Fig. 353.

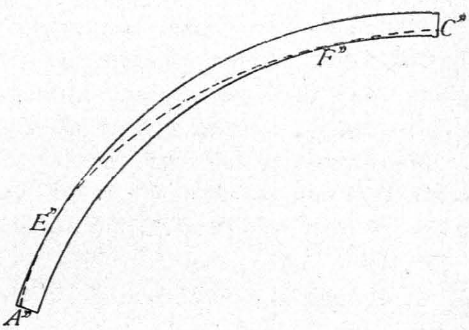


Fig. 354.

von H würde zur Folge haben, dafs die Stützlinie bei F nach innen aus dem Gewölbe herausfiele. Nun kann aber jeder Punkt der Scheitelfuge Angriffspunkt der Kraft H fein; es fteht alfo nichts im Wege, einen andern höheren Punkt der Scheitelfuge als Angriffspunkt von H anzunehmen, mithin die ganze Stützlinie um das entfprechende Stück parallel fich felbft nach oben zu verfchieben. Jetzt kann der Horizontalfchub weiter verringert werden, und zwar fo weit, bis die Stützlinie gleichzeitig die äufsere und die innere Laibung berührt. Diefe Stützlinie fei etwa $C' E' F' A'$. Eine weitere Verringerung von H hat die Folge, dafs die Stützlinie bei F' das Gewölbe verläfst; ein weiteres Hinauffchieben der Stützlinie ift auch nicht möglich, weil bei einem folchen — follte es fo weit fortgefetzt werden, dafs bei F' die Stützlinie wieder in das Gewölbe fällt — bereits vorher die Stützlinie bei E' nach aufserhalb des Gewölbes gefallen wäre.

Die gezeichnete Stützlinie $C' E' F' A'$ entfpricht alfo dem Minimum von H und heifst defshalb die Minimalftützlinie. Es ergiebt fich demnach: Die Minimalftützlinie hat jederfeits mit den Gewölbelaibungen zwei Punkte gemeinfam, und zwar liegen die Berührungspunkte mit der äufseren Laibung über denjenigen mit der inneren Laibung.

Bei flachen Bogen fällt gewöhnlich der Berührungspunkt mit der äufseren Laibung in die Scheitelfuge, derjenige mit der inneren Laibung jederfeits in die Kämpferfuge.

In gleicher Weife erhält man die Stützlinie, welche dem Maximum von H entfpricht, die Maximalftützlinie ($C'' F'' E'' A''$ in Fig. 354). Die Maximalftützlinie hat jederfeits des Scheitels mit den Gewölbelaibungen zwei Punkte gemeinfam, und zwar liegen die Berührungspunkte mit der inneren Laibung über denjenigen mit der äufseren Laibung.

Bei flachen Bogen fallen die beiden Berührungspunkte mit der inneren Laibung in die Scheitelfuge, die Berührungspunkte mit der äufseren Laibung in die Kämpferfugen.

In Fig. 355 ift CA die Minimal-, $C' A'$ die Maximalftützlinie. Die entfprechenden Werthe von H find:

$$H_{min} = \frac{G g}{h} \quad \text{und} \quad H_{max} = \frac{G g'}{h'} \quad . \quad 367.$$

Wenn wir demnach auch die wirkliche

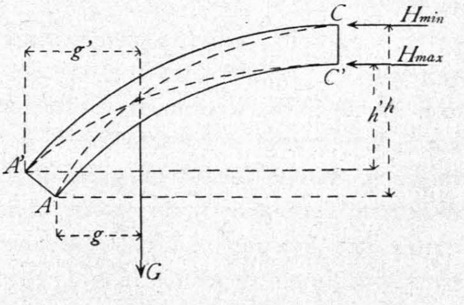
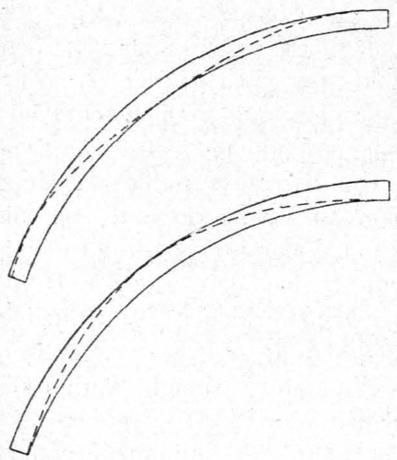


Fig. 355.

Lage der Stützlinie und die wirkliche Gröfse von H durch die Gleichgewichtsbedingungen allein nicht ermitteln können, fo haben wir jetzt doch Grenzen fowohl für die Lage der Stützlinie, als auch für die Gröfse des Horizontalfchubes gefunden. Der Horizontalfchub darf nicht gröfser fein, als H_{max}, nicht kleiner als H_{min}.

Wenn das Gewölbe fo fchwach ift, dafs Maximal- und Minimalftützlinie in eine Stützlinie zufammenfallen, *fo ift diefelbe die einzig mögliche Stützlinie*; denn eine Vergröfserung von H darf nicht ftattfinden, weil die Stützlinie eine Maximalftützlinie ift, eine Verringerung nicht, weil die Stützlinie eine Minimalftützlinie ift. In diefem Falle ift alfo die erwähnte Stützlinie, da fie die einzig mögliche, auch die richtige. Die geringfte Aenderung von H hat den Einfturz des Gewölbes zur Folge. Wir nennen defshalb diefen Zuftand den labilen Gleichgewichtszuftand des Gewölbes. Derfelbe findet für fymmetrifche Gewölbe und Belaftung bei den in Fig. 356 gezeichneten Stützlinien ftatt, d. h. wenn die Stützlinie jederfeits mit den Laibungen drei Punkte gemeinfam hat, zwei mit der einen, einen mit der anderen Laibung.

Fig. 356.



Fallen dagegen Maximal- und Minimalftützlinie nicht zufammen, fo ift eine Anzahl von Stützlinien möglich, welche folchen Werthen des Horizontalfchubes entfprechen, die zwifchen H_{max} und H_{min} liegen. Je gröfser die Differenz diefer beiden Werthe ift, defto mehr Stützlinien find möglich, defto gröfsere Aenderung darf H erleiden, ehe das Gewölbe einftürzt, defto ftabiler ift alfo das Gewölbe. Man kann demnach fchliefsen: Ein Gewölbe ift ftabil, wenn eine Maximal- und eine Minimalftützlinie möglich ift und beide nicht zufammenfallen. Die Stabilität ift um fo gröfser, je gröfser die Unterfchiede diefer beiden Stützlinien find, bezw. je gröfser die Differenz $H_{max} - H_{min}$ ift. Um demnach die Stabilität eines Gewölbes gegen Umkanten nachzuweifen, genügt die Einzeichnung der Maximal- und Minimalftützlinie und die Unterfuchung, ob diefelben zufammenfallen oder nicht.

482.
Praktifche Grenzlagen der Stützlinie.

Im vorhergehenden Artikel war abfolut feftes Material angenommen, und es konnte defshalb eine Berührung der Stützlinie und der Gewölbelaibung als möglich vorausgefetzt werden. In Wirklichkeit darf nach Art. 479, S. 447, die Stützlinie nicht näher an die Laibungen treten, als dafs der Abftand noch $c = \frac{2\,P}{3\,K}$ ift. Bei einer Berührung der Laibung durch die Stützlinie würde an diefer Stelle $c = 0$, und da nach Gleichung 56. $N_{max} = \frac{2\,P}{3\,c}$ ift, hier $N_{max} = \frac{2\,P}{0} = \infty$ fein.

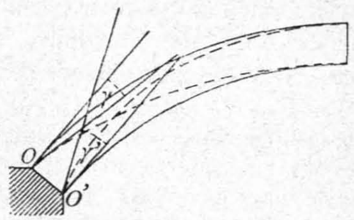
Wir ftellen defshalb die Bedingung, dafs eine Maximal- und eine Minimalftützlinie möglich fei, welche wenigftens um $\frac{2\,P}{3\,K}$ von den Gewölblaibungen abftehen und dafs diefe beiden nicht zufammenfallen.

Wenn im inneren Drittel des Gewölbes, in der fog. Kernfläche, eine Maximal- und eine Minimalftützlinie möglich ift und beide nicht zufammenfallen, fo ift dies noch günftiger.

Die Stabilität gegen Gleiten erfordert, dafs die Tangente an die Stützlinie an keiner Stelle einen gröfseren, als den Reibungswinkel mit der Fugennormalen mache. Diefer Bedingung müffen alfo auch die Maximal- und Minimalftützlinie genügen.

Wenn bei der nach den vorigen Artikeln conftruirten Maximalftützlinie in Fig. 357 der Winkel γ bei O gröfser ift als φ, fo wird man durch Verkleinern von H und damit zufammenhängendes Steilermachen der Stützlinie den Winkel γ fo weit verringern, bis er gleich φ ift. Diejenige Stützlinie, bei welcher an der ungünſtigſten Stelle γ höchſtens gleich φ iſt, wird dann als Maximalſtützlinie einzuführen ſein. Eben ſo iſt es möglich, daſs die nach Art. 481, S. 450 conſtruirte Minimalſtützlinie an irgend einer Stelle um einen Winkel γ' von der Fugennormalen abweicht, welcher gröſser als φ iſt (Fig. 357); alsdann iſt H ſo weit zu vergröſsern, bis die ſich ergebende Stützlinie nirgends einen gröſseren Winkel mit der Fugennormalen bildet, als φ; dieſe iſt dann die Minimalſtützlinie.

Fig. 357.



Aus den Entwickelungen der vorſtehenden Artikel folgt, daſs die ſtatiſche Behandlung der Gewölbetheorie keine genauen Gleichungen für die Gewölbeſtärke ergeben kann. Sowohl die Richtung, wie die Gröſse und die Lage der auf die einzelnen Fugen wirkenden Reſultirenden iſt unbekannt; bekannt ſind nur die Grenzen, zwiſchen denen die Gröſse und Lage ſich bewegen darf, wenn kein Kanten und Zerdrücken, ihre Richtung liegen muſs, wenn kein Gleiten ſtattfinden ſoll. Will man demnach nicht die Elaſticitätstheorie zu Grunde legen, was ſich bei den einfachen Fällen des Hochbaues nicht als nöthig erweiſt, ſo dürfte ſich das folgende Verfahren für die praktiſche Stabilitätsbeſtimmung der Gewölbe empfehlen. 483. Graphiſche Unterſuchung der Stabilität.

Man nimmt zuerſt nach empiriſchen Formeln der Erfahrung entſprechende Werthe für die Gewölbeſtärke an, und verzeichnet danach das Gewölbe. Alsdann ermittelt man überſchläglich H_{max} und P_{max} und daraus $c = \frac{2\,P_{max}}{3\,K}$, zieht zwei Curven in den Abſtänden c von den Laibungen und conſtrurt zwiſchen denſelben die Minimal- und die Maximalſtützlinie. Fallen dieſe beiden Curven nicht zuſammen und ergiebt ſich zwiſchen den Werthen des Horizontalſchubes, welche den beiden Stützlinien entſprechen, eine nicht zu geringe Differenz, ſo iſt das Gewölbe gegen Kanten und Zerdrücken ſtabil. Schlieſslich iſt noch zu unterſuchen, ob auch die Tangenten an die Stützlinien nicht an irgend einer Stelle einen gröſseren Winkel mit der Fugennormalen bilden, als den Reibungswinkel, in welchem Falle die Maximal-, bezw. Minimalſtützlinie, wie in Art. 482, S. 452 angegeben, zu rectificiren iſt. Um für c einen jedenfalls ausreichenden Werth zu erhalten, nehme man ein möglichſt groſses P an; man erhält ein ſolches, indem man den Horizontalſchub für eine Stützlinie berechnet, die durch den unteren Punkt der Scheitelfuge und die oberen Punkte der Kämpferfugen geht, und dieſes H mit der Belaſtung der einen Gewölbehälfte zu einer Reſultirenden P vereint. Das ſo ermittelte P iſt gröſser, als es je werden kann, alſo der unter Zugrundelegung dieſes P ermittelte Werth für c keinesfalls zu klein.

---

3. Kapitel.

Kreuz- und Kuppelgewölbe.

a) Kreuzgewölbe.

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 auf den Schwalbenſchwanz, d. h. im Grundriſs normal oder nahezu normal zu den Graten. Das ſtatiſche Verhalten iſt bei den beiden Anordnungen verſchieden [172]). 484. Lagerfugen.

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 Horizontal- 485. Berechnung.

---

172) Wegen Raummangels ſoll hier nur das Kreuzgewölbe über quadratiſchem Raum behandelt werden; die Erweiterung der gefundenen Reſultate für den oblongen und vieleckigen Raum iſt nicht ſchwierig.