

10. Kapitel.

Kappengewölbe.

(Preussische Kappen.)

a) Gestaltung der Kappengewölbe.

174.
Gestalt.

Das Kappengewölbe oder die preussische Kappe ist im Allgemeinen der obere Abschnitt eines geraden Tonnengewölbes. Seine Laibungsfläche ist demnach ein Theil der halben Oberfläche eines geraden Kreiscylinders, so daß die Wölblinie ein flacher Kreisbogen wird. Das Pfeilverhältniß dieser Wölblinie ist stets gering, so daß danach dieses Gewölbe als ein fog. flachbogiges auftritt. Für dieses Pfeilverhältniß ist im Hochbauwesen $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{7}$ in Anwendung gekommen.

Zweckmäßig wird aber die Wölblinie so genommen, daß die Pfeilhöhe derselben $\frac{1}{8}$ der Spannweite beträgt oder, was nahezu dasselbe ist, wenn die Wölblinie als Kreisbogen beschrieben wird, dessen Halbmesser nach Fig. 358 gleich der Spannweite des zu bildenden Kappengewölbes ist.

Die Rückenlinie der meistens nur $\frac{1}{2}$ bis 1 Backstein starken Kappengewölbe, die kurz auch nur »gerade Kappen« oder »Kappen« genannt werden, ist in der Regel ein mit der inneren Wölblinie concentrisch beschriebener Kreisbogen.

Von anderen gesetzmäßig gebildeten krummen Linien macht man für die Wölblinien der Kappengewölbe keinen Gebrauch. Auch die Spannweite derartiger Gewölbe, welche von vornherein in das Bauwesen eingeführt sind, um bei den für Hochbauten damit zu schaffenden Decken eine möglichst geringe Constructionshöhe zu erzielen, ist auf geringe Abmessungen bis höchstens auf etwa 5 m zu beschränken.

Hieraus ergibt sich, daß die Gestaltung des Kappengewölbes, welches, weil es vielfach in Preußen statt des Tonnengewölbes zur Deckenbildung für Kellerräume, Gänge, Geschäftszimmer u. dergl. in Anwendung gekommen ist und noch benutzt wird, auch »preussische Kappe« genannt wird, eine äußerst einfache ist.

175.
Ueberwölbung
größerer
Räume.

Soll ein größerer Raum mit Kappengewölben überdeckt werden, so sind bei der verhältnißmäßig eng begrenzten Spannweite derselben mehrere Gewölbochoe zu bilden (Fig. 359), welche sich gegen besonders herzurichtende, den Raum, bezw. die Decke trennende Trag-Constructionen *A*, *B* und schließlich in den beiden äußersten Jochen oder Feldern gegen die Umfangsmauern des Raumes legen.

Diese eingefügten, wiederum als Widerlager der einzelnen neben einander liegenden Kappengewölbe auftretenden Zwischen-Constructionen können sein:

- 1) volle Mauern;
- 2) kleinere und schmalere flachbogige oder tonnengewölbartige Bogenstellungen, fog. Gurtbogen, deren Axen rechtwinkelig zu den Axen der Kappengewölbe stehen;

Fig. 358.

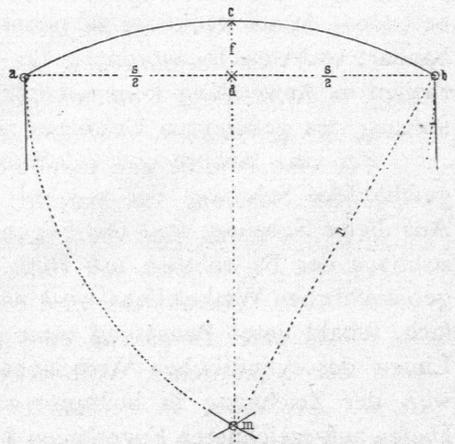
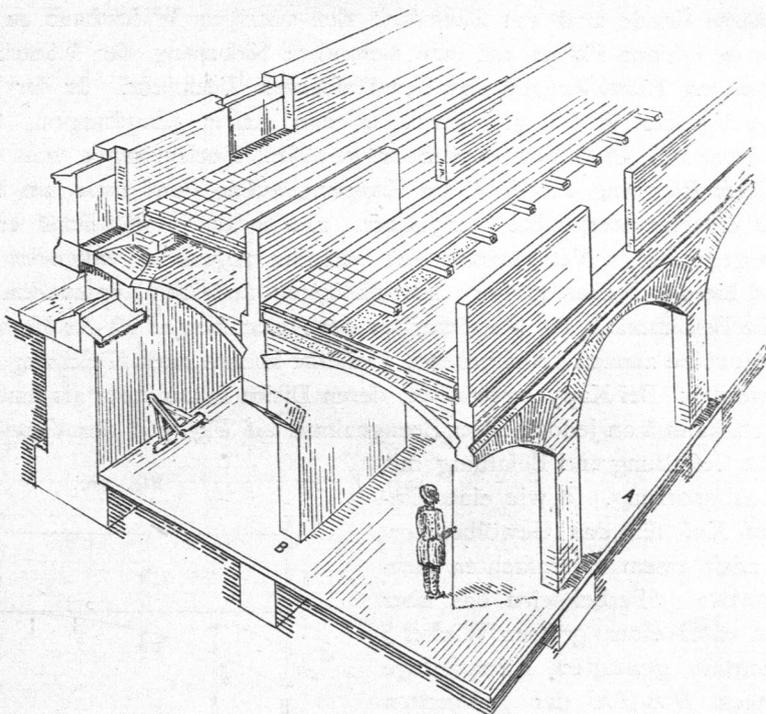


Fig. 359.



3) eiserne Träger, welche parallel mit den Gewölbaxen laufen und nur an den Enden aufrufen oder auch noch zwischen den Endauflagern durch Säulen oder andere Freistützen, unter Umständen auch durch Unterzüge unterstützt sind (siehe auch unter A, Kap. I, unter a u. b).

Diese Anordnungen gestatten für die Gesamtgestaltung der Kappengewölbe über größeren Räumen dennoch eine möglichst freie Benutzung derselben und namentlich bei der geringen Constructionshöhe solcher Gewölbzüge auch die Anlage entsprechend hoher Licht-, bzw. Thüröffnungen in den Umfangsmauern des zu überdeckenden Raumes, nicht allein in den rechtwinkelig zu den Gewölbaxen stehenden Schildmauern, sondern auch in den eigentlichen Widerlagsmauern. Hierdurch bietet in dieser Beziehung das Kappengewölbe dem Tonnengewölbe gegenüber große Vortheile. Werden dennoch auch bei Kappengewölben für die Licht- oder Thüröffnungen unter Umständen Stichkappen erforderlich, so gilt für diese das schon beim Tonnengewölbe in Art. 133 (S. 161) Mitgetheilte. Von einer eigentlichen Gliederung der Kappengewölbe durch Stichkappen hat man nicht zu sprechen.

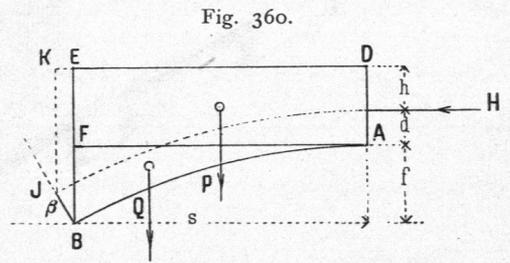
b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

Die Stabilitätsuntersuchungen der Kappengewölbe und ihrer Widerlager weichen in ihren Grundlagen von denjenigen der Tonnengewölbe nicht ab, gleichgiltig ob die Kappengewölbe, was allerdings selten der Fall ist, unbelastet bleiben oder ob dieselben eine mehr oder weniger große Belastung zu tragen haben, und es kann in dieser Beziehung auf das bereits im vorhergehenden Kapitel (unter b) Gefagte verwiesen werden. Da aber in der Praxis die Widerlagsmauern der Kappengewölbe nicht immer eine solche Stärke erhalten können, daß dieselben fähig sind, namentlich wenn ihnen eine

bedeutendere Höhe nicht gegeben werden kann, dem Gewölbschub ohne Weiteres in erwünschtem Grade und mit Sicherheit den nöthigen Widerstand zu leisten, so nimmt man in solchen Fällen auf eine besondere Sicherung der Widerlager gegen die nachtheiligen Einwirkungen des Gewölbschubes Rücksicht. In der Regel wird diese Sicherung der Widerlager durch eiserne Anker (Zugstangen, Schlaudern, Schliesen) bewirkt. Diefelben werden in gewissen Entfernungen von einander in rechtwinkliger Richtung zur Axe der Kappengewölbe, und zwar am besten wagrecht durch die Kämpferpunkte, eingeführt. Sie sollen in möglichst erreichbarem Grade eine gegenseitige Verspannung der einander gegenüber liegenden Widerlagsmauern und hierdurch eine grössere Standfähigkeit derselben veranlassen.

Für die Bestimmung des Querschnittes der Ankerstangen ist der Horizontalfschub der Kappengewölbe zunächst maßgebend. Derselbe könnte nach Gleichung 159 (S. 192) berechnet werden. Bei Kappengewölben, deren Dicke selten mehr als eine Backsteinslänge beträgt, kann man jedoch unter Bezugnahme auf Fig. 360 den Gewölbschub H , fymmetrische Gestaltung und Belastung mit

wagrechtter Abgrenzung, so wie eine Einwölbung auf Kuf für das Gewölbe vorausgesetzt, nach einem vereinfachten Ausdrucke ermitteln. Hierbei wird das über der meistens unter einem großen Winkel β zur Wagrechten geneigten Kämpferfuge ruhende Stück $BEFK$ der gefamnten Belastungsfläche $ADKFB$ als verhältnismäßig sehr klein vernachlässigt. Der hierdurch begangene Fehler ist an sich geringfügig; er veranlaßt, wie aus Gleichung 159 zu ersehen ist, einen etwas vergrößerten Werth des Gewölbschubes H , was im vorliegenden Falle bei der Stabilitätsbestimmung des Gewölbes und seiner Widerlager nur als günstig zu bezeichnen ist.



Den in Art. 138 (S. 190) für das Tonnengewölbe gegebenen Entwicklungen ganz entsprechend, erhält man alsdann für den Gewölbschub bei Kappengewölben, bei einer Tiefe gleich der Längeneinheit, den einfacheren Ausdruck

$$H = \frac{s^2}{12(d+f)} [6(d+h)+f] \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met. . 179.}$$

Eben so ergibt sich bei der eingeführten Vereinfachung für die Belastungsfläche $ADEFB$ der Werth

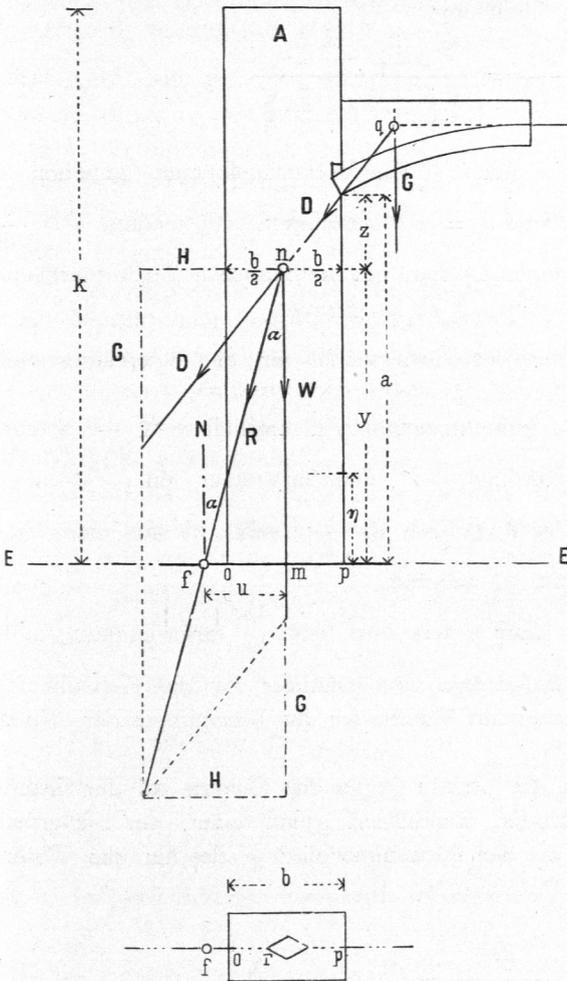
$$G = s \left(d + h + \frac{f}{3} \right) \text{ Quadr., bzw. Cub.-Met. . 180.}$$

In diesen beiden Gleichungen bedeuten s die halbe Spannweite, f die Pfeilhöhe, d die Scheitelfstärke und h die Höhe der Belastung über der Rückenlinie im Scheitellothe des Gewölbes (in Met.).

Die Berechnung der Widerlagsstärke würde nach der in Art. 145 (S. 208) gegebenen Gleichung erfolgen können. Da aber bei Kappengewölben die Bestimmung der Widerlagsstärke möglichst schnell schon beim Entwurfe des Gewölbeplanes vorzunehmen ist, so soll hier die dafür maßgebende Ermittlung in einem anderen Gewande gegeben werden.

In Fig. 361 bezeichne A den Höhengchnitt des Widerlagskörpers, dessen Länge 1 m beträgt. Der Einfachheit halber und mit der praktischen Ausführung auch

Fig. 361.



meistens übereinstimmend, ist dieser Höhenchnitt als ein stehendes Rechteck von der Breite b Met. und der Höhe k Met. angenommen.

Der Horizontalschub H des Gewölbes und das Gewicht G der Gewölbhälfte setzen sich in q zu dem resultirenden Gewölbedruck D zusammen. Vereintigt man diesen Druck in n mit dem Gewichte W des betrachteten Widerlagskörpers zur Mittelkraft R , so möge dieselbe die Ebene EE der festen und widerstandsfähigen Grundfläche des Mauerkörpers in einem Punkte f treffen, dessen Abstand mf von der Mitte m der Grundfläche allgemein das Maß u besitzen möge. Der Neigungswinkel nfN , welchen die Mittelkraft R mit einer zu EE Lothrechten fN einschließt, sei α . Wie aus der Zeichnung und aus einfachen geometrischen Beziehungen ersichtlich, ist

$$\text{sofort } \frac{u}{y} = \frac{H}{G + W}, \text{ also}$$

$$u = \frac{H}{G + W} y. \text{ Nun ist } y = a - z \text{ und, da } \frac{z}{b} = \frac{G}{H}, \text{ also } z = \frac{bG}{2H}, \text{ auch}$$

$$y = \frac{2aH - bG}{2H}; \text{ ferner ist bei dem rechtwinkligen Querschnitte des Mauerkörpers}$$

$W = bk$. Unter Benutzung dieser Werthe für y und W wird

$$u = \frac{2aH - bG}{2(G + bk)} \quad \dots \quad 181.$$

In diesem Ausdrücke ist a der lothrechte Abstand der Kämpferlinie von der Ebene EE (in Met.)

Die Gleichung 181 hat aber nur Gültigkeit, wenn das Eigengewicht des Wölbmaterials und die auf dasselbe zurückgeführte Belastung des Gewölbes dem Eigengewichte des Mauerkörpers vom Widerlager gleich ist.

Ist dagegen eine derartige Uebereinstimmung im Eigengewicht, wie recht oft der Fall, nicht vorhanden, so ist, wenn γ das Einheitsgewicht für das Wölbmaterial und die Belastung, γ_1 dagegen das Einheitsgewicht des Materials der Widerlags-

mauer bezeichnet, zu beachten, dass H und G mit γ und W mit γ_1 multiplicirt werden müssen. Hiernach wird nach Gleichung

$$u = \frac{2aH\gamma - bG\gamma}{2(G\gamma + bk\gamma_1)} = \frac{2aH - bG}{2\left(G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}\right)} \dots\dots\dots 182.$$

Ist in einem besonderen Falle die Stärke b des Widerlagskörpers gegeben, so lässt sich nach Gleichung 182 der Abstand $u = mf$ berechnen. Ist alsdann $u > \frac{b}{2}$ gefunden, so ist kein Gleichgewicht gegen Drehen um die Kante o der Grundfläche des Widerlagers vorhanden; die Abmessung b ist zu gering.

Ist $u = \frac{b}{2}$ berechnet, so ist eben der Grenzwert für den Gleichgewichtszustand gegen Drehen um die Kante o gekennzeichnet; ist endlich $u < \frac{b}{2}$, so tritt schon ein Sicherheitsgrad für die Stabilität der Widerlagsmauer ein. So lange $u = \frac{b}{2}$ oder, wie sich bald ergeben wird, größer als $\frac{b}{2}$ bleibt, ist auf eine Verankerung der Widerlagsmauern Bedacht zu nehmen.

Je weniger sich das berechnete Maß u von dem Maß $\frac{b}{2}$ unterscheidet, desto geringer sind die Entfernungen der Ankerzüge von einander für das Gewölbe zu wählen, wenn dieselben einen entsprechenden Nutzen für das Verspannen der Widerlagsmauern gewähren sollen.

Der Winkel α endlich muss, um die Gefahr gegen das Gleiten auf der Grundfläche des Widerlagers zu berücksichtigen, mindestens gleich oder, der Sicherheit gegen Gleitens halber, kleiner sein, als der Reibungswinkel ρ des für das Widerlager benutzten Mauermaterials.

Aus der Zeichnung ergibt sich

$$\text{tg } \alpha = \frac{H}{G + W} = \frac{u}{y}$$

oder, unter Berücksichtigung der besonderen, vorhin angeführten Einheitsgewichte und da $W = bk$, auch

$$\text{tg } \alpha = \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}} \dots\dots\dots 183.$$

Soll $\sphericalangle \alpha < \sphericalangle \rho$, d. h. $\sphericalangle \rho > \sphericalangle \alpha$ sein, so ist auch $\text{tg } \rho > \text{tg } \alpha$, d. h.

$$\text{tg } \rho > \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}},$$

mithin $\text{tg } \rho \cdot G + \text{tg } \rho \cdot \frac{k\gamma_1}{\gamma} b > H$; folglich muss auch

$$b > \frac{H - \text{tg } \rho \cdot G}{\text{tg } \rho \cdot k\frac{\gamma_1}{\gamma}} \dots\dots\dots 184.$$

sein. Fände diese Beziehung bei einem gegebenen Werthe von b nicht statt, so

würde die Gefahr des Gleitens des Widerlagskörpers eintreten, selbst wenn das berechnete Maß von u kleiner als $\frac{b}{2}$ gefunden wäre.

Will man für eine andere wagrechte Schnittfuge unterhalb der Kämpferlinie des Gewölbes in der Widerlagsmauer die Stabilität gegen Drehen und gegen Gleiten prüfen, so hat man nur die wagrechte Ebene entsprechend höher zu verlegen und dieser Lagenveränderung gemäß die in den Gleichungen 182 u. 184 vorkommenden Werthe a und k danach zu verkleinern. Rükte z. B. die Ebene EE um η Met. höher, so ginge a in $a_1 = a - \eta$ und k in $k_1 = k - \eta$ über.

Derartige Untersuchungen sind bei Widerlagsmauern nicht zu unterlassen, sobald Durchbrechungen derselben, wie bei Thür- und Lichtöffnungen vorkommen.

Noch möge bemerkt werden, daß unter Einführung verschiedener Werthe für η die zugehörigen berechneten Größen von u auch Punkte in den wagrechten Lagerfugen der Widerlagsmauer liefern, welche der Mittellinie des Druckes in diesem Stützkörper zukommen.

Die Gleichung 182 ist aber weiter zu benutzen, wenn für eine Anlage von Kappengewölben eine Breite b der im Höhengschnitt rechteckigen Widerlagsmauer gefunden werden soll, welche einen bestimmten Grad von Stabilität gegen Drehen besitzt. Setzt man in derselben allgemein $u = nb$, unter n irgend einen echten Bruch verstanden, so erhält man den Ausdruck

$$2nk \frac{\gamma_1}{\gamma} b^2 + (2n + 1) Gb = 2aH.$$

Die Auflösung dieser Gleichung für b liefert

$$b = \frac{1}{4nk \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left[-(2n + 1) G \mp \sqrt{16nk \frac{\gamma_1}{\gamma} aH + (2n + 1)^2 G^2} \right]. \quad 185.$$

In derselben ist das positive Vorzeichen der WurzelgröÙe zu verwenden.

Für $n = \frac{1}{2}$, also für $u = \frac{b}{2}$ wird

$$b = \frac{1}{k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left(-G + \sqrt{2k \frac{\gamma_1}{\gamma} aH + G^2} \right).$$

Bei dieser Breite b geht die Mittelkraft R durch den Punkt o der Grundfläche der Widerlagsmauer. Das System befindet sich im Grenzzustande des Gleichgewichtes gegen Drehen.

Für $n = \frac{1}{6}$ wird $u = \frac{b}{6}$ und

$$b = \frac{1}{k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left(-2G + \sqrt{6k \frac{\gamma_1}{\gamma} aH + 4G^2} \right) \dots \dots \dots 186.$$

Bei dieser Abmessung von b trifft die Mittelkraft die Axe op des rechteckigen Querschnittes der Fußfläche des Widerlagers den Grenzpunkt r des inneren Drittels, d. h. den Grenzpunkt des sog. Kernes des Querschnittes, so daß nun bekanntlich die vorhandene Breite den statischen Anforderungen entspricht, vorausgesetzt, daß Gleichung 184 für das Gleichgewicht gegen Gleiten keine gröÙere Breite vorschreibt.

Ergiebt sich die Breite b für $n = \frac{1}{6}$ auch hiernach als ausreichend, so ist bei sonst guter Ausführung, bei widerstandsfähigem Material und bei günstigem Verlauf der Mittellinie des Druckes in der Gewölbfläche und im Höhenchnitte des Widerlagers, das Anbringen von Zugankern überflüssig.

178.
Berechnung
der
Verankerungen.

Die Verankerung soll aber angebracht werden, wenn der Schnittpunkt von R mit der Axe op zwischen o und r fällt. Schneidet die Mittelkraft R die verlängerte Axe op außerhalb der Mauerkante, so soll eine Verstärkung der Widerlagsmauer an sich vorgenommen werden, bis jener Angriffspunkt von R mindestens nahe bei o in die Grundfläche tritt, da für den ficheren Bestand der Mauer einer Verankerung derselben allein eine zu große Wirkung nicht zugemuthet werden kann, wenn dabei nicht noch besondere Vorkehrungen getroffen werden.

Die Zuganker können nur in gewissen Entfernungen, nicht dicht neben einander liegend, angebracht werden. Das Gesetz für die Vertheilung des Gewölbschubes an dem zwischen den Angriffsstellen der Verankerung liegenden Mauerkörper ist nicht vollständig bekannt, so daß eine scharfe Bestimmung der Beanspruchung, welche jener Mauerkörper durch den Gewölbschub und durch die in bestimmten Abständen eingeführte Verankerung erleidet, augenblicklich noch nicht möglich ist. Würde der Gewölbschub aber z. B. durch widerstandsfähige eiserne Träger für gegebene Gewöblängen auf bestimmte, einander gegenüber liegende feste Stützpunkte der beiden Widerlagsmauern übertragen und alsdann eine Verankerung dieser Stützpunkte vorgenommen, so würde durch eine derartige Vorkehrung eine gänzliche oder theilweise Entlastung des zwischen den Stützpunkten liegenden Mauerkörpers vom Gewölbschube herbeigeführt. Dieser Theil des Widerlagers würde dann mehr oder weniger nur als einfache Begrenzungsmauer auftreten. Bei sehr schwachen Widerlagsmauern der Kappengewölbe ist das Anbringen eiserner Träger rathsam. In der Praxis sind dieselben mehrfach in Anwendung gekommen. Bei solchen Anlagen ist auch die Berechnung der Träger und der zugehörigen Ankerverbindung ohne erhebliche Schwierigkeiten durchzuführen.

Werden diese Vorkehrungen nicht getroffen, so ist für die Berechnung der Zuganker immer nur ein Näherungsverfahren einzuschlagen, welches in seinen Ergebnissen für die praktische Ausführung zweckmäßige Werthe liefert.

Der Querschnitt der Zug- oder Ankerstangen ist in den weitaus meisten Fällen eine Kreisfläche. Nur wenn besondere Verhältnisse eine Verbindung solcher Anker mit anderen Bautheilen erfordern oder wenn bestimmte größere Längen dieser Anker durch volles Mauerwerk geführt werden müssen, erhalten dieselben für diese Längen wohl einen flachen rechteckigen Querschnitt, welcher an den Enden wieder in den kreisförmigen übergeht.

Da die Hauptaufgabe dieser Anker darin besteht, die nachtheiligen Wirkungen des Gewölbschubes auf die Widerlager möglichst zu vermindern und zu diesem Zwecke eine möglichst kräftige gegenseitige Verspannung derselben hervorzurufen, so ist auf eine entsprechend starke Verbindung der Zuganker mit dem Mauerwerkskörper selbst Bedacht zu nehmen. Diese Verbindung erfolgt durch sog. Ankerplinte oder weit besser durch Ankerplatten. Die Ankerplinte bestehen aus Flach-eisen, welche durch Oefen greifen, die an den Enden der Zugstangen ausgeschmiedet sind. Die Ankerplatten sind gusseiserne Platten mit quadratischer oder kreisförmiger Grundfläche. Der Querschnitt derselben ist rechteckig oder besser trapezförmig, ab

und zu auch gerippt. Sind die Ankerplatten, wie in der Regel der Fall, aufsen vor der Widerlagsmauer in freier Lage anzubringen, so ist die gerippte Ankerplatte weniger empfehlenswerth, weil die vorspringenden Rippen das Anfammeln von Feuchtigkeit oder das Auflagern von Schnee zulassen, wodurch nach und nach die Platten geschädigt werden. Am besten wird für die hier vorliegenden Zwecke der trapezförmige Querschnitt gewählt. Die Enden der Ankerstangen werden durch eine in der Mitte der Platte angebrachte Oeffnung geführt und durch eine geeignete Keil- oder Schraubenverbindung mit den Platten verknüpft.

Eine weitere wesentliche Forderung für das Herbeiführen einer tüchtigen Verankerung der Widerlager geht dahin, daß sowohl die Ankersplinte wie auch die Ankerplatten eine thunlichst große Mauerfläche, bezw. möglichst viele Steinschichten der Widerlagsmauer fassen, um hierdurch die Uebermittlung des Gewölbschubes auf eine größere Fläche und die Verspannung eines größeren Mauerkörpers zu bewirken. Dieser Forderung wird, wie an sich klar, weit besser durch Ankerplatten, als durch die hochkantig aufliegenden Ankersplinte genügt, da ersteren selbst bei nicht sehr großen Seitenabmessungen eine weit größere Lagerfläche gegeben werden kann, als den letzteren, welchen etwa nur 40 bis 60 cm Länge zugewiesen werden.

Sollen Ankersplinte zur Verwendung kommen, so giebt man denselben bei starker Beanspruchung der Zugstangen zweckmäßsig eine von den Oefen dieser Stangen ausgehende ästeartige Ausbreitung in Form von Buchstaben, Zahlen oder sonst entsprechend gebildeten Ornamenten, wie in Theil III, Band I (Abth. I, Abfchn. 3, Kap. 5) dieses »Handbuches« näher angegeben ist.

Werden die Zuganker an den Enden mit Schraubengewinden versehen, so sind unter Berücksichtigung des Umstandes, daß beim kräftigen Anziehen der Schraubemutter leicht eine Beanspruchung der Enden der Ankerstange auf Torsion entstehen kann, für die Berechnung der Zugstangen die an der eben bezeichneten Stelle dieses »Handbuches« entwickelten Gleichungen 116 u. 117 (S. 152¹⁶⁹) zu benutzen. Bezeichnet d' den inneren, d den äußeren Gewindedurchmesser und d'' den äußeren Durchmesser der Zugstange, so ist

$$d'' = (1,173 d' + 0,128) \text{ Centim.}; \quad \dots \quad 187.$$

$$d = (1,139 d' + 0,103) \text{ Centim.}, \quad \dots \quad 188.$$

und hierin

$$d' = 0,2 + 0,046 \sqrt{P} \quad \dots \quad 189.$$

zu nehmen.

In Gleichung 189 bezeichnet P die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerstange aufzunehmen hat.

Die Beanspruchung der Ankerstange durch Biegung, hervorgerufen von ihrem Eigengewicht, ist hier als gering im Vergleich zur Beanspruchung durch P ohne weiteres vernachlässigt.

Besitzen die Enden der runden Zuganker Oefen, welche die Ankersplinte aufzunehmen haben, so sind die Oefen in ihren Abmessungen, wie in Art. 231 (S. 159¹⁷⁰) des gedachten Bandes dieses »Handbuches« angegeben ist, zu berechnen.

¹⁶⁹) 2. Aufl.: Gleichungen 139 u. 140 (S. 161).

¹⁷⁰) 2. Aufl.: Art. 234 (S. 171).

Unter Verwerthung der hierfür entwickelten Gleichungen 135¹⁷¹⁾ ist

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P\pi}{s''} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.; 190.}$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{P}{\pi s''} \left(1 + \frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.; 191.}$$

$$b = \sqrt{\frac{P}{\pi t} \cdot \frac{s''}{t} \left(1 + \frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.; 192.}$$

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P\pi}{t} \cdot \frac{s''}{t} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s''}{s'}}} \text{ Centim. 193.}$$

Hierin bezeichnet P wiederum die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerstange aufzunehmen hat; s' die zulässige Zugspannung in derselben, welche zu 800 kg für 1 qcm zu nehmen ist; s'' der sog. Lochlaibungsdruck hinter dem Keile, bzw. dem Ankerplinte gleich 1200 kg für 1 qcm, und t die zulässige Scherspannung in der Oese, bzw. im Keile oder im Ankerplinte, etwa gleich 640 kg für 1 qcm, während δ, d, b, h die aus Fig. 362 zu entnehmenden Bedeutungen für die Oese, bzw. für den Keil oder den Ankerplint haben.

Die Länge des Keiles ist gleich $2d$ (Gleichung 191) zu nehmen.

Die Oese wird durch Anstauchen der Enden der Ankerstange gebildet und diese demnach verstärkt. Diese durch d (Gleichung 191) bestimmte Verstärkung ist gröfser, als der Durchmesser d_0 der eigentlichen Stange. Letzterer ist zu berechnen aus der Beziehung

$$\frac{\pi}{4} d_0^2 s' = P,$$

so dafs

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{P}{s'}} = \approx 1,13 \sqrt{\frac{P}{s'}} \text{ 194.}$$

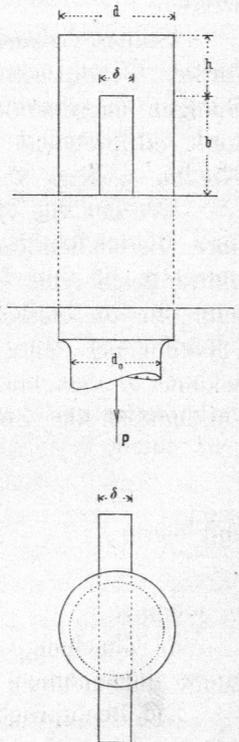
wird. Ankerstangen aus Flacheisen von einer Dicke δ' sind nach Gleichung 137 (S. 160¹⁷²⁾ im angeführten Bande dieses »Handbuches« zu berechnen.

Die Abmessungen der Oese, bzw. des Keiles oder des Ankerplintes, sind mit Berücksichtigung der Bezeichnungen in Fig. 363

$$\delta = \frac{P}{s'' \delta'}; \quad b' = \frac{P}{\delta'} \cdot \frac{s' + s''}{s' s''} \text{ Centim.; 195.}$$

$$b = \frac{\delta'}{2} \frac{s''}{t}; \quad h = \frac{P}{t \delta'} \text{ Centim.; 196.}$$

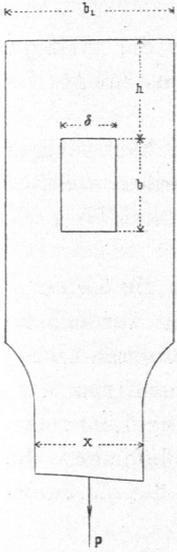
Fig. 362.



171) 2. Aufl.: Gleichungen 161.

172) 2. Aufl.: Gleichung 163 (S. 172).

Fig. 363.



während

$$x = \frac{P}{\delta' s'} \text{ Centim.} \dots \dots \dots 197.$$

zu nehmen ist.

Fallen die berechneten Abmessungen für b , d. i. für die lichte Höhe der Oeffnung der Oefse oder für die Höhe des Keiles, wie häufig sich zeigt, unter ein praktisch zulässiges Maf, so hat man den Unterschied zwischen dem theoretischen Mafse und dem wirklich für b zu wählenden praktischen Mafse dem Werthe h hinzuzufügen, während alle übrigen berechneten Abmessungen unverändert beibehalten werden.

Für die Ankerplatten mit rechteckigem Querschnitte und quadratischer oder kreisrunder Grundfläche können die für Grundplatten im bezeichneten Bande dieses »Handbuches« (Art. 276, S. 182¹⁷³) angeführten Gleichungen 142¹⁷⁴) der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

Hiernach wird, wenn F die Grundfläche dieser Platten (in Quadr.-Centim.) und P wie früher der Ankerzug (in Kilogr.) ist

- | | | |
|--|----------------------------------|--------|
| für gewöhnliches Backsteinmauerwerk | $F = \frac{P}{7}$ Quadr.-Centim. | } 198. |
| „ Klinkermauerwerk in Cement-Mörtel | $F = \frac{P}{12}$ „ „ | |
| „ Mauerwerk aus weniger festen Quadern | $F = \frac{P}{20}$ „ „ | |
| „ Mauerwerk aus sehr festen Quadern. | $F = \frac{P}{45}$ „ „ | |

Die Dicke δ in Centim. der Ankerplatten ist

$$\left. \begin{aligned} \delta &= 0,055 \sqrt{P} \text{ für quadratische Platten} \\ \delta &= 0,05 \sqrt{P} \text{ für kreisrunde Platten} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 199.$$

Für trapezförmige Ankerplatten wird unter Bezugnahme auf Fig. 364 die im angeführten Bande (2. Aufl.) dieses »Handbuches« auf S. 223 gegebene Gleichung 194 füglich benutzt werden können. Hiernach wird

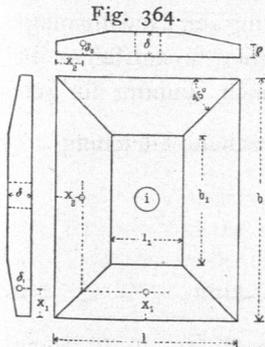


Fig. 364.

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 &= 0,1 x_1 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3l - 2x_1}{l - 2x_1}} \text{ Centim.} \\ \delta_2 &= 0,1 x_2 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3b - 2x_2}{b - 2x_2}} \text{ Centim.} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 200.$$

Die erforderliche Grundfläche F ist nach Abzug der Fläche i für die Oeffnung in der Mitte, durch welche der Zuganker geführt wird, bei einem rechteckigen Auflager, wobei l oder b gewählt werden kann,

$$lb - i = F = \frac{P}{\sigma_1}, \text{ d. h. } lb = \frac{P}{\sigma_1} + i$$

und bei quadratischem Auflager in der Seitenlänge

$$b = \sqrt{\frac{P}{\sigma_1} + i} \dots \dots \dots 201.$$

173) 2. Aufl.: Art. 282, S. 197.
174) 2. Aufl.: Gleichungen 174.

Bei diesen Platten ist $l=b$, so daß eine der Gleichungen 200 zur Berechnung von δ_1 , bezw. δ_2 , zu benutzen ist.

Die Randstärke ρ beträgt passend 2 cm. Die Größe σ_1 bezeichnet die zulässige Preßung auf das Mauerwerk, gegen welches sich die Platte legt (in Kilogr. für 1 qcm); der Werth hierfür geht aus Gleichung 198 hervor.

Für gerippte Platten, welche aus dem früher angegebenen Grunde hier weniger in Betracht kommen, muß auf den Gang der Berechnung verwiesen werden, welcher im mehrfach erwähnten Bande dieses »Handbuches« in Art. 294 (S. 199¹⁷⁵) u. ff. betreten ist.

179.
Zugkraft
und
Zahl der
Ankerfängen.

In den für die Verankerung auszuführenden Berechnungen spielt die Größe P der Zugkraft eine Rolle. Dieselbe hängt vom Gewölbschub und von der Vertheilung desselben auf das Gewölbwiderlager ab. Sieht man von peinlich angefertigten Untersuchungen ab, deren Ergebnisse doch nur auf mehr oder weniger berechtigten Voraussetzungen beruhen, so kann man unter der Annahme eines für jede Längeneinheit der Widerlagsmauern gleichförmig und stetig vertheilten Gewölbschubes die Größe von P leicht fest setzen, welche für die Zuganker entsteht und für die Stabilität der Widerlagsmauern verwerthet werden soll.

Ist L Met. die ganze Länge des Kappengewölbes zwischen den Stirnmauern, H der Gewölbschub für 1 m Länge nach Gleichung 179 (S. 264) und γ das Einheitsgewicht des Wölbmaterials in Kilogr. für 1 cbm, so wird der gesammte Gewölbschub

$$P = L H \gamma \text{ Kilogr.} \dots \dots \dots 202.$$

Ist m die Zahl der in bestimmten Abständen zwischen den Stirnmauern einander parallel einzulegenden runden Zuganker, deren Durchmesser je d_0 Centim. beträgt, so ist, wenn s' wie früher die zulässige Zugspannung (in Kilogr. für 1 qcm) bezeichnet,

$$m \frac{\pi}{4} d_0^2 s' = L H \gamma, \text{ d. h.}$$

$$m = \frac{4 L H \gamma}{\pi d_0^2 s'} \dots \dots \dots 203.$$

Ist d_0 von vornherein in einem praktischen Mafse für die Zuganker fest gesetzt, so ergibt sich nach Gleichung 203 die erforderliche Anzahl derselben. In der Regel ist d_0 zu 2 1/2, 3 bis höchstens zu 5 cm bei gewöhnlichen Kappengewölben zu nehmen.

Meistens ist aber die Zahl m vorweg durch die Plangestaltung der Gewölbanlage bestimmt. Liegen dieselben in gleichen Abständen von einander, so entstehen bei m Zugfängen $m + 1$ Abtheilungen der Länge L , und demnach kommt für jede Zugfänge eine Kraft $\frac{L H \gamma}{m + 1}$ in Rechnung. Hiernach wird entsprechend Gleichung 203

$$\frac{\pi}{4} d_0^2 s' = \frac{L H \gamma}{m + 1} \text{ oder}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{L H \gamma}{(m + 1) s'}} = \infty 1,13 \sqrt{\frac{L H \gamma}{(m + 1) s'}} \text{ Centim.} \dots \dots 204.$$

Liegen dagegen die Zuganker in Abständen von ungleicher Weite, so ist, wenn l Met. die größte überhaupt vorkommende Entfernung zwischen zwei Ankerfängen bezeichnet,

$$d_0 = \infty 1,13 \sqrt{\frac{l H \gamma}{s'}} \text{ Centim.} \dots \dots \dots 205.$$

¹⁷⁵) 2. Aufl.: Art. 299 (S. 224).

zu nehmen. Hierbei ist zu bemerken, daß derartige ungleich weite Abstände für die Zuganker dem ganzen System weniger zuträglich sind und daher thunlichst vermieden werden müssen. Sehr große Abweichungen zwischen den einzelnen Weiten dürfen überhaupt nicht zugelassen werden. Bei geringfügigen Unterschieden in diesen Abständen ist dann für alle Ankerftangen der nach Gleichung 205 für l Met. berechnete Durchmesser d_0 beizubehalten. Von Wichtigkeit ist bei der Verankerung der Kappengewölbe auch das Anbringen von Zugankern an jeder Stirnmauer, um hierdurch dem erfahrungsmäßig leicht eintretenden Ausweichen, bezw. Abreißen der Widerlagsmauern an den Ecken des Raumes möglichst vorzubeugen. Die Entfernungen der Zuganker von einander sollen höchstens 4 m, unter Umständen weit weniger betragen weil bei zu großen Abständen der Verankerungen die nicht ausreichend starken Widerlagsmauern zwischen den Ankerzügen sich leicht ausbauchen und Mauerrisse erhalten.

Beispiel. Ein aus Backstein vom Einheitsgewichte 1,6 ausgeführtes Kappengewölbe mit einem Kreisbogen als Leitlinie ist 14,5 m lang; die Spannweite $2s$ desselben beträgt 3 m, also $s = 1,5$ m, und die Pfeilhöhe $f = 0,4$ m, also etwas über $\frac{1}{8}$ der Spannweite. Das Gewölbe stützt sich gegen Widerlagsmauern, welche ordnungsmäßig aus festem Kalkstein vom Einheitsgewichte 2,6 ausgeführt sind; die Stärke b derselben beträgt 0,60 m und die Höhe $h = 8,2$ m; die Kämpferhöhe a des Gewölbes beträgt 3 m. Das Gewölbe ist 1 Stein = 0,25 m stark, in den Zwickeln mit Backstein ausgemauert und mit einem Bretterfußboden überlagert. Die Nutzlast des Gewölbes ist zu 400 kg für 1 qm Grundfläche bestimmt. Dieser nicht ganz geringfügigen Nutzlast entsprechend, wird die als wagrecht abgegliche Belastungsfläche, auf Backstein-Material zurückgeführt, zu einer Höhe $\bar{h} = \frac{400}{1600} = 0,25$ m im Scheitellothe des Gewölbes gefunden.

180.
Beispiel.

Vom Zurückführen des Gewichtes des mit Sand unterlagerten Bretterfußbodens ist hier abgesehen.

1) Prüfung der Gewölbstärke. Man erhält nach Gleichung 179

$$H = \frac{1,5^2}{12(0,25 + 0,4)} [6(0,25 + 0,25) + 0,4] = 0,97 \text{ Quadr.}, \text{ bezw. Cub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 202 überschreitet dieser Werth die für H berechnete Größe bei 1 Stein starken Gewölben um 0,1 qm, bleibt aber von H für $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke um 1,06 qm entfernt. Wird nun das Gewölbe auch etwas stärker gepreßt, als Gleichung 145 angiebt, so kann diese etwas größere Preßung bei kleineren Gewölben doch zugelassen und die Gewölbstärke d zu 1 Stein als genügend angesehen werden.

Nach Gleichung 180 wird

$$G = 1,5 \left(0,25 + 0,25 + \frac{0,4}{3} \right) = 0,95 \text{ Quadr.}, \text{ bezw. Cub.-Met.}$$

Bei den gegebenen Abmessungen wird, um den Normaldruck N in der Kämpferfuge bestimmen zu können, zuvor $\sin \alpha = \frac{s}{r}$ und, da $\frac{f}{s} = \frac{s}{2r - f}$, also $r = \frac{f^2 + s^2}{2f}$ ist,

$$\sin \alpha = \frac{2fs}{f^2 + s^2} = \frac{1,20}{2,41} = 0,4979 = \approx 0,5,$$

mithin nahezu und hier genau genug $\alpha = 30$ Grad. Hiernach ist zufolge Gleichung 152

$$N = 0,97 \cos 30^\circ + 0,95 \sin 30^\circ = 0,97 \cdot 0,866 + 0,95 \cdot 0,5 = 1,325 \text{ Quadr.}, \text{ bezw. Cub.-Met.}$$

Dieser Werth bleibt nach der Tabelle auf S. 202 weit unter der für den Normaldruck N bei einem 1 Stein starken Gewölbe berechneten Größe. Mithin ist auch in dieser Beziehung die ausgeführte Gewölbstärke hinreichend.

2) Prüfung der Widerlagsstärke. Das Gewicht des Wölbmaterials sammt Belastung ist $\gamma = 1600$ kg für 1 cbm, während das Eigengewicht des Mauerwerkes vom Widerlager $\gamma_1 = 2600$ kg für 1 cbm beträgt. Unter Benutzung von Gleichung 182 wird

$$u = \frac{2 \cdot 3 \cdot 0,97 - 0,6 \cdot 0,95}{2 \left(0,95 + 0,6 \cdot 8,2 \cdot \frac{2600}{1600} \right)} = \frac{5,25}{17,89} = 0,293 \text{ m,}$$

also ganz wenig kleiner als $\frac{\bar{b}}{2} = \frac{0,60}{2} = 0,30$ m.

Dieses Ergebnis bedingt eine kräftige Verankerung der Widerlagsmauern.

Für den Gleichgewichtszustand gegen Gleiten muß bei der Annahme des Reibungswinkels ρ für Kalkfeinmauerwerk als $\operatorname{tg} \rho = 0,7$ nach Gleichung 184

$$0,60 > \frac{0,97 - 0,7 \cdot 0,95}{0,7 \cdot 8,2 \cdot \frac{2600}{1600}},$$

d. h. $0,60 > 0,326$ fein.

Solches ist hier der Fall, mithin ist Sicherheit gegen Gleiten der Widerlagsmauer auf ihrer Grundfläche bekundet.

Für eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Fuge der Widerlagsmauer geht die Größe k der Gleichung 184 in $k_1 = k - \eta = 8,2 - 3 = 5,2^m$ über, und nun muß

$$0,60 > \frac{0,97 - 0,7 \cdot 0,95}{0,7 \cdot 5,2 \cdot \frac{2600}{1600}},$$

d. i. $0,60 > 0,515$ fein. Auch für diese Fuge ist demnach keine Gefahr in Bezug auf Gleiten vorhanden.

3) Berechnung der Verankerung. Wird die Zahl m der in gleichen Entfernungen von einander zwischen den Stirnmauern angebrachten Zugankern zu 4 genommen, so ist die Entfernung derselben

$l = \frac{14,2}{4+1} = 2,9^m$ und somit die Zugkraft P für dieselbe gleich dem resultierenden Gewölbfchub für diese Länge l , d. h. $P = 2,9 \cdot 0,97 \cdot 1600 = 4500,8 \text{ kg}$, wofür 4500 kg gesetzt werden sollen.

Für diese Beanspruchung würde nach Gleichung 194, worin s' unter Berücksichtigung der Torsion, welche die Ankerfange erleiden kann, gleich 600 kg für 1 qcm gesetzt werden soll, der Durchmesser der Stange

$$d_0 = \infty 1,13 \sqrt{\frac{4500}{600}} = 3,09 \text{ cm.}$$

Die Zuganker erhalten aber an ihren Enden Schraubengewinde, deren äußerer Ring von etwa 1 mm Tiefe nicht als tragfähig gelten kann. Aus diesem Grunde ist zunächst nach Gleichung 189, worin auch $s' = 600 \text{ kg}$ berücksichtigt ist, der innere Durchmesser zu bestimmen als

$$d' = 0,2 + 0,046 \sqrt{4500} = 0,2 + 3,086 = 3,286 \text{ cm,}$$

wofür $3,3 \text{ cm}$ genommen werden sollen.

Alsdann wird nach Gleichung 188 der äußere Gewindedurchmesser $d = (1,139 \cdot 3,3 + 0,108) = 3,86 \text{ cm}$ und endlich nach Gleichung 187 der Durchmesser der Zugfange selbst

$$d'' = 1,173 \cdot 3,3 + 0,128 = 3,99 \text{ cm,}$$

wofür selbstredend 4 cm zu nehmen sind. Dieser Durchmesser ist den Zwischenankern statt des Maßes $d_0 = \infty 3 \text{ cm}$ zu geben.

Die Ankerfängen an jeder Stirnmauer können, da der für ihre Spannung maßgebende resultierende Gewölbfchub zu $\frac{l}{2} H \gamma = \frac{2,9}{2} \cdot 0,97 \cdot 1600 = 2250 \text{ kg}$ angenommen werden darf, einen geringeren Durchmesser als die Zwischenanker erhalten. Für den inneren Gewindedurchmesser würde nach Gleichung 189

$$d' = 0,2 + 0,046 \sqrt{2250} = 2,38 \text{ cm}$$

und hiernach der Durchmesser der Stange nach Gleichung 187

$$d'' = 1,173 \cdot 2,38 + 0,128 = 2,91 \text{ cm,}$$

wofür $d'' = 3 \text{ cm}$ zu nehmen ist.

Vielfach giebt man aber in der Praxis diesen Stirnankern denselben Durchmesser, wie den Zwischenankern.

Giebt man den runden Zugankern an ihren Enden Oefen, welche Keile, bzw. Splinte aufnehmen, die dann zweckmäßig auf Ankerplatten lagern, so sind zur Berechnung derselben die Gleichungen 190 bis 193 und die Gleichung 197 anzuwenden. Man erhält alsdann nach Gleichung 194 den Stangendurchmesser, da s' beim Nichteintreten einer Torsion bei derartigen Ankern gleich 800 kg für 1 qcm gesetzt werden kann,

$$d_0 = 1,13 \sqrt{\frac{5400}{800}} = 2,94 = \infty 3 \text{ cm}$$

und nun der Reihe nach entsprechend den Gleichungen 190 bis 193

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4500 \cdot 3,1416}{1200} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1200}{800}}} = \approx 1,1 \text{ cm},$$

$$d = 2 \sqrt{\frac{4500}{3,1416 \cdot 1200} \left(1 + \frac{1200}{800}\right)} = \approx 3,8 \text{ cm},$$

$$b = \sqrt{\frac{4500}{3,1416 \cdot 640} \cdot \frac{1200}{640} \left(1 + \frac{1200}{800}\right)} = \approx 3,3 \text{ cm},$$

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4500 \cdot 3,1416}{640} \cdot \frac{1200}{640} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1200}{800}}} = \approx 2 \text{ cm}.$$

Ein Vergleich der Ergebnisse der Rechnung fällt hinsichtlich der Zugstangen zu Gunsten der zuletzt betrachteten Anordnungen von Oefen mit Keilen aus, da die Anwendung von Ankerstangen mit Schraubengewinden an den Enden einen größeren Aufwand an Material für die Verankerung bedingt.

4) Berechnung der Ankerplatten. Sollen quadratische gusseiserne Ankerplatten mit einfachem rechteckigen Querschnitte Verwendung finden, so ist bei der Beanspruchung $P = 4500 \text{ kg}$ die Dicke derselben nach Gleichung

$$\delta = 0,055 \sqrt{4500} = 3,69 \text{ cm},$$

wofür rund $3,7 \text{ cm}$ genommen werden.

Bei runden Zugankern mit Schraubengewinden an den Enden ist die Oeffnung in der Ankerplatte um etwa 2 mm größer als der Durchmesser der Zugstange zu nehmen, so daß dieselbe nach der angestellten Rechnung $4,2 \text{ cm}$ betragen würde. Die Grundfläche dieser Oeffnung ist demnach $i = \frac{\pi}{4} 4,2^2 = \approx 13,85 \text{ qcm}$.

Hiernach wird unter Benutzung von Gleichung 201

$$b = \sqrt{\frac{4500}{\sigma'} + 13,85} \text{ Centim.}$$

Nimmt man für Mauerwerk aus festem Kalkstein in Kalkmörtel die zulässige Beanspruchung σ' für 1 qcm zu 10 kg an, so ist $b = \sqrt{450 + 13,85} = \sqrt{463,85} = 21,54 \text{ cm}$ oder abgerundet $= 22 \text{ cm}$.

Da aber die Ankerplatten eine möglichst große Fläche der Widerlagsmauer überlagern sollen, so ist es rathsam, die Seitenlänge b dieser Platten zu 30 cm anzunehmen. Alsdann ist die Grundfläche derselben, welche die von den Zugankern herbeigeführte Pressung auszuhalten hat, gleich $F = (30^2 - 13,85) = 886,15 \text{ qcm}$ und folglich $\sigma' = \frac{4500}{886,15} = \approx 5 \text{ kg}$ für 1 qcm , eine Beanspruchung, welche selbst bei weniger festem Kalksteinmauerwerk zulässig ist.

Werden die vorhin berechneten Zugstangen mit Oefen und Keilen zur Ausführung gebracht, so würden zweckmäßig dieselben Ankerplatten für die Unterlagerung der Keile, bezw. für die Verankerung benutzt.

Würden statt der Ankerplatten Ankerplinte für die Verankerung genommen, welche zur Erzielung einer möglichst großen Auflagerfläche oberhalb der Oefe oder oberhalb und unterhalb derselben entsprechend geäfst angeordnet werden könnten, so müßte, wenn aus practischen Gründen, die Breite der Auflagerfläche derselben statt der für den Keil berechneten Breite $\delta = 1,1 \text{ cm}$ zu 2 cm gewählt würde, bei der Beanspruchung $\sigma' = 10 \text{ kg}$ für 1 qcm Mauerfläche die gesammte Länge l der Aeste eines Ankerplintes gleich $\frac{4500}{10 \cdot 2} = 225 \text{ cm}$ sein, d. h. bei 4 auch in geschwungenen Linien geführten Aesten würde jeder derselben oberhalb und unterhalb derselben rund 57 cm in der Erstreckung messen. Bei Verminderung dieser erstreckten Länge würde selbstverständlich die Beanspruchung σ' des Mauerwerkes wachsen.

Nach den gemachten Angaben hätte also die Durchbildung der Ankerplinte zu erfolgen.

Zuweilen werden zur Verstärkung der Widerlager für Kappengewölbe und auch wohl für ihr Ursprungsgewölbe, das Tonnengewölbe, Strebepfeiler in gewissen Entfernungen von der Widerlagsmauer in Vorschlag gebracht. Sind, wie bei den Kreuzgewölben sich zeigen wird, Strebepfeiler, bezw. Strebebogen bei solchen Anlagen vortheilhaft am Platze, so ist dieses bei Kappengewölben oder Tonnengewölben weit weniger der Fall. Bei diesen Gewölben ist, wie bereits bei der Verankerung der-

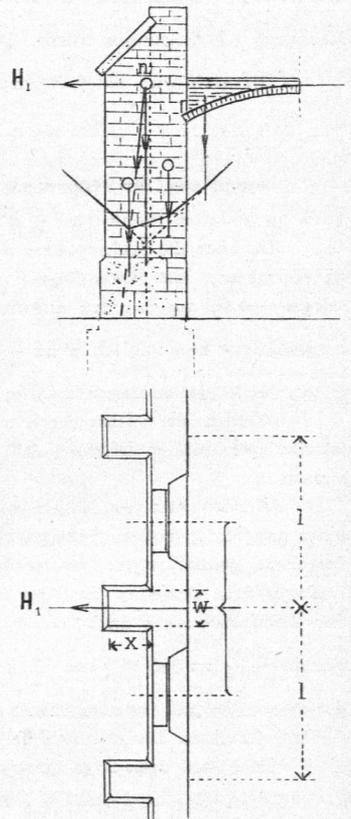
felben gefagt ift, keine Vereinigung des Gewölbschubes an einzelnen abgegrenzten Theilen der Widerlager vorhanden. Die Voraussetzungen, welche hinsichtlich der Vertheilung des Gewölbschubes auf eine Widerlagsmauer mit Strebepfeilern zu Grunde gelegt werden, lassen noch Zweifel zu. Obgleich dieser Vorwurf auch die Verankerung treffen muß, so ist doch durch solche Anlagen erfahrungsmäßig eine entsprechende Erhöhung der Standficherheit der mit nicht ganz zureichender Stärke behafteten Widerlagsmauern in verhältnismäßig einfacher Weise herbeizuführen. Die in der Höhe der Kämpferebene eingezogene Verankerung vermag eine bessere Verpannung der Widerlagsmauern und eine größere Gegenwirkung für den Gewölbschub auszuüben, als die vorgelegten Strebepfeiler, welche etwa eine erhöhte Standfähigkeit der an sich nicht ganz genügend starken Widerlagsmauern der Kappengewölbe vermitteln sollen.

Müffen aus besonderen Gründen statt der Zuganker Strebepfeiler angeordnet werden, so ist, unter Beachtung des in Art. 178 (S. 268) für die Unterfuchung der zwischen den Zugankern liegenden Mauertheile der Widerlager Gefagten, für die Strebepfeiler selbst eine Entfernung von über 4 m von Mitte zu Mitte thunlichst zu vermeiden. Die parallel zur Widerlagsmauer auftretende Breite der Strebepfeiler follte nicht unter 38, bezw. 40 cm betragen. Ihre rechtwinkelig zum Widerlager antretende Dicke ist durch statische Unterfuchung zu bestimmen. Das bei dieser Unterfuchung zu benutzende Verfahren entspricht im Wesen ganz dem in Art. 143 (S. 197) über die Ermittlung der Stabilität eines Tonnengewölbes und seines Widerlagers Mitgetheilten. Im Besonderen ist hier nur zu berücksichtigen, daß unter Bezugnahme auf Fig. 365 der für den Körper des Strebepfeilers in Betracht kommende, im Punkte n angreifende resultirende Horizontalschub $H_1 = lH$ Quadr., bezw. Cub.-Met. bei der graphischen Unterfuchung oder als $H_1 = lH\gamma$ Kilogr. bei der rechnerischen Ermittlung der Stabilität des Strebepfeilers einzuführen ist. Die Größen H und γ haben die früher angegebene Bedeutung; l ist die Entfernung der Strebepfeiler von Mitte zu Mitte (in Met.).

Die Gewichtsbestimmung vom Körper des einzelnen Strebepfeilers erfolgt selbstredend unter Berücksichtigung der meistens von vornherein angenommenen Breite w desselben, einer vorläufig zu wählenden Dicke x und des Eigengewichtes γ_1 des betreffenden Mauermaterials. Bei der graphischen Methode ist dieses Mauermaterial auf das Wölbmaterial, wie früher besprochen, zu reduciren. Die für den Höhenschnitt des Strebepfeilers darzustellende Mittellinie des Druckes darf die Kernfläche des Querschnittes desselben nicht verlassen; außerdem muß das Gleichgewicht gegen Gleiten in bekannter Weise bekundet sein.

Findet die Einwölbung der Kappengewölbe nicht auf »Kuf«, sondern auf »Stich« oder »Schwalbenschwanz« statt, wovon unter c des Näheren mitgetheilt wird, so

Fig. 365.



entstehen schmale, neben einander liegende Wölbstreifen, Wölbcharen oder Zonen, welche ihr Widerlager sowohl an den eigentlichen Widerlagsmauern, als auch an den Stirnmauern und endlich auch an den Seitenflächen einzelner Zonen selbst finden.

In jedem Falle treten bei dieser Art der Einwölbung die sämtlichen das Gewölbe begrenzenden Raumtheile als Widerlager auf, so daß auch die Stirnmauern einem Gewölbschube ausgesetzt sind, welcher hier sogar für die einzelnen Wölbcharen in verschiedenen Höhen über der Kämpferebene des Gewölbes angreift und auch in Bezug auf einander verschieden groß ausfällt.

Ist die Leitlinie des Kappengewölbes, wie eigentlich stets der Fall, ein flacher Kreisbogen, so ist die Leitlinie jeder einzelnen Wölbchar ein elliptischer Bogen, dessen Kämpferpunkte in verschiedenen hoch gelegenen wagrechten Ebenen auftreten. Im Allgemeinen sind demnach, streng genommen, die einzelnen Wölbcharen schmale einhüftige oder ansteigende Gewölbe, deren Gewölbschub nach den in Art. 146 (S. 209) gemachten Angaben ermittelt werden kann, wenn dabei nur die Annahme gemacht wird, daß etwas abweichend von der Wirklichkeit die seitlichen Begrenzungsflächen dieser Wölbcharen einander parallelen, lothrechten Ebenen angehören, während dieselben, streng genommen, in verschiedenen zu einander geneigten Ebenen liegen, welche die Laibungsfläche des Gewölbes nach Ellipsenstücken durchschneiden, deren Grundrifsprojectionen ebenfalls gekrümmt sind. Die Abweichung von der Wirklichkeit noch weiter zu treiben und auch Abstand zu nehmen von der Eigenschaft der Wölbcharen, wonach dieselben als einhüftige kleine Gewölbe erscheinen, um dieselben ohne Weiteres als symmetrisch geformte und symmetrisch belastete Gewölbe anzusehen, könnte füglich unterlassen werden, da die statische Untersuchung einhüftiger Gewölbe nebst deren Widerlager keine erheblich zu nennende Schwierigkeiten verursacht, so fern überhaupt nicht sehr hoch gespannte theoretische Entwicklungen ange stellt werden sollen.

Eine in dem einfacheren Sinne geführte Untersuchung eines auf »Schwalbenschwanz« gewölbten Kappengewölbes ist unter Benutzung der Methode der graphischen Statik unter Beachtung einhüftig geformter Wölbcharen in Fig. 366 vorgenommen. Sie soll dazu dienen, namentlich auch einen Einblick in die Einwirkung des Gewölbschubes auf die Stirnmauern des überwölbten Raumes zu gewinnen; sie soll aber auch durch ihren Gang die nöthigen, beachtenswerth erscheinenden Anhaltspunkte gewähren, welche für die später zu berücksichtigende Stabilitätsermittlung der flachen Kloftergewölbe, der Kreuzgewölbe u. s. f. weiter benutzt werden können, zumal der sog. Verband auf »Stich« oder »Schwalbenschwanz« in der Praxis des Gewölbebaues eine sehr ausgedehnte Anwendung findet.

Es sei $abcd$ (Fig. 366) ein rechteckiger Raum von 4 m Breite und 8 m Länge. Derselbe wird mit einem Kappengewölbe überdeckt, dessen Leitlinie ein Kreisbogen ist, welcher als sog. Kreuzrifsbogen (Centriwinkel = 60 Grad) beschrieben wurde. Das Pfeilverhältniß ist demnach $\frac{1}{7,46}$, also etwas mehr als $\frac{1}{8}$.

Betrachtet man den einzelnen Wölbstreifen I , so erhält derselbe seine Stützen an der eigentlichen Widerlagsmauer ac und in der Mitte der Stirnmauer ab . Derselbe möge innerhalb des Grundrisses des Wölbraumes einen beliebigen Winkel φ mit der Richtung ab einschließen. Seine Wölblinie he ist ein Theil einer Ellipse, welche nach der gegebenen Leitlinie des Kappengewölbes bestimmt werden kann. Die Kämpferpunkte h und e liegen in verschiedenen wagrechten Ebenen; das Gewölbe selbst besteht nicht aus zwei congruenten Hälften mit symmetrischer Belastung, ist also ein unsymmetrisch geformtes und unsymmetrisch belastetes Gewölbe oder kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Wird die Tiefe desselben durch zwei parallele lothrechte Ebenen im Abstände gleich der Längen-

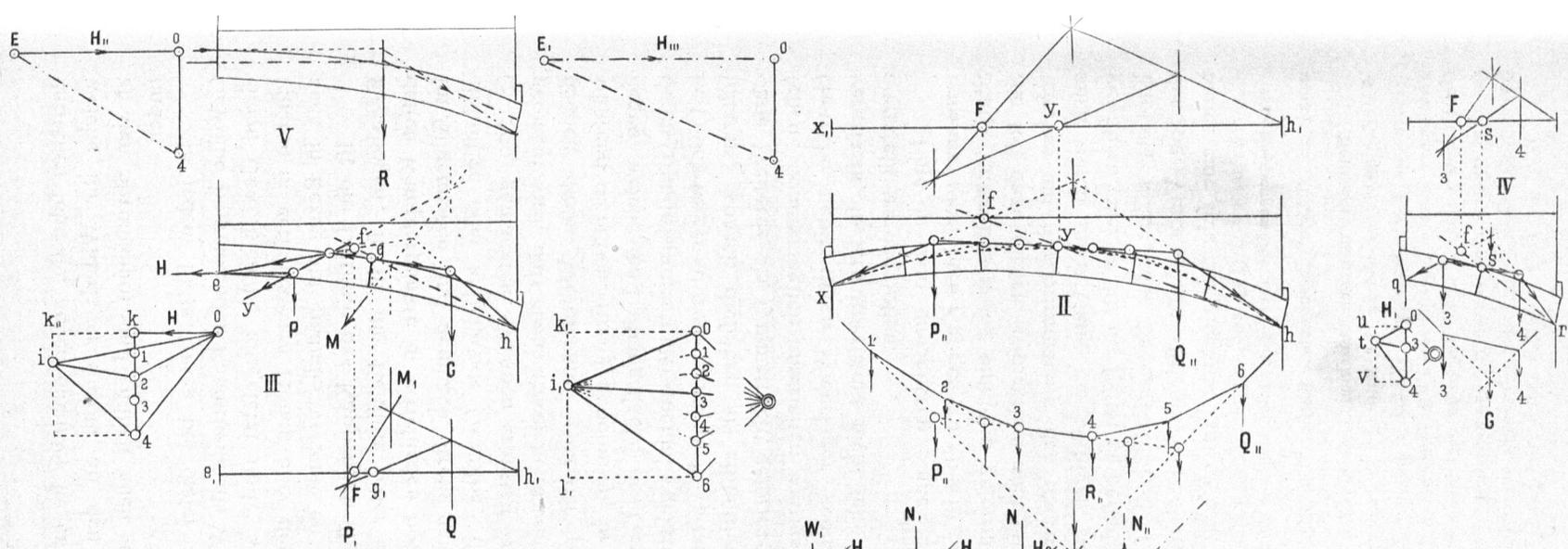
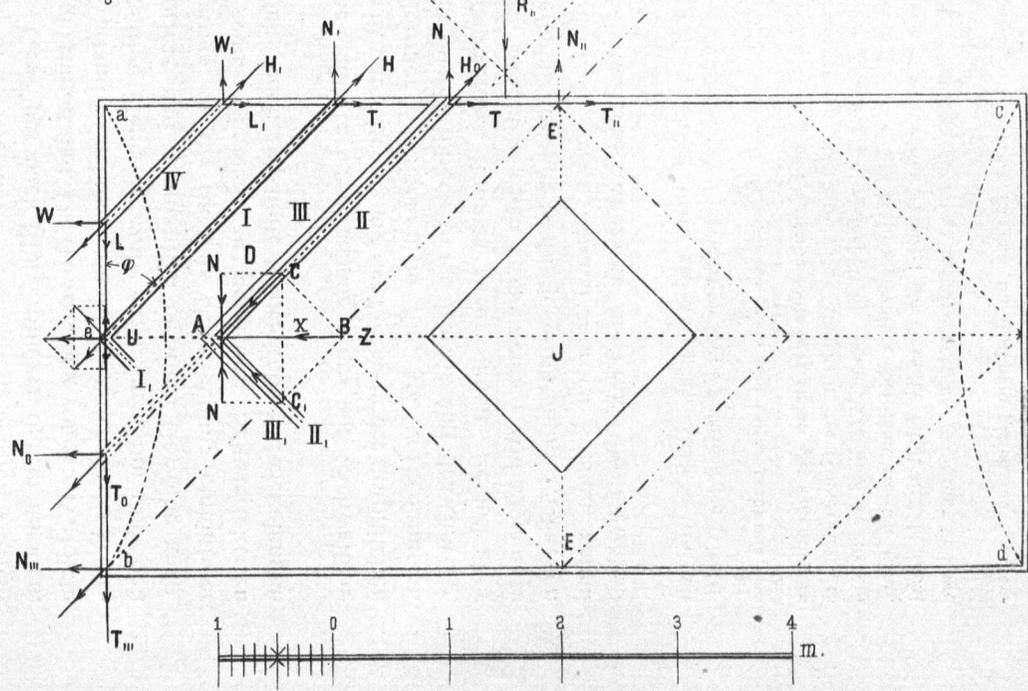
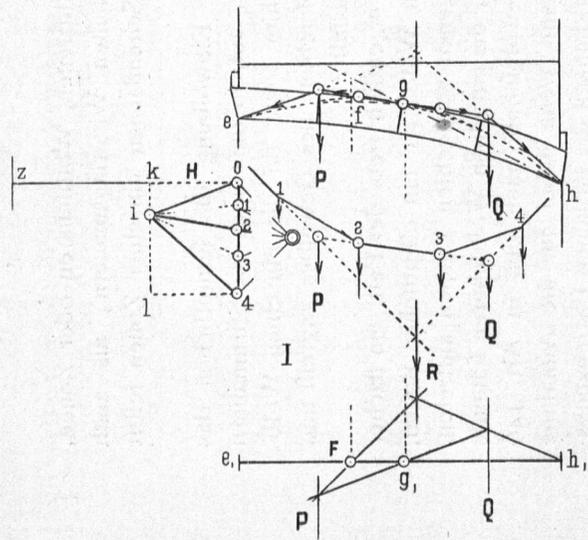


Fig. 366.



einheit begrenzt genommen, so kann bei gegebener oder gewählter Gewölbstärke und bei fest gesetzter Belaftung, zurückgeführt auf Wölbmaterial, die Stabilitätsuntersuchung des Gewölbstreifens ganz so vorgenommen werden, wie in Art. 146 (S. 209) mitgeteilt ist. Als Nutzlast sind 320 kg für 1 qm angenommen; die Gewölbstärke ist zu 1 Stein fest gesetzt.

Für die Bestimmung der Mittellinie des Druckes egh wurde die durch h und g gelegte Gerade als Polaraxe benutzt. Der in g wirkende Gewölbdruck ergibt sich als zi , bezw. iz im zugehörigen Kräftepolygon. Die in e und h auftretenden Drucke der Kämpferfugen bestimmen sich in demselben Polygon als oi , bezw. iq .

Der Horizontalschub H wird als wagrechte Seitenkraft des Gewölbdruckes zi der Größe nach gleich ok , bezw. ko . Denselben Werth besitzen auch die wagrechten Seitenkräfte der bezeichneten Kämpferdrücke, welche die Widerlagsmauer und die Stirnmauer treffen. Die lothrechten Seitenkräfte dieser Drücke sind oz , bezw. zq .

In der Zeichnung ist $ok = 0,78$ m gefunden und, da die Basis oz , welche für die Verwandlung der Belaftungsfläche des Gewölbes benutzt wurde, gleich 2 m ist, so wird

$$H = 2 \cdot 0,78 = 1,56 \text{ Quadr., bezw. Cub.-Met.}$$

Diesem Werthe von H entspricht nach der auf S. 202 enthaltenen Tabelle eine Gewölbstärke von 1 Stein bis $1\frac{1}{2}$ Stein. Da aber nach einer vorgenommenen Prüfung der größte Normaldruck N für die Kämpferfuge h nur $2 \cdot 0,88 = 1,76$ Quadr., bezw. Cub.-Met. beträgt, so wird hierfür nach der angeführten Tabelle eine Gewölbstärke von 1 Stein ausreichend. Bei Kappengewölben kann dieser Werth von N Berücksichtigung finden, und dieserhalb ist die Gewölbstärke mit 1 Stein gelassen. Dieselbe kann durchgängig beibehalten werden, weil innerhalb des Wölbgebietes $aE\mathcal{J}U$ kein einziger mit I parallel laufender Wölbstreifen eine grössere Spannweite als I selbst erhält. Dasselbe gilt auch für die übrigen Wölbgebiete, welche dieselbe Anordnung der Wölbstreifen erfahren, wie das bezeichnete Gebiet.

Für den mit I zusammentretenden Streifen I_1 , welcher vollständig der Gewölbzone I entspricht, entsteht derselbe Gewölbdruck $H = 1,56$ Quadr., bezw. Cub.-Met.

Die Dicke dieser Streifen ist aber nicht 1 m, sondern nur gleich einer Backsteindicke, also gleich $0,065$ m; mithin kommt für jeden Streifen nur ein Horizontalschub von $1,56 \cdot 0,065 = \approx 0,1$ Quadr., bezw. Cub.-Met. oder bei einem Gewicht des Wölbmaterials von 1600 kg für 1 cbm von $1600 \cdot 0,1 = 160$ kg in Betracht.

Erfetzt man diese beiden Kräfte je für sich durch zwei Seitenkräfte, welche in der Richtung der Scheitellinie $U\mathcal{J}$ des Gewölbes und rechtwinkelig hierzu wirkend genommen werden, so vereinigen sich die ersten beiden zu einer wagrechten Mittelkraft $U = 2H \cdot \sin \varphi$; d. i. im vorliegenden Falle, da $\varphi = 45$ Grad gewählt ist, $U = 2 \cdot 160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 226,24$ kg. Diese Kraft trifft die Stirnmauer rechtwinkelig im Punkte e . Die beiden anderen in e angreifenden Seitenkräfte, welche an der inneren Seitenfläche der Stirnmauern wirken, halten sich im Gleichgewicht.

Die Widerlagsmauer ac erhält vom Streifen I den Horizontalschub $H = 160$ kg. Die rechtwinkelig zu ac gerichtete Seitenkraft desselben wird also $N_1 = H \cdot \cos \varphi = 160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 113,12$ kg, während die mit ac zusammenfallende, in der Kämpferlinie des Gewölbes wirkende Seitenkraft $T_1 = H \cdot \sin \varphi$, d. h. auch hier gleich $160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 113,12$ kg wird.

Für einen Streifen IV entsteht wiederum ein einhäufiges elliptisches Gewölbe, dessen Stabilitätsuntersuchung in der Zeichnung in bekannter Weise unter Benutzung der Polaraxe rs vorgenommen wurde. Der Horizontalschub H_1 ergab sich zu $0,81 \cdot 2 = 0,62$ Quadr., bezw. Cub.-Met., mithin für die Dicke $0,065$ m des Streifens zu

$$0,62 \cdot 0,065 \cdot 1600 = 64,48 \text{ kg.}$$

Dieser Schub trifft sowohl die Stirnmauer ab , als auch die Widerlagsmauer ac .

Für die rechtwinkelig zu diesen Mauerkörpern wirkenden Seitenkräfte erhält man $W = H_1 \cdot \sin \varphi$ und $W_1 = H_1 \cdot \cos \varphi$, während für die mit den Begrenzungen ab , bezw. ac zusammenfallenden Seitenkräfte sich $L = H_1 \cdot \cos \varphi$ und $L_1 = H_1 \cdot \sin \varphi$ ergibt. Für $\varphi = 45$ Grad ist $\sin \varphi = \cos \varphi$ und demnach

$$W = W_1 = L = L_1 = 64,48 \frac{1}{\sqrt{2}} = \approx 45,6 \text{ kg.}$$

Von Wichtigkeit ist die Prüfung des Einflusses, welchen die Gewölbdrücke der sämtlichen Wölbstreifen zwischen dem mittleren Stirnstreifen und der Mittellinie EE des Gewölbes auf die Stirnmauer

und die eigentlichen Widerlagsmauern ausüben. Jeder Gewölbstreifen liefert jedoch nur scheinbar in der Richtung $\mathcal{F}U$, d. h. in der Scheitellinie des Gewölbes, einen vom Gewölbschube, welcher in einem Einzelfstreifen auftritt, abhängigen Horizontalschub. Möchte derselbe an sich betrachtet auch keine übermäßige Größe aufweisen, da sehr weit gespannte Kappengewölbe nicht in Anwendung kommen, so ist doch für dieselben sehr häufig eine nicht unbedeutende Länge unter Benutzung des Verbandes auf Schwalbenschwanz erfahrungsmäßig zur Ausführung gekommen, ohne dass bei diesen langen Gewölben übermäßig starke Stirnmauern erforderlich geworden wären. Wollte man einfach die erwähnten, scheinbar auftretenden einzelnen Horizontalschübe, welche in $\mathcal{F}U$ liegen, summieren, so müsste bei sehr großer Länge von $\mathcal{F}U$ ein sehr großer resultirender Horizontalschub für die Stirnmauer in ihrer Mitte entstehen, der schliesslich, so darf man folgern, bei unendlicher Länge des Gewölbes auch unendlich groß werden müsste. Dieser Annahme, wonach ein solches Addiren der einzelnen Horizontalschübe zulässig sei, widerspricht aber aller Erfahrung. Sehr lange Gänge sind häufig mit Kappengewölben im genannten Verbands ausgeführt und doch haben nicht unverhältnissmäßig starke Stirnmauern den gesammten entspringenden Horizontalschub ohne besonderen Nachtheil für ihren sicheren Bestand und ohne besondere Verankerung aufgenommen. Die Stärke dieser Stirnmauern würde sicherlich nicht genügend gewesen sein, wenn der durch Summierung der einzelnen Horizontalschübe der äusserst zahlreichen Wölbstreifen ermittelte gesammte Horizontalschub für die Stirnmauern thatsächlich zur Wirkung gekommen wäre.

So liefert in dem hier behandelten Beispiele der Elementarstreifen I in Gemeinschaft mit dem ihm zugehörigen Streifen I_1 einen Horizontalschub $U = 226,24$ kg. Nimmt man an, ein Gewölbe von derselben Spannweite gleich 4 m besitze statt 8 m Länge eine solche von 80 m, so würde die Scheitellinie von U bis Z , für welche nur die Wölbstreifen von gleicher Spannweite mit dem Streifen I zunächst einmal in Frage kommen mögen, bei dem Winkel $\varphi = 45$ Grad eine Länge von $\frac{80}{2} - 2 = 38$ m besitzen. Für diese Strecke würden unter Berücksichtigung von 1 cm starken Fugen zwischen den Streifen

$$\frac{38}{0,075 \frac{1}{\sin \varphi}} = \frac{38}{0,075 \sqrt{2}} = \infty 380 \text{ Schichten}$$

auftreten und folglich ein resultirender Horizontalschub allein für diese Schichten von $380 \cdot 226,24$ kg $= \infty 85972$ kg entstehen, mithin sich ein Ergebniss herausstellen, welches als widersinnig gelten muss.

Um zu anderen, der Wirklichkeit näher kommenden Ergebnissen zu gelangen, möge das Gewölbe bis zu den Streifen III und III_1 ausgeführt sein. Würden die unterstützenden Lehrgerüste auch beseitigt sein, so würde dieses Gewölbstück sich frei schwebend erhalten, so fern jeder Streifen zwischen I und III an sich im Gleichgewichte ist. Sein Widerlager findet derselbe in seiner Gesamtheit an der Mauer ac und an den bis zur Stirnmauer eingefügten Streifen des Gewölbstückes.

Bei der praktischen Ausführung, wovon später noch näher die Rede ist, wird nach und nach jedes Paar zusammengehöriger Wölbstreifen für sich gewölbt; von geschickten Arbeitern oft aus freier Hand nur unter Benutzung einer sog. Lehre. Diese besteht aus einem Brettstücke, dessen obere Begrenzung der Wöblinie des Streifens entspricht. Hiernach können auf Schwalbenschwanz eingewölbte Kappen in der Nähe ihres Scheitels selbst eine Oeffnung behalten; eine Anordnung, welche auch häufiger getroffen wird.

Werden die Gewölbstreifen II und II_1 eingewölbt, so stützen sich dieselben gegen die Widerlagsmauer und gegen die Streifen III und III_1 derart, dass die Kämpferdrücke für jene Mauer und für diese Streifen in einer Größe und Richtung auftreten, welche dem möglichst kleinsten Gewölbchube der Elementarstreifen II , bzw. II_1 entsprechen. Die Form und Belastung dieser Streifen sind aber in vollständiger Uebereinstimmung mit dem Streifen I , so dass die statische Untersuchung derselben auch übereinstimmende Ergebnisse mit derjenigen für I liefern muss.

Die in den Kämpferpunkten e und h für sich entspringenden Kämpferdrücke sind wieder oi , bzw. ik . Die wagrechten Seitenkräfte $H = ok$, bzw. lq , die lothrechten Seitenkräfte oz , bzw. zq ergeben sich gleichfalls wie früher. Die von II und II_1 auf den Gewölbkörper, welcher bis III , bzw. III_1 reichte, übertragenen Horizontalschübe setzen sich zu einem in der Scheitellinie des Gewölbes wirkenden Horizontalschub $X = zD = zH \sin \varphi$ zusammen, während die senkrecht zur Scheitellinie genommenen Seitenkräfte N der Horizontalschübe H sich im Gleichgewicht halten und die Endflächen der Streifen II und II_1 gegen einander pressen. Der noch übrig bleibende resultirende Horizontalschub X trifft zunächst die angrenzenden Gewölbstreifen III und III_1 im Punkte A und muss selbstverständlich durch ein entsprechendes Widerlager aufgehoben werden.

Denkt man sich, die Streifen III und III_1 wären von dem übrigen bis zur Stirnmauer gehenden Gewölbkörper um irgend eine Strecke nach \mathcal{F} zu abgerückt, nimmt man ferner an, der übrige Gewölb-

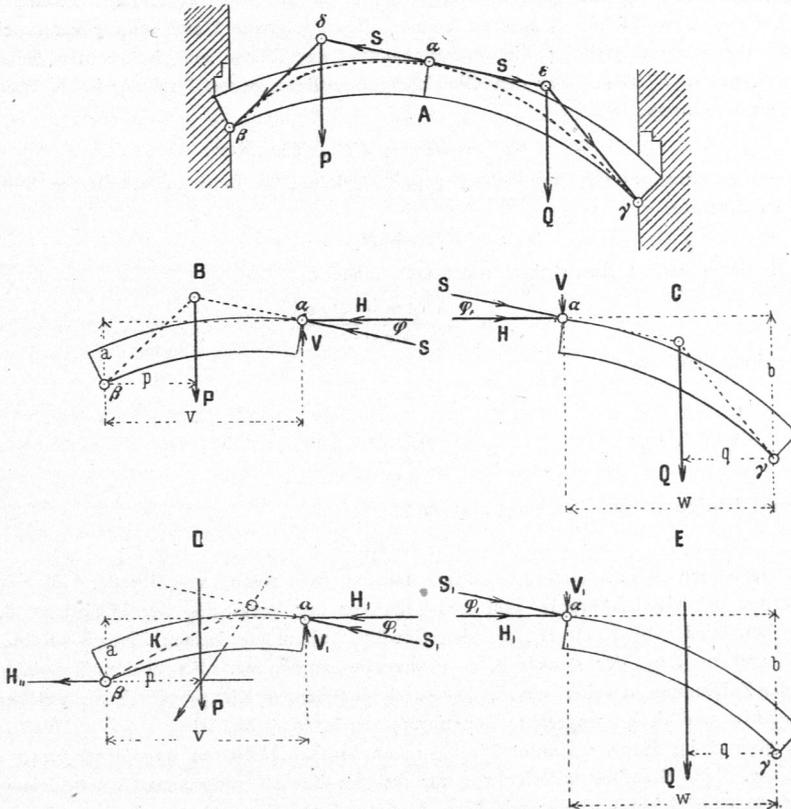
körper sei in der Richtung der Scheitellinie durchschnitten und lege sich mit den von einander getrennten Scheitelflächen feiner Streifen gegen eine unpressbare Strebe, deren Axe in der Scheitellinie liegt, so daß das eine Ende dieser Strebe sich gegen die Stirnmauer, das andere Ende derselben gegen die auspringende Ecke der Streifen III und III_1 setzt; so würde diese Strebe den Horizontalfschub X allein aufnehmen und unmittelbar auf die Stirnmauer übertragen, ohne den übrigen Gewölbkörper in Mitleidenschaft zu ziehen.

Würde man für jeden Streifen so verfahren, so käme allerdings die Summe aller Horizontalfschübe X der zahlreichen Wölbstreifen von I nach J ohne Weiteres auf die Stirnmauer, und zwar in der Richtung der Scheitellinie des Gewölbes. Eine derartige Anordnung einer Strebe findet aber nicht statt; ein gewaltig großer resultirender Horizontalfschub für die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes kann gleichfalls bei sehr langen Gewölben erfahrungsmäßig nicht auftreten.

Betrachtet man zuvor den Gleichgewichtszustand eines Streifens III , bzw. III_1 , in dem die in A wirkfame Kraft BA von der Größe X nach der Richtung dieser Streifen in die beiden wagrechten Seitenkräfte CA und C_1A zerlegt wird, welche offenbar jede gleich H der Streifen II und II_1 ist, so wird die Beanspruchung der Streifen III und III_1 durch diese Kräfte CA , bzw. CA_1 und ihre gegebene Belastung bekannt.

Um danach die Stabilitätsuntersuchung des in solcher Weise beanspruchten einhäufigen Gewölbstreifens III vornehmen zu können, möge folgende Erörterung Platz greifen.

Fig. 367.



In Fig. 367 sei für das einhäufige Gewölbstück A der möglichst kleinste Gewölbefschub als S und die dazu gehörige, ganz in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes als $\beta\alpha\gamma$ gefunden. Um die Größe dieses Gewölbefschubes durch Rechnung zu bestimmen, ist für die Gewölbtheile B und C der Gewölbefschub S unter Berücksichtigung seiner Richtung gegen die beiden Gewölbtheile in die beiden Seitenkräfte H und V zerlegt, wovon erstere wagrecht, letztere lothrecht wirkend genommen sind. Für den Gleichgewichtszustand gegen Drehung erhält man im System B , bezogen auf den Drehpunkt β , bei

der bekannten Lage der Punkte α, β und der bekannten Gröfse, Richtung und Lage der Kraft P , welche das Gewicht des Gewölbtheiles B darstellt,

$$0 = -Vv - Ha + Pp. \quad 206.$$

Für den Theil C mit dem Gewichte Q ergibt sich in Bezug auf den Drehpunkt γ in entsprechender Weise

$$0 = -Vw + Hb - Qq. \quad 207.$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man

$$H = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv}, \quad 208.$$

$$V = \frac{Ppb - Qqa}{aw + bv}, \quad 209.$$

und hiernach würde die Gröfse des Gewölbchubes S aus der Gleichung

$$S = \sqrt{H^2 + V^2} \quad 210.$$

zu bestimmen sein.

Der Neigungswinkel φ des Gewölbchubes S zur Wagrechten wird ermittelt durch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V}{H} \quad 211.$$

Wirkt nun an dem sonst unveränderten Gewölbstücke A noch eine gegen den Punkt β nach aufsen gerichtete wagrechte Kraft H_1 , von ganz beliebiger Gröfse, so läßt sich der Einfluss, welchen diese hinzugefügte Kraft auf den Gewölb Schub S ausüben könnte, durch folgende Unterfuchung kennzeichnen.

Der neue Gewölb Schub sei S_1 ; die entsprechenden wagrechten und lothrechten Seitenkräfte derselben mögen H_1 , bezw. V_1 sein. Für den Gleichgewichtszustand gegen Drehung im Kräftefytem D ist in Bezug auf den Drehpunkt β

$$0 = -V_1v - H_1a + Pp + H_1 \cdot \text{Null}, \quad 212.$$

während für den Zustand des Gleichgewichtes gegen Drehung im sonst unveränderten System E unter Annahme des Drehpunktes γ

$$0 = -V_1w + H_1b - Qq \quad 213.$$

sein mufs. Aus diesen beiden Ausdrücken findet man zunächst

$$H_1 = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv}, \quad 214.$$

d. h. nach Gleichung 208 auch

$$H_1 = H$$

und fodann

$$V_1 = \frac{Ppb - Qqa}{aw + bv}, \quad 215.$$

oder unter Berücksichtigung von Gleichung 209 auch

$$V_1 = V.$$

Danach mufs auch $S_1 = S$ und $\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi$ sein, so dafs, wenn, wie hier der Fall, von elastischen Formveränderungen des Gewölbkörpers ganz und auch von der Verkittung der Wölbsteine durch Mörtel vorläufig abgesehen wird, die Kraft H_1 , auf den Gewölb Schub S gar keinen Einfluss ausübt, sobald nur P, Q und die gegebene Lage der Punkte β, α, γ unverändert bleiben. Sie beeinflusst jedoch, wie ohne Weiteres aus der Zeichnung zu erkennen ist, den durch β gehenden Kämpferdruck K , welcher aus H_1, P und $S_1 = S$ resultirt und dessen wagrechte Seitenkraft gleich $H_1 + H_1$ ist.

In Fig. 366 ist im Plane III unter Einfügen der durch e geführten wagrechten Kraft $H = ok$ des Streifens II , bezw. I die Stabilitätsunterfuchung für den Streifen III vorgenommen und, wie es sein mufs, der in g wirkfame Gewölb Schub wieder wie beim Streifen I gleich zi , bezw. iz gefunden, während die wagrechte Seitenkraft ok , des in e wirkenden Druckes $oi = 2H$ ist.

Da auf den Gewölb Schub der einzelnen Streifen durch Hinzufügen jener gekennzeichneten Kraft H_1 , kein Einfluss ausgeübt wird, da ferner eine unmittelbare Uebertragung der wagrechten Seitenkräfte der stets gröfser werdenden Kämpferdrücke in den Scheitellinien der einzelnen Streifen von Z bis U auf die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes nicht als zulässig erachtet werden kann, so mufs die Beanspruchung des zwischen Z und U , bezw. zwischen \mathcal{F} und U befindlichen Gewölbkörpers, so wie auch der zwischen a und dem Streifen I , bezw. zwischen b und I_1 befindliche Streifen von der Beschaffenheit

des Streifens *IV* in anderer Weise erfolgen, als im Vorhergegangenen und hier und dort wohl auch bei der Stabilitätsunterfuchung von Kreuzgewölben, wenn deren Gewölbkappen gleichfalls auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführt werden sollen, angenommen wurde.

Hinsichtlich der Beanspruchung der Stirnmauern durch den Gewölbschub wird man der Wahrheit durch folgende Betrachtung näher kommen.

Der gefamnte Gewölbkörper besteht im Allgemeinen aus verhältnismäßig kleinen Wölbsteinen, die, wenn auch entsprechend auf Schwalbenschwanz-Verband geordnet, dennoch das Zerlegen in lauter neben einander liegende Zonen gestatten, welche sämtlich in ihren Axen unter einem Winkel φ zur Stirnmauer gerichtet sind und für die größte Länge des Gewölbes über die Scheitellinie desselben mit hinweg laufen. Die Einwölbung nach einer solchen parallelen Zonenlage würde, wenn die Stützflächen derselben gegen Gleiten gesichert sind und auch sonst der Gleichgewichtszustand der einzelnen Streifen bekundet ist, praktisch ohne Bedenken vorgenommen werden können. Für die theoretische Unterfuchung hat diese Zerlegung den Vortheil, daß dadurch die möglicher Weise eintretende ungünstigste Beanspruchung der Stirnmauer, bezw. Widerlagsmauer in Betracht gezogen wird.

Würden z. B. die Streifen *II* oder *II*₁ bis zur Stirnmauer *ab* erweitert gedacht, so enthält diese Zone einen Theil *II* oder *II*₁ als Haupttheil und den punktirten Theil als Nebentheil. Die gefamnte Zone bildet alsdann ein einhäufiges Gewölbe, dessen Stabilität im Plane *II* unterfucht ist. Hiernach wird der in *x* angreifende Kämpferdruck für die Stirnmauer *ab* als $o i_1$ und der in *h* wirkfame Kämpferdruck für die Widerlagsmauer *ac* als $i_1 \delta$ gefunden. Dieselben schliessen mit den Normalen der zugehörigen Kämpferfugen einen Winkel ein, welcher hier weit kleiner bleibt, als der Reibungswinkel des Materials, so daß eine Gefahr des Abgleitens des Wölbstreifens, d. h. wie ausdrücklich bemerkt werden soll, nach dem Innenraume des Gewölbes zu, nicht vorhanden ist.

Zerlegt man die Kämpferdrücke in ihre wagrechten und lothrechten Seitenkräfte, so kommen für die vorliegende Unterfuchung die wagrechten Seitenkräfte $o k_1$, bezw. $i_1 \delta$ hauptsächlich in Betracht. Beide sind von gleicher Größe; sie messen 1,2 m. Bei einer Zonentiefe von 1 m und bei der zu Grunde gelegten Basis $oz = 2$ m entsprechen dieselben einer Kraft von $1,2 \cdot 2 \cdot 1600 = 3840$ kg und somit für den Streifen von $\frac{1}{2}$ Stein = 0,065 m einer Kraft von $0,065 \cdot 3840 = 249,6$ kg = H_0 .

Diese Kraft H_0 läßt sich am Widerlager *ac* zerlegen in eine Kraft

$$N = H_0 \cdot \cos \varphi,$$

welche senkrecht auf *ac* wirkt, und in eine Seitenkraft

$$T = H_0 \cdot \sin \varphi,$$

welche in der Richtung von *ac* fällt.

Die entsprechend vorgenommene Zerlegung von *H* an der Stirnmauer *ab* ergibt

$$N_0 = H_0 \cdot \sin \varphi \quad \text{und} \quad T_0 = H_0 \cdot \cos \varphi.$$

Da hier der Winkel $\varphi = 45$ Grad genommen war, so wird, weil $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ$ ist, auch $N = T = N_0 = T_0$, und zwar = $H_0 \cdot 0,7071 = 249,6 \cdot 0,7071 = \infty 176,5$ kg.

Hierbei ist nun noch zu bemerken, daß die Kräfte *T* und *T*₀ das Bestreben haben, den Gewölbstreifen längs der Widerlagsfläche zum Gleiten zu bringen. Um dieses Gleiten bei dem noch nicht vollendeten Gewölbe zu verhindern, könnten die Widerlagsflächen für jede Zone rechtwinkelig zur Zonenebene, also in der Gesamtheit fägeförmig ausgeführt werden. Eine solche Anordnung unterbleibt meistens, und es ist alsdann beim Einwölben ein gut und schnell bindender Mörtel zu verwenden. Ist das Gewölbe in allen Schichten am Widerlager angefetzt, so halten sich die in der Richtung von *a* nach *E* und die in entgegengesetzter Richtung von *b* nach *E* beim Schwalbenschwanz-Verband entstehenden Kräfte *T* das Gleichgewicht.

Bei der Berücksichtigung der Preisbarkeit des Wölbmaterials sind, wie früher in Art. 141 (S. 194) schon erwähnt, z. B. für den Streifen *II* die Punkte *x*, *y* und *h* mehr in das Innere der Stirnfläche zu verlegen. Hierdurch entfteht jedoch ein größerer Gewölbschub, welcher nach den gemachten Angaben leicht bestimmt werden kann.

Wäre der Gewölbkörper in den Ecken von *a* und *b*, bezw. von *c* und *d* aus nur bis zu den von der Mitte *e* der Stirnmauer *ab* abzweigenden Streifen *I* und *I*₁ ausgeführt und dann nach befeitigter Unterrüstung sich selbst überlassen, so würde ein Einzelfstreifen von der Beschaffenheit der Wölbfschicht *IV* nach der Unterfuchung im Plane *IV* nur einen wagrechten Schub $ou = 0,4 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0,065$ kg = 83,2 kg liefern. Die Seitenkräfte $W_1 = 83,2 \cdot \cos \varphi$ und $W = 83,2 \cdot \sin \varphi$, d. h. hier $W_1 = W = 83,2 \cdot 0,7071$ kg = $\infty 59$ kg würden in folchem Falle, bei dem die Eckstücke des Gewölbkörpers durch das ganze übrige Gewölbe noch nicht in Mitleidenschaft gekommen sind, für die Widerlagsmauer, bezw. Stirnmauer in Rechnung zu ziehen sein. Sobald aber die Gewölbstreifen in der Richtung von *e* nach γ zu weiter aus-

geführt werden, und namentlich nach Vollendung des Gewölbes wird der ganze Gewölbkörper diese Eckstücke in Anspruch nehmen und beeinflussen.

Denn denkt man sich, das beim geschlossenen Gewölbe die Stirnmauer mit dem bis A reichenden Gewölbkörper seitlich nur wenig ausweichen würde, so das bei A eine Lücke entstände, so würde der Gewölbschub des Streifens bei A sich in seiner Kräfteebene fortzupflanzen streben, d. h. in der Fortsetzung der Richtungsebene der angenommenen und bei der Wölbung innegehaltenen Zonenlage. Hierdurch wird es erklärlich, das, wie die Erfahrung in der Praxis lehrt, kein übermächtig grosser Gewölbschub auch bei erheblich langen Kappengewölben mit Schwalbenschwanz-Verband auf die Stirnmauer gelangt. Der Streifen II liefert innerhalb der Strecke eb der Stirnmauer die Kräfte N_0 , bezw. T_0 . Der zugehörige Streifen II_1 , gehörig erweitert genommen, würde bei dem in Rede stehenden Verbands, entsprechend einer Zonentheilung des Gewölbes parallel zu II_1 , für die Stirnmauer innerhalb der Strecke ea dieselben Kräfte N_0 und T_0 ergeben. Gefellt sich an diesen Stellen noch der Schub W eines antretenden Streifens, z. B. IV , hinzu, so ist die ungünstigste Beanspruchung für die Stirnmauer in eine gewisse Grenze gebracht. Der Rechnung nach wäre alsdann für diese Stelle der ungünstigste Schub gleich

$$N_0 + W = 176,5 + 59 = 235,5 \text{ kg.}$$

In der Mitte e der Stirnmauer wirkt als ungünstigster rechtwinkliger Schub die auf S. 279 ermittelte Kraft $U = 226,24 \text{ kg}$. Setzt man in der angegebenen Weise, der Zonentheilung gemäss, die Unterfuchung der einzelnen Wölbstreifen fort, so gelangt man in bE zu einem Wölbstreifen von grösster Spannweite. Derselbe tritt nun aber als symmetrisch geformtes und symmetrisch belastetes kleines Gewölbe mit elliptischer Wölblinie auf. Die statische Unterfuchung dieses Streifens ist im Plane V vorgenommen. Man erhält hiernach den möglichst kleinsten, jetzt wagrecht gerichteten Gewölbschub $oE = H_{,,}$ zu

$$1,55 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0,065 \text{ kg} = 322,4 \text{ kg.}$$

Die fenkrecht zur Widerlagsmauer ac , bezw. bd gerichtete Seitenkraft derselben ist $N_{,,} = T_{,,} = 322,4 \cdot \cos \varphi = 322,4 \cdot 0,7071 = \infty 228 \text{ kg}$, und ihre rechtwinkelig zur Stirnmauer gerichtete Seitenkraft ist $N_{,,} = 322,4 \cdot \sin \varphi = 322,4 \cdot 0,7071 = \infty 228 \text{ kg}$, deren Grösse hier auch für die in ac fallende Seitenkraft $T_{,,} = 322,4 \cdot \sin \varphi = \infty 228 \text{ kg}$ massgebend wird.

Für alle bis zu dem durch c parallel mit bE geführten Streifen bleibt beim ganz geschlossenen Gewölbe derselbe Gewölbschub $H_{,,}$, während von hier ab für die Stirnmauer cd dieselbe Unterfuchung wieder eintritt, welche für die Stirnmauer ab vorgenommen wurde. Sollte in der Nähe des Scheitels γ eine Oeffnung verbleiben, so ist anzunehmen, das die Streifen, welche diese Oeffnung begrenzen und sich wiederum gegen die vorhandenen Gewölbstücke legen, ihren Gewölbschub durch dieselben auf die Widerlager übertragen. Da für diese Grenzstreifen, wenn sich dieselben nicht etwa, wie bei ganz kurzen Gewölben der Fall sein würde, gegen die Stirnmauern mit legen, derselbe Gewölbschub wie für einen ganzen Zonenstreifen bE auftritt, so erleidet die Bestimmung der Widerlagsstärke für ac , bezw. umgekehrt für bd auch bei einer solchen Oeffnung im Allgemeinen keine wesentliche Aenderung; denn würde hinter jeder Ecke eines solchen Streifens eine Lücke sein, so würde der Gewölbschub das Bestreben haben, sich in seiner Kräfteebene fortzusetzen, bis der widerstehende Mauerkörper ac , bezw. bd getroffen wird. Dies gilt für die in der Richtung bE genommenen Zonen eben so gut, wie für die in einer Richtung aE gewählten Zonen.

Wollte man aber auch die kleinen Grenzstreifen der Oeffnung, der Weite dieser Oeffnung entsprechend, als kleine einhäufige Gewölbe behandeln, so würde die wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes derselben weit kleiner ausfallen, als die wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes eines Zonenstreifens von der Eigenschaft des Streifens bE , bezw. aE , so das die für letzteren Streifen erforderliche Widerlagsstärke vollauf auch für jene einhäufigen Oeffnungsstreifen und deren Nachbarstreifen genügt.

Für einen Hauptstreifen bE ist noch derjenige wagrechte Gewölbschub $E_1o = H_{,,}$ im Plane V ermittelt, welcher einer Mittellinie des Druckes angehört, die durch die Mittelpunkte der angenommenen Scheitelfuge und der Kämpferfuge geht.

Es ist selbstredend, das für die sichere Standfähigkeit der Widerlagsmauern dieser grössere Gewölbschub, wie in Art. 142 (S. 197) für das Tonnengewölbe angegeben, Berücksichtigung finden soll.

Vergleicht man die gewonnenen Ergebnisse der Rechnung, so zeigt sich, das die auf die Stirnmauer kommenden wagrechten und rechtwinkelig dazu gerichteten Gewölbschübe $U, N_0 + W$ und $N_{,,}$ nur ganz wenig von einander abweichen und das die Grösse derselben auch mit den auf die Widerlagsmauer gelangenden rechtwinkelig und wagrecht gerichteten Schüben $N_{,,}$ der Wölbstreifen bei der Zonentheilung oder Schichtenlage unter einem Winkel $\varphi = 45$ Grad in guter Uebereinstimmung steht. Hierdurch ergibt sich auch eine Bestätigung der in der Praxis bekannten und befolgten Regel, wonach bei der An-

wendung des Schwalbenschwanz-Verbandes bei Kappengewölben unter Verwendung eines Richtungswinkels $\varphi = 45$ Grad im Allgemeinen die Stärke der Stirnmauern gleich der Stärke der Widerlagsmauern anzuordnen ist.

Soll die Scheitellinie des Kappengewölbes mit dem bezeichneten Verbande nicht wagrecht, sondern unter Hebung des Mittelpunktes der Scheitellinie als gebrochene gerade Linie mit Stich oder als flach gekrümmte Linie (Kreisbogen mit großem Halbmesser) genommen werden, so wird am Grundzuge der Stabilitätsuntersuchung nichts geändert.

Wohl aber ergeben sich bei einer derartigen Anordnung einige Vortheile in Bezug auf die Abnahme der Größe der Gewölbschübe. Durch das Höherlegen der Scheitellinie bis zum Mittelpunkte derselben erhalten die einzelnen Wölbstreifen nach und nach eine größere Pfeilhöhe, und da die Gewichte der Streifen sich in nennenswerther Weise nicht ändern, so wird der Wölb Schub im Großen und Ganzen kleiner, als bei wagrechter Lage der Scheitellinie. Dadurch wird im Allgemeinen eine geringere Stärke der Widerlagsmauern, bezw. der Stirnmauern des Gewölbes bedingt.

Sind die parallelen Seitenebenen der Wölbstreifen nicht lothrecht, sondern geneigt, so tritt die im Vorhergegangenen erörterte Beeinflussung der Gewölbstücke an den Ecken des Raumes erst recht ein, ohne aber, da diese Neigung aus praktischen Gründen immer nur äußerst geringfügig genommen werden kann, die früher ermittelte Größe der einzelnen Gewölbschübe wesentlich zu beeinträchtigen. Denn

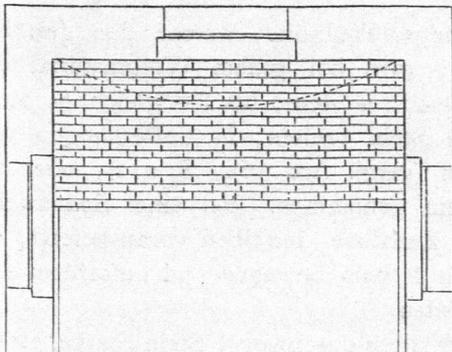
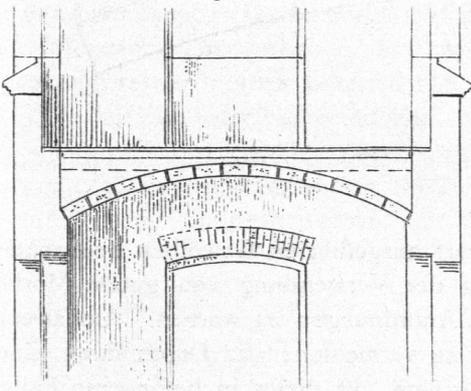
bei der Bestimmung derselben ist, wie aus dem Plane II von Fig. 366 im Besonderen schon hervorgeht, bereits durch Anordnung geneigter Fugenrichtungen die Bestimmung der Mittellinie des Druckes und des dazu gehörigen Gewölbschubes berücksichtigt.

Müssen bei diesen Gewölben Verankerungen der Widerlager eintreten, so gilt hierfür dasselbe wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

Die Stirnmauern sollen niemals so schwach hergerichtet werden, daß dieselben einer Verankerung bedürfen. Würden dieselben unter besonderen Umständen eine nicht ausreichende Stärke erhalten müssen, so ist von der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband Abstand zu nehmen.

Beim sog. *Möller'schen* Verbande (Fig. 368) liegen sämtliche Wölbzonen parallel mit der Stirnmauer. Die einzelnen Backsteine sind auf die hohe Kante gestellt, so daß die Dicke derselben parallel zur Gewölbaxe ist. Jede Gewölbzone bildet ein kleines Kappengewölbe für sich, welches

Fig. 368.



182.
Kappengewölbe
mit
Stich.

183.
Kappengewölbe
mit
Möller'schem
Verband.

feine Stütze an den eigentlichen Widerlagsmauern findet. Die Stabilitätsuntersuchung dieser Wölbzonen erfolgt in gleicher Weise, wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

184.
Kappengewölbe
mit
zunehmender
Wölbdicke.

Soll ein Kappengewölbe nach dem Widerlager zu eine gröfsere Stärke als im Scheitel erhalten, so muß, wie schon in Art. 124 (S. 147) bemerkt ist, die Zunahme folcher Stärke stetig eintreten, wie in Fig. 370, und nicht, wie in Fig. 369, im plötzlich gebildeten Anfätze *b* erfolgen. Wie die statische Untersuchung (Fig. 371) zeigt, wird bei dieser Anordnung für den schwächeren Theil in der Mitte des Gewölbes ein ungünstiger Verlauf der Drucklinie herbeigeführt. Bei *k* zeigt sich eine Bruchfuge; der mittlere Theil fenkt sich dann leicht und nimmt eine neue Lage *aik* an, womit eine Ausbauchung des Gewölbes in der Nähe von *fg*, bezw. *k* verknüpft ist.

Fig. 369.

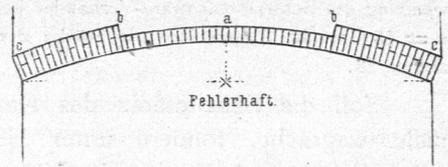


Fig. 370.

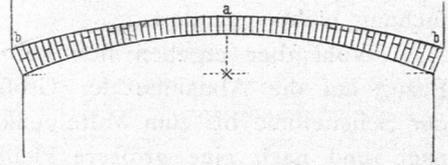
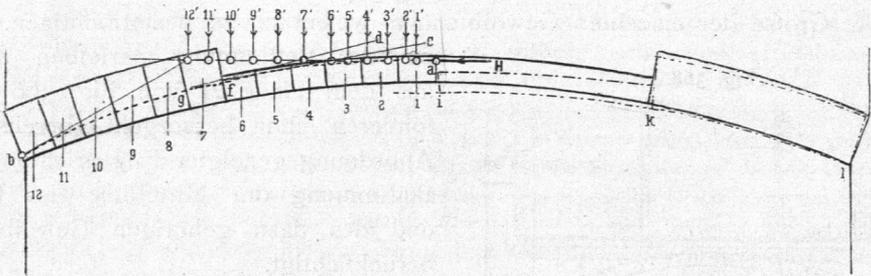


Fig. 371.



Diese Erscheinungen sind thatfächlich bei derart ausgeführten Gewölben beobachtet, die zum Theile nach ihrer Ausrüstung, trotz der Verwendung von gutem Mörtel, eingestürzt sind. Es ist geboten, vor folchen Anordnungen zu warnen. Am zweckmässigsten ist, um ein Verhauen der Steine zu vermeiden, das Durchführen einer gleichen Stärke vom Scheitel bis zur Widerlagsfuge. Ist dieses in besonderen Fällen bei einer im Scheitel beschränkten Constructionshöhe nicht möglich, so muß durch entsprechendes Verhauen der Wölbsteine am Gewölbrücken die Stetigkeit der Zunahme der Gewölbstärke herbeigeführt werden.

185.
Empirische
Regeln
für die
Wölb- und
Widerlags-
stärke.

Bei Kappengewölben, mit nicht zu geringer Pfeilhöhe, welche den gewöhnlichen mittleren Belastungen ausgesetzt sind, wird bei gutem Wölbmaterial die Gewölbstärke für Spannweiten bis zu 2,5 m gleich $\frac{1}{2}$ Stein, bis 3 m gleich $\frac{1}{2}$ Stein und behaftet mit 1 Stein starken, 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stein breiten, in Entfernungen von 1,5 bis 2,5 m angebrachten Verstärkungsurten (vergl. Art. 162, S. 212), oder bei grösseren Belastungen durchweg gleich 1 Stein genommen. Bei einer Spannweite von 4 m kann die Gewölbstärke, eine stetige Zunahme derselben vorausgesetzt, im Scheitel gleich $\frac{1}{2}$ Stein, am Widerlager gleich 1 Stein betragen und ausserdem das Gewölbe mit Verstärkungsurten versehen werden.

Kappengewölbe bis zu 5 m Spannweite erhalten durchweg 1 Stein Stärke, unter

Umständen, namentlich bei sehr langen Gewölbzügen, Verstärkungsurte oder auch 1 Stein Stärke im Scheitel und $1\frac{1}{2}$ Stein am Widerlager in stetiger Zunahme.

Sind die Widerlager der Kappengewölbe nicht besonders zu verankern, ist ihre Höhe nicht erheblich über der Rückenlinie des Gewölbes abgegrenzt, so nimmt man die Stärke derselben zu $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ der Spannweite an.

c) Ausführung der Kappengewölbe.

Als Wölbmaterial für Kappengewölbe wird hauptsächlich Backstein benutzt. Nur in Gegenden, in welchen dünne, lagerhafte und gute Bruchsteine billiger beschafft werden können, werden diese in Verwendung genommen. Außerdem werden hier und dort statt der Backsteine auch andere künstliche Bausteine, deren Gestalt im Allgemeinen derjenigen der Backsteine entspricht, mit Vortheil als Wölbsteine gebraucht.

Soll das Gewicht der Kappengewölbe möglichst gering werden, so verwendet man in besonderen Fällen Hohlziegel oder Lochsteine, unter Umständen auch die porösen Steine, Schwemmsteine u. dergl. Diese Materialien müssen aber stets eine genügende Festigkeit gegen Druck besitzen.

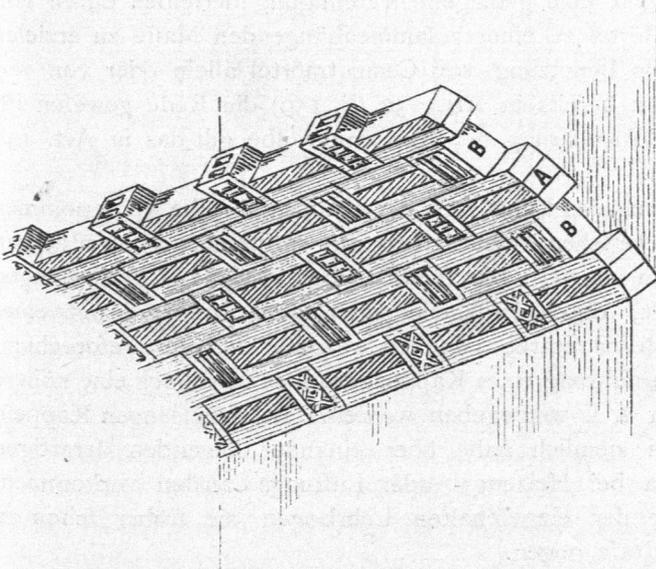
In architektonischer Beziehung erscheint das Kappengewölbe mehr als eigentliche Nützlichkeits-Construction, so dass dasselbe im Vergleich mit den übrigen Gewölbformen, welche einer weiteren künstlerischen Durchbildung fähig sind, in den Hintergrund tritt. Das Kappengewölbe nähert sich mehr einer flachen, wagrechten Decke von mäfsiger Breitenabmessung, tritt dem entsprechend in die Erscheinung und erhält danach eine ähnliche Behandlung.

Je nach dem Verbands, welcher bei der Mauerung der Kappengewölbe in Anwendung gebracht wird, unterscheidet man

- 1) Kappengewölbe auf Kuf,
- 2) Kappengewölbe mit Schwalbenschwanz-Verband und
- 3) Kappengewölbe mit *Moller'schem* Verband.

Bei den Kappengewölben auf Kuf gemauert gelten genau dieselben Regeln,

Fig. 372.



welche bezüglich der Mauerung der Tonnengewölbe in Art. 149 (S. 218) mitgetheilt sind. Hier möge noch bemerkt werden, dass die Ausführung von gewöhnlichen Kappengewölben in zwei oder mehr flach über einander liegenden Ringschichten weniger gebräuchlich ist.

Soll bei Kappengewölben die Laibungsfläche frei, ohne Putz, in farbigem und noch besonders geschmücktem

186.
Allgemeines.

187.
Mauerung
der Kappen-
gewölbe.

Backsteinmauerwerk gelassen werden, so kann, entsprechend dem Verbande auf Kuf, eine reicher gestaltete, häufiger ausgeführte Anordnung nach Fig. 372 getroffen werden. Hierbei sind grössere Wölbsteine *B* gleichsam als Binder eingefügt, zwischen welchen die Läuferfichten *A* auftreten.

Die Kappengewölbe mit Schwalbenschwanz-Verband erhalten die bereits in Fig. 366 (S. 278) im Allgemeinen angegebene Schichtenbildung, so dass jede derselben ein schmales Kappengewölbe für sich ist, welches in seinen Lagerfugenflächen so zu behandeln ist, dass dieselben senkrecht zur Wölblinie und senkrecht zur Stirnfläche der zugehörigen Zone stehen.

Die besondere Ausführungsweise dieser Zonen wird noch weiter besprochen werden.

Kappengewölbe mit *Moller'schem* Verbande bestehen, wie vorher in Art. 183 (S. 285) bemerkt wurde, aus einer Schar parallel zur Stirnmauer und neben einander liegender selbständiger Wölbzonen, deren Tiefe gleich der Dicke eines Backsteines, deren Axe mit der Gewölbaxe zusammenfällt und deren Leitlinie sich mit der Leitlinie des Kappengewölbes deckt. Die Lagerfugenflächen der ungeraden Anzahl symmetrisch zum Schlusssteine der Zone geordneten Wölbsteine stehen senkrecht zur Stirn und zur Laibungsfläche dieses dünnen Wölbstreifens.

188.
Mörtel.

Bei den an und für sich nicht sehr starken und ausserdem immerhin flachen Kappengewölben, gleichgiltig welcher Verband dabei Verwendung findet, ist die innige Verkittung der einzelnen Wölbsteine, bzw. der einzelnen Wölbcharen und Wölbzonen durch guten und möglichst schnell bindenden Mörtel für einen dauernden Bestand des Gewölbes von hervorragender Bedeutung, und zwar selbst dann, wenn die statischen Untersuchungen den Gleichgewichtszustand desselben als gesichert nachweisen. Bei einem mangelhaften Verbinden der Wölbsteine durch Mörtel oder bei Verwendung eines minder guten Bindemittels werden leicht durch oft nur geringfügige, einseitig das Gewölbe treffende Belastungen Verdrückungen und Formveränderungen zum Nachtheile des ganzen Gewölbes oder einzelner Stücke desselben veranlasst.

Als Regel muss gelten, dass neben der Beobachtung eines richtigen Verbandes der Wölbsteine vor allen Dingen eine gediegene Vereinigung derselben durch vorzüglichen, schnell bindenden Mörtel zu einer zusammenhängenden Masse zu erzielen ist. Vielfach empfiehlt sich die Benutzung von Cementmörtel allein oder von verlängertem Cementmörtel, wovon bereits in Art. 150 (S. 159) die Rede gewesen ist.

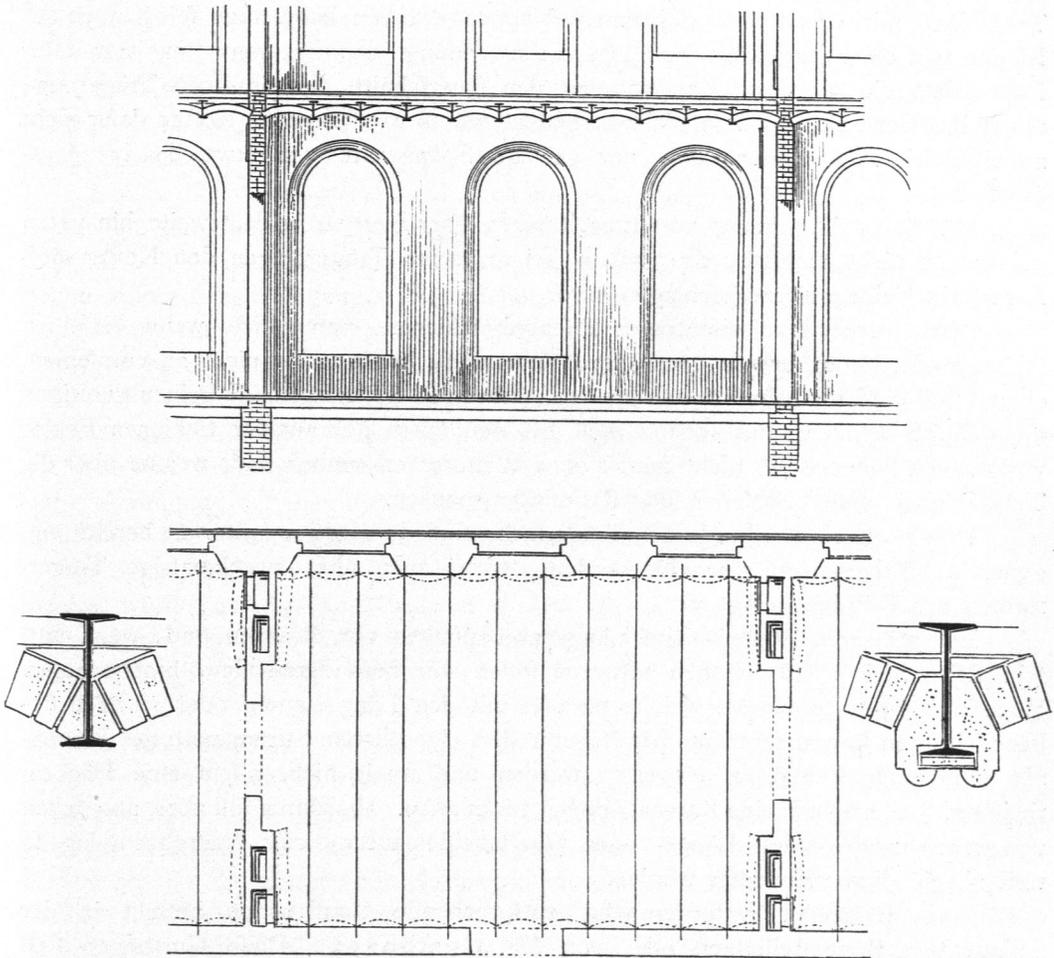
Hinsichtlich der Zeit der Ausführung der Kappengewölbe gilt das in Art. 151 (S. 219) Gefagte gleichfalls.

189.
Rüftungen.

Die Rüftungen, auf welchen das Einwölben der Kappengewölbe vorgenommen wird, sind äusserst einfach. Sie bestehen wesentlich nur aus entsprechend unterstützten, aus 30 bis 35 mm starken Bohlen angefertigten Wölbsteiben, welche in Entfernungen von 1,0 m bis 1,3 m aufgestellt, durch Holzkeile unterlagert sind und mit einer Bretterchalung von 30 bis 35 mm Stärke versehen werden. Bei der Besprechung der gesammten Anlage und Ausführung eines Kappengewölbes wird noch eine nähere Beschreibung dieser Lehrbogen u. f. w. gegeben werden. Bei sehr langen Kappengewölben oder auch bei zwei ziemlich nahe über einander liegenden derartigen Gewölben, wie dieselben etwa bei Heizungs- oder Lüftungs-Canälen vorkommen, benutzt man vortheilhaft statt der eingeschalteten Lehrbogen die früher schon in Art. 160 (S. 230) erwähnten Rutfchbogen.

Die Einwölbung der Kappengewölbe ist unter Beobachtung der in Art. 149 (S. 218) für Tonnengewölbe gegebenen Vorschriften im Allgemeinen in gleicher Weise vorzunehmen. Auf eine sorgfältige Ausmauerung der Gewölbezwickel oder eine gute Ausfüllung derselben mit Beton ist besonders Bedacht zu lenken. Auch für die Zeit der Ausrüstung gilt hier vollständig das in Art. 158 (S. 228) Gefagte.

Fig. 373.



Für die Spannweite der Kappengewölbe sind mäßige Abmessungen bedingt. Dieselben bewegen sich in Weiten von 0,5 bis höchstens 5,0 m. Beim Ueberschreiten der Spannweite von 5,0 m geht der Nutzen, welchen sonst die flachen Kappengewölbe wegen ihrer geringen Constructionshöhe zu bieten vermögen, mehr oder weniger verloren.

Im Allgemeinen ist für Kappengewölbe durchschnittlich eine Spannweite von 2,5 bis 3,5 m üblich, welche ab und an auf 4,0 m gesteigert werden kann.

Bei Räumen, deren Breite diesen durchschnittlich gegebenen Spannweiten entspricht, welche aber sonst eine beliebige Länge aufweisen, kann zur Bildung der Decke ein einziger Gewölbezug als Kappengewölbe dienen.

Häufig und nicht ohne Vortheil für die Sicherheit des Gewölbekörpers werden

aber auch Räume von mehr oder minder großer Länge und einer Breite, entsprechend der Durchschniteweite der Kappen, mit neben einander liegenden schmalen Kappengewölben überdeckt, deren Gewölbaxen rechtwinkelig zu den Längsmauern des Raumes gerichtet sind. Bei dieser Gliederung der Decke (Fig. 373) stützen sich die einzelnen Gewölbjoche gemeinschaftlich gegen einen eisernen Walzträger in I-Form, dessen Endauflager in den Längsmauern geboten wird, während sich die erste und letzte Kappe gegen die seitlichen kurzen Umfangsmauern legen. Eine derartige Trägerlage mit dazwischen gespannten Kappengewölben kann auch selbst noch für Räume von einer Breite bis zu 8,0 m in Anwendung kommen, wenn man nur dafür sorgt, daß die einzelnen Kappen, um den Querschnitt der einzelnen Träger und damit das Gewicht derselben nicht zu bedeutend, so wie ferner die Kosten dafür nicht zu erheblich zu gestalten, eine nur geringe Spannweite von etwa 0,8 bis 1,0 m erhalten.

Mit dieser Anordnung von Einzelträgern über 8,0 m freie Stützweite hinaus zu gehen, ist nicht rätlich, da alsdann bei größeren Trägerlängen den Kosten derselben ein Ueberpreis zugeschlagen wird.

Statt solcher Walzeisenträger Eisenbahnschienen, namentlich wenn dieselben schon im Betriebe gewesen sind, zu verwenden, ist durchaus nicht zu empfehlen, einmal weil die Eisenbahnschienen für den Anfaß der Widerlagssteine keinen günstigen Querschnitt besitzen, und sodann weil bei den schon gebrauchten Schienen Fehler vorkommen können, die nicht immer ohne Weiteres erkennbar sind, welche aber die Tragfähigkeit dieser Schienen höchst unsicher machen.

Ueber die Auswölbung der Trägerfäche sind in Kap. 4 (unter a) bereits eingehende Mittheilungen gemacht worden, wobei auch über zweckmäßige Trägerformen das Nöthige gefagt ist.

Bei größeren Breiten- und Längenabmessungen von Räumen sind, wenn ausschließlich Stein-Constructionen auftreten sollen, die besonderen Gewölbjoche gegen Widerlagskörper zu führen, welche parallel mit den Längsmauern oder je nach der beabsichtigten Raumbenutzung parallel mit den eigentlichen Stirnmauern des Raumes als selbständige Baukörper eingefügt werden und somit nicht allein eine Deckentheilung, sondern auch eine Raumzerlegung veranlassen. Hierdurch soll aber, abgesehen von etwa anzulegenden Längs- oder Querscheidemauern, eine Raumbengung so weit als möglich vermieden werden.

192.
Gurtbogen.
Eine derartigen Anforderungen entsprechende Construction besteht in der Anlage von Bogenstellungen oder von sog. Gurtbogen. Diese Gurtbogen sind schmale Tonnengewölbe, bezw. Flachbogengewölbe, welche sich gegen einen gemeinschaftlichen Pfeiler, Gurtbogenpfeiler genannt, stützen und an ihrem Vor- und Rückhaupt die Widerlagsflächen als »Falze« für die antretenden Kämpfer der aufzunehmenden beiden seitlich gelegenen Gewölbjoche oder Kappen enthalten.

Die Wöblinie der Gurtbogen kann als Halbkreis, gedrückte oder überhöhte Ellipse, gedrückter oder überhöhter Korbbogen oder sehr zweckmäßig als Parabel gewählt werden.

Wird ein Flachbogen als Wöblinie genommen, so giebt man demselben ein Pfeilverhältniß von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, feltener von $\frac{1}{6}$, letzteres nur, wenn die Gurtbogen die Kappen allein zu tragen haben. Wohl ist aber beim Flachbogen der ihm zukommende oft nicht unbedeutende Gewölbschub zu beachten, welcher Veranlassung

geben kann, auf die Benutzung desselben als Wölblinie für die Gurtbogen bei gewissen Verhältnissen zu verzichten. Die Spannweite der Gurtbogen wird zweckmäÙig etwa zu 4,0 m genommen.

Die Breite oder Tiefe derselben beträgt gewöhnlich 1½ bis 2 Steinlängen. Gurtbogen nur 1 Stein breit zu nehmen ist verwerflich, weil dieselben durch den anretenden Gewölbschub bei ungleicher Belastung der von ihnen getragenen Kappengewölbe leicht verdreht werden können und weil dieselben durch das eingeschnittene Widerlager für die Kappen zu sehr geschwächt werden.

Müssen Gurtbogen auÙer ihrer Hauptaufgabe, die Kappengewölbe zu stützen, noch als Tragbogen für Scheidemauern der darüber befindlichen Obergeschosse eines Bauwerkes dienen, so wird ihre Breite schon hiervon abhängig und oft bedeutender als 2 Steinlängen.

Die Stärke der Gurtbogen ist nach ihrer Belastung zu bestimmen. Haben dieselben nur die beiden zusammengehörigen Gewölbe zu tragen, so kommt, wenn diese Gewölbe gleiche Spannweite und gleiche Ueberlast aufweisen, für jeden Gurtbogen auÙer seinem Eigengewicht offenbar noch das Gewicht eines Gewölbes von einer Länge gleich der Länge des Gurtbogens in Betracht. Die von den Kappengewölben herrührenden Kämpferdrücke besitzen wagrechte Seitenkräfte, die Gewölbschübe, welche unter der gemachten Voraussetzung von gleicher GröÙe und gegen einander gerichtet sind, also sich aufheben. Ruhen noch auÙerdem Obermauern mit den von ihnen gestützten Balkenlagen u. f. f. auf den Gurtbogen, so ist unter Berücksichtigung der hieraus entspringenden Belastungen die Stärke derselben zu ermitteln. Die Stabilitätsuntersuchung ist entsprechend dem in Art. 143 (S. 197) Gefagten zu führen, wobei, falls ein Gurtbogen etwa auch noch durch Einzelgewichte belastet würde, auf die Ausführungen in Art. 144 (S. 205) Rücksicht zu nehmen ist. Für die gewöhnlichen Fälle wird die Stärke der Gurtbogen zu 1½ bis 2, bzw. 2½ Steinlängen gewählt.

Sind die Gurtbogen als ein einzelner Bogen oder als Bogenstellung parallel mit der schmalen Seite des Raumes anzulegen, so sind bei gröÙerer Länge des Raumes in Entfernungen von 2,5 bis 3,5 m und unter besonderen Verhältnissen bis höchstens etwa 4,0 m parallel gestellte Gurtbogenzüge auszuführen. ZweckmäÙig erhalten dieselben an den Umfangsmauern oder Scheidemauern, welche nun als Widerlager für die anretenden Gurtbogen mit dienen müssen, noch besondere Wandpfeiler, sog. Vorlagen, um nicht von vornherein jenen den Raum begrenzenden Mauern ihrer ganzen Länge nach eine solche Stärke geben zu müssen, wie solche der Gewölbschub der angelegten Gurtbogen erforderlich macht.

In der Bildung dieser Vorlagen liegt ein wesentlicher Nutzen für die Bemessung der Stärke der Umfangsmauern des mit Kappengewölben zu überdeckenden Raumes, da, sobald diese Mauern thunlichst von der Stärke des Mauerkörpers, welcher als Widerlager für die Gurtbogen vorhanden sein muÙ, zwischen den Gurtbogenfeldern befreit sind, für diese Baukörper eine wesentlich geringere Stärke genommen werden kann.

In Fig. 374 ist die Anlage von Kappengewölben mit sog. vorgezogenen Gurtbogen dargestellt. Die zwischen den vorspringenden Vorlagen der Gurtbogen vorhandenen Umfangsmauern treten nur als Schildmauern der Kappengewölbe auf, können also, namentlich wenn die Kappen auf Kuf oder nach dem *Moller'schen* Verbands eingewölbt sind, eine nur mäÙige Stärke erhalten und durch Licht- oder

Thüröffnungen in ausgiebigster Weise geöffnet behandelt werden.

Selbstverständlich ist die Theilung für die Gurtbogen der Axenlage des Raumes, bezw. des ganzen Bauwerkes entsprechend zu nehmen.

Dafs unter Umständen, wie auch in Fig. 374 angedeutet ist, die Vorlagen der Gurtbogen, selbst bei genügend weitem Vorsprunge und bei geeignet gewählter Wölblinie der Gurtbogen, mit Oeffnungen versehen werden können, ist für die Benutzung des

Raumes nicht ohne Bedeutung. In derartigen Fällen empfiehlt sich in erster Reihe die Verwendung einer Parabel, deren Pfeilhöhe gleich oder gröfser als ihre halbe Spannweite ist, als Wölblinie für die Gurtbogen, weil hierbei der Kämpferdruck derselben in günstiger Weise nach ihrem unmittelbar unter dem Fußboden des Raumes befindlichen Widerlagsmauerwerk geleitet wird. Bei Flachbogen liegt der Kämpferdruck höher, wirkt also ungünstiger auf die Vorlagen ein. Bei einem Halbkreise, einem elliptischen Bogen oder einem Korbbogen wird die Beanspruchung des Wölbmaterials im Allgemeinen ebenfalls ungünstiger, als beim Parabelbogen mit dem bereits angegebenen Pfeilverhältnisse.

Sind aus bestimmten Gründen, wie z. B. bei Kellern, die Umfangsmauern der mit Kappengewölben zu überdeckenden Räume an und für sich schon in so

bedeutender Stärke auszuführen, dafs dieselben durch den Gewölbchub der Gurtbogen nicht in ihrer Stabilität geschädigt werden, so können die Gurtbogen, ohne mit Vorlagen versehen zu sein, aus den Umfangsmauern hervorzuwachsen. Dann ist auch die vorhin angedeutete Vorsicht hinsichtlich der Wahl der Wölblinie für die Gurtbogen von geringerer Bedeutung. In Fig. 375 ist für einen derartigen Gurtbogenansatz ein Halbkreis- und ein Parabelbogen als Wöblinie angenommen, für welche die innere lothrechte Begrenzungslinie der Seitenmauer als Berührungslinie in den Berührungspunkten *a*, bezw. *d* auftritt. Bei solchen Anlagen sind die Anfänger der Gurtbogen immer gleich bei der Aufmauerung des Mauerwerkes der Umfangsmauern wie bei *ac*, bezw. bei *def* in wagrechten Schichten vorgekragt mit auszuführen. Hierbei ist ein regelrechter

Fig. 374.

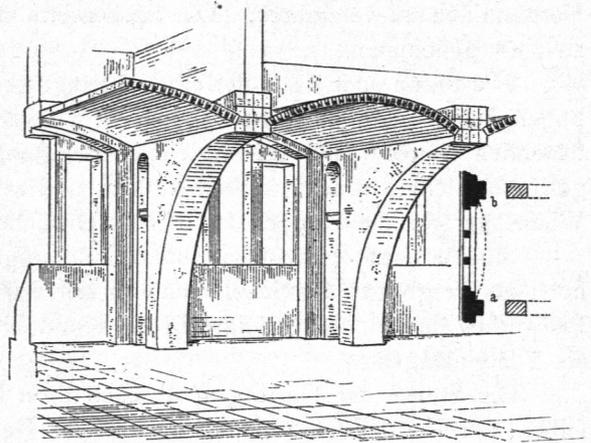
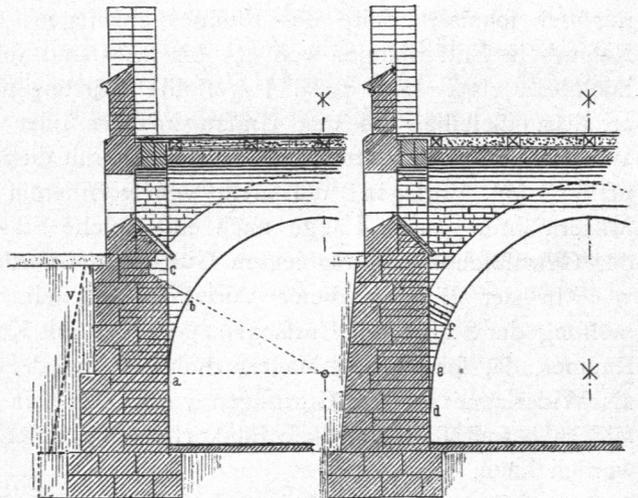


Fig. 375.



in wagrechten Schichten vorgekragt mit auszuführen. Hierbei ist ein regelrechter

Verband dieser Anfänger mit dem eigentlichen Mauerkörper unter Verwendung eines tadellosen Mörtels, zweckmäfsig des verlängerten Cementmörtels, innezuhalten.

Im Allgemeinen beträgt bei den gewöhnlichen Anlagen die Stärke der Widerlager der Gurtbogen, je nach ihrer Belastung, $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{5}$ ihrer Spannweite.

Hier möge noch bemerkt werden, dafs für stark belastete Gurtbogen mit einem Halbkreise als Wölblinie bei unzureichender Stärke der Umfangsmauer der Kellergefchoffe auch die nöthige Widerlagsstärke für die Gurtbogen durch nach aufsen vorgelegte Strebepfeiler *v*, deren Breite der Tiefe der Gurtbogen mindestens gleich wird, zu schaffen ist, eine Anordnung, welche bei der Parabel als Wölblinie feltener nöthig wird.

194.
Strebepfeiler.

Ist für Gurtbogen in besonderen Fällen ein kräftiges Widerlager durch Vorlagen, bzw. durch Strebepfeiler hinter den Umfangsmauern nicht zu schaffen, erscheinen auch die Umfangsmauern, gegen welche sich die Gurtbogen legen, hinsichtlich ihrer Stärke nicht genügend sicher, so hat man keine Zuflucht zu Verankerungen der Gurtbogen zu nehmen. Hierbei ist aber stets die grösste Vorsicht geboten. Namentlich sind die Zuganker dann so tief zu legen, dafs dieselben durch die Kämpfer der Gurtbogen gehen, um hierdurch den Gewölbfschub derselben möglichst vollständig abzufangen. Ausserdem sind reichlich grofs bemessene Ankerplatten zu verwenden. Im Uebrigen kann in dieser Beziehung auf das in Art. 178 (S. 268) Vorgetragene hingewiesen werden.

195.
Verankerungen.

Bedingt eine Grundrifsbildung das Durchkreuzen von zwei Gurtbogen, bzw. Gurtbogenzügen, so darf ein kreuzender Gurtbogen niemals ein Widerlager an den Häuptern des anderen Gurtbogens finden. Vielmehr müssen diese Gurtbogen eine gemeinschaftliche Fussfläche und einen gemeinschaftlichen Stützkörper erhalten.

196.
Kreuzung
von
Gurtbogen.

Der an den Häuptern der Gurtbogen einzufügende Falz für das Widerlager der Kappengewölbe folgt in seiner unteren Begrenzungslinie genau der Kämpferlinie der Kappengewölbe. Dieselbe soll für alle Kappengewölbe zwischen Gurtbogen bei einer und derselben Raumdecke in einer wagrechten Ebene liegen, damit eine möglichst günstige Beanspruchung der Gurtbogen durch den Schub der Kappen eintritt. Ausserdem sollen die Spannweiten und Pfeilverhältnisse für die Kappengewölbe zwischen den Gurtbogen thunlichst gleich sein, weil bei grösserer Abweichung in diesen Abmessungen der benachbarten Kappen der Gurtbogen eben so ungünstig beansprucht wird, wie das im Art. 147 (S. 213) besprochene gemeinschaftliche Widerlager von zwei Tonnengewölben mit verschiedener Spannweite. Die Kämpferlinie der Kappengewölbe liegt mindestens 10 cm, besser 12 cm über dem Scheitel des Gurtbogens, da bei einer tieferen Lage derselben leicht ein Abdrücken der Scheitelsteine des Bogens unterhalb des Falzes möglich wird.

197.
Falze.

Die schräg aufsteigende Fläche des Falzes richtet sich in ihrer Neigung nach der Richtung der Kämpferfuge der Kappengewölbe.

Da die Stärke des Gurtbogens in den meisten Fällen nicht so grofs ist, dafs das Widerlager der Kappen, also auch der Falz hierfür in der ganzen Stirnfläche der Gurtbogen verbleiben kann, so mufs eine sorgfame Ausmauerung der Zwickel der Gurtbogen oberhalb der Rückenfläche derselben, wie auch aus Fig. 375 zu ersehen ist, stattfinden. Diese Ausmauerung nimmt dann die Fortsetzung des Falzes mit auf.

Der gefamnte an beiden Hauptflächen des Gurtbogens vorkommende Falz wird in der Regel gleich bei der Wölbung des Bogens durch entsprechend zu-

gehauene Wölbsteine mit ausgeführt. Soll dagegen der Falz später eingehauen werden, so muß diese Arbeit erst nach möglichst vollständigem Abbinden und Erhärten der Mörtelbänder des Bogens vorgenommen werden. Eben so ist die Einwölbung der Kappen zwischen den Gurtbogen erst dann zweckmäßig in Angriff zu nehmen, sobald die Gurtbogen kräftig im Mörtel abgebunden sind.

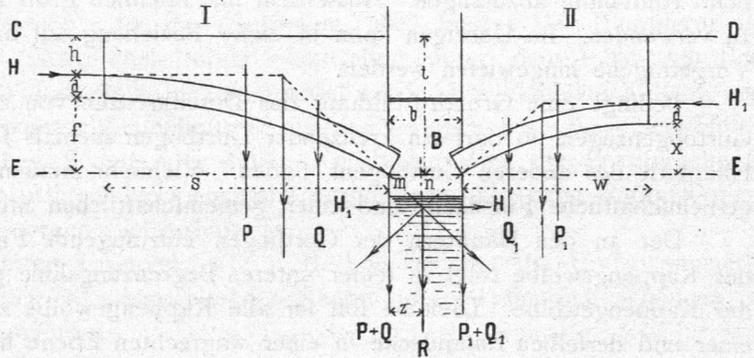
Müssen die Gurtbogen parallel mit der Längsmauer des Raumes angelegt werden, so gilt dasselbe, was vorhin über die parallel zur schmalen Seite des Raumes gestellten Gurtbogen mitgeteilt ist.

198.
Kappengewölbe
mit
ungleicher
Spannweite.

Kann die erwähnte günstige Beanspruchung der Gurtbogen bei einer ungleichen Spannweite der von einem gemeinschaftlichen Gurtbogen aufzunehmenden Kappengewölbe bei gegebenen besonderen Verhältnissen eine Beeinflussung erfahren, welche nachteilig für den Gurtbogen werden müßte, so darf, um diese Einflüsse thunlichst zu beseitigen, das Feststellen der zweckmäßigen Pfeilhöhen der beiden verschieden weit gespannten Kappen nicht unterlassen werden. In dieser Beziehung begegnet man in der Praxis des Hochbauwesens bei derartigen Anlagen von Kappengewölben noch manchen Willkürlichkeiten, die einzuführen sind.

In Fig. 376 sei *I* ein halbes Kappengewölbe mit der Spannweite $2s$, der Pfeilhöhe f , der Wölbstärke d und der auf Wölbmaterial zurückgeführten, oben wagrecht abgeglichenen Ueberlast von der Höhe h . Die Größe

Fig. 376.



des möglichst kleinsten Gewölbschubes H ist nach Gleichung 179 (S. 264) mit

$$H = \frac{s^2}{12(f + d)} [6(d + h) + f]$$

zu berechnen.

Tritt mit diesem Gewölbe das zur Hälfte gezeichnete Kappengewölbe *II* mit der Spannweite $2w$ an einen gemeinschaftlichen Gurtbogen *B*, so ist zunächst zu beachten, daß die Kämpferlinien beider Gewölbe in einer und derselben wagrechten Ebene liegen, daß sodann, den Anforderungen des Hochbauwesens meistens entsprechend, die Gewölbe eine gleiche Stärke erhalten und so übermauert oder mit Beton, bzw. Sandschüttung überlagert werden, daß der Fußboden, bzw. die obere Abgrenzung der Gewölbe wiederum in eine und dieselbe wagrechte Ebene gelangt.

Sind nun beide Gewölbe noch außerdem mit einer gleich großen Nutzlast für 1 qm Grundriffsfläche behaftet, so liegt auch die obere Grenzlinie der Belastungsflächen derselben in einer wagrechten Ebene *CD*. Die lothrechte Entfernung dieser Ebene von der Kämpferebene *EE* ist

$$t = f + d + h \dots \dots \dots 216.$$

Die Tiefe beider Gewölbe sei gleich der Längeneinheit. Ist ferner x die Pfeilhöhe des Gewölbes *II* und H_1 der möglichst kleinste Gewölbschub desselben, so wird

nach den Bezeichnungen in Fig. 376 und in Rücksicht auf das in Art. 138 (S. 190) Gefagte

$$H_1 = \frac{P_1 \frac{w}{2} + Q_1 \frac{w}{4}}{d + x}$$

Da

$$P_1 = (t - x) w \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3} w x \quad \dots \dots \dots 217.$$

ist, so wird hiernach

$$H_1 = \frac{(t - x) \frac{w^2}{2} + \frac{w^2 x}{12}}{d + x}$$

und nunmehr hieraus

$$x = \frac{6(tw^2 - 2H_1 d)}{12H_1 + 5w^2} \quad \dots \dots \dots 218.$$

gefunden.

Da der Gurtbogen durch die Kämpferdrücke der beiden Gewölbe im Allgemeinen am günstigsten in Mitleidenschaft gezogen wird, wenn die wagrechten, in der Kämpferebene *EE* liegenden Seitenkräfte *H* und *H*₁ sich das Gleichgewicht halten, so dafs neben dem Eigengewicht und der Belaftung des Gurtbogens von den Kappengewölben nur die lothrecht wirkenden Seitenkräfte

$$R = P + Q + P_1 + Q_1 \quad \dots \dots \dots 219.$$

der Kämpferdrücke für denselben in Betracht zu ziehen sind, so folgt, dafs *H*₁ = *H* zu setzen und danach

$$x = \frac{6(tw^2 - 2Hd)}{12H + 5w^2} \quad \dots \dots \dots 220.$$

zu berechnen ist.

In diesem Ausdrücke hat *H* den nach Gleichung 179 ermittelten Werth. Setzt man also die Gestalt des Gewölbes *I* fest, so ist bei gegebener Spannweite des Gewölbes *II* die Pfeilhöhe *x* in die durch Gleichung 220 ausgesprochene Abhängigkeit vom Gewölbe *I* zu bringen, so dafs jede Willkür ausgeschlossen ist.

Um die Lage der Mittelkraft *R* der lothrechten Seitenkräfte der von beiden Gewölben hervorgerufenen Kämpferdrücke zu finden, kann man, wenn die Breite *b* des Gurtbogens gegeben ist, den Abstand *mn* = *z* dieser Kraft *R* von dem Kämpferpunkte *m* unter Berücksichtigung von Fig. 376 leicht bestimmen. Man erhält durch *Rz* = (*P*₁ + *Q*₁) *b* den Ausdruck, woraus

$$z = \frac{(P_1 + Q_1) b}{R} \quad \dots \dots \dots 221.$$

wird. In der Gröfse *R* sind nach Gleichung 219 auch die Werthe von *P* und *Q* mit enthalten. Dieselben ergeben sich nach den Gleichungen 154 u. 155 (S. 191), während *P*₁ und *Q*₁ nach Gleichung 217 in Verbindung mit dem aus Gleichung 220 zu berechnenden Werthe von *x* zu bestimmen sind.

Würden die Gewölbkappen sich statt gegen einen Gurtbogen gegen einen gemeinschaftlichen Walzeisenträger legen, so wird an der geführten Untersuchung nichts geändert.

Beispiel. Es sei *zs* = 4 m, also *s* = 2 m, *f* = 0,5 m oder = $\frac{1}{8}$ der Spannweite, *d* = 0,25 m und *h* = 0,15 m, d. h. einer Nutzlast von etwa 280 kg für 1 qm Grundrisfläche entsprechend. Die Spannweite 2*w* des Nachbargewölbes sei 3 m, also *w* = 1,5 m; die Gewölbstärke *d* sei auch hier 0,25 m.

Man erhält nach Gleichung 179 (S. 264)

$$H = \frac{2^2}{12(0,5 + 0,25)} [6(0,25 + 0,18) + 0,5] = 1,37 \text{ qm.}$$

Nach der Tabelle in Art. 143 (S. 202) könnte für die Gewölbstärke gleich 1 Stein = 0,25 m der Normaldruck $N = 2,61$ qm betragen, während H dort nur = 0,87 qm ist.

Aus den in Art. 180 (S. 273) angegebenen Gründen kann aber für das unterfuchte Gewölbe die Stärke von 0,25 m beibehalten werden.

Nach Gleichung 216 wird

$$t = 0,5 + 0,25 + 0,18 = 0,93 \text{ m}$$

und nunmehr nach Gleichung 220

$$x = \frac{6(0,93 \cdot 1,5^2 - 2 \cdot 1,37 \cdot 0,25)}{12 \cdot 1,37 + 5 \cdot 1,5^2} = 0,305 \text{ m}$$

als gefuchte Pfeilhöhe des Gewölbes mit der Spannweite $2w = 3 \text{ m}$. Danach

ist also das Pfeilverhältniss dieses Gewölbes nicht auch gleich $\frac{1}{8}$, wie beim

größeren Gewölbe, sondern nur $\frac{0,305}{3} = \text{rund } \frac{1}{10}$ zu nehmen.

Derartige Ergebnisse sind in der Praxis bei der Ausführung von Kappengewölben füglich zu beachten. Nachdem x berechnet ist, läßt sich z nach Gleichung 221 finden. Zuvor ist nach den Gleichungen 217 u. 220:

$$P_1 = (0,93 - 0,305) 1,5 = 0,938 \text{ qm} \text{ und } Q_1 = \frac{1}{3} \cdot 1,5 \cdot 0,305 = 0,153 \text{ qm.}$$

Außerdem ergibt sich nach Gleichung 154: $P = (0,25 + 0,18) 2 = 0,86 \text{ qm}$

und endlich nach Gleichung 155: $Q = \frac{1}{3} \cdot 0,5 \cdot 2 = 0,333 \text{ qm.}$

Nach Gleichung 219 ist demnach R gleich der Summe dieser Gewichte, also gleich $2,304 \text{ qm}$, so daß zuletzt nach Gleichung 221

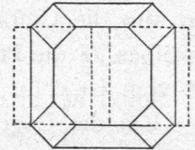
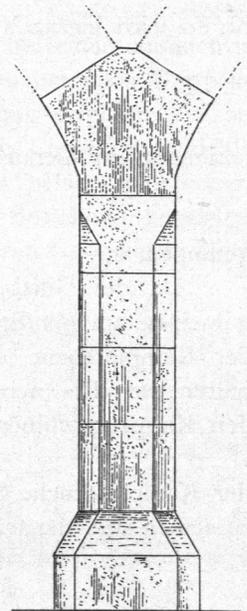
$$z = \frac{(0,938 + 0,153) b}{2,304} = \frac{1,091 b}{2,304} = 0,473 b$$

wird. Hiernach liegt die lothrechte Kraft R der Kämpferdrücke in nicht sehr bedeutendem Abstände von der lothrechten Mittellinie des Gurtbogens. Das Gewicht, bezw. die fachgemäße Uebermauerung desselben wird eine lothrechte Kraft erzeugen, welche, mit R zu einer neuen Mittelkraft vereinigt, diese bis nahezu in die lothrechte Mittellinie des Gurtbogenquerschnittes legt, oder falls die Uebermauerung des Gurtbogens entsprechend vorgenommen wird, schließlich die zuletzt erwähnte Mittelkraft selbst durch jene Mittellinie bringt.

Derartige Vortheile für die Construction sind also ohne große Mühe zu schaffen.

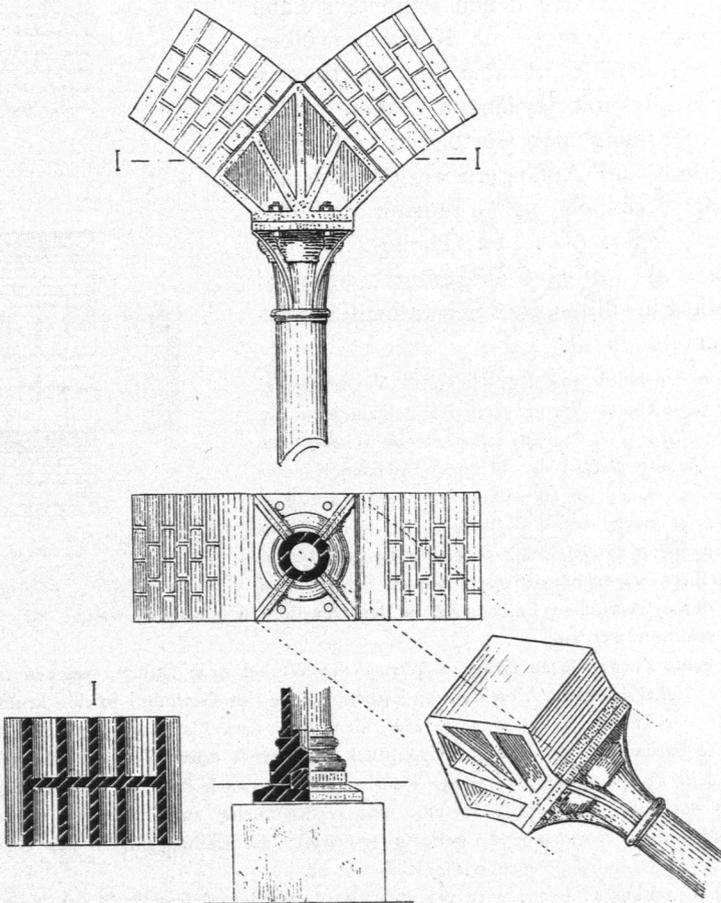
Sind zwei oder mehrere Gurtbogen als Bogenstellungen anzuordnen, so erhalten je zwei derselben einen gemeinschaftlichen Zwischenpfeiler, den sog. Gurtbogenpfeiler, als Stütze und am Kopfe desselben ihr zusammengehöriges Widerlager. Die Breite dieser Pfeiler wird, wenn dieselben aus Mauerwerk bestehen, in der Regel gleich der Breite der Gurtbogen genommen, wenigstens niemals größer gewählt. Die Länge derselben richtet sich nach der Größe des Druckes, welcher vermöge der Gurtbogen mit Kappenbelastung oder der sonst noch auf die Gurtbogen gelangenden Gewichte in Frage kommt. Sehr selten ist jedoch die Länge dieser Pfeiler so groß, daß dieselbe gleich der wagrechten Projection der beiden Widerlagsfugen der Gurtbogen würde. Vielmehr schneiden sich die Rückenlinien der Gurtbogen über der lothrechten Axe des Pfeilers in ziemlich hoher Lage über ihren Kämpferlinien. In Folge hiervon entstehen über der Kämpferlinie besondere Bestandtheile des Gurtbogens, die sog. Gurtbogenanfänger. Werden die Pfeiler und die Anfänger aus Backstein hergestellt, so gilt genau das in Art. 137 (S. 189) über derartige Gewölbeanfänger Gefagte auch hier. Sollen die Anfänger aus Haufteinen hergerichtet werden, so

Fig. 377.



können dieselben nach Fig. 377 in den meisten Fällen aus einem einzigen, nach den Wölblinien und den Widerlagsflächen der Gurtbogen bearbeiteten Quader bestehen. Wird der Gurtbogenpfeiler aus Quadermaterial errichtet, so kann derselbe bei nicht zu großer Pfeilerhöhe aus einem Stücke bestehen oder anderenfalls in Schichten von 30 bis 50 cm Höhe ausgeführt werden. Selbstredend können statt der Gurtbogenpfeiler auch Freistützen aus Backsteinmaterial gemauert oder aus Quadern bestehend angeordnet werden, wenn nur in jedem Falle den betreffenden Stützkörpern der nöthige Querschnitt gegeben wird. Für die im Hochbauwesen auftretenden

Fig. 378.



den gewöhnlichen Belastungen beträgt die Länge der Backsteinpfeiler, gutes und festes Material vorausgesetzt, 2 Stein bis $2\frac{1}{2}$ Stein und die Länge der Quaderpfeiler bei festem Steinmaterial 40 bis 50 cm. Statt der aus Steinmaterial zu bildenden Gurtbogenpfeiler können selbstverständlich auch gusseiserne oder schmiedeeiserne Säulen (Fig. 378) als Stützen in Anwendung kommen. Diese erhalten dann einen aus Backstein oder aus Quadern angefertigten Anfänger über sich oder unter Umständen ein gusseisernes Kopfstück, welches als Gurtbogenanfänger, wie in Fig. 378, ausgebildet ist. Treten bei sich kreuzenden Gurtbogenzügen vier Gurtbogen über einer gemeinschaftlichen Freistütze zusammen, so ist der allen Gurtbogen zukommende

Anfänger, möge derselbe aus Backstein oder aus Quadern bestehen, so zu gestalten, daß, wie Fig. 379 bei einem aus Backstein gebildeten Mauerkörper zeigt, alle vier Widerlagsflächen in entsprechender Größe vorhanden sind.

Für eine sorgfältig ausgeführte, vollständig sichere Fundamentirung der Gurtbogenpfeiler oder Säulen ist unter jeder Bedingung zu sorgen.

200.
Beispiel
einer größeren
Kappengewölb-
anlage.

Unter Beobachtung der für die Kappengewölbe zwischen Gurtbogen in Betracht kommenden Gesichtspunkte ist auf der neben stehenden Tafel die Zeichnung einer Anlage von Kappengewölben gegeben. Im Grundrisse ist x, x ein Gurtbogenzug, welcher parallel mit der langen Umfangsmauer läuft. Die Anordnung der Gurtbogen mit ihren Vorlagen, Pfeilern und Anfängern ergibt sich aus der Darstellung derselben im Grundrisse und den Schnitten AB , bezw. CD . Im Theile I ist das Kappengewölbe als auf Kuf ausgeführt, während im Theile II die Einwölbung auf Schwalbenschwanz-Verband angenommen ist.

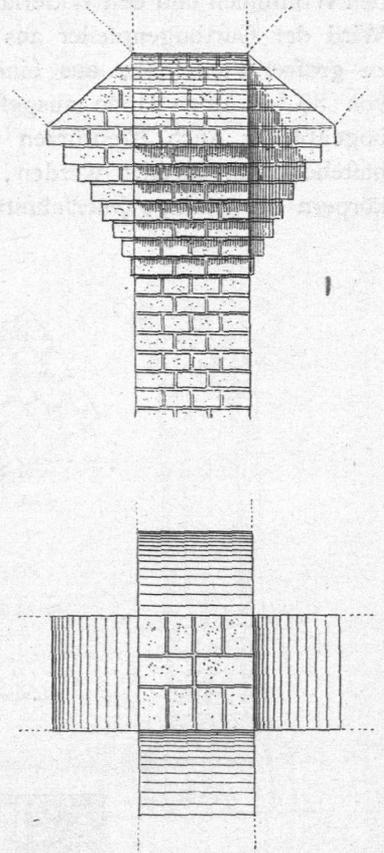
Hinsichtlich des Festlegens dieses letzteren Verbandes sei noch Folgendes angegeben. Wenn auch im Allgemeinen die Richtung der einzelnen Wölbstreifen unter einem Winkel von 45 Grad zu den Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes angenommen werden kann, so empfiehlt sich doch, um eine zweckdienliche Verspannung der Wölbstreifen mit ihren Nachbarstreifen zu erreichen, die Richtung derselben so zu nehmen, daß dieselben in ihren wagrechten Projectionen als Schnittlinien von Ebenen mit der cylindrischen Laibungsfläche des Gewölbes sich zeigen, welche für jeden Streifen in folgender Weise ermittelt werden.

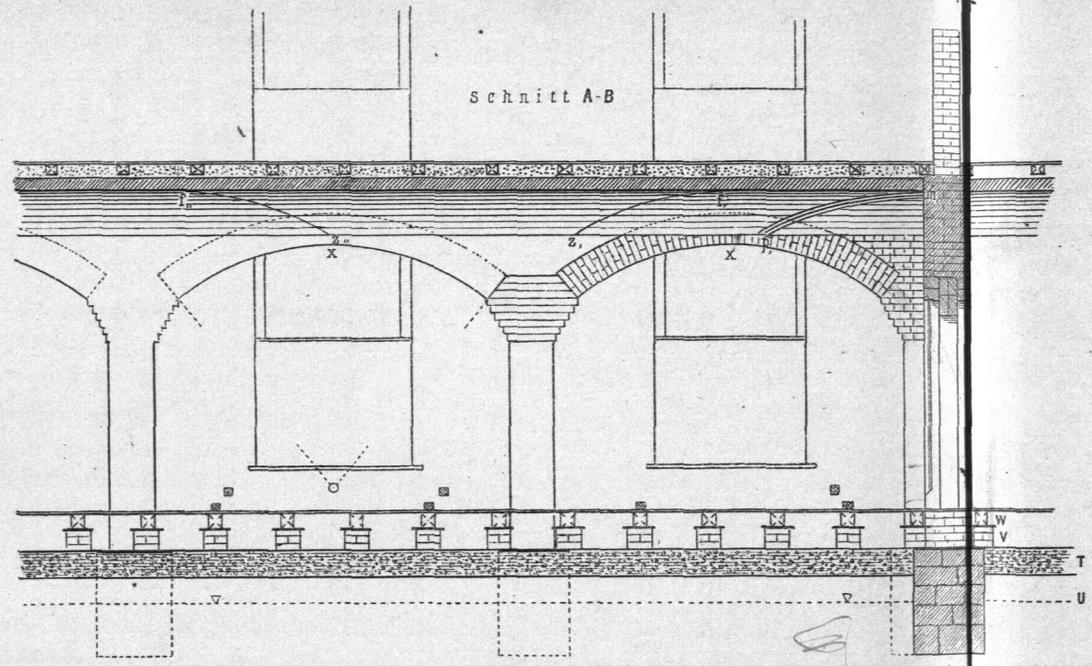
Eine lothrechte Ebene, deren Grundrissspur cf den Winkel zcm halbirt, welchen die Begrenzungen des Raumes an der Ecke c bilden, schneidet die Laibungsfläche des Gewölbes in der krummen Linie hid . Dieselbe ist nach der Wölblinie der Kappe, also hier nach dem Flachbogen ab mit der Pfeilhöhe eb in bekannter Weise bestimmt. Sie ist ein Ellipsenstück. Ermittelt man für einen beliebigen Punkt i derselben, welcher dem Punkte g des Flachbogens ab entspricht, nach den Angaben zu Fig. 254 (S. 149) die Normale nik und führt man durch dieselbe eine rechtwinkelig zur Ebene der Curve hid stehende Ebene, so schneidet diese Normalebene, gehörig erweitert, die Laibungsfläche des Gewölbes in einer krummen Linie, deren Grundrissprojection die Linie op ist.

Um die Grenzpunkte o , bezw. p zu erhalten, ist durch den Fußpunkt k der Normalen nk in der Kämperebene cf des Ellipsenstückes cid , bezw. des Gewölbes selbst die wagrechte Spur pkm der Normalebene n gezeichnet.

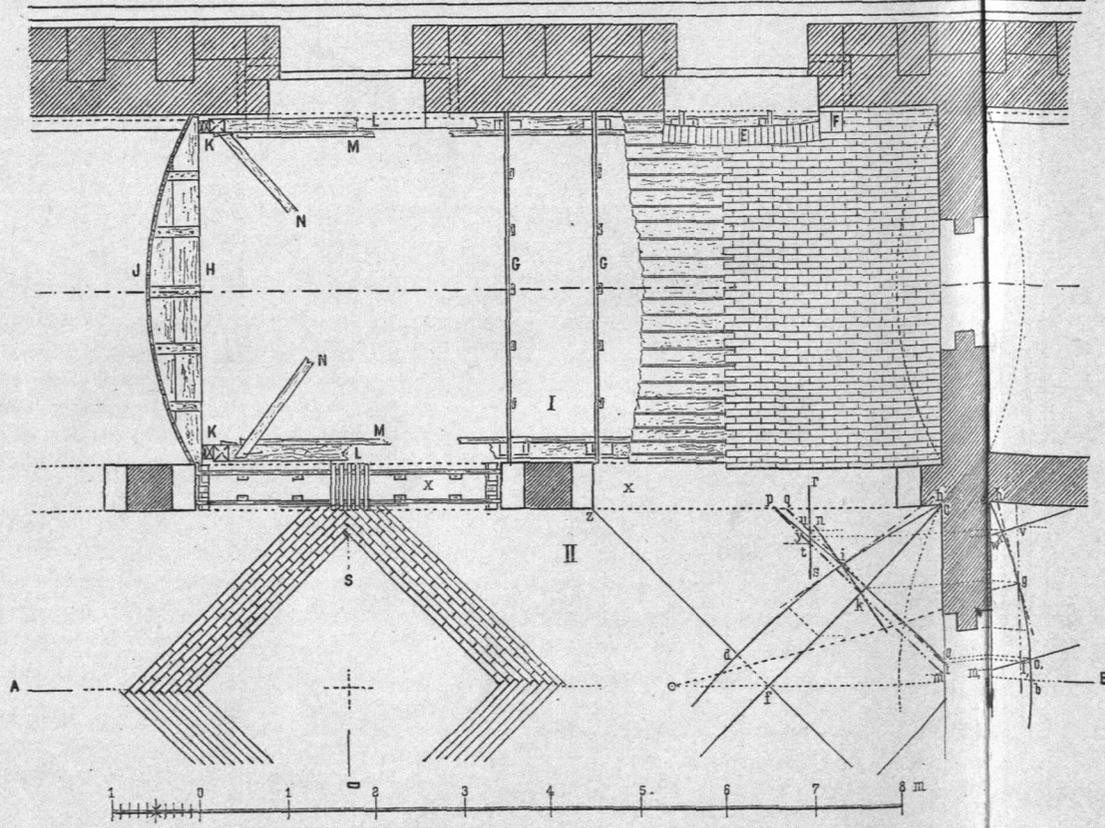
Die Parallele zu pm durch den Punkt i geführt, liefert die Grundrissprojection einer wagrechten geraden Linie qil , deren Projection in der Ebene der Wölblinie ab die durch den zu i gehörigen Punkt g gezogene, mit ae parallel laufende Gerade ist. Da nun die lothrechte Projection des Punktes m auf ab in m_1 , die lothrechte Projection des Punktes l auf der entsprechend verlängerten wagrechten Geraden vg in l_1 erhalten wird, so ergibt sich in der Geraden m_1l_1 die lothrechte Spur der Normalebene in der Ebene des Flachbogens ab . Diese Spur trifft den Flachbogen ab im Punkte o_1 . Die wagrechte Projection des Flachbogens ab ist die Gerade cm ; die Grundrissprojection von o_1 ist also der auf cm gelegene Punkt o . Der Grenzpunkt p liegt, wie sofort ersichtlich, in der Kämperebene; die lothrechte Projection desselben ist also der Punkt a . Soll noch irgend ein zwischen p und o gelegener Punkt dieser Schnittcurve in seinen Projectionen bestimmt werden, so führt man parallel mit cm an beliebiger Stelle

Fig. 379.

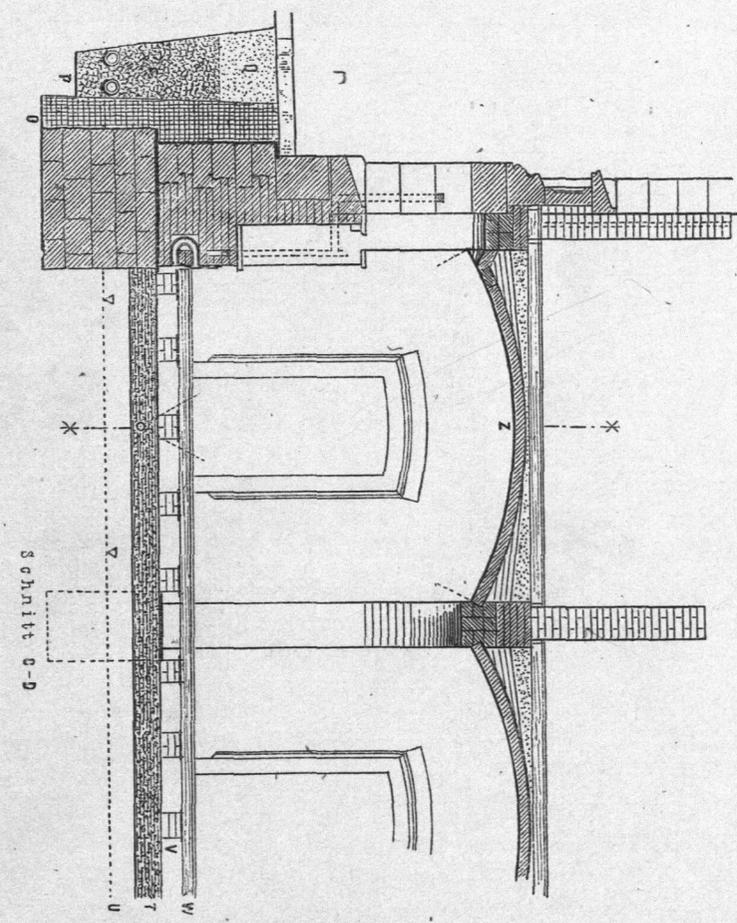




Grundriss



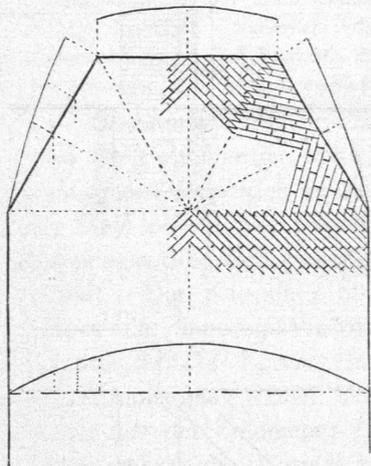
Anlage von Kappengewölben zwischen Gurtbögen.



zwischen p und o eine lothrechte Ebene, deren Spur rs sein möge. Diese Spur schneidet die vorhin gekennzeichneten Geraden pm und ql in den Punkten t und u . Die lothrechten Projectionen derselben sind offenbar w auf der Linie ae und v auf der Geraden l_1gv ; mithin würde wa die lothrechte Spur jener in rs parallel zur Ebene abc stehenden lothrechten Ebene sein und die hier befindliche, der Bogenlinie ab völlig entsprechende Wölblinie im Punkte x durchschneiden. Die wagrechte Projection von x ist der gefuchte, auf rs gelegene Zwischenpunkt y . Theilte man nunmehr die Curve cid in Wölb-schichten von der Dicke eines Backsteines ein, so könnten für jeden Theilpunkt in gleicher Weise die Normalebenen geführt und die zugehörigen Schnittlinien mit der Gewölbfläche in ihren wagrechten Projectionen aufgefucht werden.

Diese wagrechten Projectionen bilden alsdann die Begrenzungen der einzelnen neben einander liegenden Wölbstreifen, deren Lagerflächen überall in Normalebenen liegen, welche der durch die

Fig. 380.



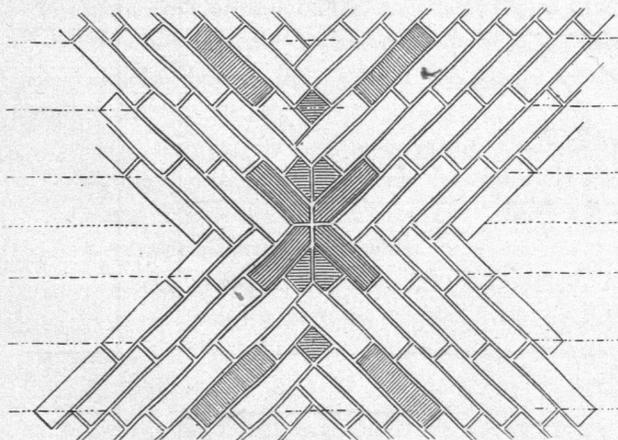
Ebene cf allgemein erzeugten Schnittlinie mit der Gewölbfläche angehören. Wird cf parallel mit sich selbst fortgerückt, so können, selbstredend unter Benutzung der schon bestimmten Linien von den Eigenschaften der Streifenkanten po , die sämtlichen Wölbstreifen fest gelegt und in ihrem Verbande geordnet werden.

Diese unter dem Namen »Schwalbenschwanz-Verband« auftretende Wölbungsart wird von den Ecken des Raumes aus begonnen, d. h. allgemein da, wo die Stirnmauern mit den eigentlichen Widerlagsmauern zusammentreffen. Derselbe eignet sich auch, wie Fig. 380 zeigt, für die Einwölbung polygonal gestalteter Räume.

Wie aus dem Grundriffe in II auf der neben stehenden Tafel hervorgeht, treffen sich die einzelnen Wölbstreifen auf der Scheitellinie AB und der Wöblinie S in der Mitte des Gewölbes in zickzackförmigem Verbande, so daß zuletzt ein nahezu quadratischer Schlusstein übrig bleibt. Beim Zusammentreten

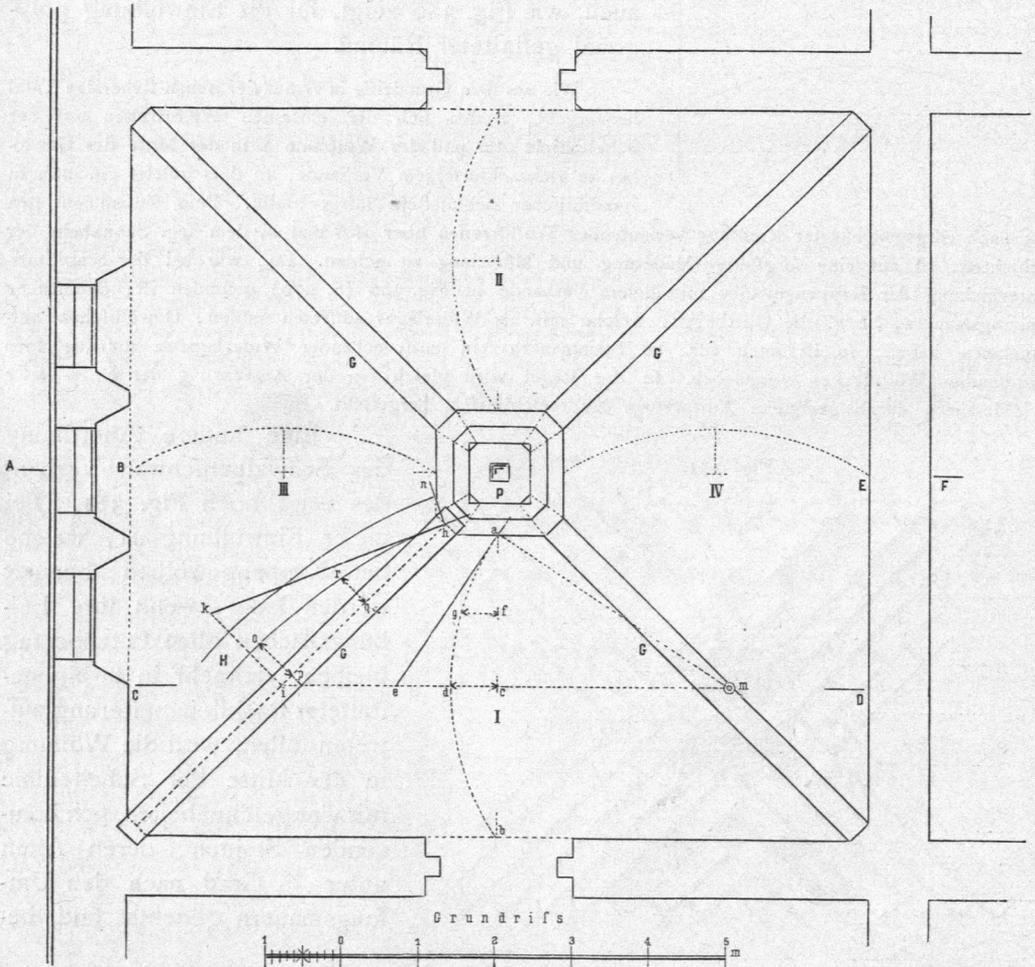
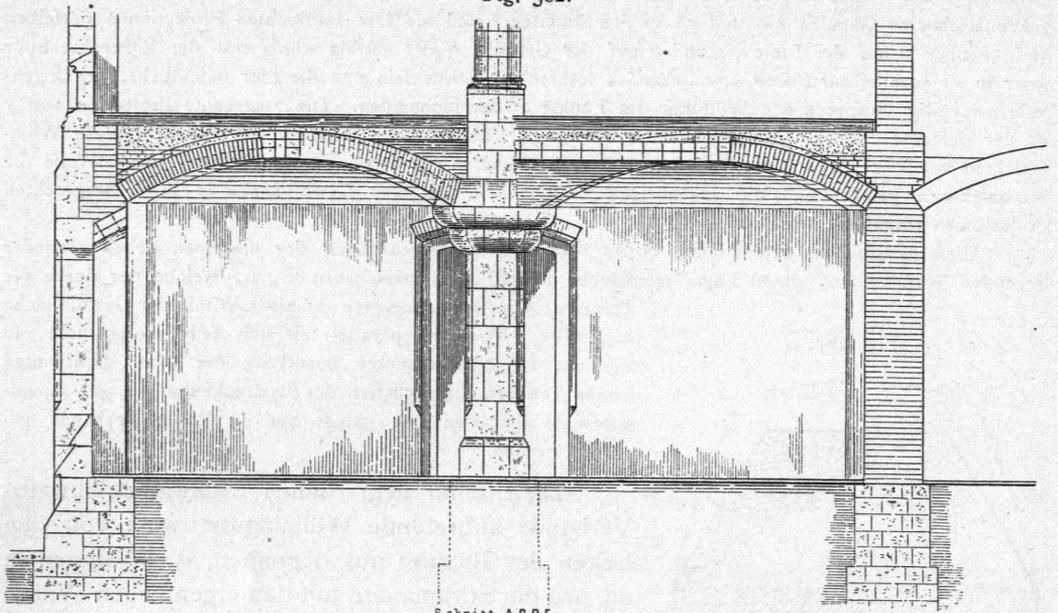
der nach entgegengesetzter Richtung verlaufenden Wölbstreifen über AB und S , dem sog. Schnäbeln der Schichten, ist auf eine sorgfältige Mauerung und Mörtelung zu achten. Da, wie bei der Stabilitäts-Untersuchung der Kappengewölbe mit diesem Verbande in Fig. 366 (S. 278) gefunden ist, sämtliche Umfangsmauern, bezw. die Gurtbogen, welche mit als Widerlager auftreten müssen, Gewölbschub aufzunehmen haben, so ist auch für die Stirnmauern ein entsprechender Widerlagsfalz für die hier antretenden Wölbstreifen vorzusehen. In der Regel wird gleich bei der Ausführung der Stirn- oder Schildmauern durch geeignete Ausparung der Anschlußfalz hergestellt.

Fig. 381.



Eine andere Anordnung des Schwalbenschwanz-Verbandes zeigt noch Fig. 381. Bei dieser Einwölbungsart, welche bei Kappengewölben benutzt werden kann, wenn ihre Laibungsflächen ohne Putzüberzug bleiben, vielmehr in farbig gestalteter Backsteinmusterung auftreten sollen, wird die Wölbung in der Mitte der Scheitellinie mit vier geschnäbelten, sich kreuzenden Steinen, deren Axen unter 45 Grad nach den Umfangsmauern gerichtet sind, be-

Fig. 382.



gonnen. Diefer Richtung folgend, sind alsdann alle übrigen Wölbstreifen in regelrechtem Verbande, auch etwa einem beabsichtigten Muster gemäfs geordnet, einzufügen.

Müffen in Kappengewölben Stichkappen eingelegt werden, so gelten für dieselben die in Art. 164 (S. 235) gegebenen Entwicklungen. Auf der Tafel bei S. 298 ist bei *E* der Gewölbkappe *I* der Kranz einer Stichkappe nebst der Aufmauerung *F* für das Ohr derselben gezeichnet.

201.
Stichkappen.

Auf derselben Tafel ist auch die Stellung *G* der Wölbscheiben *JH* und deren Unterlagerung durch Keile *K* auf dem Untergerüst *L* mit dessen Abspreizungen *M*, bezw. *N* angegeben. Auch ist für das Trockenhalten des Raumes und des Fußbodens in Bezug auf den höchften Grundwasserstand *U* durch die Betonficht *T*, die Isolirung der Mauerkörper der Umfangsmauern, bezw. Scheidemauern u. f. f., die Untermuerung *V* der Fußbodenlager *W*, so wie durch Luftbewegung unterhalb des Fußbodens das Nöthige dargestellt. Außerdem ergibt sich aus dem Schnitte *CD* die Anordnung des Schutzes der Umfangsmauern gegen Feuchtigkeit. *O* ist eine Thonficht; *P* sind Drainrohre; *E* ist Steinschlag, und *Q* ist eine Kieslage. Die Außenseite der Grundmauer ist mit einem Anstrich von Goudron (Theer) versehen.

In manchen Fällen, namentlich bei quadratischer Anlage von Räumen bis zu etwa 8^m Seitenlänge, kann man die Gurtbogen zur Zerlegung der Gewölbekappen auch ganz vermeiden und dieselben durch einen Pfeiler, bezw. durch eine Säule aus Stein oder Eisen ersetzen. Eine solche Anordnung zeigt Fig. 382, wobei vier Kappengewölbe sich gegen einen Pfeiler legen, welcher im Inneren ein Rauchrohr *p* enthält. Die Kappen *I* bis *IV* schneiden sich in Gratlinien in der Richtung *hi*, welche die inneren Wölblinien der Grate *G* bilden. Diese sind, wie aus dem Schnitte *ACDF* hervorgeht, um $\frac{1}{2}$ Stein stärker ausgeführt, als die Kappengewölbe. Die Ausmittlung dieser Wölblinie *hH* nach der Wölblinie *ab* der Kappen erfolgt in der aus der Zeichnung zu erfahenden Weise. Die Ansatzfläche der Grate *G* am Pfeiler gehört der Normalebene *hn* zum Ellipsenstücke *hH* an. Die Gesamtanordnung dieser Decken-Construction ist aus der Darstellung ohne Weiteres erkennbar.

Müffen in Kappengewölben Oeffnungen für Aufzüge, Treppen, Deckenlichter u. f. w. gelassen werden, so sind dieselben in geeigneter Weise mit Gewölbkränzen, wie in Fig. 383 gezeigt ist, zu umgeben. Auf diese Kränze wird der Gewölbschub der antretenden Wölbschichten übertragen. Die Laibungs- und Rückenflächen dieser Kränze gehören Kegelflächen an. Ihre Durchbildung entspricht der Anordnung der in Art. 166 (S. 237) gegebenen Kranz-Construction bei kegelförmigen Stichkappen vollständig, und es kann deshalb hier die weitere Besprechung derselben unterbleiben. Für kleinere Oeffnungen im Gewölbe kann auch statt des Kranzes ein runder oder quadratischer eiserner Rahmen eingesetzt werden, welcher, wenn die Oeffnung als Deckenlicht dienen soll, gleich als Zarge oder Rahmen für die Verglasung zu benutzen ist.

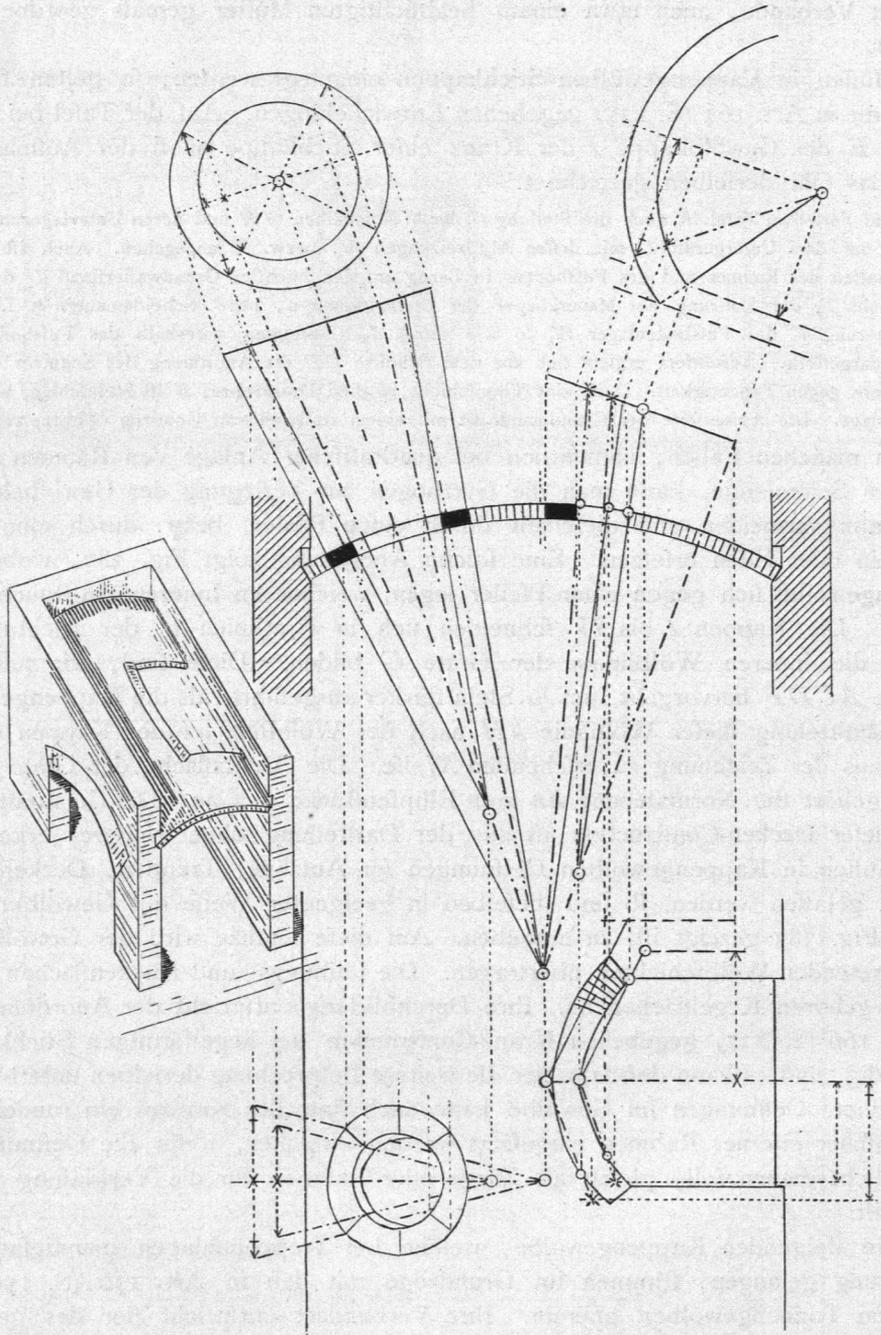
Die steigenden Kappengewölbe, welche bei Treppenanlagen mannigfach zur Ausführung gelangen, stimmen im Grundzuge mit den in Art. 130 (S. 159) behandelten Tonnengewölben überein. Ihre Verbandart entspricht der des gewöhnlichen geraden Kappengewölbes.

202.
Steigende
Kappen-
gewölbe.

Sollen gröfsere Räume mit Kappengewölben überdeckt werden, ohne dafs Gurtbogenstellungen benutzt werden, so wird ein aus eisernen Trägern mit Säulenunterstützung bestehendes Balkensystem geschaffen, welches in feinen Feldern die Gewölbkappen aufnimmt. Bei solchen Anlagen, welche bei Fabriken, landwirthschaftlichen Bauwerken u. f. w. in ausgedehntem Mafse geschaffen werden, tritt die Eisen-Construction in den Vordergrund, während die eigentliche gewölbte Decke

203.
Ueberwölbung
gröfserer
Räume.

Fig. 383.



ganz nach den im Vorhergegangenen gegebenen Vorschriften entworfen und ausgeführt werden kann.

Die Besprechung von Eisen-Constrüctionen, welche für die Bildung von derartigen Decken geeignet sind, wird unter C stattfinden.