

- BOSC, E. *Étude pratique sur la construction des voûtes. Gaz. des arch. et du bât.* 1877, S. 46, 71, 99, 111, 122.
- GOTTGETREU, R. Beitrag zur geschichtlichen Entwicklung der Gewölbe. *Zeitschr. f. Bauw.* 1879, S. 91.
- Ueber Bruchsteingewölbe in magerem Cementmörtel. *Baugwks.-Ztg.* 1883, S. 246.
- MENZEL, C. A. Der Gewölbebau dargestellt in Bezug auf Entföhung und Anwendung, Bau und Konstruktion, Tragfähigkeit etc. mit Berücksichtigung der Wölbungen der Thür- und Fenstersturze, der Rauchmäntel und der gewölbten Treppen. Herausg., verm. u. verb. von C. SCHWATLO. Halle 1866.
- 2. Aufl. von A. C. MENZEL & G. FRANKE. 1875.
- EAGLES, T. H. *On vaulting. Builder*, Bd. 32, S. 496. *Building news*, Bd. 26, S. 625, 633, 635.
- Vaulting. Builder*, Bd. 32, S. 1035.
- Construction der Gewölbe. HAARMANN's *Zeitschr. f. Bauhdw.* 1876, S. 7, 21.

9. Kapitel.

Tonnen- oder Kufengewölbe.

a) Gestaltung der Tonnengewölbe.

124.
Gerades
Tonnen-
gewölbe;
Halbkreis-
gewölbe.

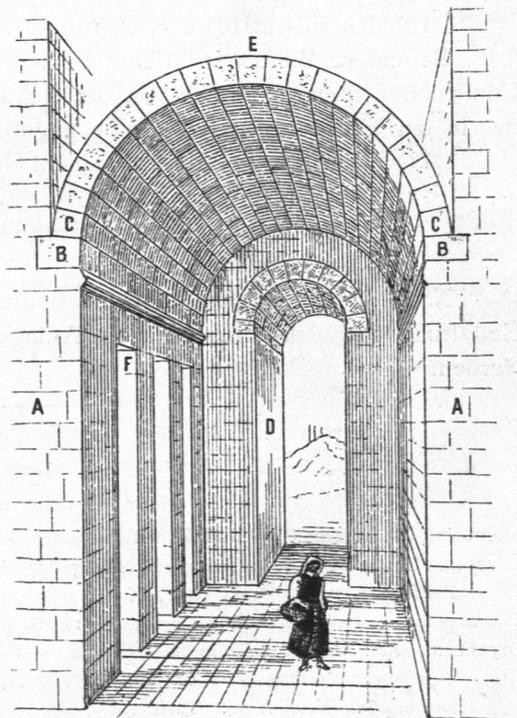
Das einfache Tonnen- oder Kufengewölbe besitzt als Laibungsfläche die halbe Oberfläche eines geraden Kreiscylinders. Die Gewölbaxe steht also rechtwinkelig zur Ebene des erzeugenden Halbkreises, weshalb ein solches Gewölbe auch ein »gerades Tonnengewölbe« genannt wird. Jeder Schnitt, parallel zu dieser Ebene geführt, liefert wiederum denselben Halbkreis und diesem entsprechende Stoszfugenkanten. Jede Ebene, welche durch die Gewölbaxe geführt wird, schneidet die Laibungsfläche in geraden, der Gewölbaxe parallelen Linien oder geraden Lagerfugenkanten. Die Pfeilhöhe dieses Gewölbes ist gleich der halben Spannweite desselben, mithin wird das Pfeilverhältniß $\frac{1}{2}$.

In Fig. 250 ist ein gerades, einfaches Tonnengewölbe dargestellt.

Die Rückenlinie desselben ist ein zur inneren Wölblinie concentrisch geföhrter Halbkreis, so daß für das Gewölbe überall die gleiche Gewölbstärke vorhanden ist. Die Widerlagskörper *A* stützen das Gewölbe. Die eine Widerlagsmauer ist mit Oeffnungen versehen, welche unterhalb der Kämpferföcht *B* mit starken Steinquadern *F*, »geraden Sturzen«, überdeckt sind. Die Schildmauer *D* ist durchbrochen und in ihrer Oeffnung oben mit einem halbkreisförmigen »Mauerbogen« abgeschlossen.

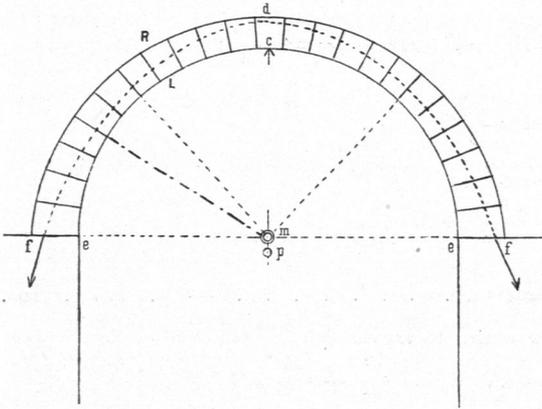
Die Stirn *BEB* des Gewölbes ist durch die radial gerichteten Gewölbkanten so getheilt, daß eine ungerade Anzahl gleich großer Theilungen der Wölbkanten *B, C, E* entstanden, also eine Schlusfuge vermieden und die Anordnung einer Schlusfuge vermieden und die Anordnung einer Schlusfuge ermöglicht ist, welche zu beiden Seiten von symmetrisch liegenden Gewölbkanten be-
gleitet wird.

Fig. 250.



Die Lagerfugenkanten treten als gerade Linien auf, welche vom Vorhaupt bis zum Hinterhaupt durchlaufen, während die Stosfugenkanten, welche Theile des erzeugenden Halbkreises sind, bei den einzelnen Wölbchichten in Verband gesetzt, gegen die Lagerfugenkanten geführt sind. Die einzelnen Wölbsteine haben eine keilförmige Gestalt. Die Gewölbefuge ist eine wagrechte Ebene; die Lagerfugenflächen stehen senkrecht zur Laibungsfläche und rechtwinkelig zur Stirn des Gewölbes, während die Stosfugenflächen rechtwinkelig zu den Lagerfugenflächen und in Ebenen auftreten, welche parallel mit der Gewölbstirn sind.

Fig. 251.



Aus statischen Gründen ist häufig die Rückenlinie *R* (Fig. 251) auch bei den einfachen geraden halbkreisförmigen Tonnengewölben kein zur inneren Wölblinie concentrischer Kreis, sondern ein Kreisbogen *fdf* mit dem Mittelpunkte *p*, welcher tiefer liegt, als der Mittelpunkt *m* der inneren Wölblinie *L*. Hierdurch tritt eine vom Scheitel *cd* aus bis zum Gewölbfuß *ef* stetig wachsende Gewölbstärke auf; der Fugenschnitt für das Gewölbe selbst erleidet aber hierdurch im Allgemeinen keine Aenderung.

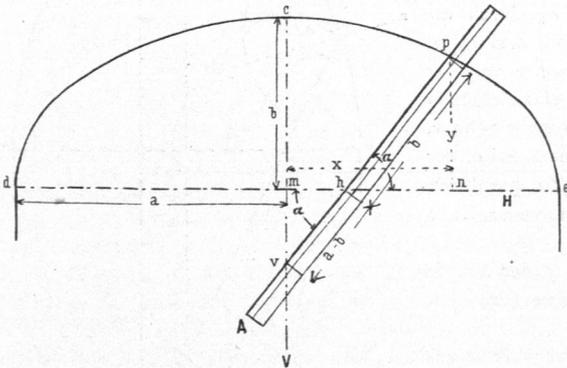
Ist die Laibungsfläche eines geraden Tonnengewölbes die halbe Oberfläche eines elliptischen Cylinders, so entsteht das elliptische Tonnengewölbe. Ist in

Fig. 252 die Pfeilhöhe *mc* die halbe kleine Axe der Ellipse, während die große

125.
Elliptisches
Tonnengewölbe.

Axe *de* die Spannweite giebt, so heisst ein solches elliptisches Gewölbe ein gedrücktes Tonnengewölbe, und andererseits wird ein elliptisches Gewölbe ein überhöhtes Tonnengewölbe (Fig. 253) genannt, wenn die halbe große Axe *mc* der Ellipse zur Pfeilhöhe und die kleine Axe *de* derselben zur Spannweite genommen wird. Auch bei diesen elliptischen Gewölben sind die Lagerfugenflächen winkelrecht zur Laibungsfläche und senkrecht zur Stirnebene des Gewölbes anzuordnen.

Fig. 252.



In Fig. 252 u. 253 sind die Constructionen für Ellipsen gegeben, welche zweckmäÙig für das Zeichnen derselben auf dem Reissboden (Gypsestrich, Bretterboden) in der Praxis Anwendung finden.

In Fig. 252 sei die Länge der halben großen Axe der Ellipse $md = a$, diejenige der halben kleinen Axe $mc = b$. *A* sei eine Holzleiste mit gerader Kante *vp*. Auf derselben ist $vp = a$ und $ph = b$ genau abgetragen und bezeichnet, so daß auch $vh = a - b$ ist.

Bewegt man diese Leiste in der Weise, daß der Punkt *v* sich dabei auf der lothrechten Linie *V* der kleinen Axe *b* und der Punkt *h* sich auf der wagrechten Linie *H* der großen Axe fortbewegt, so wird durch den Punkt *p* stets ein Ellipsenpunkt bestimmt. Sind solche Punkte *p* in größerer Zahl festgelegt, so kann das Zeichnen der Ellipse leicht vorgenommen werden. Auf dem Zeichentische benutzt man statt der Holzleiste einen Papierstreifen mit gerader Seitenkante.

Dafs p mit den Coordinaten x, y ein Punkt der Ellipse ist, folgt unter Bezugnahme auf die Zeichnungen in Fig. 252 durch nachstehende Ueberlegung. Es ist $\frac{y}{b} = \sin \alpha$, also

$$\frac{y^2}{b^2} = \sin^2 \alpha. \dots \dots \dots 98.$$

Ferner ist

$$x = mh + hn. \dots \dots \dots 99.$$

Aus der Aehnlichkeit der beiden rechtwinkligen Dreiecke mhn und hnp ergibt sich

$$\frac{mh}{hn} = \frac{a-b}{b};$$

folglich ist auch

$$\frac{mh + hn}{hn} = \frac{a-b+b}{b} = \frac{a}{b} \quad \text{und} \quad mh + hn = a \frac{hn}{b};$$

d. i. unter Benutzung von Gleichung 99

$$x = a \frac{hn}{b},$$

und, da

$$\frac{hn}{b} = \cos \alpha$$

ist, auch

$$x = a \cdot \cos \alpha \quad \text{oder} \quad \frac{x}{a} = \cos \alpha$$

und

$$\frac{x^2}{a^2} = \cos^2 \alpha. \dots \dots \dots 100.$$

Werden die beiden Gleichungen 98 und 100 addirt, so ergibt sich

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1,$$

woraus

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2} (a^2 - x^2) \dots \dots \dots 101.$$

als bekannte Mittelpunktsleichung der Ellipse folgt.

In Fig. 253 ist die Ellipsen-Construction mit Hilfe der Brennpunkte F, F_1 unter Benutzung der Eigenschaft der Ellipse, dafs die Summe der von irgend einem Ellipsenpunkte p nach den Brennpunkten gezogenen Leitstrahlen $pF + pF_1$ gleich der Länge $2a$ der grofsen Axe ist, angegeben.

Man bestimme die Brennpunkte F und F_1 durch die Schnittpunkte der aus dem Punkte d oder e mit dem Halbmesser $dF = dF_1 = a$ beschriebenen Kreisbogen auf der grofsen Axe cg . Befestigt man in F und F_1 je einen eisernen Nagel (Drahtstift), knüpft man hieran die Enden einer Schnur, deren Länge $cg = 2a$ ist, legt man an die innere Seite der Schnur einen Bleistift und spannt man dieselbe hierdurch leicht an, so kann die Ellipse in einem fortlaufenden Zuge »aufgerissen« werden.

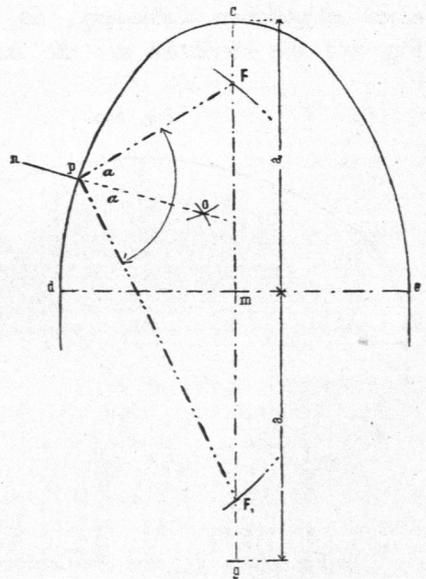
Die Normale pn für irgend einen Punkt p der Ellipse ist der Halbierungstrahl no des von den Leitstrahlen gebildeten Winkels FpF_1 .

Ein ferneres, jedoch mehr auf dem Zeichenbrette angewendetes Verfahren zum Zeichnen einer Ellipse, welches wohl die Methode der »Vergatterung« genannt wird, ist in Fig. 254 gegeben.

Man theilt die halbe kleine Axe $mc = me = b$ proportional mit der Theilung der halben grofsen Axe $dm = a$ und giebt den Ordinaten, welche den einzelnen Theilpunkten entsprechen, die ihnen zukommenden Längen der Ordinaten eines um m mit dem Halbmesser b geschlagenen Viertelkreises.

Die proportionale Theilung von b und a erfolgt sehr einfach durch Benutzung der Strahlen dc und ce . Zieht man durch den beliebigen Punkt g die Linie gi parallel zu mc , so schneidet dieselbe den Strahl ce im Punkte h . Die Parallele zu de durch h geführt, schneidet den Strahl dc in h_1 , und die durch h_1 zu mc gezogene Parallele $i_1 h_1 g_1$ theilt in ihrem Fufspunkte g_1 die Länge $dm = a$ in denselben Verhältniffe, wie der Punkt g die Länge $me = b$ getheilt hat.

Fig. 253.



hgf und eme zunächst $\frac{z}{v} = \frac{b}{a}$, demnach

$$z = v \frac{b}{a} \dots \dots \dots 105.$$

Da auch $\Delta fgm \sim \Delta kem$ ist, so erhält man $\frac{v}{x} = \frac{b}{a}$,

woraus

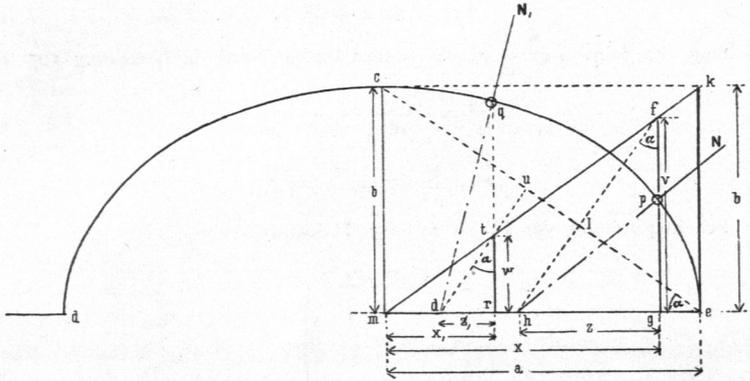
$$v = \frac{b}{a} x \dots \dots \dots 106.$$

Setzt man diesen Werth für v in Gleichung 105, so wird

$$z = \frac{b^2}{a^2} x, \dots \dots \dots 107.$$

entsprechend dem Ausdruck für die Subnormale des Ellipsenpunktes p .

Fig. 255.



Eben so ergibt sich für die Normale N_1 des Punktes q der Ellipse der Ausdruck

$$z_1 = \frac{b^2}{a^2} x_1.$$

Oft begnügt man sich bei praktischen Ausführungen beim Festlegen der Normalen in Ellipsenpunkten mit einem Näherungsverfahren. Man schneidet z. B. in Fig. 254 von p_1 nach rechts und links gleiche Stücke p_1q und p_1r von verhältnismäßig geringer Länge ab, und betrachtet das Ellipsenstück qr als eine gerade Linie, auf welcher in ihrem Halbirungspunkte p_1 die Winkelrechte p_1s als Normale der Ellipse errichtet wird.

126.
Korbbo-
gewölbe.

In manchen Fällen ist es vortheilhaft, bei den im Gewölbebau auftretenden ellip- tischen Tonnengewölben während der Ausführung des Gewölbes selbst ein noch einfacheres Festlegen der normal zur Ellipse gerichteten Gewölbefugen veranlassen zu können, als folches nach den im vorhergehenden Artikel gezeigten Verfahren möglich ist. Zu diesem Zwecke ersetzt man die Ellipse durch einzelne Kreisbogen- stücke, welche mit Krümmungshalbmessern derart beschrieben und zusammengesetzt werden, daß eine Curve entsteht, welche der beabsichtigten Ellipse thunlichst nahe kommt. In Fig. 256 ist eine derartige Construction der Bogenlinie dce ausgeführt.

Um den Mittelpunkt m der Ellipse sind 3 concentrische Kreise beschrieben, deren Halbmesser mg gleich der halben kleinen Axe, me gleich der halben großen Axe und mh gleich der halben großen Axe plus der halben kleinen Axe zu nehmen sind.

Zur Bestimmung eines Ellipsenpunktes und der dazu gehörigen Normalen ist der beliebige Strahl $mk l$ gezogen, welcher den Kreis g in i , den Kreis e in k und den Kreis h in l schneidet. Zieht man ip parallel zu mh und kp parallel zu mc , so schneiden sich diese beiden Linien im Punkte p , welcher bekanntlich ein Punkt der Ellipse mit den Halbaxen me und mc ist. Verbindet man l mit p , so ist lp die Normale für die Ellipse im Punkte p .

Auf der linken Seite von Fig. 256 sind für vier Haupttheile und in der Nähe der großen Axe für einen Zwischentheil der halben Ellipse die Normalen $co, qr, st \dots$ gezeichnet. Die Schnittpunkte $5, 4, 3 \dots$ der Normalen co mit qr , sodann qr mit $st \dots$ liefern die Krümmungsmittelpunkte der

zugehörigen Kreisbogen, und zwar 5 für den Kreisbogen cq , 4 für den Kreisbogen $qs \dots$. Der für die Ellipse mit den Halbaxen a und b maßgebende Krümmungshalbmesser ρ ist in den Endpunkten der großen Axe als

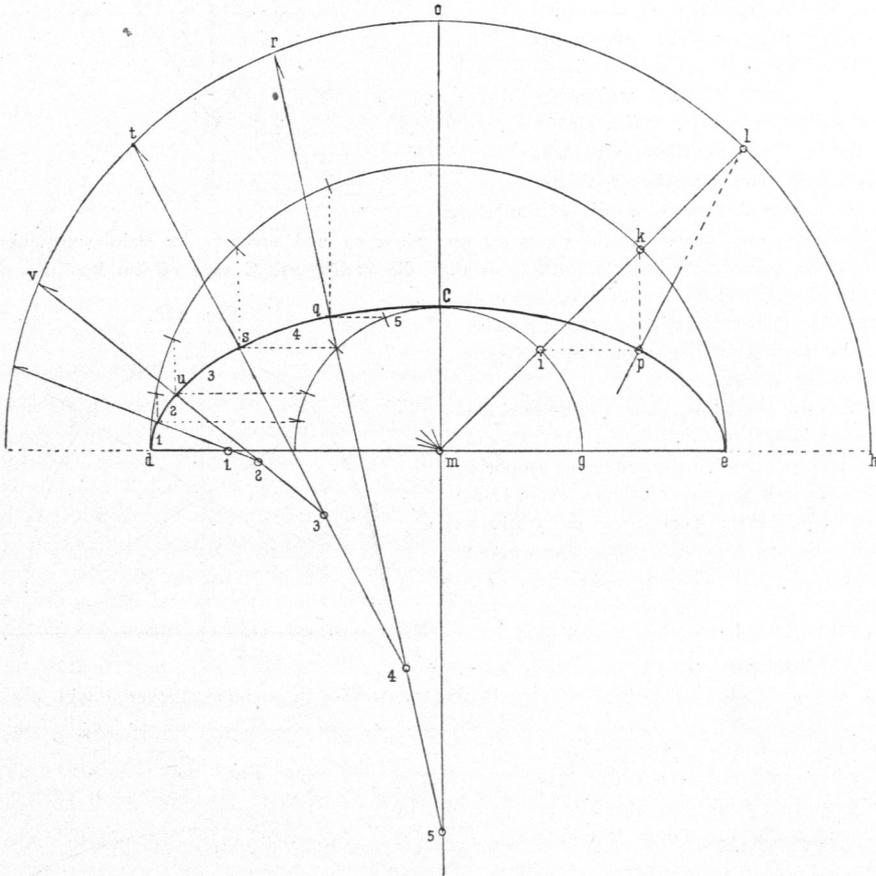
$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

und in den Endpunkten der kleinen Axe als

$$\rho = \frac{a^2}{b}$$

bekanntlich bestimmt, so daß nach Berechnung dieser Werthe die größten und kleinsten Krümmungshalbmesser von vornherein fest gesetzt werden können.

Fig. 256.



Die aus den verschiedenen Kreisbogenstücken zusammengefügte Bogenlinie dce , wobei in den Vereinigungspunkten $c, q, s \dots$ für je 2 Kreisbogen eine gemeinschaftliche Tangente vorhanden ist, wird Korbbogenlinie oder kurz Korbbogen genannt. Sie wird beschrieben aus einer bestimmten, bei Korbbogen mit wagrechter Axe und wagrechter Scheiteltangente ungeraden Anzahl von Mittelpunkten, beispielsweise deren 9 in Fig. 256.

Wenngleich die Anzahl dieser Mittelpunkte nach dem oben erklärten Verfahren beliebig groß genommen werden könnte, so ist doch für die praktische Ausführung solcher Korbbogen meistens nur eine geringe Zahl von Mittelpunkten erforderlich. In vielen Fällen, namentlich wenn bei gedrückten Bogen das Pfeilverhältniß nicht unter $\frac{1}{3}$ sinkt, werden nur 3 Krümmungsmittelpunkte benutzt.

Von den zahlreichen Angaben für die Construction von Korbboegen sollen hier nur einige, welche in der Praxis noch hier und dort Anwendung finden, berücksichtigt werden.

1) Korbboegen aus 3 Mittelpunkten. Es sei in Fig. 257 ab die gegebene Spannweite, cd die gewählte oder gegebene Pfeilhöhe eines zu zeichnenden gedrückten Korbboegens, und dabei sei die Bestimmung getroffen, daß der im Gewölbfuß a , bezw. b beginnende Kreisbogen mit vorgeschriebenem Halbmesser $a1 = b3$ geschlagen werde, dessen Größe jedoch, um für den Scheitelbogen nicht einen Halbmesser von unendlicher Größe zu erhalten, kleiner sein muß, als die Pfeilhöhe dc .

Man trage auf cd die Strecke $ce = a1$ ab, ziehe $e1$ und errichte im Halbirungspunkte m der Geraden $e1$ das gehörig verlängerte Loth f , welches die verlängerte Gerade cd im Punkte z schneidet. Alsdann ist z der Mittelpunkt des Scheitelbogens z . Die gemeinschaftlichen Vereinigungspunkte g und h der einzelnen Kreisbogen liegen auf den verlängerten Strahlen $z1$, bezw. $z3$.

Für einen überhöhten, aus 3 Mittelpunkten beschriebenen Korbboegen cah ist in Fig. 258 die nun ohne Weiteres verständliche Zeichnung gegeben.

Bei der in Fig. 259 veranschaulichten Darstellung eines gedrückten Korbboegens mit 3 Mittelpunkten ist aus der Seite ad (halbe Spannweite) und der Seite dc (Pfeilhöhe) das Rechteck $adch$ gezeichnet, hierauf die Diagonale ac desselben gezogen und danach die Halbierung der Winkel hac und hca vorgenommen. Die von a und c ausgehenden Halbierungsstrahlen treffen sich im Punkte e , welcher gemeinschaftlicher Punkt der hier zusammen tretenden Kreisbogen wird. Von e ist das Loth ef auf die Diagonale ac gefällt und gehörig erweitert, um in seinem Schnittpunkte 1 mit ad und im Schnitte z mit der verlängerten Geraden cd die gesuchten Mittelpunkte 1 und z für die Bogen 1 und z zu liefern.

Der Mittelpunkt 3 für den Bogen 3 liegt symmetrisch mit Punkt 1 . Dieselbe Construction gilt auch für den überhöhten Korbboegen.

2) Korbboegen aus 5 Mittelpunkten. Beim gedrückten Korbboegen in Fig. 260 ist ab die Spannweite und dc die Pfeilhöhe. Obgleich die Halbmesser für den Scheitelbogen und für den Ansatzbogen am Kämpfer von im Allgemeinen beliebiger, nur innerhalb gewisser Grenzen liegender Länge genommen werden können, so empfiehlt es sich doch aus statischen Gründen, wie aus Rücksichtnahme

Fig. 257.

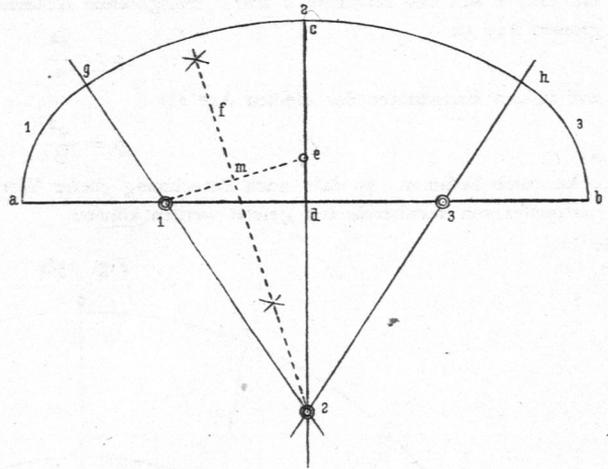


Fig. 258.

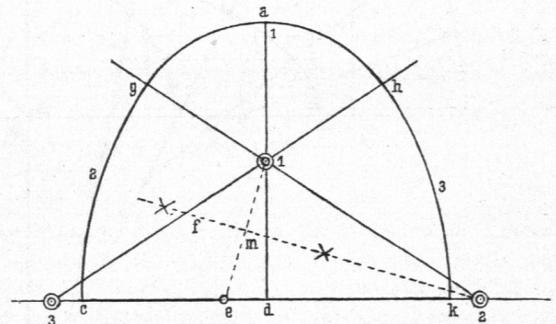
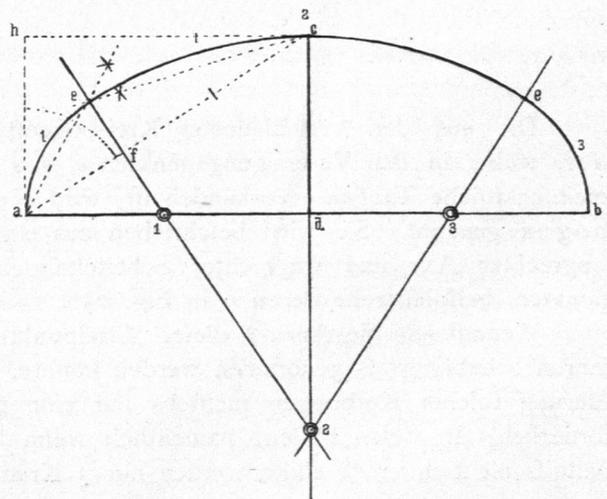


Fig. 259.



Man ziehe cq parallel zu ad , aq parallel zu cp und die Gerade ac . Zieht man nunmehr durch den beliebigen Punkt e der Geraden ad die Parallele eg zu dc , so schneidet dieselbe die Linie ac im Punkte h . Führt man durch h parallel zu ad die Gerade hi , welche die Gerade aq in i schneidet und verbindet man i mit c durch eine gerade Linie, so trifft dieselbe die Gerade eg in einem Punkte p , welcher ein Punkt der gefuchten Parabel ist.

Nimmt man pk parallel zu ad und $kc = cm$, so ist der Strahl mp nach bekannten Eigenschaften der Parabel Tangente in p , und das in p auf pm errichtete Loth ist die Normale für diesen Punkt.

Dafs p ein Punkt der Parabel ist, ergibt sich unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 261 in folgender Weise. Auf Grund der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke gpc und qic ist $\frac{y}{x} = \frac{(f-z)}{w}$, demnach

$$y = (f-z) \frac{x}{w} \quad \dots \quad 108.$$

Da ferner $\Delta eha \sim \Delta dca$ ist, so folgt $\frac{z}{w-x} = \frac{f}{w}$, mithin

$$z = \frac{f}{w} (w-x) \quad \dots \quad 109.$$

Führt man diesen Werth von z in Gleichung 108 ein, so erhält man den Ausdruck

$$y = \frac{f}{w^2} x^2, \quad \dots \quad 110.$$

welcher der Gleichung der Parabel entspricht, deren Axe mit der Coordinatenaxe cd zusammenfällt.

Steht wie in Fig. 262 dc schiefwinkelig auf ab im Halbirungspunkte d , so sind ab und cd conjugirte Durchmesser der Parabel und aus der hier als bekannt vorausgesetzten Uebereinstimmung der Form der Gleichung der Parabel, bezogen auf ein System conjugirter Axen mit der Scheitelgleichung 110 derselben, folgt, dafs alle Eigenschaften der Parabel, welche vom Coordinatenwinkel unabhängig sind, auch bei dem neuen System mit conjugirten Axen Giltigkeit behalten.

Von Bogenlinien in der Form von Fig. 261 u. 262

Fig. 261.

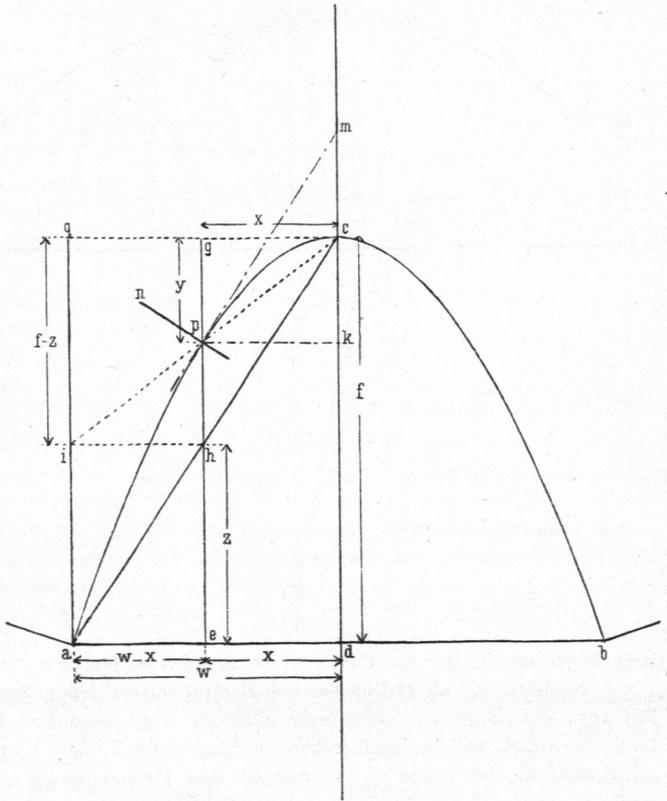


Fig. 262.

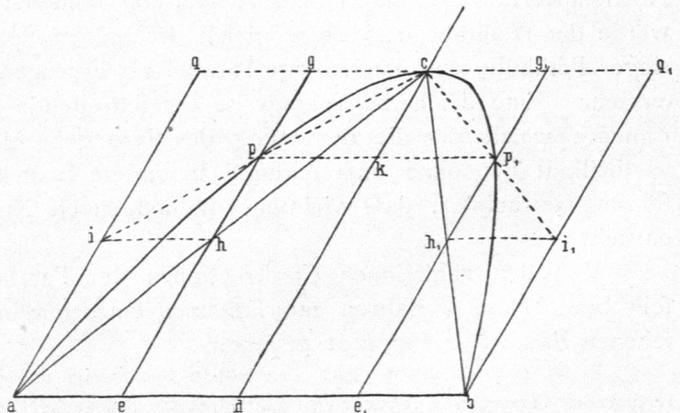
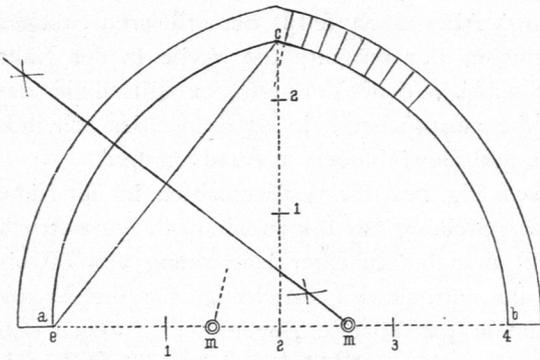


Fig. 263.



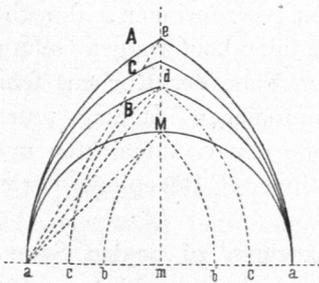
Bogenwinkels entstehen die mehr oder weniger schlanken Spitzbogen.

In Fig. 263 ist der Bogenwinkel acb , bei dem ein Pfeilverhältniß $2\frac{1}{2} : 4$ oder $5 : 8$, welches schon in früher Zeit bei den Spitzbogen Anwendung gefunden hat, zu Grunde gelegt ist, einem weniger schlanken Spitzbogen entsprechend, bietet aber für ein spitzbogiges Tonnengewölbe eine zweckmäßige Bogenlinie.

Bei der Verwendung des Spitzbogens zu Tonnengewölben sind die Schenkel desselben jeder für sich meistens aus einem Mittelpunkte zu schlagen; nur in besonderen Fällen können die Bogenschänkel für sich aus mehreren Mittelpunkten nach Art der Korbbogen beschrieben werden. Die Form der Spitzbogen ist eine äußerst mannigfache und, wenn auch später bei Betrachtung der gothischen Kreuzgewölbe noch näher auf die Bildung von Spitzbogen eingegangen werden soll, so sind hier, so weit das spitzbogige Tonnengewölbe in Betracht kommt, vorweg folgende Bemerkungen zu machen.

In Fig. 264 sind einige Spitzbogen für die Spannweite aa in Zusammenstellung mit einem um m beschriebenen Halbkreise gezeichnet, wobei die Mittelpunkte b und c der Bogenschänkel B und C , wie ohne Weiteres ersichtlich, mit Hilfe der Sehnenlängen aM und ad bestimmt wurden. Der höchste Spitzbogen A hat für seinen Schenkel einen Halbmesser gleich der Spannweite, so daß der Scheitelpunkt e dieses Bogens die Spitze eines über der Spannweite errichteten gleichseitigen Dreiecks aea bildet. So lange der Mittelpunkt für die Spitzbogenschänkel innerhalb der Strecke ma bleibt, erscheint der danach gebildete Bogen weniger schlank, aber vielfach in ästhetischer und in gewissen Fällen in statischer und constructiver Beziehung günstiger. Eine Grenzlage bildet gleichsam der um a beschriebene Spitzbogen A . Rückt der

Fig. 264.



Mittelpunkt noch über die Kämpferpunkte a hinaus, so entsteht leicht eine übertrieben spitze, lanzettartige Form für die Bogenlinie. Wegen der Vielfältigkeit, welche der Spitzbogen bietet, ist in jedem besonderen Falle die Wahl seiner Form reiflichen Erwägungen zu unterwerfen. Der Umstand, daß der Spitzbogen an seinem Scheitelpunkte einen Bogenwinkel bildet, beeinflusst die Stellung der Gewölbefugen, welche für jeden Bogenschänkel nach dem ihm zugehörigen Mittelpunkte gerichtet sein sollen, in beachtenswerther Weise. Bei kleinerem Wölbmaterial wird namentlich, wie Fig. 265 zeigt, über dem Scheitelpunkte des Bogens ein häßliches und der Stabilität desselben ungünstiges System von kleinen, stark keilförmigen

werden wir später noch Gebrauch machen.

Ist die Bogenlinie nicht stetig gekrümmt, sondern wie in Fig. 263 aus zwei in einem Punkte c , dem Scheitelpunkte, sich schneidenden Bogenschänkeln, ac und bc , die an dem Schnittpunkte einen mehr oder weniger großen Bogenwinkel bilden, zusammengesetzt, so entsteht der Spitzbogen als erzeugende Linie für das spitzbogige Gewölbe. Je nach der Größe des

Stücken angehäuft, welches in keiner Weise einer guten Construction entspricht und deshalb als fehlerhaft bezeichnet wurde. Aber auch selbst bei größeren Stücken von Wölbmaterial ist die Fugenanordnung in der dargestellten Weise in der Nähe des Scheitels zu vermeiden, da zweckmäßig, dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes (Drucklinie) im Spitzbogengewölbe entsprechend, in der Nähe des Scheitels sich mehr der lothrechten Richtung nähernde Gewölbefugen anzuordnen sind.

Aus diesem Grunde richtet man nach Fig. 266 die Wölbchichten in der Nähe des Scheitels unter Aufgeben der normalen Stellung zur Bogenlinie nach symmetrisch liegenden versetzten Mittelpunkten. Läßt man bis zu einer Entfernung von 30 bis 40 cm auf beiden Seiten des Scheitels die normale Fugenrichtung für die Mittelpunkte o , bzw. II eintreten, so ist nunmehr das höchste Bogenstück zwischen den normalen Grenzfugen $o \dots o$ und $II \dots II$ für kleineres Wölbmaterial, z. B. für Ziegel, in der Weise in Schichten zu theilen, daß, der Dicke der Ziegel und der Stärke der Fugen zwischen dem Ziegelmauerwerk entsprechend, die Theilung auf der Rückenlinie des Gewölb Bogens mit Vermeidung der fog. Schlusfuge vor-

Fig. 265.

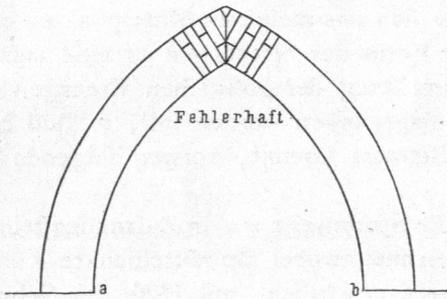
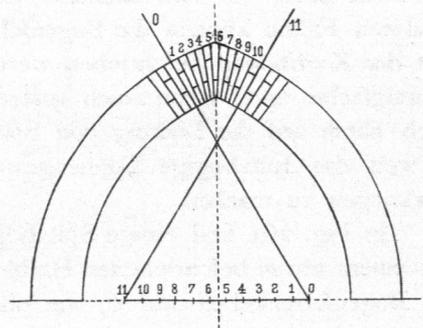


Fig. 266.

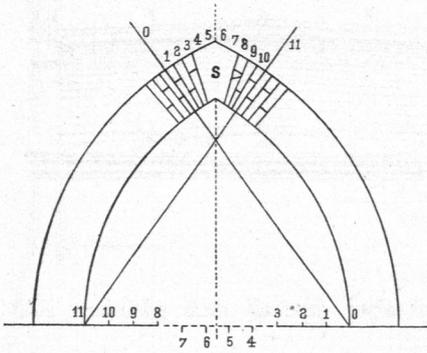


genommen wird. Die Theilung auf der inneren Bogenlinie vorzunehmen, ist nicht rätlich, weil alsdann in Folge der immerhin noch nothwendigen keilförmigen Gestalt der Wölbsteine bei der sonst üblichen Gewölbstärke in der Nähe des Rückens sehr starke Mörtelfugen erforderlich werden, während bei der empfohlenen Theilung, unter Beobachtung regelrechter Fugenstärken, die einzelnen Steine der Wölbchichten nur ein mäßiges Verhauen erleiden oder in der Nähe der inneren Bogenlinie etwas schwächere Fugen als oben am Rücken erhalten.

Da die Theilung von der gedachten Scheitel-Lothrechten zu beiden Seiten symmetrisch liegt, also für den Schlusstein eine volle Steinschicht eingeführt werden muß, so hat man immer für die zu theilende Strecke zwischen den Grenzfugen eine ungerade Zahl von Wölbchichten anzuordnen. Diese Zahl ist nun maßgebend für das Festlegen der Richtungslinien der einzelnen Fugen, indem die Verbindungslinie der Hauptmittelpunkte $o \dots II$ in dieselbe Anzahl gleicher Theile zerlegt wird. In der Zeichnung sind 11 Theilpunkte angewandt, und nunmehr richtet sich Fuge 1 nach der Geraden $I \dots I$, 2 nach der Linie $2 \dots 2$ u. f. f.

Eine gleiche Anordnung des Fugenschnittes im Scheitel ist auch für Spitzbogen, welche aus Bruchstein- oder Quadermaterial hergerichtet werden sollen, zu empfehlen.

Fig. 267.

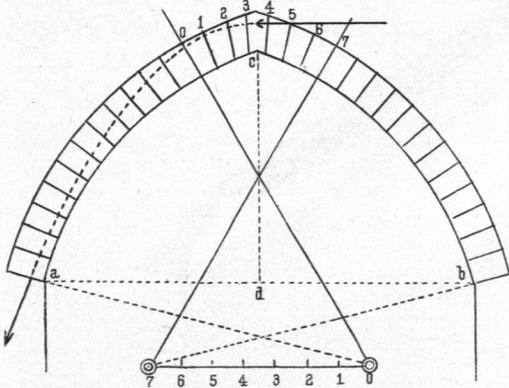


Zuweilen fügt man auch selbst dann, wenn Ziegelmaterial verwendet wird, unter theilweiser Beibehaltung der eben beschriebenen Fugenanordnung, nach Fig. 267 eine besonders aus größeren Thonsteinen gebrannte oder aus Werkstücken (Quadern) bearbeitete Schlussteinschicht *S* ein, was namentlich bei steileren Spitzbogen rätlich ist, da alsdann ein Verhauen der einzelnen, wenn auch wenigen Schichten in der unmittelbaren Nähe des Scheitels vermieden wird.

Bei steilen Spitzbogen kann die Grenzlage, bis zu welcher die normale Fugenrichtung beibehalten wird, schon mit einem Neigungswinkel von etwa 45 Grad zur Wagrechten *o...II* angenommen werden, während bei weniger steilen, fog. stumpfen Spitzbogen die schon oben angegebene höhere Grenzlage ohne Nachtheil für die Ausführung eingeführt werden kann.

Werden die Mittelpunkte *o* und *7* (Fig. 268) unter die wagrechte Verbindungslinie *ab* der Kämpferpunkte gelegt, so entsteht der gedrückte Spitzbogen.

Fig. 268.



Wird dabei die Pfeilhöhe *cd* kleiner, als die halbe Spannweite *ad*, so erhält man den flachen Spitzbogen.

Die Anwendung des gedrückten Spitzbogens, dessen Fugenschnitt aus der Zeichnung ersichtlich ist, eignet sich aus statischen Gründen, weil im Allgemeinen ein günstiger Verlauf der Mittellinie des Druckes sich nachweisen läßt, meistens vortheilhaft zur Ausführung spitzbogiger Tonnengewölbe.

Eben so wie aus zwei Kreisbogenchenkeln ein Spitzbogen gebildet werden kann, würde man auch aus zwei symmetrischen elliptischen Bogen oder aus zwei symmetrischen Korbbogen einen Spitzbogen construiren und danach ein entsprechendes Tonnengewölbe herstellen können. In der Anwendung sind alsdann alle diejenigen Punkte wieder zu berücksichtigen, welche bereits bei den elliptischen und Korbbogen-Gewölben Erwähnung gefunden haben. Auf die elliptischen Spitzbogen-Gewölbe wird noch bei den »Tonnengewölben mit fog. Stichkappen« und bei den »Netzgewölben« hinzuweisen sein.

Werden gerade Tonnengewölbe in größerer Länge zur Ueberdeckung eines Raumes in Anwendung gebracht, so erscheint die wagrechte Scheitellinie des Gewölbes dem Auge des Beschauers nicht mehr als eine wirkliche Wagrechte, sondern als eine nach unten schwach durchgebogene Linie. Diese optische Täuschung zieht natürlich das Ansehen des Gewölbes in unangenehme Mitleidenschaft. Um diesen Eindruck zu verwischen, läßt man bei derartigen längeren Tonnengewölben (Fig. 269) die Axen von den Stirnmauern bis zur Mitte des Raumes schwach geneigt an-

steigen, oder wie gefagt wird, man läßt das Gewölbe »mit Stich« versehen. Die Scheitellinie und die Kämpferlinien erhalten dann als Parallele zur Gewölbaxe denselben Stich.

In folchem Falle bilden die beiden cylindrischen Cewölbkörper *A* und *B*, da ihre Axen nicht mehr rechtwinkelig zu ihren Stirnebenen stehen, schiefe cylindrische Körper, welche in einer fog. »Naht« oder in einem »Grat« *mb* zusammentreffen, sonst aber überall den gleichen lothrechten Querschnitt besitzen.

Das schräge Ansteigen *ab*, bezw. *cb* der Kämpferlinien kann beim Vorhandensein wagrecht geführter Kämpfergesimse jedoch von nachtheiliger Wirkung werden; um dieses zu vermeiden, ordnet man das Gewölbe nach Fig. 270 bei wag-

Fig. 269.

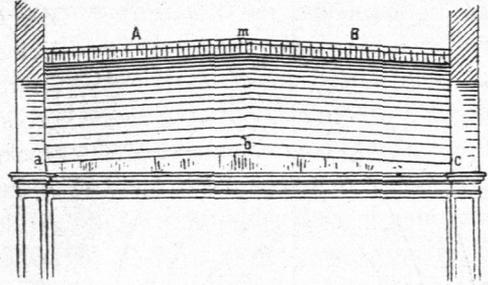
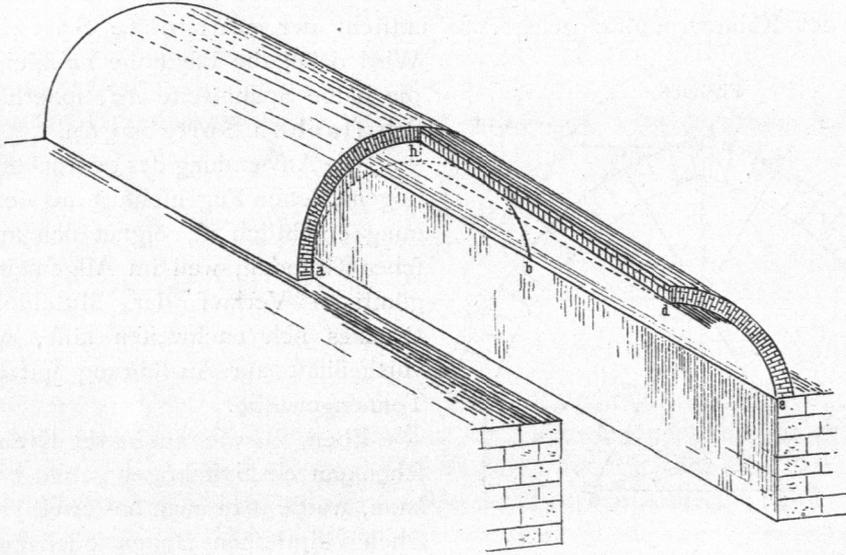


Fig. 270.



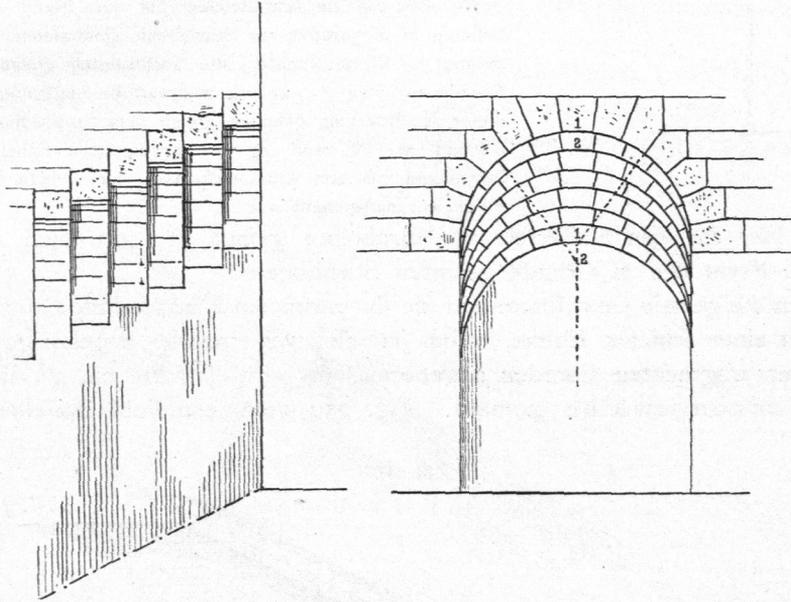
rechten Kämpferlinien so an, daß die Scheitellinie bis zur mittleren Bogenlinie, welche eine andere Form *ahb* als die Bogenlinie der Stirn erhält, in entsprechender Weise ansteigt. Die Folge hiervon ist, daß die sämtlichen lothrechten Schnitte, parallel zur Stirnebene gelegt, verschiedene Bogenlinien aufweisen müssen. In der praktischen Ausführung solcher Gewölbe wird aber auf dem den Körper des Gewölbes tragenden Gerüste, wovon später erst die Rede sein kann, ohne von vornherein die Wölblinien zu ändern, vermöge des nur geringen Stiches, an den nothwendigen Gerüststellen eine schwache Auffütterung von Holzstücken vorgenommen, welche in ihrer Höhe der Stichhöhe in den zugehörigen Punkten entsprechen.

Um die Höhen der Auffütterungen an verschiedenen Stellen zu bestimmen, kann man nach Anleitung von Fig. 271 verfahren.

ein Grat *a*. Derartige Tonnengewölbe finden in der Regel nur bei Treppenanlagen Verwendung und sind auch hierfür schon in früher Zeit in großartiger Weise zur Ausführung gelangt.

Wenngleich der praktischen Herrichtung dieser Gewölbe besondere Schwierigkeiten nicht entgegenstehen, so wurden doch namentlich im Mittelalter derartige steigende Gewölbe aus einzelnen, neben einander stehenden, kürzeren Gewölben, sog. »Gurten« oder »Zonen«, deren Kämpfer einer staffelartigen Anordnung folgen, zusammengefügt. Diese Constructionsweise, welche in Fig. 273 in Ansicht und

Fig. 273.



Längenschnitt dargestellt ist, eignet sich besonders für Quader als Wölbmaterial. Auch bei den in dieser Weise auszubildenden Gewölben ist bei der Wahl der Bogenlinie die größte Freiheit vorhanden.

131.
Schrauben-
förmig
steigendes
Tonnen-
gewölbe;
Schnecken-
gewölbe.

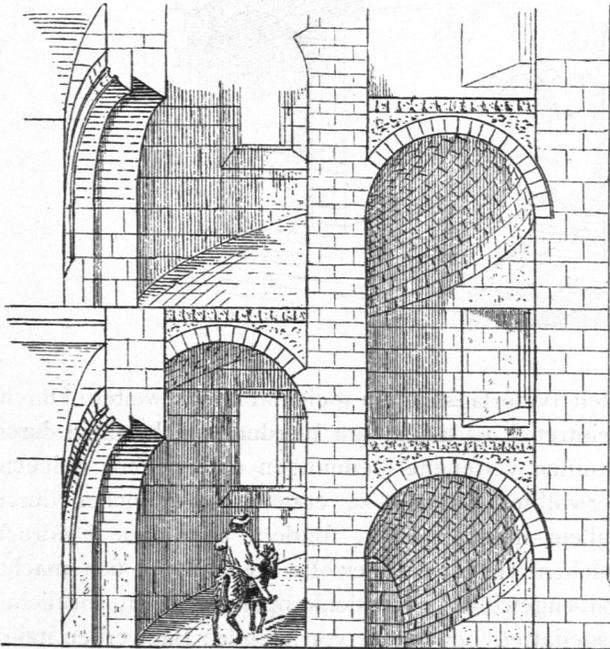
Sind die Axe und die Kämpferlinien eines Gewölbes Schraubenlinien, bei deren Festlegen die beiden zusammengehörigen Kämpferpunkte der Bogenlinie, welche die Laibungsfläche desselben erzeugt, die Endpunkte einer geraden wagrechten Linie bilden, so nennt man dasselbe ein schraubenförmig steigendes Tonnengewölbe oder ein Schneckengewölbe (Fig. 274). Derartige Gewölbeanlagen können über massiven Wendeltreppen, Reitrampen im Inneren eines Bauwerkes und in sonst geeigneten Fällen Platz greifen. Kommt bei denselben Werkstein als Wölbmaterial zur Benutzung, so ist ein besonderer Steinfugenschnitt, wovon später (unter c) die Rede sein wird und welcher in Fig. 274 angedeutet ist, in Anwendung zu bringen. Treten mit den Schneckengewölben Podestgewölbe *abcd* zusammen, deren Kämpferlinien *ad* und *bc* einer wagrechten Ebene angehören, so bilden die Schnittlinien über *ab*, bzw. *cd* Grate, welche jedoch genau der erzeugenden Bogenlinie entsprechen.

132.
Ringgewölbe.

Ist die Axe eines Gewölbes eine in einer wagrechten Ebene liegende, gesetzmäßig gebildete Curve und sind die in derselben Ebene liegenden Kämpferlinien

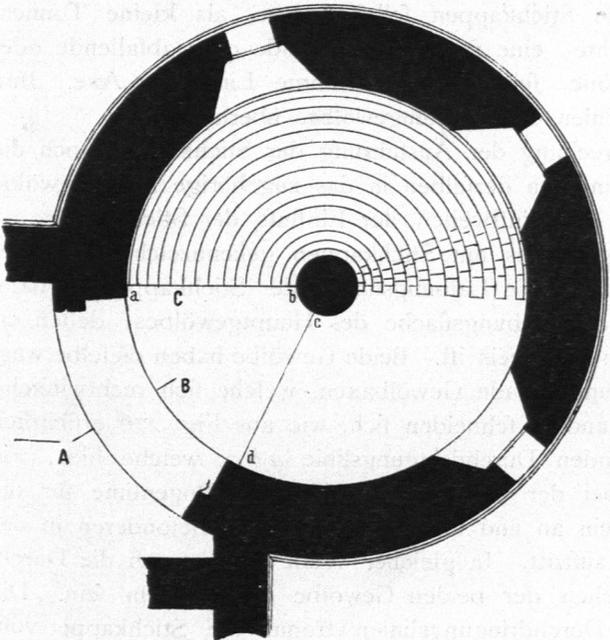
der Axe derartig entsprechend genommene Curven, daß in der winkelrecht zur Axe gestellten lothrechten Ebene der erzeugenden Bogenlinie zwei zusammengehörige Kämpferpunkte in jeder Stellung dieser Ebene immer denselben ursprünglichen Abstand von der Axe behalten, so entsteht die Laibung eines Ringgewölbes oder des ringförmigen Tonnengewölbes (Fig. 275). Am häufigsten wird die Gewölbaxe kreisförmig oder elliptisch (nur als Halbkreis, bzw. als halbe Ellipse oder vollständig geschlossen) zur Anwendung gebracht.

Fig. 274.



Schnitt AD.

Bei Bruchstein- und Backsteinmaterial entstehen bei der Herstellung solcher Ringgewölbe verhältnismäßig keine größeren Schwierigkeiten; bei Anwendung von Haufsteinmaterial sind die einzelnen Wölbsteine nach einem leicht zu ermittelnden Fugenschnitte zu bearbeiten. Tritt an die Stelle der krummlinigen Gewölbaxe eine gebrochene gerade Linie, d. h. ein Polygonzug, so entsteht eine Nebenart des Ringgewölbes, welche mit dem Namen polygonales Tonnengewölbe bezeichnet wird. Hierbei treten die Tonnengewölbe der einzelnen Seiten des Polygons über den Ecken der Axe in einem gemeinschaftlichen Grat zusammen.

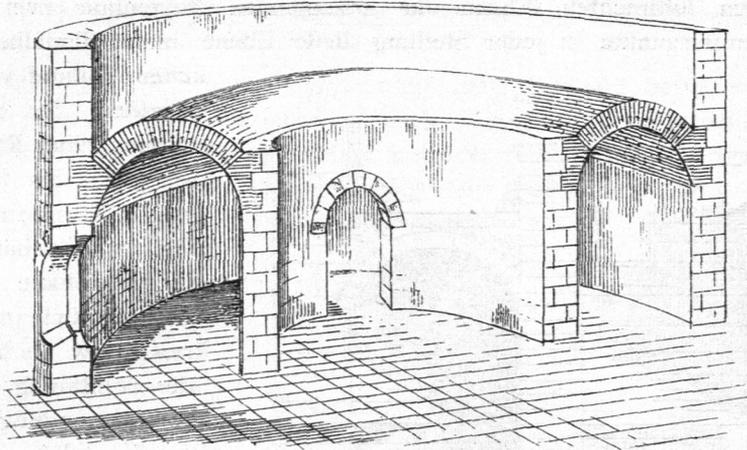


Schneiden die Gewölbflächen kleinerer Tonnengewölbe das eigentliche Hauptgewölbe, so nennt man die ersteren Stichkappen oder Lunetten und das ganze

133.
Tonnengewölbe mit
Stichkappen.

System ein Tonnengewölbe mit Stichkappen. Der Umstand, daß bei niedrig gehaltenen Widerlagern der Tonnengewölbe die Höhe des nutzbaren Raumes unter den Kämpferlinien die Anlage von nur mäßig hohen Licht- oder Durchgangsöffnungen

Fig. 275.



gestattet, hat darauf geführt, an den Widerlagsmauern gleichsam noch weitere Durchbrechungen des Tonnengewölbes eintreten zu lassen, um hierdurch nicht allein durch schlankere und mit guten Verhältnissen versehene Oeffnungen eine bessere Beleuchtung und Zugänglichkeit des überwölbten Raumes zu erzielen, als solches durch Oeffnungen in den Stirnmauern allein möglich wird, sondern auch den Eindruck der Schwere und des Ernstes, welchen ein Tonnengewölbe an und für sich macht, mehr und mehr zu mildern. Tonnengewölbe mit Stichkappen sind, in wirklicher Pracht und grossem Reichthum ausgestattet, bei den hervorragenden Bauwerken italienischer Renaissance zur Ausführung gekommen und können sich nach wie vor einer grossen Beliebtheit erfreuen. Die Stichkappen selbst haben, als kleine Tonnengewölbe genommen, eine wagrechte, eine schräg aufsteigende oder abfallende oder auch eine gebrochene gerade Linie, seltener eine krumme Linie zur Axe. Ihre Bogenlinie entspricht den Bogenlinien des Tonnengewölbes überhaupt.

Unter c wird bei der Besprechung der Ausführung der Stichkappen noch die genaue Ausmittlung und das Einfügen derselben in das zugehörige Hauptgewölbe beschrieben werden. Hier möge nur einstweilen der Einfluss der Stichkappen auf die Gesamtbildung des Tonnengewölbes mit Stichkappen gekennzeichnet werden.

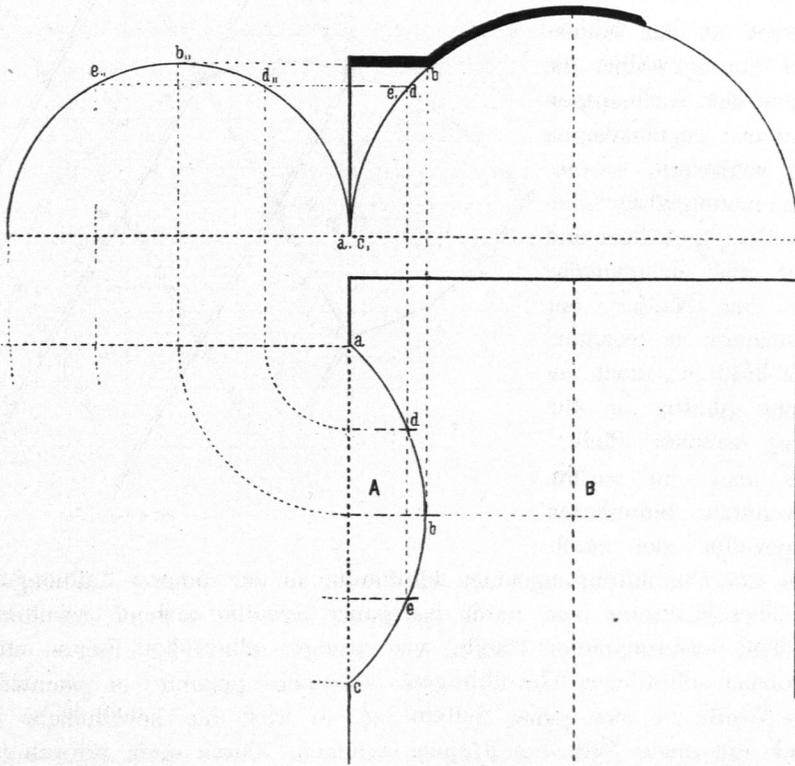
In Fig. 276 ist im Grundriss *A* die Laibungsfläche der Stichkappe mit halbkreisförmiger Bogenlinie und *B* die Laibungsfläche des Hauptgewölbes, dessen erzeugende Bogenlinie gleichfalls ein Halbkreis ist. Beide Gewölbe haben dieselbe wagrechte Ebene als Kämpferebene und gerade Gewölbaxen, welche sich rechtwinkelig treffen. Die Laibungsflächen *A* und *B* schneiden sich, wie aus Fig. 276 ersichtlich ist, in einer leicht zu bestimmenden Durchdringungslinie *abc*, welche hier, wie auch im Allgemeinen meistens bei der Wahl einer bestimmten Bogenlinie für die Stichkappe der Fall ist, nicht allein an und für sich, sondern im Besonderen in der wagrechten Projection als Curve auftritt. In gleicher Weise würde auch die Durchdringungslinie für die Rückenflächen der beiden Gewölbe zu ermitteln sein. Die Fläche zwischen diesen beiden Durchdringungslinien trennt die Stichkappe vom Hauptgewölbe, und dieselbe kann als Laibungsfläche eines besonderen, mit bestimmter Stärke behafteten Gewölbes auftreten, welches sich, mit regelrechtem Fugenschnitte versehen, an das Hauptgewölbe schmiegend und in dasselbe legend, als Stütze für

die antretenden Wölbsteine desselben dienen, gleichzeitig aber für das in das Hauptgewölbe gesteckte kleinere Stichkappen-Gewölbe den Anchluss und die weitere Stütze gewähren muss.

Hierin ist der Grundsatz für die Construction der Stichkappen ausgesprochen.

So gut nun die wagrechte Projection der Durchdringungslinien, sei die innere oder äußere Wölbfläche dabei in Betracht genommen, neben der Bogenlinie des Hauptgewölbes von der Bogenlinie der Stichkappe abhängig gemacht wird, eben so gut kann auch umgekehrt diese Bogenlinie bei gegebenem Hauptgewölbe von einer bestimmten, vorweg vorgezeichneten wagrechten Projection der Durchdringungslinie abhängig gemacht und unter Berücksichtigung der sonst als unveränderlich fest

Fig. 276.



liegenden Bestimmungstücke des übrigen Gewölbekörpers ermittelt werden. Und gerade unter Benutzung dieser Freiheit ist eine fernere Grundlage für die weitere Entwicklung des Tonnengewölbes erworben, welche sich bei der Anordnung der fog. Netzgewölbe, die später einer besonderen Betrachtung unterzogen werden müssen, in gewissem Grade Geltung verschafft.

In Fig. 277 ist *A* die wagrechte Projection der Laibungsfläche der Stichkappe und *B* diejenige der halbkreisförmigen Laibungsfläche des Hauptgewölbes. Beide Gewölbe besitzen dieselbe wagrechte Kämpferebene. Die Weite der Stichkappe sei *ac*.

Die wagrechte Projection der Durchdringungslinie soll die gebrochene gerade Linie *abc* sein, deren Stücke Seiten eines gleichschenkeligen Dreiecks mit der Grundlinie *ac* bilden. Die hiernach zu findende Bogenlinie *abc* der Stichkappe ist aus Bogenschenkeln zusammengesetzt, welche im vorliegenden Falle Ellipsen angehören und, wie aus Fig. 277 hervorgeht, in leicht erfichtlicher Weise gefunden werden

können. So ist z. B. $fh = ik$ und $gr = ut = mn$. Man erhält also für das in das Hauptgewölbe gesteckte Gewölbe einen »elliptischen Spitzbogen« als erzeugende Bogenlinie.

In der lothrechten Ebene ab erscheint die Durchdringungslinie als Theil az einer Ellipse, welche im Viertel als azw dargestellt und deren halbe große Axe av , deren halbe kleine Axe vw gleich dem Halbmesser xy der Bogenlinie des Hauptgewölbes ist. Im Schnitt fg ist C die lothrechte Projection der Stickenfläche.

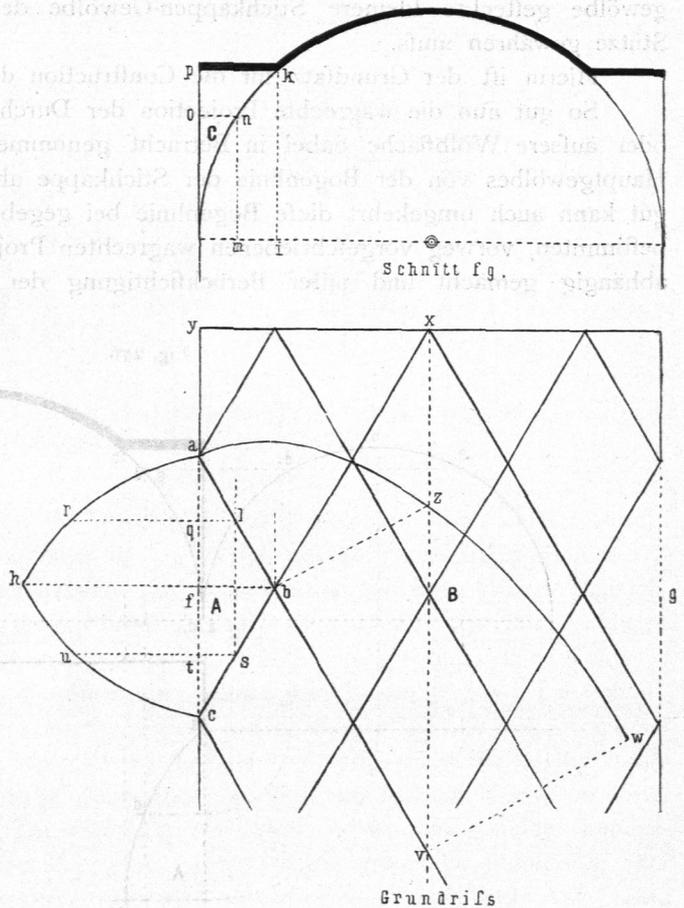
Werden an den Widerlagern des Hauptgewölbes die Einfügungen der Sticken in bestimmten, regelmäßigen Abständen wiederholt, so entspringt eine mannigfaltige Gliederung des Hauptgewölbes und gleichzeitig eine fachgemäße Auflösung der Massen der Widerlagsmauern in einzelne, wenn auch kräftige, doch im Allgemeinen günstig in die Erscheinung tretende Pfeiler.

Läßt man die vorhin schon erwähnten besonderen Anchlussgewölbe der Sticken

an den Durchdringungslinien selbständig an der inneren Laibungsfläche des Hauptgewölbes vortreten und durch das ganze Gewölbe ziehend erweitern; ordnet man, da diese vorspringenden Theile, wie gezeigt, elliptischen Bogen entsprechen, mehrere solcher elliptischer Gewölbbogen, »Rippen« genannt, in planmäßiger und decorativer Weise für das ganze System an, so wird die Gewölbfläche in Muster zerlegt und mit einem Netz von Rippen versehen. Durch diese Anordnung ist der Vorläufer für das eigentliche »Netzgewölbe« erzeugt. Treten hier die Rippen nur als ein Schmuck der Tonnengewölbe auf, so werden dieselben bei den Netzgewölben des Mittelalters als eigentliche Träger der Füllgewölbe der einzelnen Felder oder Maschen des Netzes in Anspruch genommen und bieten damit ein Mittel für eine reiche und reizvolle Durchbildung gewölbter Decken nicht allein bei regelmäßig, sondern auch, da die Netzbildung weit gehende Freiheiten gestattet, bei unregelmäßig im Grundriß auftretenden Räumen.

Ist die Gewölbaxe gh eines Tonnengewölbes (Fig. 278) nicht rechtwinkelig zur Stirnebene ab , bezw. cd eines Gewölbes gerichtet, so entsteht ein schiefes Gewölbe. Als Maß der Schiefe gilt die Größe des Winkels δ , um welchen die Richtung der Gewölbaxe von dem Lothe ik zur Stirnebene abweicht. Wenngleich die schiefen Gewölbe im Hochbauwesen thunlichst vermieden werden, so können

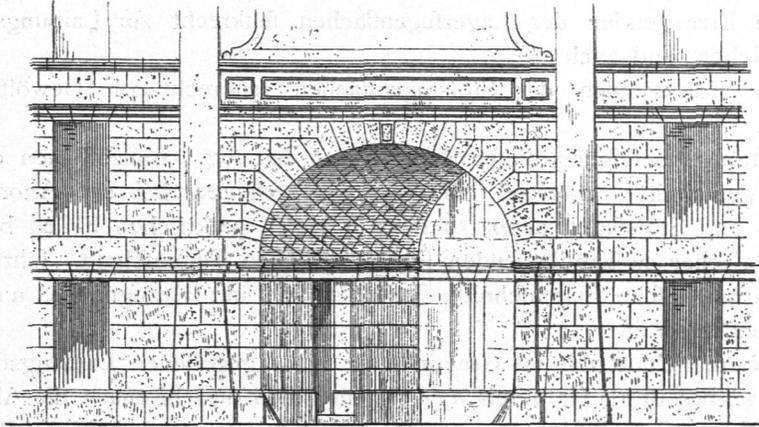
Fig. 277.



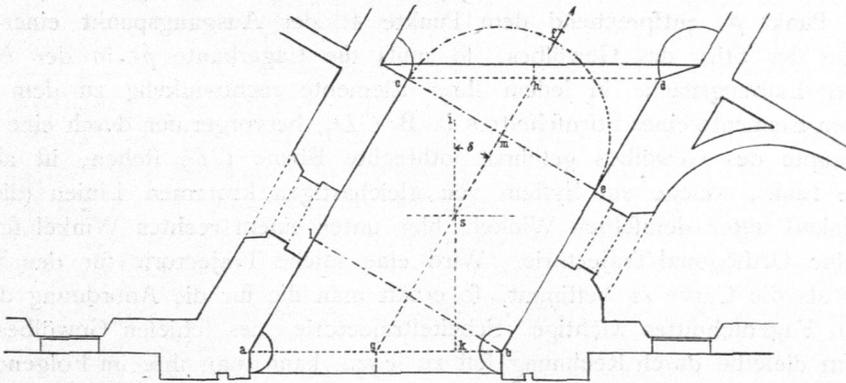
doch Fälle eintreten, wie z. B. bei Durchfahrten u. f. w., welche die Ausführung schiefer Gewölbe unter Umständen erforderlich machen.

Von größter Bedeutung für die Durchbildung der schiefer Gewölbe ist die zweckmäßige Anordnung der Lager- und Stofsflächen derselben. Würden die Lagerflächen als Ebenen behandelt, deren Kanten gerade Linien, parallel zu den Widerlagslinien ac , bzw. bd geführt, sein sollten, so würden, wenn diese Ebenen — möchten dieselben auch senkrecht auf der cylindrischen Laibungsfläche stehen, deren Erzeugende der Normalschnitt cfe des schiefer Gewölbes ist — bis an die Stirnen des Gewölbes durchtreten, die aus den einzelnen Wölbsteinen gebildeten

Fig. 278.



Ansicht



Grundriss

Gewölbstücke über den dreieckigen Grundflächen abl und dec bei b und c , wo dieselben in einer Linie endigen, kein Widerlager besitzen, also, wenn nicht besondere gekünstelte Anordnungen und Verankerungen dieser Gewölbstücke eingeführt würden, nicht standfähig sein. Würden bei einer derartigen Wahl der Lagerflächen die Stofsflächen in Ebenen liegend genommen, welche rechtwinkelig zu den Lagerflächen stehen, so würden auch an den Stirnen die Wölbsteine eine mangelhafte Stützfläche erhalten, während, wenn die Stofsflächen in Ebenen genommen werden, welche parallel zur Stirnebene stehen, der letzte Uebelstand wohl gehoben, aber der Mangel des Widerlagers in den Punkten b und c nicht beseitigt würde.

Zur Vermeidung dieser Mifsstände ist von der gewöhnlichen Anordnung des beim geraden Tonnengewölbe auszuübenden Fugenschnittes, wonach sowohl die Lagerflächen als auch die Stofsflächen in Ebenen liegen, welche je für sich rechtwinkelig zur Laibungsfläche des Gewölbes stehen, bei den schiefen Tonnengewölben abzuweichen, und hierfür der fog. schiefe Fugenschnitt in Anwendung zu bringen. Als Regel für diesen schiefen Fugenschnitt gilt meist die Bestimmung, dafs:

- 1) die Lagerfugenkanten auf der Laibungsfläche des Gewölbes sowohl rechtwinkelig zur Stirn, als auch rechtwinkelig zu jedem ferneren parallel zur Stirnebene genommenen Stirnschnitte stehen;
- 2) die Stofs-fugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten gerichtet, also parallel zur Stirnlinie sind;
- 3) die Erzeugenden der Lagerfugenflächen senkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes stehen, und auch
- 4) die Erzeugenden der Stofs-fugenflächen senkrecht zur Gewölbfläche gerichtet sind.

Die strenge Befolgung dieser Regel liefert den fog. »französischen oder orthogonalen Fugenschnitt«, während ein Näherungsverfahren bei der Anordnung der Lagerfugen- und Stofs-fugenkanten zu dem in vielen praktischen Fällen brauchbaren und weit einfacher zu handhabenden fog. »englischen Fugenschnitt« führt.

Der »französische Fugenschnitt« gefaltet sich mit Bezugnahme auf Fig. 279 in der folgenden Weise.

Der Normalchnitt der im Grundrifs als $abcd$ gegebenen Laibungsfläche eines schiefen Gewölbes ist als Halbkreis afe angenommen und hiernach die Abwicklung der cylindrischen Gewölbfläche ab_1d_1c bestimmt. Für den beliebigen Punkt p der abgewickelten Stirnlinie ab_1 ist $as = x$ gleich der Bogenlänge ag und $sp = y = ih$. Ist der Punkt p , entsprechend dem Punkte h , der Ausgangspunkt einer Lagerkante an der Stirn des Gewölbes, so mufs die Lagerkante pt in der Abwicklung der Laibungsfläche in jedem ihrer Elemente rechtwinkelig zu dem ihr zugehörigen Elemente eines Stirnschnittes (z. B. CD_1 , hervorgerufen durch eine parallel zum Haupte des Gewölbes geführte lothrechte Ebene CD) stehen, ist also eine krumme Linie, welche ein System von gleichartigen krummen Linien (die Stirnschnittlinien) unter demselben Winkel, hier unter einem rechten Winkel schneidet, d. h. eine Orthogonal-Trajectorie. Wird eine solche Trajectorie für den Scheitelpunkt l als die Curve lv bestimmt, so erhält man die für die Anordnung des französischen Fugenschnittes wichtige »Scheiteltajectory« des schiefen Gewölbes.

Um dieselbe durch Rechnung fest zu legen, kann man ihre im Folgenden entwickelte Gleichung benutzen.

Bezeichnet r den Halbmesser des für den Normalchnitt ae gewählten Kreisbogens (hier ein Halbkreis), β das Bogenmafs für den Halbmesser 1 und α den Winkel der Schiefe, so ist, bei Annahme des rechtwinkelligen Coordinaten-Systemes XY mit dem Anfangspunkte a , für einen beliebigen Punkt p (x, y) der »abgewickelten Stirnlinie« ab_1 , die Abscisse as gleich der Bogenlänge ag , d. h.

$$x = r\beta, \dots \dots \dots \text{III.}$$

oder, wenn der zugehörige Centriwinkel amg des Bogens ag eine Gröfse von β Graden besitzt, sofort

$$x = r \frac{\pi}{180^\circ} \beta^\circ \dots \dots \dots \text{III.}$$

Die Ordinate $y = sp$ des betrachteten Punktes p wird, da $sp = ih$ und $ih = ia \cdot \operatorname{tg} \alpha = (r - mi) \operatorname{tg} \alpha = (r - r \cos \beta) \operatorname{tg} \alpha$ ist, durch

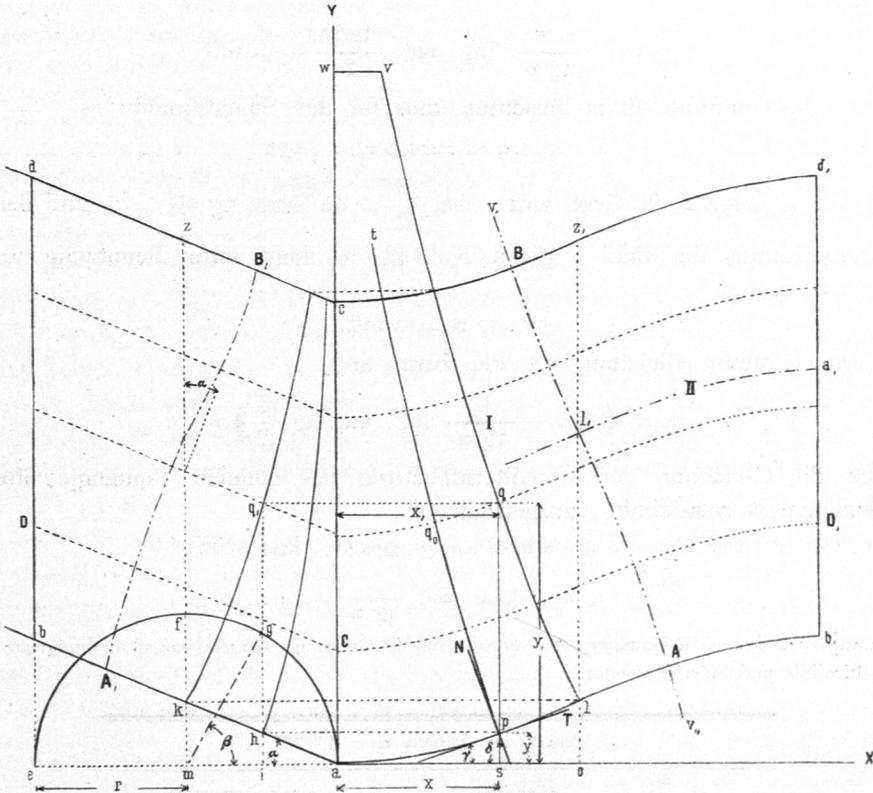
$$y = \operatorname{tg} \alpha (1 - \cos \beta) r \dots \dots \dots 113.$$

bestimmt.

Für die im Punkte p beginnende Trajectorie pt ist, wenn für diesen Curvenpunkt nur zur Unterscheidung von der abgewickelten Stirnlinie die Coordinaten x_1, y_1 statt x, y eingeführt werden, in Bezug auf die Tangente pN im Elemente p der Trajectorie

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{dy_1}{-dx_1} = -\frac{dy_1}{dx_1} \dots \dots \dots 114.$$

Fig. 279.



Nun ist aber, da pN rechtwinkelig auf der im Elemente p der Stirnlinie ab_1 vorhandenen Tangente pT stehen soll, $\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} (90 - \delta) = \operatorname{cotg} \delta = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$ oder

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\operatorname{tg} \gamma} ; \dots \dots \dots 115.$$

mithin unter Benutzung von Gleichung 114

$$dy_1 = -\frac{dx_1}{\operatorname{tg} \gamma},$$

oder, da für den Punkt p auch $x_1 = x$, also $dx_1 = dx$ ist, auch

$$dy_1 = -\frac{dx}{\operatorname{tg} \gamma} \dots \dots \dots 116.$$

Nun ist auch $\operatorname{tg} \gamma = \frac{dy}{dx}$ und aus Gleichung 111 folgt

$$dx = r \cdot d\beta; \dots \dots \dots 117.$$

ferner erhält man aus Gleichung 113: $dy = r \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \beta \cdot d\beta$; mithin wird

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{r \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \beta \cdot d\beta}{r \cdot d\beta} = \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \beta \dots \dots \dots 118.$$

Unter Einführung der Werthe aus den Gleichungen 117 u. 118 in Gleichung 116 erhält man

$$dy_1 = - \frac{r \cdot d\beta}{\operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \beta} \dots \dots \dots 119.$$

als Differentialgleichung der Trajectorie. Durch Integration dieser Gleichung ergibt sich

$$y_1 = - \frac{r}{\operatorname{tg} \alpha} \log. \operatorname{nat.} \frac{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{1} + \operatorname{Conf.} \dots \dots \dots 120.$$

Für die Constante ist zu beachten, daß für den Scheitelpunkt l

$$y = y_1 = ol = mk = r \cdot \operatorname{tg} \alpha \dots \dots \dots 121.$$

und $\sphericalangle \beta = \sphericalangle amf = 90$ Grad wird. Da $\frac{\beta}{2} = 45$ Grad, $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$ und der natürliche Logarithmus der Zahl 1 gleich Null ist, so folgt unter Benutzung der Ausdrücke 120 u. 121

$$r \cdot \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{Conf.},$$

und hiernach nimmt Gleichung 120 die Form an:

$$y_1 = \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \log. \operatorname{nat.} \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \right) r, \dots \dots \dots 122.$$

wodurch die Gleichung der »Scheiteltrajectorie des schiefen Tonnengewölbes mit kreisförmigem Normalchnitt« ausgedrückt ist.

Beispiel. Der Winkel α der Schiefe betrage $22^\circ 30'$. Alsdann ist

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,4142 \text{ und } \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = 2,4143.$$

Entsprechend den Gleichungen 112, 113 u. 122 ist für einige Werthe von β die folgende Tabelle für die Stirnlinie und Scheiteltrajectorie

Winkel der Schiefe $\alpha = 22^\circ 30'$				
β	Stirnlinie		Scheiteltrajectorie	
	x	y	$x_1 = x$	y_1
0	0	0	0	∞
30	0,5236	0,0555	0,5236	3,5938
60	1,0472	0,2071	1,0472	1,7402
75	1,3090	0,3070	1,3090	1,0544
90	1,5708	0,4142	1,5708	0,4142
Grad	r	r	r	r

berechnet. In Fig. 279 ist $\alpha = 22^\circ 30'$ und $r = 3$ m genommen. Für $\beta = 60^\circ$ ergibt sich für den Punkt q der Scheiteltrajectorie lv demnach die Abscisse $x_1 = as = \text{Bogen } ag = 1,0472 \cdot 3 = 3,1416$ m; die Ordinate $y_1 = sq = 1,7402 \cdot 3 = 5,2206$ m.

Ist in einem gegebenen einzelnen Falle die Scheiteltrajectorie lv in Verbindung mit der halben abgewickelten Stirnlinie al und der Widerlagslinie aY durch Zeichnung fest gelegt, so kann das Flächenstück $alvw$ ohne Weiteres als Lehre (Schablone) zur Bestimmung der sämmtlichen Lager- und Stofs-fugenkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche ab_1d_1c benutzt werden. Hierbei ist nur das Folgende zu berücksichtigen.

Die Scheitellinie lz_1 scheidet die abgewickelte Fläche ab_1c_1d in die beiden Theile I und II . Für die Lager- und Stofskanten des Theiles I gleitet die Lehre mit ihrer Seite aw stets an der Widerlagslinie ac fort, während für jene Kanten des Theiles II die Lehre an der mit ac parallelen Linie b_1d_1 fortzubewegen ist.

Ist z. B. p ein Theilpunkt der Gewölbstirn (Fugenpunkt) des Theiles I , so führt man die Lehre mit ihrer Seite aw so lange an ac entlang, bis die Curve lv mit einem Elemente durch den Punkt p läuft, und zeichnet alsdann das auf die Fläche I von lv fallende Curvenstück pt als Lagerkante vor. Die Stofs-fugenkanten sind am Stirnbogenstücke al vorzuzeichnen. Würde etwa der Punkt q der Ausgangspunkt einer solchen Kante sein, so verschiebt man die Lehre an ac so lange, bis ein Element der Stirnlinie al durch q läuft, und zeichnet qq_0 als Stofskante ein.

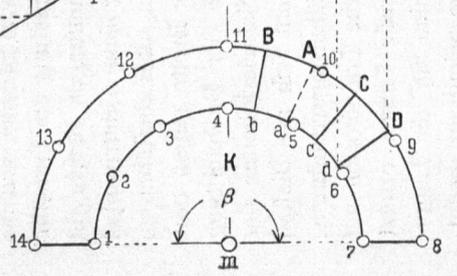
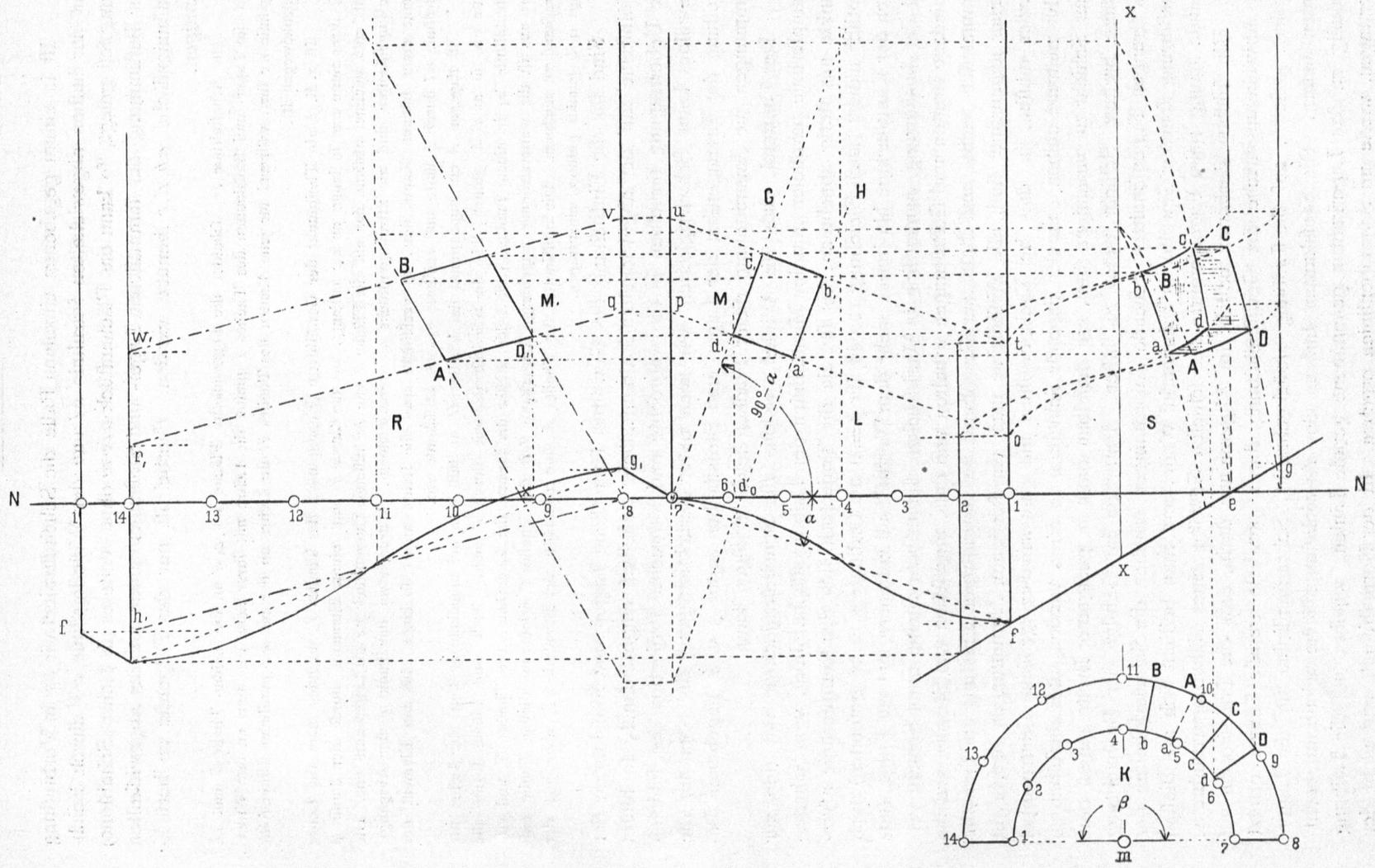
Ist dagegen A ein Fugenpunkt des Theiles II , so läßt man bei umgekehrter Lage der Lehre die Seite aw so an d_1b_1 gleiten, bis die Scheiteltrajectorie durch A zieht. Trifft eine solche Kante die Scheitellinie lz_1 in einem Punkte l_1 , so bildet dieser die Grenze der Lagerkante des Theiles II , und von hier aus ist die weiterziehende zugehörige Lagerkante l_1B des Theiles I wiederum diesem Theile entsprechend zu zeichnen. Die Stofskanten des Theiles II sind mit Hilfe der Stirnlinie al , aber jetzt der Lage a_1l_1 gemäß geführt, einzutragen.

Sind für die Eintheilung des Gewölbes sämmtliche Lager- und Stofskanten der Wölbsteine auf der abgewickelten Laibungsfläche desselben eingezeichnet, so bietet die Uebertragung derselben in die wagrechte und lothrechte Projection des schiefen Gewölbes keine Schwierigkeiten, wie auch unter Berücksichtigung der oben für die Stellung der Erzeugenden der Lager- und Stofsflächen unter 3 u. 4 gegebenen Bestimmungen die Ausmittlung dieser Flächen leicht erfolgen kann.

Der Umstand, daß die Winkel, welche die Scheiteltrajectorie mit den zur Kämpferlinie parallelen geraden Mantellinien der Laibungsfläche bildet, vom Scheitelpunkte aus stetig abnehmen, bis sie, da die Trajectorie sich der Kämpferlinie asymptotisch nähert (nach Gleichung 122 ist für $\beta = 0$ die Ordinate $y_1 = \infty$ gefunden) auch nach der Kämpferlinie hin immer mehr dem Werthe Null zusteuern, hat zur Folge, daß bei der Ausführung, namentlich in Werkstücken, sämmtliche Steine einer Schicht verschiedene Breiten und Gestaltungen erhalten und daß, abgesehen von Steinen, welche symmetrisch rechts und links zur Gewölbaxe bei sorgfältiger Theilung im Gewölbkörper angeordnet sind, alle Wölbsteine nach verschiedenen Abmessungen bearbeitet werden müssen, ja, daß bei Kreisgewölben mit einigermaßen großem Centriwinkel selbst mehrere neben einander liegende Schichten so dünn werden, daß dieselben zu einer Schicht zu vereinigen sind, um dieselben dann in geeigneter Breite gegen eine andere breitere Schicht treten zu lassen. Derartige im Gefolge der Beobachtung des strengen Fugenschnittes stehende Anordnungen erhöhen die Schwierigkeiten der Ausführung schiefer Gewölbe in mancherlei Weise, und man bedient sich aus diesem Grunde häufig beim Fugenschnitte der schiefen Gewölbe eines Näherungsverfahrens.

Ein solches Verfahren besteht im Allgemeinen darin, daß die Trajectorien auf der Abwickelungsfläche der Gewölbelaibung durch parallele gerade Linien ersetzt werden, welche, auf die Laibung zurückgebracht, Schraubenlinien für die Lagerkanten liefern. Die Stofskanten sind in der Abwickelungsfläche wiederum rechtwinkelig zu den Lagerkanten genommene gerade Linien, welche, auf die Laibung übertragen, wiederum Schraubenlinien ergeben. Ist der Normalchnitt und nicht der

Fig. 28o.



Stirnbogen des schiefen Gewölbes bei dieser Fugenanordnung ein Halbkreis oder ein Kreissegment, so ist man bei sorgfältiger Theilung der Wölbflächen im Stande, den sämmtlichen Wölbsteinen, mit Ausnahme der Stirn- und Kämpfersteine, congruente Laibungsflächen zu geben.

Die Lager- und Stofsflächen besitzen gerade Linien als Erzeugende, welche senkrecht zur Laibung stehen. Da die Lagerkanten in der Abwicklung parallele gerade Linien sind, so schneidet jede derselben die zur Kämpferlinie des Gewölbes parallelen Mantellinien stets unter demselben Winkel, dem »constanten Fugenwinkel«.

Auf diesen Grundfätzen beruht der sog. »englische Fugenschnitt«, welcher in der Ausführung weit weniger Umstände verursacht, als der vorhin besprochene französische Fugenschnitt.

Zur näheren Erklärung des »englischen Fugenschnittes« möge Fig. 280 dienen.

In derselben ist S ein Theil des Grundrisses des schiefen Gewölbes mit der Axe XX , L die Abwicklung der inneren, R die der oberen Gewölbfläche und K der in der Ebene NN stehende Normalchnitt des Gewölbes, welcher als Halbkreis gewählt ist.

In der abgewickelten Gewölbfläche L ist die maßgebende Lagerkante durch den an der Stirn befindlichen Kämpferpunkt γ , welcher dem Punkte e in S auf NN entspricht, als gerade Linie γG rechtwinkelig zur geraden Verbindungslinie $f\gamma$ der Endpunkte der abgewickelten Stirnlinie gelegt, so daß γG die Richtung aller Lagerkanten, G, H u. f. w., $f\gamma$ die Richtung aller Stofskanten op, tu u. f. w., wobei letztere sonst für die einzelnen Wölbflächen im Verbands stehen, bezeichnet. Die Lagerkanten schneiden die zu der Kämpferlinie ft parallelen Mantellinien unter dem constanten Fugenwinkel α ; die Stofskanten treffen diese Mantellinien unter einem Winkel $90^\circ - \alpha$.

Durch diese Anordnung ergibt sich die abgewickelte Laibungsfläche eines Wölbsteines z. B. als das Rechteck $a_1 b_1 c_1 d_1$.

Zur Bestimmung der Lager- und Stofskanten auf der abgewickelten Rückenfläche R sind dieselben, da die Fugenflächen, welche jene Kanten enthalten, auf der inneren Gewölbfläche senkrecht stehen sollen, von den Lager- und Stofskanten der inneren Gewölbfläche abhängig zu machen. Der Punkt d_1 , welcher der Lagerkante γG angehört, liegt auf der zur Kämpferlinie γu parallelen Mantellinie Md_0 der Laibungsfläche, um eine Bogenlänge γd_0 von der Kämpferlinie entfernt. Nimmt man demnach im Normalcutte K die zurückgeführte Bogenlänge $\gamma d_0 = \gamma d$, so ist, wenn in d die Normale dD bis zum Gewölbrücken gezogen wird, durch die Bogenlänge δD die Mantellinie auf der oberen Gewölbfläche, welche den Punkt D_1 auf der oberen Abwicklung R enthalten muß, in ihrer lothrechten Projection bestimmt.

Nimmt man ferner die Bogenlänge δx in der Abwicklung R gleich der Bogenlänge δD , so ist die durch x parallel zu γu , bezw. $g_1 v$ geführte gerade Linie xM_1 die gefuchte Mantellinie auf der Fläche R , in welcher D_1 enthalten ist. Der Punkt d_1 liegt aber auch auf der geraden Stofskantenlinie op ; die Stofsflächen schneiden, da ihre Erzeugenden senkrecht zur Gewölbfläche stehen, die abgewickelte Widerlagsfläche $\gamma g_1 v u$ in einer zu $\gamma \delta$ parallelen Geraden $p q$ und ferner, der normalen Stellung jener Erzeugenden halber, die abgewickelte Rückenfläche R in einer zur geraden Verbindungslinie δh_1 , also der abgewickelten Stofskante der oberen Gewölbfläche parallelen Geraden $q r_1$. Der Schnittpunkt derselben mit der Mantellinie xM_1 ergibt den gefuchten Punkt D_1 , und die Gerade δD_1 bezeichnet die maßgebende Lagerkante auf der Abwicklung R_1 , während die maßgebende Richtung der abgewickelten Stofskanten die Gerade δh_1 ist. Auf der abgewickelten Rückenfläche ist jedoch eine rechtwinkelige Durchkreuzung der Lager- und Stofskanten, wie solches auf der Abwicklung der Laibungsfläche der Fall ist, nicht vorhanden.

Bestimmt man auf ähnlichem Wege die Lage des Punktes A_1 , so geht durch denselben die zu δD_1 parallel geführte Lagerkante $A_1 B_1$, und nunmehr wird es leicht, die obere Abwicklungsfläche $A_1 B_1 C_1 D_1$, welche der unteren Abwicklungsfläche $a_1 b_1 c_1 d_1$ eines Gewölbsteines entspricht, in der aus Fig. 280 ersichtlichen Weise zu zeichnen.

Bringt man ferner die geraden Lager- und Stofsflächenkanten in die wagrechte Projection durch bekannte Operationen zurück, so erhält man die Schraubenlinien, welche in ab und dc die Lagerkanten, in ad und bc die Stofskanten des gewählten Wölbsteines auf der inneren Laibungsfläche, dagegen in AB und DC die Lagerkanten und in AD und BC die Stofskanten derselben auf der Rückenfläche des schiefen Gewölbes enthalten, während die geraden Linien aA, bB, cC und dD die Grenzerzeugenden der als Schraubenflächen auftretenden Lager- und Stofsflächen sind.

Unter Beobachtung der für den englischen Fugenschnitt geltenden Grundfätze ist in Fig. 281 ein schiefes Gewölbe, dessen Normalchnitt ein Kreisbogen mit dem Centriwinkel β ist, in Rücksicht auf die weitere Fugentheilung dargestellt. Die maßgebende Lagerkante γG soll im Endpunkte γ der Kämpferlinie γq beginnen und auf der für die Stofskanten maßgebenden Richtung γa rechtwinkelig stehen; gleichzeitig soll auch im günstigsten Falle der auf der Stirnlinie $p q$ liegende Endpunkt G dieser Lagerkante ein Theilpunkt für die Gewölbstirn werden. Die Anzahl der Wölbsteine an der Stirnfläche muß aber, damit, wie bekannt, zu beiden Seiten des Schlufssteines eine gleiche Zahl von Wölbsteinen vorhanden ist, eine ungerade sein. Theilt man nun die abgewinkelte Stirnlinie unter Beobachtung sonst günstiger Breitenabmessungen der Wölbsteine in eine solche ungerade Anzahl gleich großer Strecken ein, so wird im Allgemeinen ein solcher Gewölbtheilpunkt nicht sofort oder auch selbst nicht nach mehreren Theilversuchen mit dem Punkte G zusammenfallen. Tritt dieser Umstand ein, so verfährt man am besten, wenn man die Länge γq der Kämpferlinie des Gewölbes, wie bei L_0 in Fig. 281 zu sehen ist, um ein an und für sich meistens geringes Stück $\pi \pi_1$ so abändert, daß die abgewinkelte Stirnlinie durch den Punkt π_1 geht, welcher alsdann auch Endpunkt der maßgebenden Lagerkante wird. Auf diese verlegte Stirnlinie werden die Theilpunkte des Gewölbhauptes ohne Weiteres übertragen und durch dieselben die zu $\gamma \pi_1$ parallelen Lagerkanten gezogen. Die auf Verband zu ordnenden Stofskanten richten sich zunächst nach den Punkten ρ , in welchen die Lagerkanten die Kämpferlinien treffen, und nunmehr ist die Theilung der einzelnen Wölbchichten durch Stofskanten so vorzunehmen, daß, abgesehen von den Stirnsteinen, in allen Schichten lauter gleich lange Wölbsteine vorkommen.

Die Kämpfersteine bilden in ihrer Gesamtheit einen sägeförmigen Ansatz für die Wölbchichten und erhalten unter der eigentlichen nur angearbeiteten Kämpferlinie ihrer Haltbarkeit halber stets eine entsprechende Verstärkung (Ueberhöhung).

Die Stirnsteine bieten bei der Bearbeitung wohl einige Schwierigkeiten. Nur die rechts und links an den Hauptern symmetrisch liegenden Steine werden gleich groß und symmetrisch geformt. Die Stirnfugen selbst sind Schnittlinien der Schraubenflächen der Lagerflächen mit der Ebene der Stirn, also im Allgemeinen krumme Linien. Immerhin sind alle diese Umstände weit zurückstehend gegen die, welche sich bei der Herstellung der schiefen Gewölbe nach dem französischen Fugenschnitte geltend machen.

Für die keilförmige Verjüngung der eigentlichen Wölbsteine erhält man als Maß Kreisbogen mit Radien ρ und ρ_1 , welche in Fig. 281 für einen Wölbstein A eingeschrieben sind. Durch die Anwendung dieser Kreisbogen kann die Formgestaltung der Steine erleichtert werden.

Zur Bestimmung des Krümmungshalbmessers ρ der Schraubenlinie für die Stofsfugenkante $z_1 y_1$ am Steine A ist die von der Geraden γa abhängige Schraubenlinie maßgebend. Mit Bezugnahme auf Fig. 281 ist, wenn r den Radius $m \gamma$ des Normalchnittes des Cylinders, auf welchem die Schraubenlinie liegt und α den Steigungswinkel γa derselben auf der Abwicklung L bezeichnet, allgemein

$$\rho = \frac{r}{\cos \alpha^2} \dots \dots \dots 123.$$

Es ist aber $\cos \alpha = \frac{\varphi}{\delta}$, also

$$\cos \alpha^2 = \frac{\varphi^2}{\delta^2} = \frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2} \dots \dots \dots 124.$$

Aus den Gleichungen 123 u. 124 folgt

$$\rho = \frac{r}{\frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2}} = \frac{r}{\varphi^2} (\varphi^2 + \gamma^2)$$

oder

$$\rho = r \left[1 + \left(\frac{\gamma}{\varphi} \right)^2 \right] \dots \dots \dots 125.$$

Für den Centriwinkel β des als Kreisbogen genommenen Normalschnittes des schiefen Gewölbes wird

$$\varphi = \frac{\pi r}{180^\circ} \beta^0, \quad \dots \quad 126.$$

wodurch Gleichung 125 übergeht in

$$\rho = r + \left(\frac{180^\circ \cdot \gamma}{\pi \beta^0} \right)^2 \frac{1}{r} \quad \dots \quad 127.$$

Der Krümmungshalbmesser ρ_1 der Schraubenlinie für die Lagerkante $z_1 h_1$ des Steines A ergibt sich mit Hilfe der für diese Schraubenlinie in der Abwicklung maßgebenden Geraden γG , für welche der Steigungswinkel $\angle \gamma G = 90 - \alpha$ in Betracht kommt, durch den Ausdruck

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos(90 - \alpha)^2} = \frac{r}{\sin \alpha^2} \quad \dots \quad 128.$$

Nun ist $\sin \alpha = \frac{\gamma}{\delta}$, also

$$\sin \alpha^2 = \frac{\gamma^2}{\delta^2} = \frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2} \quad \dots \quad 129.$$

Aus der Verbindung von Gleichung 128 mit 129 folgt

$$\rho_1 = \frac{r}{\frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2}} = r \left[1 + \left(\frac{\varphi}{\gamma} \right)^2 \right],$$

oder, wenn für φ der Werth aus Gleichung 126 eingesetzt wird,

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r \beta}{180^\circ \gamma} \right)^2 r \quad \dots \quad 130.$$

Ist der Normalschnitt des schiefen Gewölbes ein Halbkreis, wofür $\beta = 180$ Grad wird, so erhält man für diesen besonderen Fall, entsprechend Gleichung 127,

$$\rho = r + \left(\frac{\gamma}{\pi} \right)^2 \frac{1}{r} \quad \dots \quad 131.$$

und gemäß Gleichung 130

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r}{\gamma} \right)^2 r \quad \dots \quad 132.$$

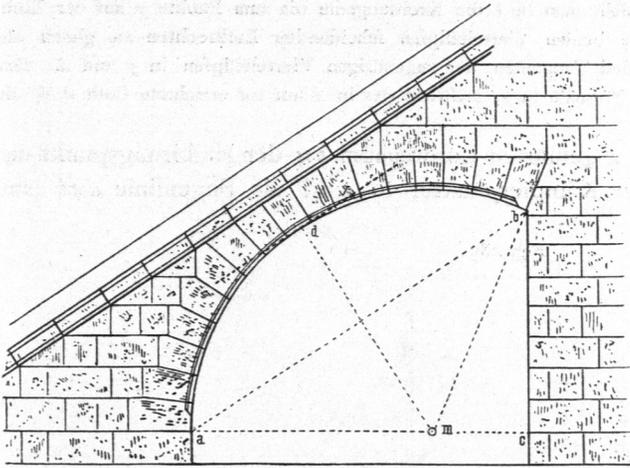
Noch möge hier die Bemerkung Platz finden, daß die Anwendung des constanten Fugenwinkels bei schiefen Gewölben eine gewisse Grenze hat, welche nicht überschritten werden darf, wenn kein Ausbauchen der Gewölbstirnen eintreten soll. Dieser Punkt kann jedoch erst bei Besprechung der Ausführung der Tonnengewölbe (unter c) näher berührt werden, wobei dann ferner unter Berücksichtigung des zur Verwendung gelangenden Wölbmaterials auch noch die Verfahren gekennzeichnet werden sollen, wonach in vereinfachter Weise die Herstellung von schiefen Gewölben für etwa vorzunehmende Deckenbildungen erfolgen kann.

135.
Einhüftiges
Tonnengewölbe.

Liegen die wagrechten Kämpferlinien eines Tonnengewölbes (Fig. 282) in zwei verschiedenen wagrechten Ebenen, so heißt dasselbe kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Der Abstand bc jener wagrechten Ebenen entspricht der »Hüfthöhe«, während die wagrechte Entfernung ac der durch a und b gehenden lothrechten Ebenen die Spannweite des Gewölbes ergibt.

Fig. 282.



Halbirungspunkte d eine parallel zu ab gerichtete Tangente, welche als allgemeine Richtungslinie für den vom Gewölbe getragenen Ueberbau gelten kann.

Nicht immer kann jedoch der Punkt d Halbirungspunkt der beabsichtigten erzeugenden Bogenlinie oder die allgemeine Richtungslinie nicht parallel der Verbindungslinie ab bleiben, so dass ein Kreisbogen nicht mehr ohne Weiteres als günstig für die Erzeugende des Gewölbes erscheint. Da außerdem in mancher Beziehung der Ansatz der Erzeugenden in den Kämpferpunkten mit lothrechter Tangente erwünscht ist, so setzt man an die Stelle des Kreisbogens als Erzeugende sehr oft elliptische Bogen oder Korbbogen.

In Fig. 283 ist die Erzeugende acb aus zwei Viertelellipsen ac und bc zusammengesetzt, welche in a und b lothrechte Tangenten, in dem sonst zwischen a und b beliebig gewählten Punkte c eine gemeinschaftliche Tangente cx , welche parallel zu ab zieht, besitzen. Die Punkte der einzelnen elliptischen Bogen sind durch die sog. Vergatterung ermittelt, wobei der um b beschriebene Viertelkreis wxx , dessen Halbmesser gleich der Strecke $c\gamma$ auf der durch den gegebenen Punkt c geführten Lothrechten zu ist, für die lothrechten Ordinaten der Ellipsenstücke maßgebend wird.

Theilt man die Strecken γa , γb und den Halbmesser bw des Viertelkreises wxx proportional, so gehören den entsprechenden proportionalen Theilpunkten die aus dem Viertelkreise zu entnehmenden lothrechten Ordinaten den gefuchten Ellipsenpunkten an.

Die proportionale Theilung erfolgt einfach mit Hilfe des Dreieckes aub , dessen Spitze u beliebig auf der durch c geführten Lothrechten zu angenommen ist, und mittels des Dreieckes bwv , dessen Seite bv auf der Lothrechten γb gleich der Strecke γu gemacht wurde.

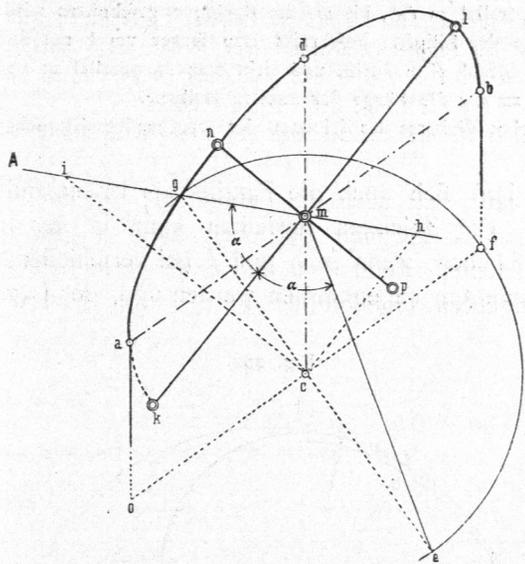
Zieht man durch den beliebig genommenen Punkt β_1 der Strecke γb die Lothrechte gf , wobei f auf ub liegt, alsdann durch f die Gerade he parallel zu ab , durch e die Lothrechte ed , so ist β_1 ein dem Theilpunkte β , der Strecke γb entsprechender proportionaler Theilpunkt der Strecke γa .

Führt man durch h den Strahl hi parallel bw und durch i die Lothrechte ik , so ist β wiederum ein Punkt, welcher bw in demselben Verhältnisse theilt, wie der Punkt β_1 die Strecke γb und der Punkt β_1 die Strecke γa zerlegt. Die Ordinate βk des Viertelkreises wxx liefert die Länge der lothrechten Ordinaten β, g und β, d für die gefuchten Punkte d und g der zugehörigen Viertelellipsen. Auf gleiche Weise sind noch die Punkte s und t bestimmt.

Um die Normalen in einzelnen Ellipsenpunkten fest zu legen, verfährt man am einfachsten wie folgt.

Als Erzeugende der einhüftigen Gewölbe kann irgend eine gefetzmäßig gebildete ebene Curve benutzt werden. Bei gegebenen Kämpferpunkten a und b kann in vielen Fällen ein Kreisbogen Verwendung finden, welcher im tieftgelegenen Kämpferpunkte a eine lothrechte Tangente besitzt und sonst die gerade Verbindungslinie ab als Sehne erhält. Ein derartiger um m zu beschreibender Kreisbogen hat in seinem

Fig. 284.



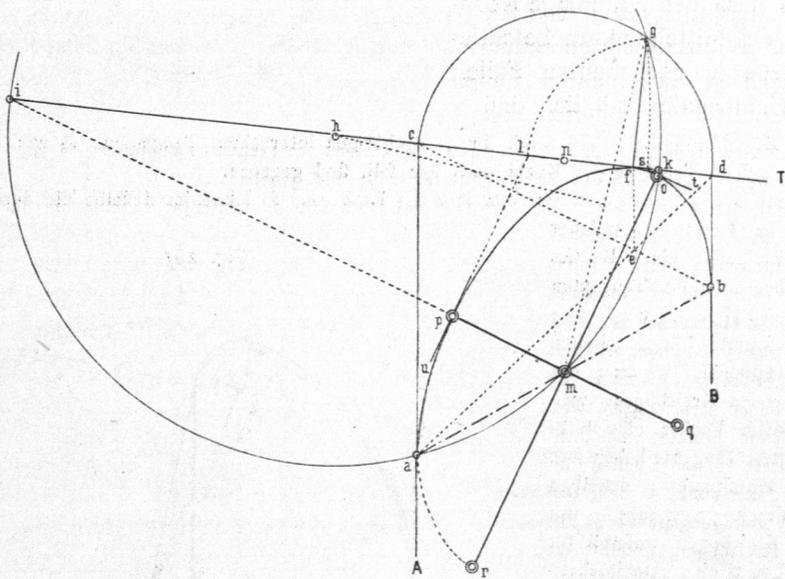
Um die Größe derselben zu finden, ziehe man ch parallel zu mk und ci parallel zu pn ; alsdann wird $mh = mp = nm$ gleich der halben Axe np und $mi = mk = ml$ gleich der halben Axe kl . Mit Hilfe dieser beiden reellen Axen ist die Ellipse nach bekanntem Verfahren zu construiren.

Recht oft sind die beiden lothrechten Tangenten der festen Kämpferpunkte a und b (Fig. 285), so wie eine in bestimmter Richtung vorgeschriebene dritte Tangente für die elliptische Erzeugende des einhöftigen Gewölbes gegeben, und hiernach ist die zugehörige Curve zu ermitteln. Mit Anwendung der Sätze der synthetischen Geometrie kann man sich in folchem Falle der in Fig. 285 gegebenen Lösung bedienen.

Die beiden durch die gegebenen Kämpferpunkte a und b gehenden Lothrechten A und B

folllen zwei parallele Tangenten der gefuchten Ellipse sein; die dritte veränderliche, hier gegebene, Tangente sei T . Zur Bestimmung des Berührungspunktes f dieser Tangente mit der Ellipse verbinde man die Schnittpunkte c und d des Strahles T mit den Tangenten A und B durch die geraden Linien ad und bc und ziehe durch den Schnittpunkt e derselben den Strahl ef parallel zu A , bzw. B ; alsdann ist f der

Fig. 285.



gefuchte Berührungspunkt. Errichtet man in f das Loth auf T und beschreibet man über cd einen Halbkreis um n , so wird auf jenem Lothe ein Stück fg abgeschnitten, welches für die weitere Untersuchung von Wichtigkeit ist (Potenz der Involution).

Legt man durch den Punkt m , welcher Mittelpunkt der Ellipse ist, und durch den Punkt g einen Kreis, dessen Mittelpunkt h auf dem Strahle T liegt und welcher diesen Strahl in den Punkten i und k schneidet, so bestimmen die von i durch m und von k ebenfalls durch m geführten geraden Linien ig und kr die Lage der reellen Axen der gefuchten Ellipse.

Um die Größe der Axen zu erhalten, beschreibe man um i mit dem Halbmesser ig den Kreisbogen gs bis zum Punkte s auf T und ziehe st parallel zu im , bis mk im Punkte o geschnitten wird; alsdann ist $mo = mr$ die Länge einer halben Axe der Ellipse. Beschreibt man ferner um k mit dem Halbmesser kg einen Kreisbogen, bis derselbe den Strahl T in l trifft und zieht man lu parallel zu km , bis die Gerade im in p getroffen wird, so ist $mp = mg$ die Länge der zweiten Halbaxe.

Nach Festlegen dieser reellen Axen erfolgt ohne Weiteres das Zeichnen der erzeugenden elliptischen Bogenlinie $apfob$ des einhäufigen Gewölbes.

Statt einer elliptischen Bogenlinie läßt sich auch die Parabel als Erzeugende eines einhäufigen Gewölbes verwenden. Das Zeichnen derselben kann in der in Fig. 262 (S. 154) angedeuteten Weise geschehen, wenn in a und b bei verschiedener Höhenlage derselben auch lothrechte Tangenten angenommen werden und, der Lage der Punkte a , b und c entsprechend, die für die Ermittlung der Parabel maßgebenden Dreiecke adc und bdc benutzt werden.

Statt der erwähnten Kegelschnittlinien wählt man, wie früher schon erwähnt, um in leichter Weise eine normale Fugenstellung zu erhalten, auch für einhäufige Gewölbe eine Korbboogenlinie als Erzeugende, die dann aus zwei oder mehreren Kreisbogen zusammengesetzt ist.

In Fig. 286 u. 287 sind nach einer und derselben Grundlage Korbboogen aus 2 Mittelpunkten beschrieben, welche in den meisten Fällen in ihrer Construction möglich sind.

Die Kämpferpunkte a und b mit ihren zugehörigen lothrechten Tangenten, so wie eine beliebige Gerade cd , welche Tangente des Korbboogens sein soll, sind gegeben.

Nimmt man $ac = ce$ und errichtet in e das Loth em , so schneidet dasselbe die durch a geführte Wagrechte im Punkte m , welcher offenbar Mittelpunkt eines Kreises ist, für welchen ac und cd Tangenten sind und dessen Halbmesser $ma = r$ eine nun bekannte Länge erhalten hat. Der Halbmesser $bn = x$ des in b beginnenden Kreisbogens, welcher in diesem Punkte eine lothrecht gerichtete Tangente haben soll, so wie der Mittelpunkt n desselben und sein Vereinigungspunkt o mit dem ersten Kreisbogen, woselbst für beide Kreisbogen eine gemeinschaftliche Tangente auftreten muß, sind unbekannt. Um zunächst die Größe des Halbmessers x zu finden, beschreibe man um m mit dem Halbmesser ma einen Kreisbogen K_1 , welcher die verlängerte Gerade am im Punkte g schneidet, ziehe die Linie mb und hierzu in b das

Fig. 286.

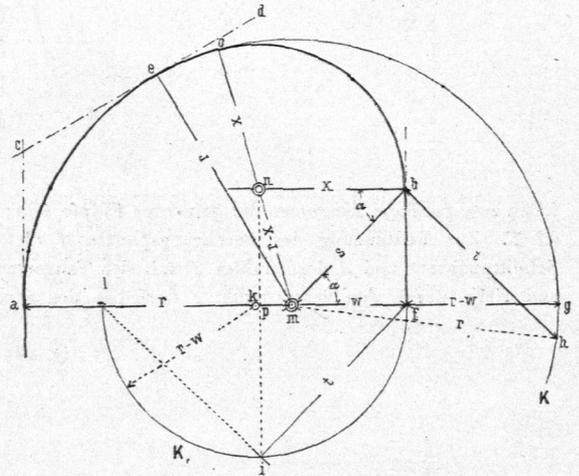
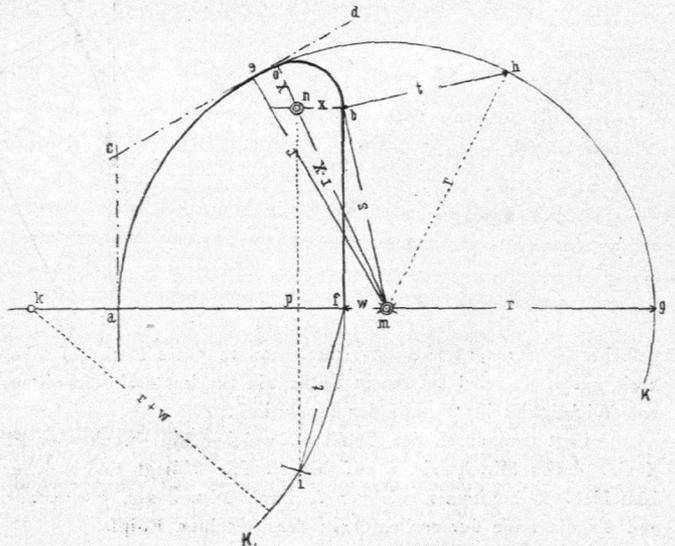


Fig. 287.



Loth bh , dessen Endpunkt h dem Kreise K angehört. Nimmt man alsdann $fk = fg$ als Halbmesser eines um k beschriebenen Kreises K_1 , trägt $fi = bh$ von f als Sehne desselben ein und fällt man von i das Loth ip auf af , so ist fp gleich dem gefuchten Halbmesser x .

Wird nunmehr in b rechtwinkelig zur lothrechten Tangente bf die Strecke $bn = x$ angetragen, so ist n der Mittelpunkt des vom Kämpferpunkte b ausgehenden Kreisbogens. Zieht man endlich den gehörig verlängerten Strahl mn , so trifft derselbe den ersten vom Kämpferpunkte a ausgehenden Kreis K im Punkte o , welcher Vereinigungspunkt für die beiden aus m und n beschriebenen, den gefuchten Korb-bogen bildenden Kreisbogen ao und ob wird.

Die gegebene Construction ist durch folgende, den Bezeichnungen in Fig. 286 u. 287 entsprechende Beziehungen begründet. In Fig. 286 liegt der Mittelpunkt m innerhalb der Spannweite af des Gewölbes. Im schiefwinkligen Dreiecke mbn ist

$$(r - x)^2 = s^2 + x^2 - 2sx \cdot \cos \alpha,$$

oder, da $\cos \alpha = \frac{w}{s}$, auch

$$(r - x)^2 = s^2 + x^2 - 2wx,$$

d. h.

$$2(r - w)x = r^2 - s^2.$$

Da ferner $r^2 - s^2 = t^2$, so ergibt sich

$$2(r - w)x = t^2$$

oder

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r - w)}, \dots \dots \dots 133.$$

wonach t als mittlere Proportionale zwischen x und $2(r - w)$ auftritt.

Die beiden rechtwinkligen Dreiecke $fp i$ und $fi l$ sind einander ähnlich, und es ist

$$\frac{fp}{fi} = \frac{fi}{fl},$$

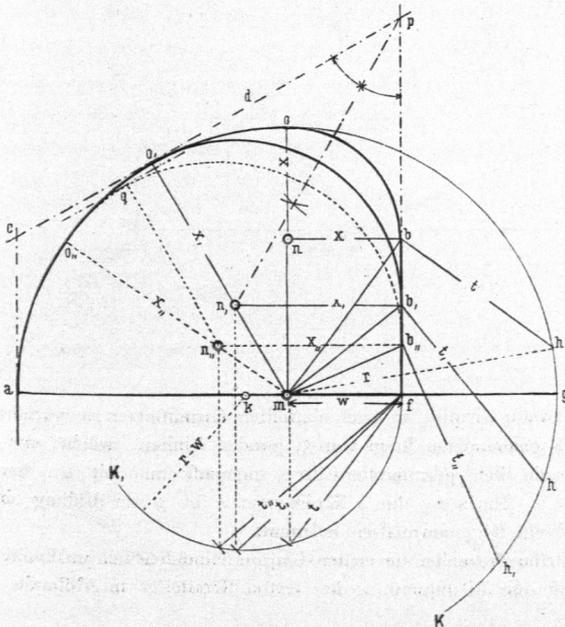
d. h. entsprechend der Gleichung 133

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r - w)}.$$

In Fig. 287 liegt der Mittelpunkt m des Kreises K außerhalb der Spannweite af ; mithin wird die Strecke w negativ, und man erhält unter Einführung von $-w$ statt w in Gleichung 133 für diesen Fall

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2(r + w)}, \dots \dots \dots 134.$$

Fig. 288.



wonach der um k zu beschreibende Kreis K_1 einen Halbmesser $fk = r + w$ zu erhalten hat, während die übrigen Anordnungen sich nicht ändern.

In Fig. 288 sind für verschiedene Hüfthöhen fb, fb_1 u. s. f. nach dem angegebenen Verfahren die zugehörigen Korb-bogen aus 2 Mittelpunkten gezeichnet. Hierbei mag bemerkt werden, daß eine Grenzlage für den Kämpferpunkt b in einer Hüfthöhe fb_1 entsteht, sobald der Mittelpunkt n_1 des von b_1 ausgehenden Kreisbogens der Schnittpunkt der Halbierungslinie des Winkels cpf , welchen die beiden Tangenten cd und fb bilden, mit der Senkrechten mo_1 auf cd wird. Ist die Hüfthöhe kleiner als fb_1 , z. B. gleich fb'' , so tritt eine parallele Verschiebung der ursprünglichen Tangente cd nach q

ein, und der Vereinigungspunkt o , der beiden Korbbogenreife liegt unterhalb von q .

Bei Korbbogen für einhäufige Gewölbe, mit mehr als 2 Mittelpunkten, z. B. aus 4 derselben, beschrieben, läßt sich recht oft die in Fig. 289, 290 u. 291 angegebene Construction verwerthen.

Fig. 289.

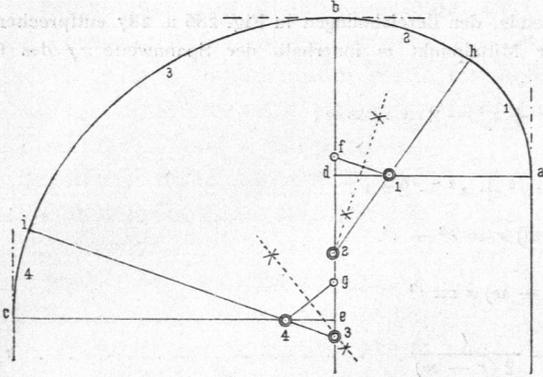
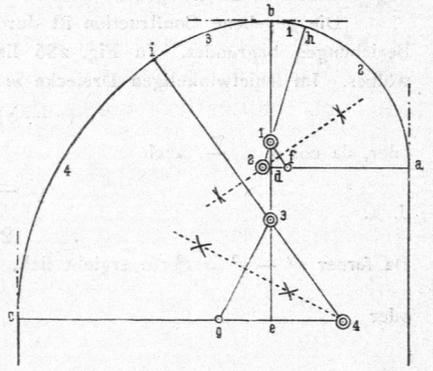


Fig. 290.



Gegeben sind 3 als Tangenten geltende gerade Linien mit den Berührungspunkten a , b und c . Man ziehe in diesen Punkten senkrechte Strahlen zu den Tangenten, bis dieselben, gehörig erweitert und der Reihe nach zu Paaren genommen, in d und e sich schneiden.

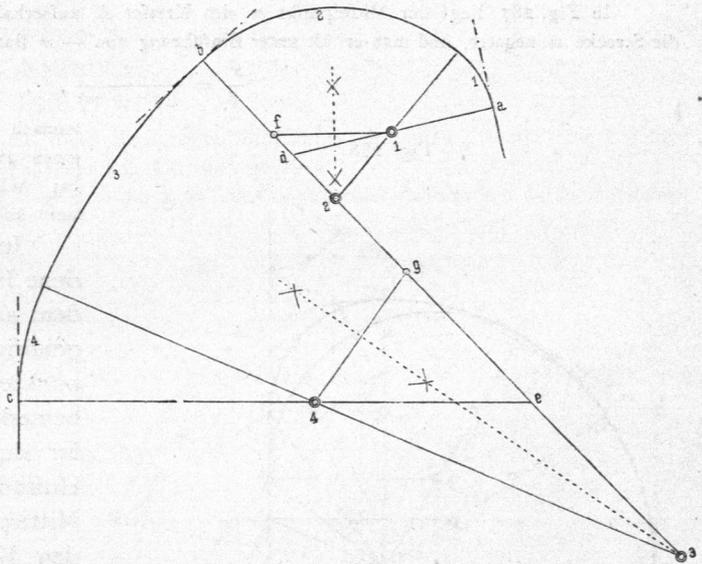
Hierdurch entstehen zwei Gruppen von Strecken, nämlich Gruppe aa und bd , so wie Gruppe be und ce . Bei der ersten Gruppe wähle man auf der größeren Strecke derselben einen festen Mittelpunkt 1 für den ersten Kreisbogen, dessen Anfangspunkt der dieser Strecke zugehörige Berührungspunkt ist.

Die Wahl dieses Mittelpunktes ist nur in der Weise beschränkt, daß der Halbmesser des ersten Kreises stets kleiner genommen werden soll, als die kürzere Strecke der in Betracht gezogenen Gruppe. Die Länge des so festgestellten ersten Halbmessers wird vom Berührungspunkte auf der kürzeren Strecke bis f abgetragen, auf der Mitte der Verbindungslinie $1f$ das Loth errichtet, welches die erweiterte kürzere Strecke im Punkte 2 schneidet, welcher als Mittelpunkt des zweiten Kreisbogens auftritt. Eine durch die Mittelpunkte 1 und 2 gelegte gerade Linie bildet den Scheidestrahle der zu vereinigenden beiden Kreisbogen der ersten Gruppe. Für die zweite Gruppe ist nach denselben Grundfätzen zu verfahren.

So sind auch bei der sehr willkürlich genommenen Lage von 3 geraden Linien, welche nur im Allgemeinen als Tangenten dem Laufe einer nach oben gekrümmten Curve angepaßt sind, mit den darauf beliebig fest gelegten Berührungspunkten a , b , c (Fig. 291) die 4 Kreisbogen 1 bis 4 zur Bildung eines einhäufigen Korb Bogens in der angegebenen Weise folgendermaßen bestimmt.

Die zu den Tangenten in a und b geführten Normalen der ersten Gruppe schneiden sich im Punkte a . Die Strecke ad ist größer als bd ; mithin ist der Mittelpunkt 1 des ersten Kreises 1 im Abstände $a1$ kleiner als bd gewählt, auf ad angenommen.

Fig. 291.



Hierauf ist $bf = ar$ abgetragen, in der Mitte der Geraden fr das Loth errichtet, welches erweitert den verlängerten Strahl bd in z schneidet. z ist Mittelpunkt des Kreises z . Die durch z und r geführte Gerade scheidet beide Kreise.

Die in b und c geführten Normalen der zweiten Gruppe treffen sich im Punkte e . Da ce größer ist als be , so ist der Mittelpunkt q auf der größeren Strecke ce angenommen und dabei cq kleiner als be gewählt. Nunmehr ist $bg = cq$ auf be abgetragen, wiederum in der Mitte der Verbindungslinie gq das Loth errichtet, welches verlängert die entsprechend fortgeführte Normale be im Punkte 3 , d. i. im Mittelpunkte des Kreises 3 trifft. Der Scheidestrahle der Kreise 3 und q ist die durch die Punkte 3 und q geführte Gerade.

b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager.

Beim Anfertigen des Entwurfes eines Tonnengewölbes, welches als Decke für einen gegebenen Raum ausgeführt werden soll, tritt die Frage in den Vordergrund, welche Stärke dem Gewölbe und seinen Widerlagern gegeben werden muß, damit diese Baukörper eine sichere und dauernde Standfähigkeit besitzen. Bei der Bestimmung dieser Stärken ist nicht außer Acht zu lassen, daß der Materialaufwand für die Gewölb- und Widerlagsmassen ohne Schädigung der Stabilität der ganzen Wölbanlage ein möglichst kleiner wird. Aus diesem Grunde wird zunächst die geringste Weite des zu überdeckenden Raumes als Spannweite für das Gewölbe angenommen, während die längeren Begrenzungen desselben den Widerlagern zugewiesen werden. Sodann ist die größte Belastung fest zu setzen, welche außer dem Eigengewicht der Construction im ungünstigsten Falle auf das Gewölbe kommen soll, und endlich ist die Beschaffenheit des Materials in Hinsicht auf sein Gewicht und namentlich auf seine Festigkeit gegen Zerdrücken sorgfältig in Betracht zu ziehen.

Wenngleich eine große Zahl von empirischen Regeln für die Bestimmung der Stärken der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager aufgestellt worden ist, so haben alle diese Regeln doch nur innerhalb gewisser Grenzen eine Berechtigung für ihre Anwendung; außerhalb dieser Grenzen können sie sogar zu einem Irrthum Veranlassung geben.

Für das Festlegen der Form der Gewöblinie, für die Bestimmung des Fugenschnittes, der Dicke des Gewölbkörpers und der Stärke des Widerlagers sind in jedem besonderen Falle die Wirkungen der im Gewölb- und Widerlagskörper thätigen Kräfte, so weit und so scharf als solches möglich, zu ergründen, um hierdurch die Ueberzeugung von der Festigkeit und Sicherheit des Baukörpers in allen seinen Theilen zu gewinnen.

Diese Aufgabe der statischen Untersuchung der Gewölbe fällt der »Gewölbetheorie« anheim. Die Bekanntschaft mit derselben muß hier vorausgesetzt und in dieser Beziehung auf Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Abth. II, Abschn. 4¹⁶⁰) dieses »Handbuches« verwiesen werden.

Wenngleich in den Abhandlungen über »Gewölbtheorie« wesentlich die im Ingenieurbauwesen vorkommenden Gewölbe in Betracht gezogen werden, so ist dennoch zu beachten, daß diese Theorie auch für die Gewölbe im Hochbau von großem Werthe ist und in ihren Ergebnissen immer mehr und mehr Verwendung finden sollte. Auf einige wichtige dieser Ergebnisse möge im Folgenden hingewiesen werden¹⁶¹).

136.
Stärke
unbelasteter
halb-
kreisförmiger
Tonnengewölbe.

¹⁶⁰) 2. Aufl.: Abth. II, Abschn. 5.

¹⁶¹) Siehe auch: SCHEFFLER, H. Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken. Braunschweig 1857.

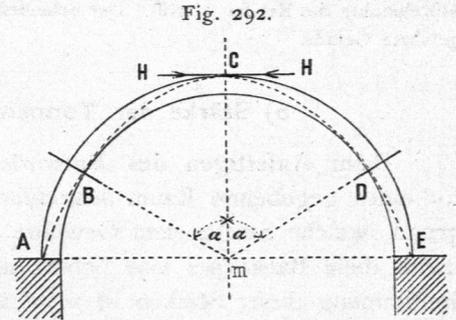
RITTER, A. Lehrbuch der Ingenieurmechanik. Hannover 1876.

Ein unbelastetes halbkreisförmiges Tonnengewölbe mit concentrischer Rückenlinie ist, wenn von der Adhäsion des Mörtels in den Wölbsteinfugen abgesehen wird, eben noch im Zustande des Gleichgewichtes, sobald die Gewölbstärke $d = \frac{1}{17,544}$ der Spannweite s beträgt, oder, da s gleich dem Zweifachen des Halbmessers r der Erzeugenden dieses Gewölbes ist, wenn

$$d = \frac{2r}{17,544} \quad \text{oder rund} \quad d = \frac{r}{9}$$

wird.

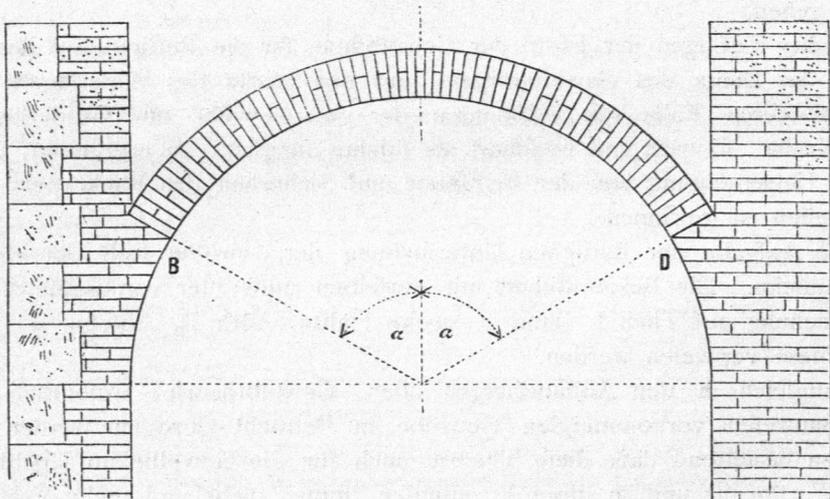
Bei dieser Abmessung verläuft die dem möglichst kleinsten Horizontalchube H entsprechende Mittellinie des Druckes (Stützzlinie) nach Fig. 292 als Curve $ABCDE$, welche in den Punkten B und D die innere Wölblinie berührt und an diesen Stellen die fog. Bruchfuge kennzeichnet. Der Bruchwinkel α beträgt 54 Grad 10 Minuten oder nahezu 60 Grad mit dem Scheitellothe Cm ; die Curve selbst nähert sich stark einer Parabel.



Auch bei einem belasteten halbkreisförmigen Tonnengewölbe, bei welchem die Gewölbzwickel ausgemauert oder bei welchem noch außerdem eine Uebermauerung, bezw. eine gleichförmig vertheilte Ueberlast angebracht ist, ergibt sich die Lage der erwähnten Bruchfuge durch einen Bruchwinkel von nahezu 60 Grad.

Hieraus folgt für die praktische Ausführung der Halbkreis-Tonnengewölbe schon die beachtenswerthe Anordnung, dass zweckmäfsig die unteren Wölbstücke BA und DE gar nicht als Gewölbe in Mitleidenschaft gezogen, vielmehr mit dem Wider-

Fig. 293.



lagskörper vereinigt und in wagrechten (Fig. 293) oder noch besser in winkelrecht zur Curve AB , bezw. DE gerichteten Schichten (Fig. 294 u. 295) gemauert werden. Durch diese Construction wird die Spannweite des Gewölbes vermindert; die Gewölbstärke wird sich dadurch geringer gestalten und die Widerlagsstärke sich ebenfalls

Fig. 294.

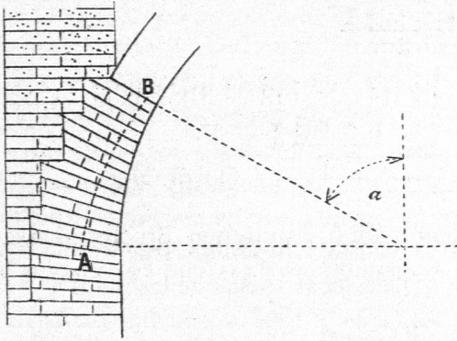
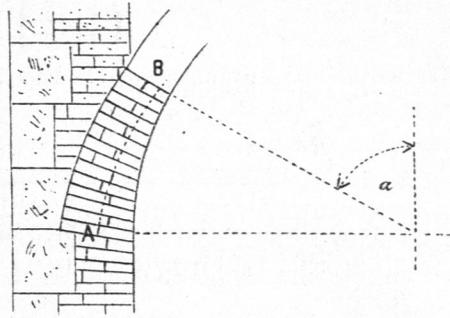


Fig. 295.

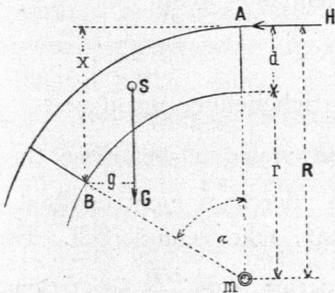


verkleinern. Da die Form der Mittellinie des Druckes von der Form der Gewölb-
linie wesentlich mit abhängt, die erstere aber sich bei Halbkreisgewölben von der
Parabel nicht weit entfernt, so folgt, daß bei einer Parabel als Gewölb-
linie von vornherein auch eine günstige Mittellinie des Druckes in einem Parabel-Tonnen-
gewölbe entspringen wird (vergl. Art. 127, S. 153).

Von Wichtigkeit für die Bestimmung der Gewölbstärke und später der Dicke
des Widerlagers ist die Ermittlung der Größe des Gewölbschubes H . Für eine

beliebige, unter einem Winkel α zur Wagrechten ge-
neigte Fuge B (Fig. 296) eines unbelasteten Halbkreis-
gewölbes hat der in der Scheitelfuge wirkende wag-
recht gerichtete Gewölbschub H mindestens einen
Werth, welcher sich nach den Bezeichnungen in Fig. 296
berechnen läßt aus der Gleichung 367 in Theil I,
Band I, zweite Hälfte (S. 451¹⁶²) dieses »Handbuches«

Fig. 296.



$$H = \frac{G g}{x} \dots \dots \dots 135.$$

Ist nun, wie in üblicher Weise angenommen wird,
die Tiefe des Gewölbes rechtwinkelig zur Zeichenfläche
gleich der Längeneinheit des Zeichenmaßstabes und ferner das Gewicht der Raum-
einheit des Wölbmaterials gleich der Kräfteinheit, so läßt sich das Gewicht G des
Ringstückes AB gleich dem Flächeninhalte dieses Stückes setzen, d. h.

$$G = \frac{R^2 - r^2}{2} \alpha \text{ Quadr.-Met.} \dots \dots \dots 136.$$

Da nun die wagrechte Entfernung g des Schwerpunktes S des Ringstückes vom
Punkte B sich als

$$g = r \cdot \sin \alpha - \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2}{\frac{\alpha}{2}} \text{ Met.} \dots \dots \dots 137.$$

bestimmt und da ferner der lothrechte Abstand x des Angriffspunktes A des Gewölb-
schubes H vom Fugpunkte B als

$$x = (R - r \cdot \cos \alpha) \text{ Met.} \dots \dots \dots 138.$$

¹⁶²⁾ 2. Aufl.: Art. 274 (S. 258).

erfcheint, fo erhält man, wenn in Gleichung 137

$$\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

gefetzt wird, unter Einführung der Werthe 136, 137 u. 138 in Gleichung 135,

$$H = \frac{(R^2 - r^2) \frac{r \alpha \cdot \sin \alpha}{2} - (R^3 - r^3) \frac{1 - \cos \alpha}{3}}{R - r \cdot \cos \alpha} \text{ Quadr.-Met.} \quad 139.$$

Es fei $\alpha = 60^\circ$, alfo näherungsweife dem vorhin ermittelten Bruchwinkel entfprechend; alsdann wird Bogen $\alpha = 1,0472$, $\sin \alpha = \sin 60^\circ = 0,866$ und $\cos \alpha = \cos 60^\circ = 0,5$, mithin

$$H = \frac{0,4534 (R^2 - r^2) r - 0,166 (R^3 - r^3)}{R - 0,5 r} \text{ Quadr.-Met.} \quad 140.$$

Wäre nun die Scheitelstärke d des Gewölbes bekannt, fo würde fich die Gröfse von H zahlenmäfsig feft ftellen laffen, da bei gegebenem r der Werth $R = r + d$ wird. Anderfeits würde dann auch bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit, z. B. = 1 m, die Fläche der gedachten Scheitelfuge gleich d Quadr.-Met. fein, und endlich würde, wenn die Gröfse H noch mit 1 multiplicirt wird, diefelbe auch fofort als H Cub.-Met. ausgedrückt werden können. Denkt man fich diefe H Cub.-Met. als eine Steinfäule des Wölbmaterials auf der Fläche d Quadr.-Met. angebracht und ermittelt man bei dem als bekannt geltenden Eigengewicht γ Kilogr. einer Raumeinheit des Wölbmaterials das Gewicht der erwähnten Steinfäule, fo ift

$$\frac{H}{d} \gamma \text{ Kilogr.}$$

als mittlerer Druck für die Flächeneinheit der gedachten Scheitelfuge anzufehen.

Der Werth $\frac{H}{d}$ ift, wie zahlreiche Berechnungen an vielen ausgeführten Gewölben, namentlich bei Brückengewölben, ergeben haben, durchaus nicht constant; im Gegentheil ift derfelbe, wie *Scheffler* nachgewiefen hat, fehr veränderlich. Er nimmt mit dem Wachen des Gewölbfchubes zu, aber derart, dafs $\frac{H}{d}$ bei feftem Wölbmaterial bei kleinen Gewölben dem Gewichte einer Steinfäule von etwa 3 m Höhe, bei den gröfsten Gewölben dem Gewichte einer Steinfäule von etwa 60 m Höhe entfpriht.

Ift z. B. für ein fehr großes Gewölbe $H = 90$ gefunden, fo müfste, um die Höhe 60 m der entfprechenden Steinfäule nicht zu überfchreiten,

$$\frac{H}{d} = 60 \text{ oder } d = 1,5 \text{ m}$$

werden. Alsdann ift, wenn 1 cbm diefer Steinfäule 2200 kg wiegt, die mittlere Preffung $\frac{90 \cdot 2200}{1,5 \cdot 1} = 132000$ kg für 1 qm oder 13,2 kg für 1 qcm, während bei einem kleineren Gewölbe, für welches $H = 2$ und $d = 0,3$ fich ergeben hat, die mittlere Preffung $= \frac{2 \cdot 2200}{0,3 \cdot 1} = 11333$ kg für 1 qm oder nur 1,1333 kg für 1 qcm wird.

Im letzteren Falle wäre die Höhe x der Steinfäule zu finden aus $0,3 \cdot 1 \cdot x = 2 \cdot 1$, d. h. $x = 6,66$ m.

Bei dem zur Widerlagsfuge von der Stärke d_1 fenkrecht gerichteten Gewölbdruce N treten in Rückficht auf den Werth $\frac{N}{d_1}$ ähnliche Zuftände auf. Aber *Scheffler* hat ermittelt, dafs der mittlere Druck $\frac{N}{d_1}$ für die Flächeneinheit der

Widerlagsfuge meistens weit größer ist als der Werth $\frac{H}{d}$, und zwar oft um das Drei- und Vierfache desselben, d. h. dass dieser Druck bei kleinen Gewölben dem Gewichte eines Steinprismas von etwa 9 bis 12^m Höhe, bei den größten Gewölben jedoch dem Gewichte eines solchen von 180^m bis sogar 240^m Höhe entspricht.

Der wichtige Umstand nun, dass auf Grund der an ausgeführten Gewölben vorgenommenen Berechnungen und Beobachtungen die Annahme eines gleichen Festigkeits-Coefficienten für Druck auf die Flächeneinheit nicht statthaft erscheint, so wie der fernere Umstand, dass auch eine gleichförmige Vertheilung des Druckes in den Fugenflächen nicht stattfindet, wie die klaffenden Fugen bei einem etwas mangelhaft construirten und gleich nach der Ausführung ausgerüsteten Gewölbe zeigen, ohne dass ein Einsturz dieses Gewölbes erfolgt, verschaffen der Annahme Raum, dass selbst bei den größten Gewölben in der gedachten Scheitelfuge keine größere mittlere Preßung entstehen soll, als solche dem Gewichte einer Steinfäule von 60^m Höhe entspricht und dass ferner die Widerlagsfuge bei solchen großen Gewölben bei Weitem nicht durch einen Normaldruck beansprucht werden soll, welchen eine Steinfäule von $3 \cdot 60 = 180$ ^m liefern würde, dass vielmehr nur ein mittlerer Normaldruck zulässig sein soll, welcher durch das Gewicht eines Steinprismas von höchstens 86^m Höhe hervorgerufen wird.

Im weiteren Verfolge dieser Annahmen sind von *Scheffler* Tabellen zur Bestimmung der Gewölbstärken berechnet, und wiewohl dieselben, wie schon oben bemerkt, vorzugsweise für Brückengewölbe ermittelt sind, so lassen sich doch bei den übereinstimmenden Eigenschaften, welche Gewölbe, gleichgiltig, welchen Zwecken sie dienen sollen, immer aufweisen, die sorgfältig erzielten Ergebnisse auch füglich für die Gewölbe des Hochbauwesens verwerthen.

Ohne hier eine Umrechnung der von *Scheffler* gegebenen Tafel zur Bestimmung der Gewölbstärke vorzunehmen, ist in Rücksicht auf die Gewölbe des Hochbauwesens das folgende Verfahren eingeschlagen.

Trägt man die absoluten Werthe von H als Abscissen und die jedem einzelnen H entsprechenden Gewölbstärken d als Ordinaten auf und verbindet man die Endpunkte dieser Ordinaten, so erhält man eine krumme Linie. Sucht man die Gleichung einer Curve, welche sich mit größter Wahrscheinlichkeit jener krummen Linie nähert, so findet man, dass die gefuchte Curve der Scheitelgleichung einer Ellipse entspricht, deren halbe große Axe der Zahl 90, deren halbe kleine Achse der Zahl 1,5 entspricht, d. h. jenen oben erwähnten Grenzwerten $\frac{H}{d} = \frac{90}{1,5} = 60$ ^m.

Da die Scheitelgleichung einer Ellipse mit den Halbaxen a und b bekanntlich

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{(2a - x)x}$$

ist, so wird, wenn $y = d$, $a = 90$, $b = 1,5$ und $x = H$ gesetzt wird,

$$d = \frac{1,5}{90} \sqrt{(180 - H)H} \quad \dots \quad 141.$$

oder

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - H)H} \quad \dots \quad 142.$$

Nach dem vorhin bezeichneten Grenzwerte der Höhe des Steinprismas zu

60 m ist in Gleichung 142 für H höchstens 90 in Rechnung zu bringen. Für $H > 90$ müßte

$$d = \frac{H}{60} \dots \dots \dots 143.$$

werden, also im geraden Verhältnisse mit H wachsen. Für Gewölbe im Hochbauwesen ist auf diesen Fall füglich nicht zu rechnen.

Die im Vorhergehenden bezeichnete Zahl 60 m gilt für sehr festes Steinmaterial. Im Hochbauwesen kommt jedoch in den meisten Fällen für den Gewölbebau Backsteinmaterial zur Verwendung, welches im Allgemeinen nicht die Festigkeit gegen Druck besitzt, wie das oben angenommene Steinmaterial. Aus diesem Grunde ist es rathsam, für Backsteingewölbe den Werth

$$\frac{H}{d} = 50$$

zu setzen, d. h. die Höhe des Backsteinprismas nur zu höchstens 50 m anzunehmen.

Da H die Größe 90 beibehält, so ergibt sich nunmehr

$$d = \frac{90}{50} = 1,8 \text{ m.}$$

Beträgt das Gewicht von 1 cbm Backsteinmaterial 1600 kg, so wird die mittlere Preßung $\frac{90 \cdot 1600}{1,8 \cdot 1} = 80000$ kg für 1 qm oder 8 kg für 1 qcm.

Unter Anwendung der Werthe für $d = 1,8$ und dem zugehörigen $H = 90$ erhält man entsprechend der Gleichung 141 nun für Backsteinmaterial

$$d = \frac{1,8}{90} \sqrt{(180 - H) H} \dots \dots \dots 144.$$

oder

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - H) H} \dots \dots \dots 145.$$

Würde im besonderen Falle H größer als 90, so müßte

$$d = \frac{H}{50} \dots \dots \dots 146.$$

genommen werden.

Ein gleicher Zusammenhang, wie zwischen H und d , besteht auch zwischen dem Normaldruck N und der hierfür auftretenden Gewölbstärke d_1 , wenn nur zuvor in Rücksicht gezogen wird, daß, wie vorhin erwähnt, $\frac{N}{d_1}$ höchstens $= 3 \cdot 60 \text{ m} = 180 \text{ m}$ werden soll.

Man erhält ähnlich wie in Gleichung 141, sobald in der Ellipsen-Gleichung $3a$ statt a gesetzt wird,

$$d_1 = \frac{1,5}{3 \cdot 90} \sqrt{(2 \cdot 3 \cdot 90 - N) N} \dots \dots \dots 147.$$

d. h.

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - N) N} \dots \dots \dots 148.$$

als allgemeinen Ausdruck für die von N abhängige Gewölbstärke. Da aber bei größeren Gewölben höchstens

$$\frac{N}{d_1} = 86 \text{ m}$$

werden soll und dieser Werth nach Ausweis derartiger ausgeführter Gewölbe für N nahezu gleich 114 eintritt, so ergibt sich

$$d_1 = \frac{114}{86} = 1,34 \text{ m}$$

und gleichzeitig für N ein Grenzwert bei der Anwendung von Gleichung 148.

Für $N \geq 114$ ist $d_1 = \frac{1,34}{114} N$, d. h.

$$d_1 = \frac{1}{8,6} N \dots \dots \dots 149.$$

zu nehmen, während für kleinere Werthe von N die Stärke d_1 nach Gleichung 148 ermittelt werden kann.

Bei Backsteingewölben ist es aus denselben Gründen, wie solche vorhin bei diesen Baukörpern angegeben sind, zweckmäßig, den Factor $\frac{1}{180}$ in Gleichung 148 herabzumindern, wie solches in Gleichung 145 für d geschehen ist, und denselben auf $\frac{1}{3 \cdot 50} = \frac{1}{150}$ zu bringen. Danach wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - N) N}, \dots \dots \dots 150.$$

worin N höchstens bis 114 eintreten soll.

Für $N \geq$ als 114 wird fachgemäß $\frac{N}{d_1}$ nicht mehr gleich 86, sondern geringer genommen, so daß $\frac{N}{d_1} = 72 \text{ m}$ gesetzt wird.

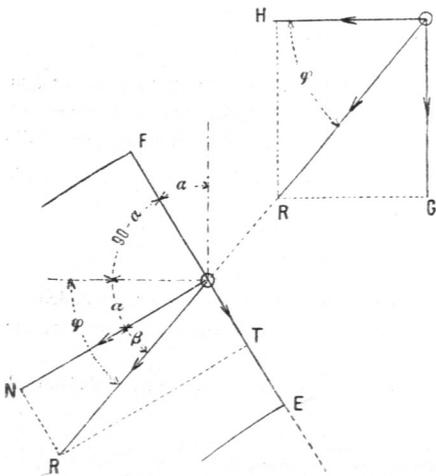
Hiernach wird bei dem Grenzwert $N = 114$

$$d_1 = \frac{114}{72} = 1,58 \text{ m}$$

und nunmehr für $N \geq 114$ die Stärke $d_1 = \frac{1,58}{114} N$, d. h. genau genug

$$d_1 = \frac{1}{72} N \dots \dots \dots 151.$$

Fig. 297.



Wenn im Hochbauwesen bei Tonnengewölben die Gleichung 151 wohl nicht in Anwendung kommt, so ist doch bei größeren Kuppelgewölben ihre Benutzung nach Ermittlung des Normaldruckes, welchen die Kuppel auf ihrer Basis hervorruft, unter Umständen für die Bestimmung der Gewölbstärke der Kuppel an ihrem Fusse erforderlich.

Für die Anwendung der für d , bezw. d_1 gegebenen Gleichungen ist noch das Folgende zu beachten.

Liefert der Normaldruck N kleinere oder gleiche Werthe als der Gewölbschub H , so ist der für H gefundene Werth d durchweg für das ganze Gewölbe beizubehalten. Entsteht

dagegen für N eine gröfere Stärke d_1 , als die für den Gewölbfschub H gefundene Dicke d ist, fo tritt vom Gewölbfscheitel bis zur Widerlagsfuge eine stetig von d bis d_1 wachsende Verftärkung des Gewölbes ein.

Die Gröfse des Normaldruckes N ergibt sich nach Fig. 297 als

$$N = R \cdot \cos \beta = R \cdot \cos (\varphi - \alpha),$$

d. h.

$$N = R (\cos \varphi \cdot \cos \alpha + \sin \varphi \cdot \sin \alpha).$$

Da $\cos \varphi = \frac{H}{R}$ und $\sin \varphi = \frac{G}{R}$, fo wird

$$N = H \cos \alpha + G \sin \alpha \quad \dots \quad 152.$$

Für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad ist

$$N = 0,5 H + 0,866 G \quad \dots \quad 153.$$

Beispiele: 1) Ein unbelastetes, aus Backsteinen auszuführendes Halbkreisgewölbe von 2 m Halbmesser sei bis zur Bruchfuge (Bruchwinkel α gleich 60 Grad angenommen) in wagrechten Schichten aufgeführt. Für das verbleibende Gewölbstück ist die Stärke zu berechnen.

Die unbekannte Gewölbstärke im Scheitel möge zunächst gleich $\frac{1}{2}$ Backsteinlänge, also gleich 0,12 m gesetzt werden. Da $r = 2$ m und $d = 0,12$ m ist, fo ist $R = 2,12$ m, und es wird nach Gleichung 140

$$H = \frac{0,4534 (2,12^2 - 2^2) 2 - 0,166 (2,12^3 - 2^3)}{2,12 - 0,5 \cdot 2} = 0,173.$$

Hiernach erhält man unter Benutzung von Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 0,173) 0,173} = 0,1115 \text{ m.}$$

Die ursprünglich für d gewählte Abmessung 0,12 m weicht von der berechneten Gröfse nur ganz wenig ab. Da außerdem aus praktischen Gründen die Stärke von einer halben Backsteinlänge nicht ohne Verhauen der Steine herzustellen ist, fo kann die geführte Rechnung für d abgeschlossen und danach die Gewölbstärke zu 0,12 m beibehalten werden.

Die Gröfse des Normaldruckes N wird nach Gleichung 153

$$N = 0,5 \cdot 0,173 + 0,866 G$$

oder, da sich nach Gleichung 136, worin für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad und $\alpha = 1,0472$ zu setzen ist,

$$G = \frac{2,12^2 - 2^2}{2} 1,0472 = 0,259$$

ergiebt,

$$N = 0,31$$

gefunden. Unter Einführung dieses Werthes in Gleichung 150 wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0,31) 0,31} = 0,083 \text{ m.}$$

Da d_1 kleiner ist als d , fo ist die Stärke d für das Gewölbe durchweg in Anwendung zu bringen.

Nach einer empirischen Regel, welche *Rondelet* für kleinere Halbkreisgewölbe aus Backsteinen aufgestellt hat, soll, wenn die Gewölbe bis zur halben Höhe hintermauert sind und die Rückenlinie der Wölblinie concentrisch ist, die Gewölbstärke gleich $\frac{1}{36}$ der Spannweite sein. Im vorliegenden Falle würde hiernach

$$d = \frac{2r}{36} = \frac{2 \cdot 2}{36} = \frac{1}{9} = 0,111 \text{ m}$$

werden, mithin sich in recht guter Uebereinstimmung mit der oben gefundenen Gewölbstärke befinden.

2) Das in gleicher Weise auszuführende Halbkreisgewölbe besitze einen Halbmesser r von 4 m; die Gewölbstärke soll ermittelt werden.

Die noch unbekannte Gewölbstärke sei vorläufig und willkürlich zu 0,12 m gewählt. Alsdann ist $R = r + 0,12 = 4,12$ und ferner nach Gleichung 140

$$H = \frac{0,4534 (4,12^2 - 4^2) 4 - 0,166 (4,12^3 - 4^3)}{4,12 - 0,5 \cdot 4} = 0,37.$$

Bringt man diesen Werth in Gleichung 145, so ist

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 0,37) 0,37} = 0,16 \text{ m,}$$

womit ein erster Näherungswerth für d berechnet ist. Unter Benutzung desselben wird weiter nach Gleichung 140

$$H = \frac{0,4534 (4,16^2 - 4^2) 4 - 0,166 (4,16^3 - 4^3)}{4,16 - 0,5 \cdot 4} = 0,48.$$

Für diesen Gewölbschub liefert Gleichung 145 die Gewölbstärke $d = 0,18 \text{ m}$.

Da die Untersuchung zeigt, daß die Gewölbstärke d einen größeren Werth als $d = 0,12 \text{ m}$ beansprucht, so möge jetzt $d = 0,20 \text{ m}$ genommen werden. Hierdurch erhält man nach Gleichung 140 den Gewölbschub $H = 0,59$ und dann nach Gleichung 145 die Gewölbstärke $d = 0,206 \text{ m}$, welche nur noch wenig von $d = 0,20 \text{ m}$ abweicht, so daß hiermit die Rechnung ihren Abschluß findet.

Hätte man d statt $0,20 \text{ m}$ zu $0,25 \text{ m}$ eingeführt, so hätte man durch das Ausrechnen für d nur nahezu $0,23 \text{ m}$ und damit die Anzeige erhalten, daß die Gewölbstärke kleiner als $0,25 \text{ m}$ zu nehmen wäre.

Für den Normaldruck N ergibt sich nach Gleichung 153, da $H = 0,59$ ist,

$$N = 0,5 \cdot 0,59 + 0,866 G,$$

worin nunmehr

$$G = \frac{4,2^2 - 4^2}{2} 1,0472 = 0,859$$

wird, so daß man

$$N = 1,04$$

erhält. Mit Benutzung von Gleichung 150 ergibt sich weiter

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 1,04) 1,04} = 0,15 \text{ m.}$$

Da nun auch in diesem Beispiele d_1 kleiner als d wird, so ist wiederum das Gewölbe in gleicher Stärke auszuführen. Da man aber statt $d = 0,20 \text{ m}$ in der Praxis d entsprechend der Backsteinlänge zu $0,25$ nimmt, so ergibt sich hierdurch von selbst noch eine etwas erhöhte Gewölbstärke.

Nach der von *Rondelet* herrührenden empirischen Regel würde sich $d = \frac{2 \cdot 4}{36} = 0,22 \text{ m}$ ergeben haben.

Ein ohne Hintermauerung und nicht mit wagrecht vorgemauerten Anfängern versehenes, frei im Widerlager aufstehendes, unbelastetes Halbkreisgewölbe mit einem Halbmesser $r = 4 \text{ m}$, müßte, so lange noch nicht auf eine kräftige Verkittung der Wölbsteine durch den Fugenmörtel gerechnet werden darf, nach den früher gemachten Angaben mindestens $\frac{2r}{17,544} = \frac{2 \cdot 4}{17,544} = 0,456 \text{ m}$ stark werden, um bei dieser Stärke sich im Grenzzustande des Gleichgewichtes gegen Drehung und Gleiten zu befinden. Statt der Dicke d von $0,456 \text{ m}$ würde man selbstverständlich die Stärke von zwei Backsteinlängen, d. h. einschließlic der Fuge $0,51 \text{ m}$ zur Ausführung bringen.

Aus dem Vergleiche dieser Gewölbstärke mit der im zweiten Beispiele geführten Rechnung ist wiederum deutlich der Vortheil zu erkennen, welcher sich für den Gewölbkörper mit den bis zur Bruchfuge in wagrechten Schichten ausgeführten Gewölbanfängern herausstellt.

Eine solche in wagrechten Schichten aufgemauerte Construction des Gewölbanfängers ist auch bei Tonnengewölben aus Quadern nach Fig. 298 in jeder Beziehung anzurathen. Hierbei treten zur Vermeidung von spitzen Winkeln kurze, senkrecht zur Wölblinie stehende Fugen a auf, welche an ihren vorderen Kanten eine geringe Abschragung, den fog. Druckschlag erhalten. Dieser Druckschlag verhindert in vielen Fällen das Absprennen der Steinkanten

Fig. 298.



durch diejenigen Preffungen, welche unter Umständen bestrebt sind, sich im Gewölbkörper der Wöblinie zu nähern.

Treten zwei Tonnengewölbe gegen eine gemeinschaftliche Widerlagsmauer, so ist der Gewölbanfänger, (gleichgiltig,) welches Material zum Gewölbe benutzt wird, nach Fig. 299 für beide Baukörper gemeinsam in wagrechten Schichten bis zu den Bruchfugen auszuführen. Eine Anordnung nach Fig. 300 ist in hohem Grade zu tadeln, da der im Gewölbzwickel auftretende Mauerkörper als ein durch die obere Belastung stark eingefügter Keil auftritt, welcher nachtheilig auf das Baufystem einzuwirken vermag.

Bei Backsteinmaterial ist das Verhauen der Steine im Anfänger an der Laibungsfläche (Fig. 301) unnöthig, da, falls ein Verputzen des Gewölbes im Inneren vorgenommen werden soll, dieselbe, wie bei *a*, sich in die fog. Ueberkragungen der Steine legt. Für derartige Gewölbe, deren Laibungsflächen keinen Putz erhalten sollen, ist die Anwendung von Formsteinen nach Fig. 302 empfehlenswerth.

Tonnengewölbe, wie Gewölbe überhaupt, welche nur als fog. unbelastete Gewölbe ihr Eigengewicht zu tragen haben, kommen allerdings bei Deckenbildungen im Hochbauwesen vor. Recht oft jedoch erfahren derartige Gewölbe noch weitere Belastungen durch Hintermauerung, d. i. Ausfüllung der Gewölbzwickel, durch vollständige Uebermauerung, durch darüber liegende Fußboden-Constructionen, durch Aufschüttungen und durch ab und zu auftretende veränderliche Belastungen, welche häufig ein bedeutendes Gewicht ergeben.

Denkt man sich die gefammte in Frage kommende fernere Belastung des Gewölbes ersetzt durch einen Steinkörper von gleichem Material, woraus das Gewölbe besteht, so erscheint der Querschnitt des Gewölbes mit seiner Belastung unten und oben begrenzt durch die innere Wöblinie und die obere Belastungslinie, welche zwischen sich die Belastungsfläche enthalten. Da nach dieser Zurückführung der auf das Gewölbe kommenden Belastung auf eine Masse, welche dasselbe Eigengewicht besitzt, wie das Gewölbmaterial, Gleichartigkeit vorhanden ist, so kann man nach Festlegen der Belastungsfläche, bei der Annahme der Gewölbetiefe gleich der Längeneinheit, ohne fernere Umrechnungen des Gewichtes der Belastung sofort der Stabilitätsunterfuchung des Gewölbes näher treten und sich hierbei der Rechnung oder vielfach kürzer der einschlägigen Verfahren der graphischen Statik bedienen.

Fig. 299.

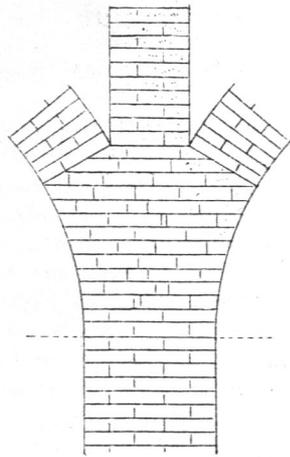


Fig. 300.

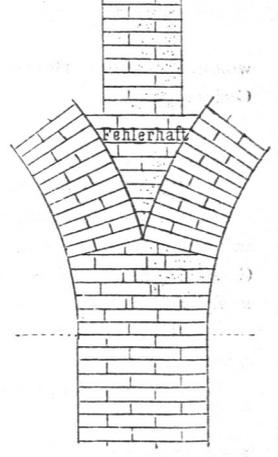


Fig. 301.

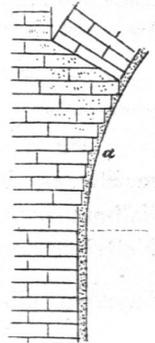
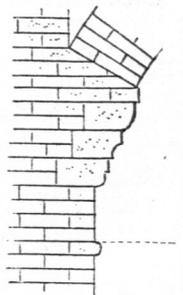


Fig. 302.



Für den hier vorliegenden Zweck, Anhaltspunkte für die Ermittlung der Gewölbstärke zu gewinnen, soll zunächst der Weg der Rechnung betreten werden.

Es sei nach Fig. 303 AL die innere halbkreisförmige Wölblinie eines Tonnengewölbes mit dem Halbmesser r , DO die vorhin gekennzeichnete, hier wagrecht gelegte Belastungslinie und $B\mathcal{F}$ eine beliebige, unter einem Winkel α von der Scheitel-

Lothrechten MA abweichende Gewölb-fuge; alsdann kann man bei der Gewölb-tiefe gleich der Längeneinheit die Größe der Belastungsfläche $ADK\mathcal{F}B$, welche bis zur Fuge $B\mathcal{F}$ in Betracht kommt, sofort auch an die Stelle des Gewichtes setzen, welches vom Gewölbe sammt seiner Belastung herrührt und auf der Fugenfläche von $B\mathcal{F}$ ruht. Die Länge dieser Fuge möge gleich d_1 sein.

Zerlegt man die ganze Belastungsfläche in die Einzelflächen $ADEF$, AFB und $BEK\mathcal{F}$, betrachtet man ferner, was für die weitere Untersuchung mit hinreichender Genauigkeit zulässig erscheint, den Kreisbogen AB als einen Parabelbogen, dessen Scheitel A ist, so erhält man nach den Bezeichnungen in Fig. 303

$$P = (d + h) s, \dots \dots \dots 154.$$

$$Q = \frac{1}{3} f s \dots \dots \dots 155.$$

und genau genug

$$V = (d + h + f) b,$$

oder, da $b = \frac{d_1 s}{r}$ ist,

$$V = (d + h + f) d_1 \frac{s}{r}; \dots \dots \dots 156.$$

mithin, wenn G das Gesamtgewicht der in Rechnung gezogenen Belastungsfläche ausdrückt,

$$G = s \left[d + h + \frac{f}{3} + (d + h + f) \frac{d_1}{r} \right]. \dots \dots \dots 157.$$

In Bezug auf den Fugenpunkt B erhält man unter Berücksichtigung der Schwerpunktsabstände der betrachteten Einzelflächen das statische Moment

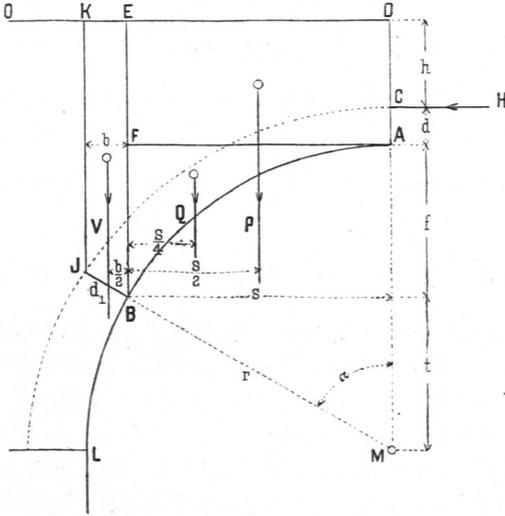
$$\mathfrak{M} = P \frac{s}{2} + Q \frac{s}{4} - V \frac{d_1 s}{2 r},$$

oder, unter Benutzung der Gleichungen 154 bis 156, auch

$$\mathfrak{M} = \frac{s^2}{12 r^2} \left\{ r^2 [6 (d + h) + f] - 6 (d + h + f) d_1^2 \right\} \dots \dots \dots 158.$$

Nimmt man vorläufig wiederum an, der Angriffspunkt des Gewölbschubes H befinde sich im höchsten Punkte C der gedachten Scheitelfuge AC , sieht man also dabei vorderhand davon ab, dafs, wie später noch besprochen werden wird, dieser

Fig. 303.



Angriffspunkt von H fowohl, als auch der Punkt B von der Gewölbkante aus mehr in das Innere der Gewölbfläche rücken muß, so hat man das statische Moment des Gewölbschubes H als $H(d+f)$ für den Gleichgewichtszustand gegen Drehung dem Werthe \mathfrak{M} in Gleichung 158 gleich zu setzen und erhält danach

$$H = \frac{s^2}{12(d+f)r^2} \left\{ r^2 [6(d+h) + f] - 6(d+h+f)d_1^2 \right\}. \quad 159.$$

Nun ist $s = r \cdot \sin \alpha$ und $f = r - t = r(1 - \cos \alpha) = 2r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2$.

Führt man diese Werthe in Gleichung 159 ein, so ergibt sich

$$H = \frac{\sin^2 \alpha}{6 \left[d + 2r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right]} \left\{ r^2 \left[3(d+h) + r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right] - 3 \left[d+h + 2r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right] d_1^2 \right\}, \quad 160.$$

und außerdem erhält man unter Benutzung der für s und f gegebenen Ausdrücke nach Gleichung 157

$$G = r \sin \alpha \left\{ d+h + \frac{2}{3} r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 + \left[d+h + 2r \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 \right] \frac{d_1}{r} \right\}. \quad 161.$$

Mit Hilfe der Gleichung 160 kann für ein belastetes Halbkreisgewölbe mit wagrechter Belastungslinie, welche im Scheitel für eine Belastungshöhe h ermittelt und fest gelegt ist, der Gewölbschub H bestimmt werden, indem man zunächst d_1 willkürlich oder schätzungsweise annimmt, ferner d_1 vorläufig gleich d setzt, endlich den Winkel α entsprechend den früheren Erörterungen gleich einem Bruchwinkel von 60 Grad einführt und dann mittels der Gleichung 142, bezw. 145 die Gewölbstärke berechnet. Den Normaldruck N findet man, sobald G und H bestimmt sind, nach Gleichung 152, bezw. 153 und hiernach die Stärke d_1 unter Benutzung der Gleichung 148, bezw. 150.

Beispiel. Für ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe aus Backstein sei $r = 3$ m und $h = 0,3$ m; diese Höhe entspricht, wenn dieselbe über der vollen Ausmauerung der Zwickel des Gewölbes beständig bleibt, einer gleichförmig vertheilten Ueberlast von 480 kg für 1 qm Grundriffsfläche. Der Bruchwinkel $\alpha = 60$ Grad; die Gewölbstärke ist zu berechnen.

Setzt man vorweg und ganz willkürlich $d = 0,12$ m und ebenfalls $d_1 = 0,12$ m, so erhält man nach

Gleichung 160, da $\sin \alpha = \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,866$ und $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ ist,

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6 \left(0,12 + 6 \frac{1}{4} \right)} \left\{ 9 \left[3(0,12 + 0,3) + 3 \frac{1}{4} \right] - 3 \left[0,12 + 0,3 + 6 \frac{1}{4} 0,12^2 \right] \right\} = \infty 1,29;$$

mithin nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 1,29) 1,29} = 0,303 \text{ m};$$

sonach war die Gewölbstärke d ursprünglich viel zu gering genommen.

Setzt man jetzt, da das Gewölbe stärker als eine Backsteinlänge werden muß, aus praktischen Gründen sofort die Dicke des Gewölbes zu $1\frac{1}{2}$ Backsteinlängen, d. i. zu $0,38$ m und behält man $d = d_1$ bei, so wird nun

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6 \left(0,38 + 6 \frac{1}{4} \right)} \left\{ 9 \left[3(0,38 + 0,3) + 3 \frac{1}{4} \right] - 3 \left[0,38 + 0,3 + 6 \frac{1}{4} 0,38^2 \right] \right\} = 1,49,$$

wofür sich nach Gleichung 145

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 1,49) 1,49} = 0,326 \text{ m}$$

ergibt.

Dieses Ergebniss zeigt, dafs die zu 0,38 m angenommene Scheitelfärke des Gewölbes etwas zu grofs fein würde. Da jedoch ohne unnützes Verhauen der Backsteine die Herabminderung der Stärke nicht fachgemäfs eintreten kann, so wird die Dicke von 0,38 m für die Ausführung des Gewölbes genommen.

Nachdem H genau genug zu 1,49 bestimmt und d zu 0,38 m bekannt geworden ist, läfst sich der Normaldruck N für die Bruchfuge mit dem Winkel $\alpha = 60$ Grad nach Gleichung 153 als

$$N = 0,5 \cdot 1,49 + 0,866 G$$

finden.

Nach Gleichung 161 wird unter Einführung der bekannten Gröfsen und bei der Annahme $d = d_1$ nunmehr

$$G = 3 \cdot 0,866 \left[0,38 + 0,3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0,38 + 0,3 + 6 \cdot \frac{1}{4} \right) \frac{0,38}{3} \right] = 3,778$$

und somit

$$N = 0,745 + 3,272 = \infty 4;$$

folglich wird nach Gleichung 150

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 4) 4} = 0,326 \text{ m.}$$

Da diese Gröfse den Werth von 0,38 m für d nicht erreicht, so ist eine Vermehrung der Gewölbstärke nach der Bruchfuge zu nicht erforderlich.

Wird das in Frage stehende Tonnengewölbe in feinen Anfängern bis zur Bruchfuge nicht in wagrechten Schichten aufgemauert, so ist noch zu prüfen, ob der Normaldruck, welcher die wagrechte Widerlagsfuge trifft, nicht eine gröfsere Gewölbstärke verlangt, als die bis jetzt fest gesetzte ist. Da für diese Fuge Winkel α gleich 90 Grad wird, so erhält man nach Gleichung 152 sofort $N = G$ und weiter nach Gleichung 161, da $\sin \alpha = \sin 90 = 1$ und $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 45 \text{ Grad} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, also $(\sin 45)^2 = \left(\sin \frac{\alpha}{2} \right)^2 = \frac{1}{2}$ ist,

$$G = 3 \left[0,38 + 0,3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0,38 + 0,3 + 6 \cdot \frac{1}{2} \right) \frac{0,38}{3} \right] = \infty 6,44.$$

Bringt man $G = N = 6,44$ in Gleichung 150, so folgt

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 6,44) 6,44} = 0,39 \text{ m.}$$

Diese Stärke weicht nur um 1 cm von der früher erhaltenen Stärke ab, so dafs d füglich durchweg beibehalten werden könnte. Die Untersuchung lehrt aber, dafs für Halbkreisgewölbe bei der Bestimmung der Gewölbstärke mit Vorsicht verfahren werden mufs, dafs wiederum wagrecht aufgemauerte Anfänger rathsam erscheinen oder dafs bei gröfseren Tonnengewölben das Verlassen der als Halbkreis auftretenden Erzeugenden und Ersetzen derselben durch einen Parabelbogen, dessen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ist, sich als erwünscht und als räthlich zeigt.

Ist bei halbkreisförmigen Tonnengewölben in der angegebenen Weise die Gewölbstärke zu berechnen, so kann dasselbe Verfahren der Untersuchung auch bei Tonnengewölben, deren Erzeugende elliptische Bogen, Korbbogen, Parabelbogen oder Spitzbogen sind, und ferner auch bei flachbogigen, so wie bei einhüftigen Gewölben zur Anwendung kommen. Da hierbei die Bestimmung des Gewölbschubes H Hand in Hand geht mit dem Festlegen der Form der Wölblinie, der Gewölbstärke und gleichzeitig beeinflusst wird durch die in der Belastungsfläche ausgedrückte Ueberlast des Gewölbes; so wird zur Vermeidung vielfacher oder umständlicher Rechnungen die erste Ermittlung von H am einfachsten auf graphischem Wege vorgenommen¹⁶³⁾.

Allerdings ist auch hierbei vorweg eine Gewölbstärke schätzungsweise anzunehmen. Um diese Schätzung zu erleichtern, bedient man sich wohl der empirischen Formeln, welche aber, wie ausdrücklich hier betont werden mag, ein weiteres genaueres Festlegen der Gewölbstärke in jedem einzelnen Falle durchaus nicht ausschliessen dürfen. Von derartigen empirischen Regeln spielen in der Literatur des Bauwesens immer noch die von *Rondelet* aufgestellten Formeln eine Rolle, wovon die folgenden hier angeführt werden mögen.

139.
Stärke
anders
geformter
Gewölbe.

140.
Rondelet's
Formeln
für die
Gewölbe-
stärke.

¹⁶³⁾ Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte dieses »Handbuchs«, Art. 483, S. 453 (2. Aufl.: Art. 264, S. 260).
Handbuch der Architektur. III. 2, c.

Für Gewölbe mit halbkreisförmiger und auch mit elliptischer Wölblinie und Quadern als Wölbmaterial, so wie unter der Voraussetzung, daß diese Gewölbe im Widerlager doppelt so stark sind wie im Scheitel, soll, wenn d die Schlufssteinfstärke und s die Spannweite (in Met.) bezeichnen, sein:

- 1) für unbelastete Gewölbe: $d = 0,01 s + 0,08$ Met.,
- 2) für mittelstark belastete Gewölbe: $d = 0,02 s + 0,16$ Met. und
- 3) für stark belastete Gewölbe: $d = 0,04 s + 0,32$ Met.

So würde z. B. das zuletzt unterfuchte, mittelstark belastete Tonnengewölbe mit dem Halbmesser von 3 m, also der Spannweite von 6 m, wenn dasselbe statt aus Backsteinmaterial aus Quadern ausgeführt werden sollte, nach der Regel 2 eine Scheitelfstärke $d = 0,02 \cdot 6 + 0,16 = 0,28$ m erhalten.

Nach Gleichung 142, welche für Quadergewölbe zu benutzen ist, würde, da H in dem erwähnten Beispiele zu 1,49 gefunden worden ist, welcher Werth auch hier beibehalten werden kann,

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 1,49) 1,49} = 0,272 \text{ m}$$

sich ergeben haben, mithin nur eine äußerst geringe Abweichung aufweisen.

Für die Stärke am Widerlager würde nach der *Rondelet'schen* Regel die Abmessung d_1 sich zu $2d = 0,56$ m fest stellen, welche als reichlich groß anzusehen ist. Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge würde nach Gleichung 152 sich $N = G$ ergeben. Bei einer gleichmäßigen Stärke $d = 0,28$ m wird nach Gleichung 161, worin $\angle \alpha = 90$ Grad zu setzen ist,

$$G = 3 \left[0,28 + 0,3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0,28 + 0,3 + 6 \cdot \frac{1}{2} \right) \frac{0,28}{3} \right] = \infty 5,75 = N.$$

Unter Benutzung von Gleichung 148 erhält man

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 5,75) 5,75} = 0,308 \text{ m}$$

als Näherungswerth, also weit kleiner, als die nach der Regel von *Rondelet* gefundene Stärke am Widerlager. Aber selbst, wenn G auf 7 anwachsen würde, so würde d_1 erst gleich 0,34 m werden.

Wie nun aber auch die Gewölbstärke für ein auszuführendes Gewölbe bestimmt sein mag, immer ist es zur Gewinnung der Ueberzeugung von der Sicherheit und Haltbarkeit desselben anzurathen, durch Construction der Mittellinie des Druckes das Gewölbe auf seine Standfähigkeit einer Prüfung zu unterziehen, um danach, wenn die Belastung des Gewölbes, was meistens der Fall ist, nicht geändert werden darf, entweder die Gewölbstärke oder die Form der Wölblinie je für sich allein oder auch unter besonderen Umständen beide gleichzeitig zu ändern, damit man für die Standfähigkeit des Gewölbes günstige Ergebnisse erziele. Die dazu nöthigen Verfahren werden hier als bekannt vorausgesetzt. Nur auf einen Punkt möge noch die Besprechung geführt werden.

Bei den oben angeestellten Untersuchungen ist zur Berechnung des möglichst kleinsten Gewölbschubes H der Angriffspunkt desselben im höchsten Punkt der gedachten Scheitelfuge angenommen, und eben so ist auch der in der Wölblinie gelegene vordere Punkt der Bruchfuge, bezw. der Widerlagsfuge als ein Angriffspunkt der Mittellinie, welche aus dem Gewölbschube und aus dem von der gedachten Scheitelfuge bis zur Bruchfuge entstehenden Gesammtgewicht des Gewölbkörpers entspringt, angesehen, so daß diese beiden Punkte als Punkte auftreten würden, welche einer mit dem Gewölbschube H gezeichneten Mittellinie des Druckes angehören. Bei dieser Annahme würde ein Druck von endlicher Größe auf eine Linie, also auf eine Fläche von unendlich kleiner Größe kommen, d. h. der Druck für eine Flächeneinheit würde an den angenommenen Angriffstellen einen unendlich großen Werth annehmen, welchem kein Material Widerstand leisten kann, da dasselbe nicht absolut starr, sondern in gewissem Grade pressbar ist. Die Folge von der

Preßbarkeit oder der Elasticität des Wölbmaterials ist, daß die Angriffspunkte der bezeichneten Kräfte sich von den äußersten Kantenpunkten zurückziehen und mehr nach dem Inneren der Gewölbfläche verlegen. Wie weit dieses Zurückziehen eintritt, ist mit Bestimmtheit nicht zu sagen; daß dasselbe aber in mehr oder weniger hohem Grade der Fall ist, zeigen viele ausgeführte, als vollständig stabil geltende Gewölbe, namentlich Halbkreisgewölbe und gedrückte Tonnengewölbe nach der Ausrüstung an den fog. gefährlichen Stellen in der Nähe des Scheitels, der Bruchfuge und der Widerlagsfuge, indem in der Nähe des Scheitels in den Fugen an der Stirn nach unten zu leichte Haarrisse wahrzunehmen sind, während in der Nähe der Kanten oben am Rücken des Gewölbes die Steine sich scharf an einander preffen. Eben solche Erscheinungen treten an den Bruchfugen ein, wobei die Steine vorn an der Fugenkante in der inneren Wöblinie sich scharf preffen und in den Fugen jene Haarrisse in der Nähe der Rückenlinie sich bilden, während an den Widerlagsfugen, je nachdem der durch die Mittellinie des Druckes, welche für den möglichst kleinsten Gewölbschub ermittelt ist, gefundene Preßungspunkt der inneren oder der äußeren Wöblinie am nächsten liegt, die Preßungen zwischen den Steinen in der nächst gelegenen Wöblinie, die Haarrisse in den Fugen nach der entgegengesetzten Richtung sich kund geben. Hiernach lehrt diese Erfahrung, daß bei den meisten als Wölbmaterial benutzten Steinen im Ganzen die Mittellinie des Druckes an jenen bezeichneten Stellen sich doch nur in mäßiger Größe von den Kanten der Wölbsteine zurückzieht.

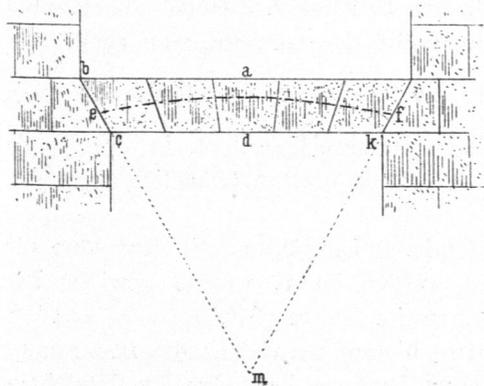
Scheffler sagt¹⁶⁴⁾, daß es für die Ausführung der Gewölbe hinreichende Sicherheit gewähren möchte, wenn von der Voraussetzung ausgegangen wird, daß die Mittellinie des Druckes bis auf den vierten Theil der Gewölbstärke in den vorhin gekennzeichneten Fugen zurückgedrängt werden könne und wenn ferner die Wöblinie, so wie die Stärke des Gewölbes so genommen werden, daß nach Abzug eines inneren und eines äußeren Streifens, von denen jeder den vierten Theil der Gewölbstärke zur Breite hat, der verbleibende innere Gewölbstreifen, welcher noch eine Breite gleich der halben Gewölbstärke behält, nach den Gesetzen für die Mittellinie des Druckes mit dem möglichst kleinsten Gewölbschube, welcher für diesen inneren Streifen nebst der auf denselben kommenden Gesamtbelastung eintritt, auf seine Stabilität untersucht wird, wobei je nach den bei dieser Untersuchung sich ergebenden Resultaten noch durch etwaige Aenderung der Form der Wöblinie, der Gewölbstärke oder gleichzeitige Aenderung beider Stücke zweckmäßige Vorkehrungen für die Stabilität des Gewölbes getroffen werden können.

Von Vielen wird verlangt, daß ein Gewölbe eine solche Form der Wöblinie und eine solche Stärke erhalten soll, daß eine Mittellinie des Druckes in die Gewölbfläche eingezeichnet werden kann, welche an jeder Stelle mindestens um ein

Drittel der Gewölbstärke von den betreffenden Kanten der Steine zurückbleibt¹⁶⁵⁾. Ob aber in Wirklichkeit die nach diesen Annahmen gezeichnete Mittellinie des Druckes auch nach der Ausführung und Ausrüstung sonst stabiler und nicht mit unnöthiger Stärke verfehener Gewölbe eine solche Lage beibehält, ist in hohem Grade ungewiß und unter Umständen unmöglich.

Betrachtet man z. B. ein scheinrechtes Gewölbe (Fig. 304), welches als unbelasteter Sturz für eine Oeffnung von nur 1,5 m Weite aus Quadermaterial in einer Scheitelfstärke von 0,8 m ausgeführt und wobei $cm = ck$ genommen ist, so bekundet die Unter-

Fig. 304.



164) In feiner »Theorie der Gewölbe« etc. Braunschweig 1857. S. 69.

165) Siehe Theil I, Band 1, zweite Hälfte dieses »Handbuchs«, Art. 479, S. 448 (2. Aufl.: Art. 272, S. 257).

fuchung dieses Sturzes seine Stabilität. Für denselben ist auch eine Mittellinie des Druckes ef im inneren Drittel möglich.

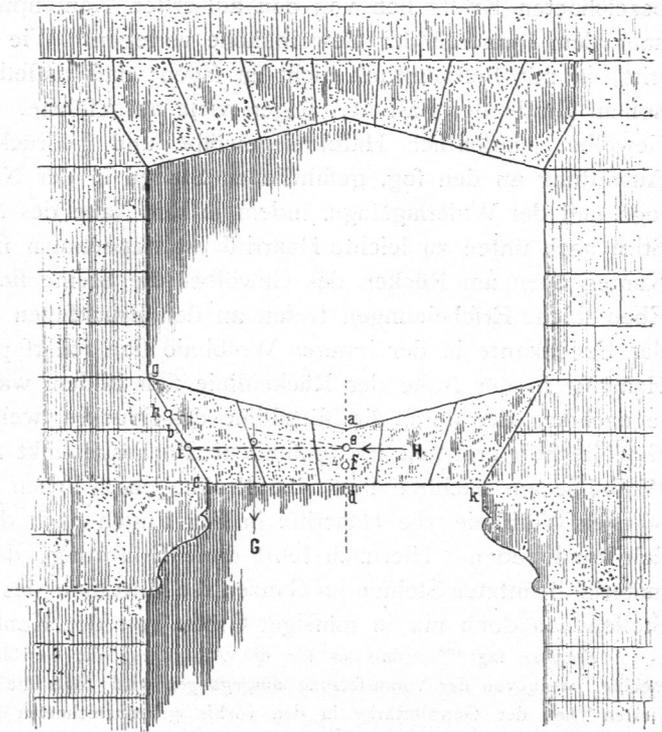
Benutzt man einen solchen Sturz nach Fig. 305 als unteren Abschluss einer Lichtöffnung in der Weise, dass jetzt, unter Beibehaltung der Scheitelstärke $ad = 0,3$ m, die Stärke ceg am Widerlager gleich dem Doppelten von der früheren Stärke cb würde, und wären in der gedachten Scheitelfuge ad die Strecken $ae = ef = fd = \frac{ad}{3}$ und eben so die Strecken $gh = hi = ic = \frac{gc}{3}$,

wobei hier absichtlich bei g die sonst nicht günstige Schneide am Kämpfersteine gelassen ist, so würde, wenn die Mittellinie des Druckes im inneren Drittel $efih$ bleiben sollte, diese Linie eine wagrechte gerade Linie ei sein, welcher ein unendlich großer Gewölbchub und demnach eine unendlich große Scheitelstärke zukommen würde, was vollständig ungereimt ist. Die in Wirklichkeit auftretende Mittellinie

des Druckes wird sich den Kanten in a und c nähern und das innere Drittel verlassen müssen, da H einen endlichen Werth und im vorliegenden Falle fogar einen solchen von ziemlich geringer Größe annehmen muss.

Veruche mit Modellen von unbelasteten Halbkreisgewölben bekunden gleichfalls eine nahezu an den Kanten der fog. gefährlichen Stellen des Gewölbes eintretende Lage der Mittellinie des Druckes. Bei der mittels des möglichst kleinsten Gewölbchubes gezeichneten derartigen Linie ergibt sich, wie schon in Art. 136 (S. 182) angeführt, dass bei einem solchen Gewölbe mit gleicher Dicke die Stärke eine Abmessung von $\frac{1}{17,544}$ der Spannweite haben muss, wenn das Gewölbe eben noch im Gleichgewichtszustande sein soll. Hiernach angestellte Veruche zeigen dasselbe Ergebniss. Sollte nun eine Mittellinie des Druckes bei einem unbelasteten Halbkreisgewölbe im inneren Drittel liegen, so müsste das Gewölbe eine Dicke von etwa $\frac{1}{5,85}$ der Spannweite desselben besitzen, also bei 5,85 m Spannweite 1 m stark werden, ein Ergebniss, welches den bei stabilen Halbkreisgewölben in der Praxis gewonnenen Erfahrungen vollständig widerspricht und demnach als gänzlich unzulässig gelten muss.

Wie in gegebenen Fällen und unter besonderen Umständen die Annahme für die Lage einer möglichen Mittellinie gemacht werden kann, welche gewissen Bedingungen entspricht, ist in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 444¹⁶⁶) dieses »Handbuches« näher erörtert, und es wird hierauf verwiesen; die Bemerkung möge jedoch noch gemacht werden, dass, wenn für Gewölbebauten im Hochbau-



wesen nur sehr preisbares Material, welches allerdings bei der Ausführung von einigermaßen größeren und belasteten Deckengewölben, wenn irgend thunlich, nicht benutzt werden sollte, zur Anwendung gelangt, die Gewöblinie und die Gewölbstärke zweckmäßig so bestimmt werden, daß eine Mittellinie des Druckes möglich wird, welche mit der Mittellinie der Stirnfläche des Gewölbes, also mit der Axe dieser Fläche sich ganz oder nahezu deckt. Eine solche Mittellinie des Druckes besitzt jedoch sehr große Aehnlichkeit mit einer Parabel, deren Axe mit der Scheitel-Lothrechten des Gewölbes zusammenfällt, so daß auch in einem solchen Falle die Parabel als Bogenlinie vortheilhaft auftritt.

Verhältnißmäßig einfach ist die Bestimmung der Stärke der Widerlager der Gewölbe. Sobald der auf die Widerlagsfuge (Kämpferfuge) kommende Kämpferdruck auf Grund der für die Gewölbstärke gegebenen Erörterungen und durch die statischen Untersuchungen des eigentlichen Gewölbkörpers bekannt geworden ist, so ist dieser Druck mit dem Gewichte des Widerlagskörpers, dessen Tiefe wiederum rechtwinkelig zur Bildfläche gemessen, wie es beim Gewölbe der Fall war, gleich der Längeneinheit genommen wird, zusammenzusetzen, um eine Mittelkraft zu bestimmen, welche die Auffand- oder Fußfläche der Widerlagsmauer in einem Punkte schneidet, welcher von der äußeren Seitenkante noch einen genügend großen Abstand besitzt. Dieser Abstand, von der als Drehkante des Widerlagskörpers auftretenden Begrenzungslinie der Grundfläche aus gemessen, liegt in der Kräfteebene und beträgt zweckmäßig $\frac{1}{3}$ der Widerlagsstärke d .

Um für den Gewölbeschub H bei der Ermittlung der Widerlagerstärke einen Werth zu erhalten, welcher thunlichst vortheilhaft noch gleichsam mit einem Sicherheits-Coefficienten behaftet ist, nimmt man an, daß H nicht im höchsten Punkte, sondern im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und daß der Mittelpunkt der Kämpferfuge der Angriffspunkt des Kämpferdruckes ist, hervorgegangen aus H und dem Gewichte G des Gewölbes mit seiner Belastung.

Da die Stärke des Widerlagers noch unbekannt, die Höhe desselben aber in den meisten Fällen vorgeschrieben ist, so hat man zunächst eine Widerlagsstärke zu wählen und darauf die Stabilitätsuntersuchung des als Widerlager auftretenden Stützkörpers entweder durch Rechnung oder oft einfacher und durchsichtiger auf graphischem Wege vorzunehmen. Bei dem zuletzt genannten Wege wird eine Mittellinie des Druckes auch im Querschnitte des Widerlagers eingezeichnet und diese läßt erkennen, ob dieselbe bei der gewählten Stärke für jede Fuge im Widerlager bei der rechteckig gedachten Fugenfläche den bezeichneten äußeren Abstand $\frac{1}{3}$ der Stärke, von der Drehkante aus gemessen, überschreitet oder denselben entsprechend innehält. Nach diesen Prüfungen sind, wenn erforderlich, etwaige Veränderungen in den Stärkeabmessungen des Widerlagers vorzunehmen.

In welcher Weise die Stabilitätsuntersuchung eines Tonnengewölbes und seines Widerlagers unter Benutzung der Verfahren der graphischen Statik vorgenommen werden kann, möge an einem Beispiele gezeigt werden.

Ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe, dessen Spannweite, gegebenen Gebäudeaxen entsprechend, 6 m betragen muß, hat von der festen Baufohle ab nach außen frei stehende Widerlager, deren Höhe mit der Oberkante des Fußbodens über dem Gewölbe in wagrechter Ebene abgegrenzt ist. Ueber dem Gewölbe ist ein leichter Schuppen vorhanden, welcher nur in den Binderfüßen das Widerlager belastet. Auf dem Gewölbe lagert durchgängig und gleichförmig vertheilt als Brennstoff zu verwendende Coke

142.
Widerlags-
stärke.

143.
Beispiel.

in einer Schütthöhe von 1,50 m. Das Gewölbe ist in den Zwickeln ausgemauert, sonst mit Sandfüllung und Fußbodenpflaster versehen, so daß die Oberfläche des letzteren 0,20 m über dem höchsten Rückpunkte des Gewölbes liegt.

Für die Ausführung des Gewölbes und der Widerlager ist Backsteinmaterial bestimmt.

Da das Eigengewicht der Coke gleich 0,42 und jenes des Backsteinmauerwerkes gleich 1,6 ist, so beträgt das Gewicht der gefüllten Coke 420 kg für 1 cbm, dasjenige des Backsteinmauerwerkes 1600 kg für 1 cbm.

Um für die Stärke, welche dem Gewölbe gegeben werden muß, einen Anhalt zu gewinnen, sind die Gleichungen 160 u. 145 zu benutzen, nachdem die Gewölbebelastung durch das gleich große Gewicht von Backsteinmauerwerk ersetzt gedacht ist. Da für die Ausmauerung der Gewölbzwickel, für die Bettung des Fußbodenpflasters und für das letztere selbst das Eigengewicht nahezu gleich demjenigen des Backsteinmauerwerkes angenommen werden kann, so ergibt sich für diese Theile zunächst eine Belastungshöhe von 0,20 m über dem Gewölbrücken im Scheitelloth und hierdurch eine erste wagrechte Belastungslinie.

Die Cokefüllung ist in 1,5 m Höhe wagrecht abgeglichen, und es kann bei der vorläufigen Rechnung von den Seitenböschungen dieser Schüttung abgesehen, also die Schütthöhe für den ganzen Querschnitt des Gewölbes beibehalten werden. Der Abstand x der zugehörigen Belastungslinie, entsprechend dem Backsteinmaterial, von der fest gelegten ersten Belastungslinie ergibt sich offenbar durch den Ausdruck

$$1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 420 = 1 \cdot 1 \cdot x \cdot 1600$$

als

$$x = \frac{1,5 \cdot 420}{1600} = 0,394 \text{ m,}$$

wofür $x = 0,4 \text{ m}$ gesetzt werden soll. Somit entsteht eine gesammte Belastungshöhe

$$h = 0,2 + 0,4 = 0,6 \text{ m}$$

und demnach weiter, wenn die Gewölbstärke $d = d_1$ vorläufig zu 0,38 m gewählt, wenn ferner die wagrechte Aufmauerung des Widerlagers bis zum Bruchwinkel α von 60 Grad ausgeführt wird, beim Halbmesser $r = 3 \text{ m}$, sofort nach Gleichung 160

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6 \left(0,38 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \right)} \left\{ 9 \left[3 \left(0,38 + 0,6 \right) + 3 \cdot \frac{1}{4} \right] - 3 \left(0,38 + 0,6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot 0,38^2 \right) \right\} = 1,97$$

und folglich nach Gleichung 145

$$n = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 1,97) 1,97} = \frac{18,727}{50} = 0,3745 \text{ m.}$$

Hiernach ist d zu 0,38 m fest zu setzen.

Für die Berechnung der Stärke d_1 der Widerlagsfuge ergibt sich vorweg nach Gleichung 161

$$G = 3 \cdot 0,866 \left[0,38 + 0,6 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0,38 + 0,6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \right) \frac{0,38}{3} \right] = 4,88,$$

sodann nach Gleichung 153

$$N = 1,97 \cdot 0,5 + 4,88 \cdot 0,866 = 5,2$$

und endlich nach Gleichung 150

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 5,2) 5,2} = \frac{52,7}{150} = 0,35 \text{ m,}$$

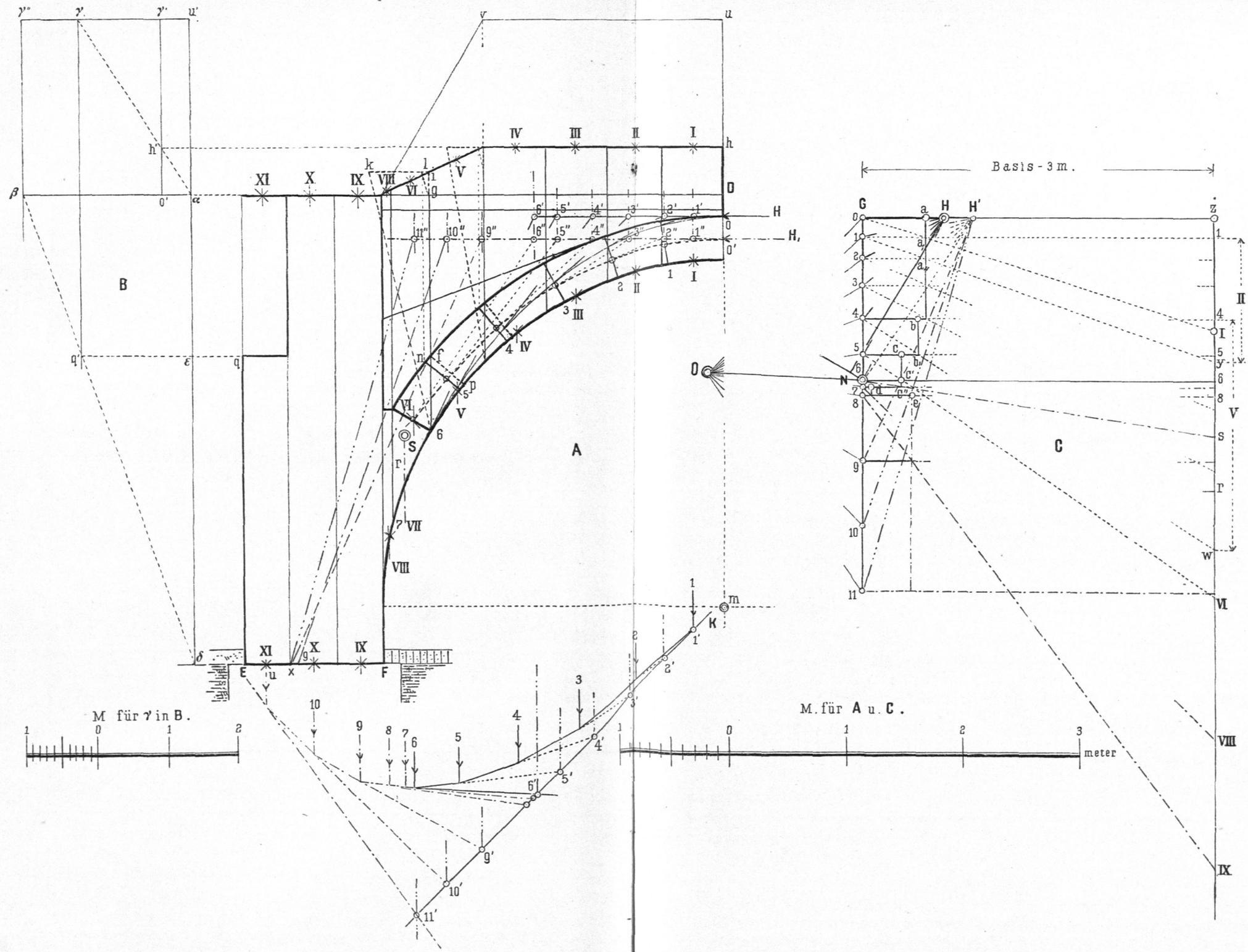
also kleiner als d , so daß $d_1 = d$ angenommen und das Gewölbe in gleicher Stärke ausgeführt werden kann.

Die Stärke des Gewölbe-Widerlagers soll einstweilen noch unbestimmt bleiben.

Nach diesen vorläufigen Ermittlungen ist auf der neben stehenden Tafel im Plane A das Gewölbe sammt seiner Belastung unter der Annahme aufgetragen, daß die Gewölbtiefe senkrecht zur Bildfläche gleich der Längeneinheit sei und daß auf der Widerlagsmauer für diese Tiefe keine weitere Last der Construction des über dem Gewölbe befindlichen Schuppens ruhe.

Die Verwandlung der Cokefüllung in Backsteinmauerung ist unter Berücksichtigung der Böschung dieser Schüttung im Plane B durch Zeichnung vorgenommen.

Ist allgemein γ das Eigengewicht des Wölbmaterials W , γ_1 das Eigengewicht des Belastungsmaterials S , so besitzt ein Körper des Materials S , dessen Grundfläche 1 qm, dessen Höhe h Met. beträgt, ein Gewicht $G_1 = 1 \cdot h \cdot \gamma_1 \cdot 1000 \text{ kg}$ und ein Körper des Materials W bei einer Grundfläche von 1 qm und einer Höhe x Met. ein Gewicht $G = 1 \cdot x \cdot \gamma \cdot 1000 \text{ kg}$.



Stabilitäts-Untersuchung eines symmetrischen Tonnengewölbes und seines Widerlagers.

Soll nun G gleich G_1 werden, so folgt

$$x\gamma = h\gamma_1,$$

d. h.

$$\frac{x}{h} = \frac{\gamma_1}{\gamma},$$

wonach x als die fog. reducirte oder ersetzte Belastungshöhe leicht zu construiren ist.

Nimmt man im Plane B die Länge $u_1\gamma$ nach einem beliebigen Maßstabe gleich der Maßzahl γ , hier gleich 1,6, und eben so $u_1\gamma_1$ nach demselben Maßstabe gleich der Maßzahl γ_1 , hier gleich 0,42, so wird, sobald auf dem aus der Zeichnung ersichtlichen Wege u_1a gleich der Schütthöhe Du des Planes A abgetragen und die gerade Linie $a\gamma$ gezogen ist, in der Länge o_1h_1 der durch γ_1 zu u_1a geführten Parallelen γ_1o_1 die reducirte Belastungshöhe erhalten; denn es ist

$$\frac{o_1h_1}{au_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma}.$$

Diese reducirte Belastungshöhe ist, da uv wagrecht liegt, bis zu einer durch v im Plane A geführten Lothrechten beizubehalten, während von hier ab bis zur inneren Kante des Widerlagers die Belastungslinie zufolge der Böschung der Cokefchüttung geneigt in gerader Linie abfällt. Ist die obere Begrenzungslinie der gegebenen Belastung von irgend welcher Gestalt, welche verschiedene Höhen bedingt, die nach und nach zu reduciren sind, so bleibt für jede einzelne Höhe das angegebene Verfahren dasselbe. Die Verbindung der Endpunkte der reducirten Höhen liefert die gefuchte Belastungslinie.

Die Fläche des Gewölbquerschnittes nebst der reducirten Belastungsfläche, wobei die Zwickel- ausmauerung und der Fußbodenbelag mit Bettung einer weiteren Reduction, wie vorhin angegeben, nicht bedurften, ist vermöge der vom Scheitellothe aus symmetrisch auftretenden Form und Belastung des Gewölbes nur zur Hälfte dargestellt. Durch lothrechte Theillinien ist dieselbe in Einzelstreifen oder Lamellen zerlegt, wobei eine Theillinie mit der durch v ziehenden Lothrechten zusammenfallend angenommen ist. Links von derselben sind noch 3 Lamellen von verschiedener Breite eingefügt, von denen die eine mittlere durch Lothrechte begrenzt wird, welche durch die Grenzpunkte der Widerlagsfuge geführt sind, eine Anordnung, welche in den meisten Fällen für diese Fuge zweckmäfsig ist. Rechts von der durch v laufenden Theillinie sind bis zum Scheitellothe hm noch beliebig viele Lamellen, hier vier derselben, von gleicher Breite genommen.

Die von den Theillinien begrenzten Theilstreifen können in ihren Flächen, da im Allgemeinen verhältnismäfsig schmale Stücke in der Zeichnung auftreten, für die praktische Unterfuchung mit genügender Genauigkeit als Rechtecksflächen behandelt werden. Vielfach, und namentlich bei flachen Bogen, können auch die Strecken dieser Theillinien, welche innerhalb der Gewölbfläche liegen und hier von der inneren Wölklinie und der Rückenlinie abgeschnitten erscheinen, schon als Fugenlinien in so fern gelten, als in denselben die der Mittellinie des Druckes zukommenden Punkte in der Gewölbfläche aufgesucht werden. Bei den im Hochbauwesen auftretenden Tonnengewölben jedoch oder auch bei den Flachbogen- gewölben selbst, welche ab und an nur eine geringe oder fast gar keine Ueberlast aufzunehmen haben, ist diese Behandlung der Abschnitte der Theillinien als Stücke, in welchen die Punkte der zu zeichnenden Mittellinie des Druckes aufgesucht werden, weniger angezeigt. Eben so ist es in den erwähnten Fällen auch nicht ganz rathsam, die Fugen, in welchen die Punkte der Drucklinie ermittelt werden sollen, geradezu von den Schnittpunkten der Theillinien mit der Rückenlinie, z. B. als Fuge fp , auslaufen zu lassen, zumal mit Leichtigkeit in jedem Falle eine Gewölbfrage ermittelt werden kann, welche von der auf ihr ruhenden Belastung in möglichst richtiger Weise getroffen und in welcher dann ebenfalls in möglichst zutreffendem Grade der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes zu bestimmen ist.

Sollte z. B. (Fig. 306) eine Fuge kl für eine beliebige Theillinie fe so gefunden werden, daß die Gewölbfläche mit der Belastungsfläche von der Größe $bafce$ das auf diese Fuge kl kommende Gewicht möglichst genau wiedergiebt, so kann die folgende Ueberlegung Platz greifen. Es sei kl die richtige Fuge. Alsdann ruht auf derselben ein Gewicht entsprechend der Fläche $apklb$. Diese Fläche müßte der bei der Bestimmung der Mittellinie des Druckes in Rechnung oder hier im Sinne der graphischen Statik in Behandlung genommenen Fläche $bafce$ gleich sein. Damit dies der Fall ist, müßte die Fläche leq gleich Fläche $qfpk$ sein. Dann würde auch Fläche leq + Fläche $eqkn$ = Fläche $qfpk$ + Fläche $eqkn$ sein müssen, oder was dasselbe ist, das als rechtwinkelige Dreiecksfläche anzusehende Stück lnk würde gleich sein müssen dem als schmalen Paralleltrapez zu behandelnden Streifen $efpn$, welcher auch genügend genau als Rechtecksfläche von der Breite fi gelten darf. Danach ist

$$\frac{nl \cdot kl}{2} = ef \cdot fi;$$

mithin auch

$$\frac{nl}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2} kl}$$

Hierin ist kl die normale Dicke des Gewölbes in l , aber streng genommen, wie auch nl noch unbekannt. Zieht man jedoch durch den Schnittpunkt c der Theillinie ef mit der Rückenlinie des Gewölbes eine Hilfsfuge cd , so ist ohne nennenswerthe Abweichung auch $cd = kl$ und $ed = nl$ zu nehmen, so dafs nun weiter

$$\frac{ed}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2} cd}$$

wird. Nach diesem Ausdrucke läßt sich fi und dann die Lage der Fuge kl , welche der Theillinie ef zugehört, einfach durch Zeichnung ermitteln. Zieht man durch den gemeinschaftlichen Punkt f der Theil-

Fig. 306.

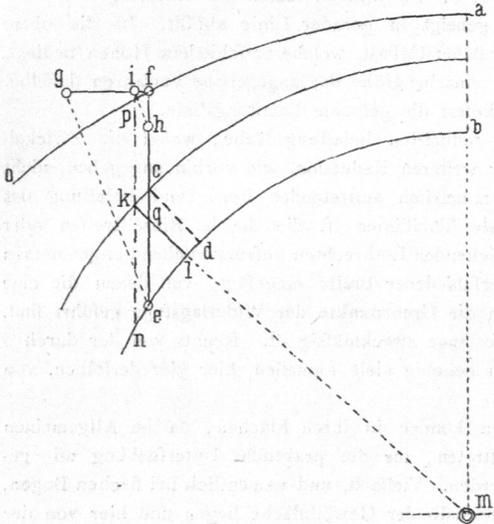
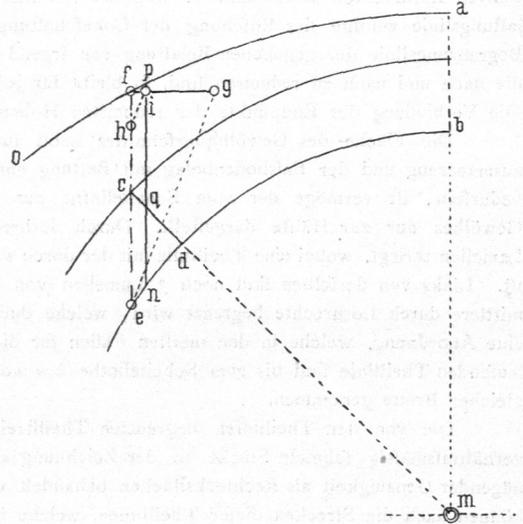


Fig. 307.



linie ef und der Belastungslinie die Gerade fg von der Länge gleich ed , trägt man auf der Theillinie ef die Strecke $fh = \frac{1}{2} cd$ ab, zieht man eg und hierzu durch h die Parallele hi , so wird fi die gefuchte Breite des vorhin erwähnten Streifens $efpn$. Zieht man zuletzt durch i die Parallele in zu ef , so trifft dieselbe den Gewölbrücken im Punkte k , durch welchen die gefuchte Fuge kl normal zur inneren Wölbfläche zu führen ist.

Ist umgekehrt eine Fuge cd (Fig. 307) gegeben, so wird auf Grund der gegebenen Ausführungen zunächst durch den Punkt c eine lothrechte Hilfsthellinie ef gelegt, $fg = cd$ und $fh = \frac{1}{2} cd$ abgetragen, nunmehr eg und die hierzu parallele Linie hi gezogen, um zuletzt in der durch i geführten Lothrechten pn die gefuchte Theillinie zu erhalten. Nach diesen Angaben sind auf der umstehenden Tafel im Plane A die Fugen 1 bis 5 des Gewölbes eingetragen.

Zur graphischen Ermittlung der Flächenwerthe der einzelnen im Allgemeinen als Paralleltreapeze erscheinenden Theilstreifen sind die mittleren Höhen II , III u. s. f. derselben bestimmt, und hierauf ist die Verwandlung der Theilflächen in Rechtecksflächen mit einer beliebigen Basis oz , hier zu 3^m gewählt, im Plane C vorgenommen.

Diese Verwandlung oder die sog. Reduction der Theilstreifen auf eine bestimmte Basis hat den Zweck, die durch Linien darzustellenden Flächen-, bzw. Gewichtswerthe der Lamellen in einer für die weitere zeichnerische Behandlung geeigneten Länge zu erhalten.

So ist im Plane C auf der lothrechten z -Linie die Strecke zI gleich der mittleren Höhe II des ersten Theilstreifens, dessen Gewicht für die Gewölbefuge 1 in Betracht kommt, abgesetzt; auf der wagrechten Linie oz ist die Länge oa gleich der Breite dieses ersten Theilstreifens abgezeichnet, durch a

die Parallele zu zI gelegt und hierauf die Linie oI gezogen, welche auf der Linie a die Strecke aa_1 als reducirte Höhe des ersten Theilstreifens abschneidet.

Die durch a_1 parallel zu oz gezogene Linie liefert auf der Gewichtslinie G die Strecke oI , welche nach dem für die Zeichnung der Pläne A und C benutzten Maßstabe zu messen und mit der Basiszahl, hier 3 m , zu multipliciren ist, um sofort den Flächeninhalt des ersten Theilstreifens in Quadr.-Met., oder auch, da die Gewölbteufe zu 1 m angenommen war, den körperlichen Inhalt dieses Theilstreifens in Cub.-Met. zu liefern.

Denn mit Bezugnahme auf die Zeichnung ist

$$\frac{aa_1}{oa} = \frac{zI}{oz},$$

d. h.

$$aa_1 \cdot oz = oa \cdot zI$$

oder

$$aa_1 \cdot 3\text{ qm} = oa \cdot zI \text{ Quadr.-Met.}$$

gleich der Fläche des ersten Streifens.

Die Zeichnung liefert $aa_1 = oI$ zu $0,17\text{ m}$; daher besitzt der erste Theilstreifen einen Flächeninhalt von $0,17 \cdot 3 = 0,51\text{ qm}$ und bei der Tiefe von 1 m auch $0,51\text{ cbm}$.

Da 1 cbm Backsteinmauerwerk 1600 kg wiegt und alle Abmessungen für die in Rechnung zu bringenden Gewölbe- und Belastungsflächen auf Backsteinmauerwerk zurückgeführt sind, so würde der Körper des ersten Theilstreifens ein Gewicht von $0,51 \cdot 1600 = 861\text{ kg}$ besitzen.

In gleicher Weise ist auch die zweite Lamelle auf die gewählte Basis reducirt; die mittlere Höhe III ist auf der z -Linie nun von r bis $y = II$ abgetragen, der Reductionsstrahl von der G -Linie aus als ry geführt, und da die Breite der zweiten Lamelle ebenfalls $= oa = ra_1$ ist, die reducirte Höhe $a, a_1 = 12$ sofort abgechnitten. Bei der fünften Lamelle ist eine Aenderung der Breite zu bemerken. Für diesen Streifen ist die mittlere Höhe VV von q bis w auf der z -Linie abgetragen, die Breite qb auf der wagrechten Linie 44 abgechnitten und vermittle des Reductionsstrahles qw die reducirte Höhe $bb_1 = 45$ bestimmt.

Für die eigentliche Gewölbfläche kommen im Ganzen sechs Theilstreifen in Frage. Die Summe aller zugehörigen reducirten Höhen ist gleich der Strecke ob im Plane C . Die Strecke ob mißt $1,4\text{ m}$; mithin wird $1,4 \cdot 3 = 4,2\text{ qm}$ als gesammter Flächeninhalt der Gewölbfläche mit Belastung gefunden.

Bei der vorläufigen Berechnung von G , welche Größe an die Stelle des gesammten Flächeninhaltes zu treten hatte, wurde hierfür ohne Rücksicht auf die Seitenböschung der Schüttung $4,88\text{ qm}$ ermittelt.

Nach dem Festlegen der Gewichte der einzelnen Theilstreifen, welche in den zugehörigen Schwerpunkten derselben angreifen, ist weiter eine Mittellinie des Druckes für das Gewölbe construirt, welche vorweg dem möglichst kleinsten Gewölbschub entspricht. Hierbei ist das folgende Verfahren beobachtet.

Bei der an und für sich geringen Breite der Lamellen kann die trapezartige Fläche derselben ohne wesentlichen Fehler als Rechteck angesehen werden, so daß der Schwerpunkt dieser Flächen in der Mittellinie derselben liegt.

Zeichnet man nun für die in II, III u. f. f. wirkenden Gewichte, bzw. für die Linienstrecken, welche dieselben als $oI, 12$ u. f. f. im Plane C darstellen, unterhalb des Planes A ein Hilfs-Seilpolygon mit Benutzung des an sich willkürlich außerhalb der G -Linie gewählten Poles O , so erhält man auf dem äußersten Seilstrahle K in z' einen Punkt, durch welchen das resultirende Gewicht aus 1 und 2 , in $3'$ einen Punkt, durch welchen das resultirende Gewicht aus $1, 2$ und 3 u. f. f., im Punkte $6'$ einen Punkt, durch welchen das resultirende Gewicht aller Einzelgewichte von 1 bis 6 in lothrechter Richtung wirken muß.

Für den möglichst kleinsten Gewölbschub H , welcher im vorliegenden Falle wagrecht gerichtet ist, weil das Gewölbe in Bezug auf das Scheitelloth symmetrisch geformt und symmetrisch belastet ist, und welcher bei näherer Untersuchung eine mögliche Mittellinie des Druckes liefert, ist der höchste Punkt o der gedachten Scheitelfuge als Angriffspunkt genommen, während gleichzeitig als Durchgangspunkt der aus dem Schube H und dem Gesamtgewichte G entstehenden resultirenden Pressung der tiefste Punkt der Widerlagsfuge 6 angenommen ist. Um die Größe von H unter diesen Annahmen zu ermitteln, ist durch o die wagrechte, durch 6_1 der Linie K die lothrechte Linie geführt, welche sich auf der ersteren im entsprechenden Punkte $6'$ schneiden. Zieht man im Plane A , von der Vorderkante 6 der Widerlagsfuge aus, den Strahl $66'$, so ist hiermit die Lage der Mittelkraft aus H und G bestimmt.

Führt man hierauf im Plane C durch den Punkt 6 der Linie G die Parallele zu jenem Strahle $66'$, so ergibt sich im Abschnitte Ho auf der durch o geführten Wagrechten oz der gefuchte Gewölbschub H . Nach dem Maßstabe bestimmt, ist die Strecke $Ho = 0,67\text{ m}$, folglich Ho selbst gleich $0,67$ -mal Basiszahl, also $Ho = 0,67 \cdot 3 = 2,01\text{ qm}$, bzw. $2,01\text{ cbm}$.

Setzt man nunmehr H nach und nach mit den auf die einzelnen Fugen des Gewölbes gelangenden

Gewichten zusammen, so erhält man für die Fuge 1 ein Gewicht $1 = \text{Strecke } o1$ im Plane C. Der Punkt $1'$ auf der Linie Ho im Plane A entspricht der Richtungslinie des Gewichtes $o1$. Zieht man im Plane C den Strahl $H1$ und hierzu durch den Punkt 1 im Gewölbplane die Parallele, bis die Fuge 1 getroffen wird, so ist dieser Punkt ein Punkt der Mittellinie des Druckes.

Bis zur Fuge 2 kommen die Gewichtsstrecken $o1 + 12$ in Betracht; das aus beiden resultierende Gewicht wirkt in der Lothrechten $2'2'$; mithin geht die resultierende Prefrung, welche im Plane C durch den Strahl $H2$ ausgedrückt wird, durch den Punkt $2'$ der Linie Ho im Plane A. Zieht man also durch diesen Punkt $2'$ die Parallele zu dem bezeichneten Strahle $H2$, bis dieselbe die Fuge 2 trifft, so ist ein zweiter Punkt der Mittellinie des Druckes gefunden. Das hiermit angegebene Verfahren wird in gleicher Weise für alle Fugen beobachtet. Die für Ho erhaltene Mittellinie des Druckes $o6$ verbleibt der Zeichnung zu Folge ganz in der Gewölbfläche, so das Gleichgewicht gegen Drehung vorhanden ist.

Da die auf die einzelnen Fugen kommenden Prefrungen mit den Senkrechten zu den Fugen, je für sich betrachtet, Winkel einschließen, welche weit kleiner bleiben, als der Reibungswinkel des Materials, welcher im Allgemeinen zu 35 Grad, bezw. in besonderen Fällen bei frischem Mörtel zu 27 Grad angenommen werden kann, so ist auch Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden. Die letztere Unterfuchung ist in der Zeichnung nicht besonders mitgetheilt, auch für die Ausführung hier weniger von Bedeutung, weil die Gefahr, das ein Gewölbe in Folge des Gleitens der Wölbsteine nicht standfähig ist, selten vorhanden ist, ausserdem aber auch leicht durch entsprechende Anordnung des Fugenschnittes, z. B. fenkrecht zur Mittellinie des Druckes, beseitigt werden könnte.

Das unterfuchte Gewölbe wird also als stabil gelten, vorausgesetzt, das für den nun auf graphischem Wege gefundenen Gewölbschub $Ho = 2,01$ die früher durch vorläufige Rechnung für den Gewölbschub $H = 1,97$ erhaltene Gewölbstärke von $0,38$ m auch zutreffend ist.

Nach Gleichung 145 würde nunmehr

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 2,01) 2,01} = 0,378 \text{ m}$$

oder abgerundet $d = 0,38$ m werden, also mit dem angenommenen Werthe in Uebereinstimmung bleiben. Um den Normaldruck N für die Widerlagsfuge 6 zu erhalten, ist im Plane C durch den Punkt 6 nur die Parallele $6N$ zu dieser Widerlagsfuge zu ziehen und das Loth HN von H auf $6N$ zu fällen. Alsdann ist $N = HN$ -mal Basiszahl.

In der Zeichnung ist $HN = 1,56$ m; mithin wird $N = 1,56 \cdot 3 = 4,68$ qm, bezw. $4,68$ cbm. Da früher unter Vernachlässigung der Böschung der Cokeschüttung N zu $5,2$ qm, also gröfser gefunden wurde und für diesen Werth die Stärke d_1 schon unter $0,38$ m blieb, so ist auch nach der neuen Unterfuchung d_1 zu $0,38$ m, also gleich d beizubehalten.

Da für Backsteingewölbe die Gewölbstärke im Scheitel nach Steinlängen bestimmt wird, so empfiehlt es sich, nach Gleichung 145, bezw. Gleichung 150 für die verschiedenen derartigen Stärken d die Grenzwerte von H und N zu berechnen. In der folgenden Tabelle sind die zugehörigen Werte von H und N für d von $1/2$ bis $2 1/2$ Steinstärke zusammengestellt.

d	$1/2$ Stein = 0,12 m	1 Stein = 0,25 m	$1 1/2$ Stein = 0,38 m	2 Stein = 0,51 m	$2 1/2$ Stein = 0,64 m	Quadr.-Met.
H	0,2	0,87	2,03	3,69	5,88	
N	0,6	2,61	6,09	11,07	17,64	

Aus dieser Tabelle ergibt sich für das unterfuchte Gewölbe, welches einem Gewölbschube von $2,01$ qm ausgesetzt ist, das im Falle einer gröfseren Belastung für das Gewölbe, wie solche durch die Cokeschüttung gegeben war, der für $0,38$ m Stärke eintretende Grenzwert $2,03$ für H überschritten würde und das dann die Gewölbstärke im Scheitel schon zu 2 Steinlängen genommen werden müfste.

Da ein Gewölbe unbedingt stabil ist, wenn für dasselbe eine Mittellinie des Druckes möglich ist oder eintreten kann, welche die Mittelpunkte aller Fugen trifft, so ist im Plane A noch zur weiteren Prüfung des Gewölbes eine Mittellinie des Druckes gezeichnet, wobei der Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge und der Mittelpunkt VI der Widerlagsfuge als Endpunkte dieser neuen Mittellinie des Druckes angenommen sind.

Auf der wagrechten Linie $H_1 o_1$ sind alsdann die den Punkten $1' 2'$ u. f. f. der Linie $H o$, bezw. der Linie K entsprechenden Punkte $1''$, $2''$ u. f. f. bis $6''$ fest gelegt. Der Gewölbfschub $H' o$, welcher für die Mittellinie des Druckes $o_1 VI$ maßgebend wird, ist bestimmt, sobald im Plane A der Strahl $6'' VI$ und hierzu parallel im Plane C der Strahl $6 H_1$ gezogen wird. Derselbe beträgt $0,95 \cdot 3 = 2,85 \text{ qm}$, ist also um das $\frac{2,85}{2,01}$ -fache oder etwa 1,4-fache größer, als der Gewölbfschub $H o$.

Die Construction der Mittellinie des Druckes erfolgt in gleicher Weise, wie früher, nur das jetzt die durch $1''$ geführte Pressungslinie der Fuge 1 parallel mit $H_1 1$, die durch $2''$ geführte Pressungslinie der Fuge 2 parallel mit $H_1 2$ läuft u. f. f.

Die hiernach gezeichnete Mittellinie des Druckes geht nahezu durch die Fugenmitten, so das nunmehr die Prüfung der Stabilität des Gewölbes abgeschlossen werden kann.

Zur Auffindung der Stärke des Widerlagers ist vorweg angenommen, das die Grundfläche desselben in der Ebene EF als fest gilt und das der Endpunkt x einer im Widerlager von einem Gewölbfschube $H_1 o$ abhängigen Mittellinie des Druckes die Widerlagerfuge in einem Abstände $Ex = \frac{1}{3} EF$ von der äußersten durch E gehenden Drehkante trifft. Selbstredend ist die Tiefe des Widerlagers wie beim Gewölbe gleich der Längeneinheit. Die Höhe desselben ist durch die mit D zusammenfallende wagrechte Ebene gegeben.

Bei Ausführung des bis zur Bruchfuge wagrecht vorgemauerten Kämpferstückes ist dieses nebst dem darüber liegenden schmalen Streifen mit zum Widerlager zu rechnen. Ueber 67 im Plane A liegt eine als Dreiecksfläche aufzufassende Theilfläche, deren Schwerpunkt S leicht zu bestimmen, deren Grundlinie gleich r und deren Höhe gleich der Breite des Streifens VI ist, welche im Plane C als $6 c_1$ eingetragen war. Der Flächeninhalt dieses Dreieckes ist also $\frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$. Da diese Fläche auf die gewählte Basis zu reduciren ist, d. h. in ein Rechteck verwandelt werden muß mit der bestimmten Basis oz und einer noch unbekanntem Höhe η , so muß $\eta \cdot oz = \frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$ oder

$$\frac{\eta}{\frac{1}{2} r} = \frac{6 c_1}{oz}$$

fein. Trägt man daher die Länge r als Strecke $6r$ auf der z -Linie ab, halbirt dieselbe in s , zieht den Reductionsstrahl $6s$, so wird auf der durch c_1 geführten Lothrechten die Strecke c, c_1 , abgechnitten und $67 = c, c_1$, ergibt das Gewicht der Dreiecks-Lamelle VII . Endlich ist auch noch die Strecke 78 als Gewicht der schmalen Lamelle $VIII$ in der genügend angegebenen Weise bestimmt. Seitlich von der durch F geführten Lothrechten beginnt der Widerlagskörper. Zunächst ist eine Lamelle IX von beliebiger, aber nicht übertriebener Breite angenommen und das Gewicht im Plane C als Strecke 89 ermittelt. Setzt man nun die Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons für die Gewichte $7, 8$ und 9 fort, so wird auf der Linie K der Punkt q' erhalten. Durch q' zieht die Lothrechte, welche der Lage des resultirenden Gewichtes aller Einzelgewichte von o bis 9 der Gewichtslinie G entspricht. Der Schnittpunkt q'' auf der Linie $H_1 o_1$ ist Angriffspunkt der resultirenden Pressung. Zieht man im Plane C den Strahl $H_1 q$, so erhält man dieselbe in diesem Strahle. Führt man im Plane A die Gerade $q'' q$ parallel zu $H_1 q$, so fällt der Punkt q der Richtung jener Pressung über die Grenzlinie der Lamelle hinaus; folglich würde bei der ersten Lamelle noch kein Gleichgewicht gegen Drehen auf der Ebene EF vorhanden sein. Fügt man deshalb noch eine zweite Lamelle X , deren Breite hier gleich der Lamellenbreite von IX genommen ist, dem Widerlager hinzu und verfährt in der angegebenen Weise, so trifft die durch 10 , parallel zu $H' 10$ resultirende Pressung die Fuge EF nahezu an der Grenzlinie der Lamelle X , so das nunmehr beim Gewölbfschub $H_1 o$ eben Gleichgewicht gegen Drehung eintreten würde.

Fügt man endlich noch eine oder mehrere Theilstreifen hinzu und stellt dem gegebenen Verfahren gemäß die Schnittpunkte x auf der Fuge EF der zugehörigen resultirenden Pressungen fest, so gelangt man schließlich dahin, die Lage des Punktes x so zu erhalten, das $Ex = \frac{1}{3} EF$ wird.

In der Zeichnung trat dieser Fall ein, nachdem noch die dritte Lamelle XI hinzugefügt war, so das EF die gefuchte Widerlagsstärke ist. Dieselbe beträgt $1,2 \text{ m}$, also bei der Spannweite des Gewölbes von 6 m genau $\frac{1}{5}$ dieser Weite.

Sollte die Außenseite des Widerlagers in der Stärke von durchschnittlich $0,4 \text{ m}$, entsprechend der

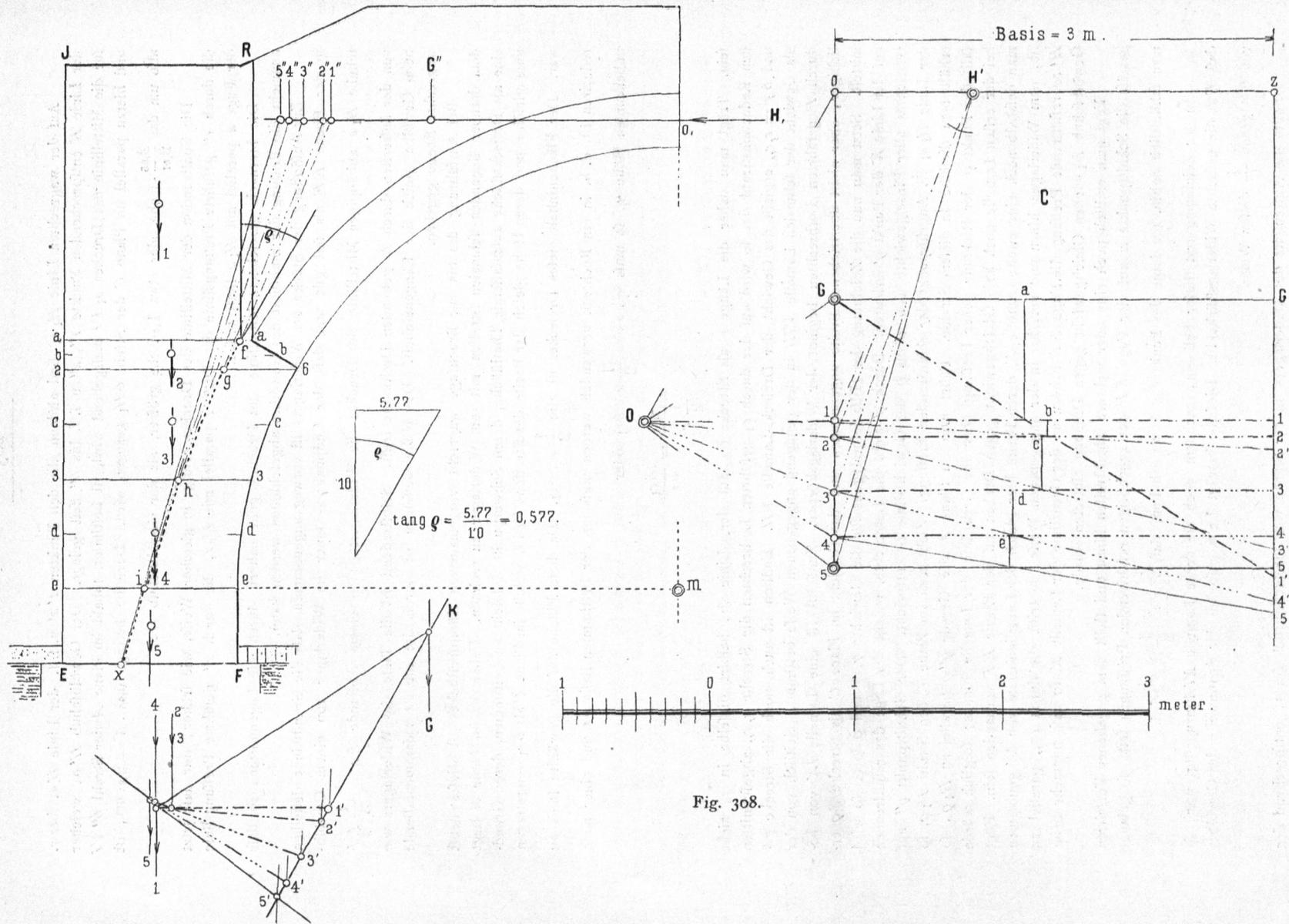


Fig. 308.

Breite des letzten Theilstreifens, aus Sandsteinquadern vom Eigengewichte $\gamma'' = 2,4$ ausgeführt werden, so würde, wenn weder die GröÙe des Gesamtgewichtes σ bis 11 , noch die Lage des Punktes x verändert werden dürfte, die Höhe Eg dieser Quaderbekleidung mit Hilfe des Planes B sich einfach bestimmen lassen. Hierin ist $\delta\alpha$ die Höhe des vollständig aus Backsteinmauerwerk hergestellten Widerlagers. Trägt man auf der wagrechten Linie $\alpha\beta$ die Strecke $\alpha\beta = 2,4$ ab, zieht man hierauf $\delta\beta$, so schneidet dieser Strahl die lothrechte Linie γ im Punkte q_1 ; die durch q_1 parallel zu $\alpha\beta$ geführte Linie giebt auf der Lothrechten $\delta\alpha'$ den Schnittpunkt ε , und man erhält alsdann in $\delta\varepsilon$ die gefuchte Höhe Eg der Quaderverkleidung. Das Gewicht dieses Quaderstückes ist gleich dem Gewichte des aus Backsteinmauerwerk bestehend gedachten Theilstreifens XI ; denn es ist bei gleicher Grundfläche der beiden Körper

$$\frac{\delta\varepsilon}{\delta\alpha} = \frac{\gamma}{\gamma''}, \text{ also } \delta\alpha\gamma = \delta\varepsilon\gamma'',$$

wie es sein soll. Oberhalb g entstände ein Sockelabfatz von der Breite der Lamelle XI und danach könnte das Backsteinmauerwerk wieder beginnen.

Das Mauerwerk des Widerlagers wird jedoch in den meisten Fällen in wagrechten Schichten ausgeführt, und es entsteht dann die Frage, wie sich bei folcher Anordnung die Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper gestaltet.

In Fig. 308 ist für das bereits feiner Stärke nach ermittelte, aus Backsteinmauerwerk bestehende Widerlager die Mittellinie des Druckes $fghix$ für wagrechte Schichten eingezeichnet. Auf der wagrechten Fuge aa ruht der Körper $aaR\mathcal{J}$. Sein Gewicht r wirkt in der Schwerlinie r . Ferner kommt für diese Fuge das Gewicht G der Gewölbhälfte mit feiner Belaftung und der Gewölbchub H_1o in Betracht, welche sofort von der Tafel bei S. 198 entnommen sind, so dafs, unter Beibehaltung derselben Verwandlungsbasis $oz = 3^m$, nun auch oG der Strecke ob , H_1o der Strecke H_1o entsprechend wieder benutzt sind. Die Gewichtsstrecke $G1$ des bezeichneten Theilstückes ist im Plane C in bekannter Weise ermittelt. Nach der Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons mit Benutzung des beliebigen Poles O ergibt sich auf dem Strahle K der Punkt $1'$, durch welchen die Mittelkraft aus oG und $G1$ zieht. Die Zusammenfassung derselben mit dem durch den Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge gerichteten wagrechten Gewölbchube H_1o erfolgt im Punkte $1''$. Der Strahl $1''f$ parallel zu H_1r des Planes C geführt, giebt in f einen Punkt der Mittellinie des Druckes im Widerlager.

Ueber der Fuge $z\delta$ gefellt sich dem Gewichte von $aaR\mathcal{J}$ noch das Gewicht des Theilstreifens $z\delta aa$ mit der mittleren Breite bb hinzu. Der Schwerpunkt desselben ist leicht zu bestimmen. Im Plane C ist für die Reduction dieser Breite gemäÙ $1b = bb$ genommen, $1z'$ auf der Linie z gleich der Höhe za des Streifens abgetragen und durch den Reductionsstrahl $1z'$ die Gewichtsstrecke $bc = 1z$ erhalten. Im Seilpolygon ist die weitere Zusammenfassung der Gewichte $oG, G1$ und $1z$ zu einer durch z' der Linie K gehenden Mittelkraft bewirkt und diese in z'' mit dem Gewölbchube H_1o vereinigt. Die dann sich ergebende resultirende Pressung ist für die Fuge $z\delta$ gleich und parallel H_1z des Planes C . Zieht man $z''g$ dem entsprechend parallel H_1z , so erhält man in g einen Punkt der Mittellinie des Druckes für die Fuge $z\delta$.

Nach diesem Verfahren ist, wie aus der Zeichnung ersichtlich wird, für jede weiter folgende Fuge der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes, welche als Linienzug $fghix$ auftritt, im Widerlager gefunden. Hier sei noch bemerkt, dafs die Lage des Punktes x auf der Fuge EF der Grundfläche mit derjenigen auf der Tafel bei S. 198 übereinstimmen, dafs ferner die Strecke $G5$ wieder gleich der Strecke $\delta 11$ jener Figur gefunden werden mufs, weil an der Gesamtheit des Querschnittes vom Gewölbe und vom Widerlager keine Aenderung eingetreten ist.

Die gefundene Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Fläche des Widerlagers. Die resultirenden Pressungen für die einzelnen Fugen schliesen mit den ihnen zugehörigen Senkrechten einen Winkel ein, welcher, wie bei der Fuge aa für die am stärksten geneigte Pressungslinie $1''f$ gezeigt ist, kleiner bleibt, als der hier zu 30 Grad angenommene Reibungswinkel ρ , wofür $\text{tg } \rho = 0,577$ ist, so dafs für das Widerlager sich Gleichgewicht gegen Drehung und gegen Gleiten ergibt.

In besonderen Fällen, wenn z. B. die als Gurtbogen auftretenden kürzeren Gewölbe aufser einer stetig oder unstetig vertheilten Belaftung noch an bestimmten Stellen gröÙere Einzelgewichte als Belaftung aufzunehmen haben, ist stets eine sorgfältige Prüfung der Stabilität dieser Gewölbe erforderlich und immer die Ermittlung der Mittellinie des Druckes für das Gewölbe neÙt Widerlager angezeigt.

Eine derartige Untersuchung ist in Fig. 309 ausgeführt.

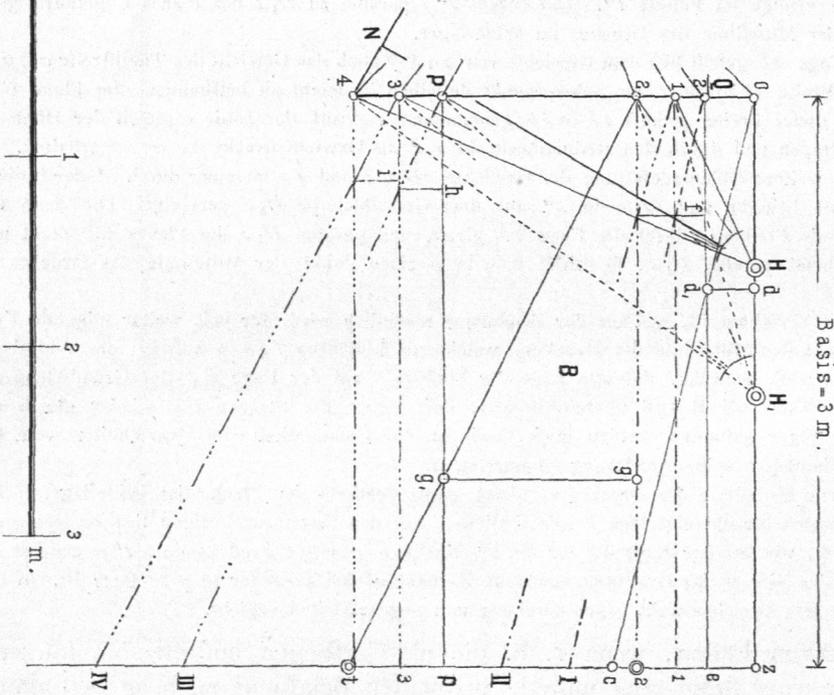
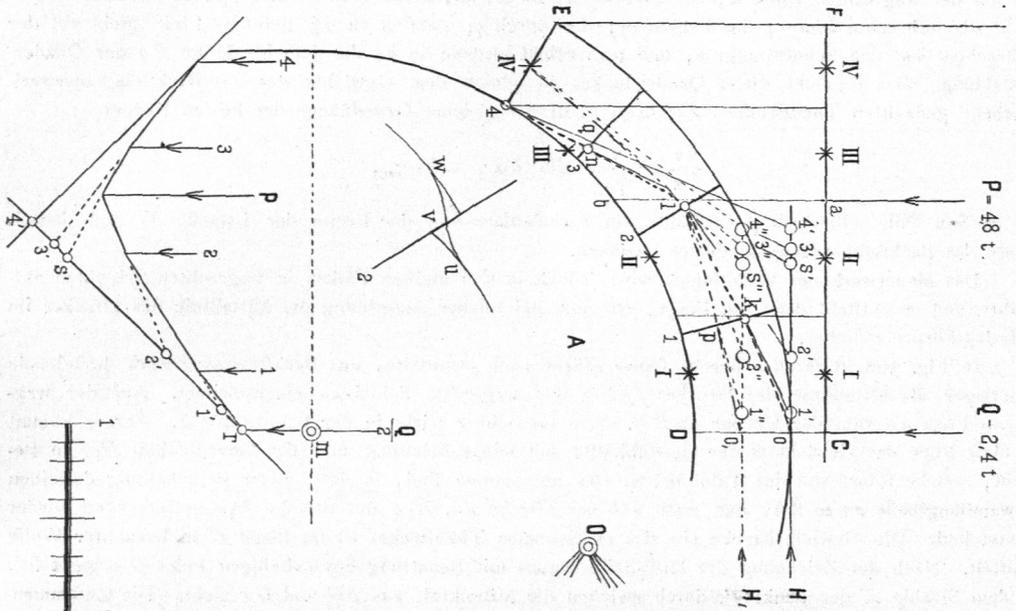


Fig. 309.

Das aus Backstein auszuführende Gewölbe ist 4 m weit gespannt und trägt außer der durch CF begrenzten Ueberlast noch im Scheitel eine Einzellaft von $Q = 2,4$ Tonnen, rechts und links von dem Scheitellothe noch je eine Last $P = 4,8$ Tonnen, so dass dieses Gewölbe symmetrisch geformt und symmetrisch belastet ist. Die Gewölbstärke sei zu 2 Steinmäßen $= 0,51$ m angenommen. Die Unterfuchung ist wieder unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit geführt. Da die Einzellaften durch das gleiche Gewicht einer Steinmäße von quadratischer Grundfläche, deren Seitenlänge beliebig angenommen werden könnte, hier aber zu 1 m genommen werden soll und einer Höhe x ersetzt werden müssen, so erhält man, da 1 cbm Backsteinmauerwerk 1600 kg $= 1,6$ t wiegt, für die Last Q sofort

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 2,4, \text{ also } x = 1,5 \text{ m}$$

und für die Last P danach

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,6 = 4,8, \text{ d. h. } x = 3 \text{ m.}$$

Die Lage von Q und P darf nicht geändert werden, und aus diesem Grunde wird am zweckmäßigsten eine zugehörige Theillinie C , bzw. a durch den Angriffspunkt der Einzellaften gelegt und diesen Theillinien entsprechend auch die zugehörige Gewölbefuge, unter Beibehaltung der Belastungslinie CF der ursprünglichen, stetigen oder unstetigen, hier wagrecht abgegrenzten Belastung, wie früher angegeben, gezogen.

Von der in der gedachten Scheitelfuge Do wirkenden Einzellaft Q kann hier nur die Hälfte, also $\frac{1,5}{2} = 0,75$ m, oder, da die Grundfläche der gedachten Steinmäße 1 m als vordere Seitenlänge besitzen soll, $0,75$ qm, bzw. $0,75$ cbm in Betracht genommen werden, weil der symmetrischen Anordnung halber nur eine Gewölbhälfte zur Unterfuchung zu kommen braucht.

Sind diese Punkte fest gesetzt, so erfolgt das weitere Zerlegen der Gewölbe- und Belastungsfläche D_4EFC in beliebig viele, auch beliebig breite Theilstreifen nebst Angabe der ihren Theillinien zukommenden Gewölbefugen, gleichgiltig, ob diese Fugen mit jenen später bei der Ausführung des Gewölbekörpers zusammenfallen werden oder nicht, und hierauf, ganz wie im Vorhergehenden erörtert, auch die Reduction ihrer Flächen auf eine gewählte Basis. Hierbei ist nur zu beachten, dass auch die Gewichte der Einzellaften in richtiger Reihenfolge vor der antretenden Lamelle eingefügt und gleichzeitig auf jene Basis reducirt werden. So ist das Gewicht $\frac{Q}{2}$ entsprechend $0,75$ qm als erster Bestandtheil in folgender Weise reducirt.

Auf der z -Linie des Planes B ist $zc = 0,75$ m, auf der Linie oz dagegen $od = 1$ m abgetragen. Der Reductionsstrahl oc liefert die Gewichtsstrecke dd_1 gleich der Strecke o bis $\frac{Q}{2}$. Hierauf sind die Gewichtsstrecken für die Lamellen I und II von $\frac{Q}{2}$ bis r und von r bis z bestimmt, und sodann ist die Reduction der Einzellaft $P = 3$ qm entsprechend bewirkt.

Statt hierbei eine Länge von 3 m und eine Breite von 1 m zu benutzen, ist, um das Auftragen einer großen Länge zu vermeiden, welche unter Umständen nicht mehr auf die Zeichenfläche gebracht werden könnte, eine Länge zt auf der z -Linie gleich $\frac{3}{n}$, hier $= \frac{3}{2} = 1,5$ m und auf der Linie zz eine Breite z bis $g = n \cdot 1$ Met., also hier, da $n = 2$ gewählt ist, gleich 2 m abgeschnitten. Der Reductionsstrahl zt liefert nun ebenfalls die richtige Gewichtsstrecke $gg_1 = 2P$ für die Einzellaft P . Endlich sind noch die Theilstreifen III und IV reducirt, und es ist in o bis q im Plane B die gesammte Gewichtsstrecke fest gelegt.

Wie für die Tafel bei S. 198 beschrieben, ist nunmehr die Construction einer Mittellinie des Druckes $oklnq$ für den möglichst kleinsten, in o angreifend genommenen Gewölbchub Ho und ferner eine solche o_1plq VI für einen Gewölbchub H_1o ausgeführt, wobei die Endpunkte dieser Mittellinie des Druckes die Halbirungspunkte der Scheitelfuge Do und der Widerlagsfuge qE bilden. In der Fig. 309 treffen die von z' und S' nach der Fuge z laufenden Richtungen der Pressungen, abgesehen davon, dass auch die von o_1 ausgehende Mittellinie des Druckes durch diesen Punkt zieht, ganz nahe im Punkte I zusammen.

Dieses Zusammentreffen ist jedoch häufig nicht der Fall. Die Mittellinie des Druckes bleibt aber vermöge der Pressbarkeit des Materials stetig und würde etwa bei der Fuge z den im Plane A unterhalb der Fuge z angegebenen Verlauf uvw nehmen. Für die Unterfuchung des Widerlagers dieses Gewölbes möge auf die Tafel bei S. 198 u. Fig. 308 verwiesen werden.

Noch erübrigt die Prüfung der Gewölbstärke. Der Gewölbchub Ho wird nach der Zeichnung gefunden als $Ho = 0,9 \cdot 3 = 2,7$ qm, während der Normaldruck für die Widerlagsfuge qE

$$HN = 2,28 \cdot 3 = 6,84 \text{ qm}$$

wird. Nach der Tabelle auf S. 202 muß also das Gewölbe durchgängig 2 Stein stark genommen werden, da bei $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke H nur 2,03 qm, N nur 6,09 qm ist. Da die Mittellinie des Druckes für $H\theta$ ganz in der Gewölbfläche verbleibt, auch in den Fugen der Reibungswinkel nicht überschritten wird, so ist das entworfen und unterfuchte Gewölbe stabil.

145.
Empirische
Regeln
für die
Widerlags-
stärke.

Damit für die Widerlagsstärke von vornherein ein ungefährer Werth Berücksichtigung finden kann, benutzt man wohl einige empirische Regeln, und zwar nimmt man bei Tonnengewölben, wobei die Oberkante der Widerlager in einer durch den höchsten Punkt des Gewölbrückens gelegten wagrechten Ebene begrenzt ist, die Stärke der Widerlager:

bei einer Halbkreisbogenlinie zu $\frac{1}{5}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien (Ellipsen, Korbbogen) mit bis $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältniss zu $\frac{1}{4}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien mit weniger als $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältniss zu $\frac{2}{7}$ der Spannweite, und

bei überhöhten Bogenlinien zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ der Spannweite.

Ist dabei aber die Höhe der Widerlager von ihrer Aufstansfläche bis zu der erwähnten Ebene grösser als 2,5 m, so werden die angegebenen Abmessungen etwa $1\frac{1}{6}$ bis $1\frac{1}{8}$ -mal so stark genommen.

Die gegebenen Werthe sollen aber nur als Näherungswerthe angesehen werden; sie schliessen also die bezeichnete Stabilitätsuntersuchung des Widerlagskörpers nicht aus.

Bei der Prüfung der Stabilität des Widerlagers durch Rechnung ist im oben gedachten Halbbande (2. Aufl., Art. 277, S. 262) dieses »Handbuches« das Erforderliche gegeben, und es ist mit Bezug auf die in Fig. 310 eingeführten Bezeichnungen der Abstand x des Angriffspunktes E der Mittelkraft aus dem Gewölbschube H , dem Gewichte G des Gewölbes nebst feiner Belastung und dem Gewichte G_1 des Widerlagskörpers von der äußeren Kante am Fusse der Widerlagsmauer berechnet zu

$$x = \frac{G_1 g' + G(d - e) - Hr}{G + G_1}$$

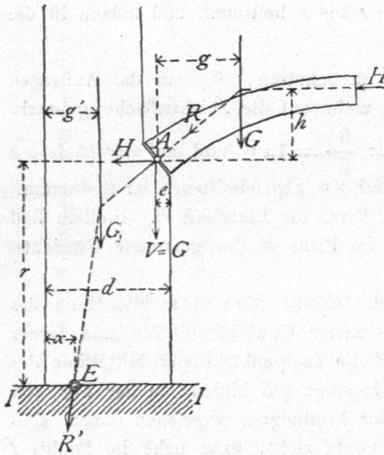
Ist demnach zuvor die Stärke d gewählt, so läßt sich G_1 als abhängig von d ermitteln und da dann auch bei berechnetem g_1 , H und G , so wie bei den gegebenen Werthen von e und r die GröÙe x zu finden ist, so kann man prüfen, ob die gewählte Stärke d einen Werth für $x = \frac{1}{3} d$ liefert,

oder ob ein neuer Werth von d , welcher nach der ersten Rechnung sich jedoch un schwer angeben läßt, eingeführt werden muß oder nicht.

146.
Einhüftige
Gewölbe.

Eine besondere Betrachtung erfordern noch die sog. einhüftigen Gewölbe. Ein einhüftiges Gewölbe ist, in seinem Stirnschnitte genommen, ein sog. unsymmetrisches Gewölbe, da dasselbe in Bezug auf sein Scheitelpunktsloth zwei von einander verschiedene, nicht congruente Stücke der ganzen Stirnfläche besitzt. Diese beiden

Fig. 310.



Stücke erhalten auch meistens von einander verschiedenen große Belastungen, so daß neben den unsymmetrischen Gewölbekbögen noch unsymmetrische Belastung vorhanden ist. Da vielfach außer den eigentlichen einhöftigen Gewölben, welche z. B. zur Unterstützung von Treppenläufen dienen, derartige Gewölbe von geringer Axenlänge als fog. Strebekbögen zur Sicherung des Widerlagers anderer Gewölbe, namentlich der gothischen Kreuzgewölbe, benutzt werden, so ist die Stabilitäts-Untersuchung der einhöftigen Gewölbe, bezw. der Strebekbögen von Bedeutung. In einigen Punkten weicht, wie aus dem in Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 446¹⁶⁷) Gefagten zu entnehmen ist, diese Untersuchung von derjenigen des geraden Tonnengewölbes ab, und es soll deshalb eine graphostatische Stabilitäts-Untersuchung eines einhöftigen Gewölbes gegeben werden.

Als Beispiel ist ein einhöftiges, aus Backsteinmaterial herzustellendes Gewölbe gewählt, welches zum Tragen eines Treppenarmes dient. Dasselbe ist in Fig. 311 dargestellt. Die Wölblinie ist ein um m beschriebener Kreisbogen ab ; die Gewölbstärke ist gleichmäßig zu $0,33\text{ m}$ angenommen. Der Treppenlauf ist eingetragen, und gleichzeitig ist unter Berücksichtigung der zufälligen Belastung und unter Zurückführen des Stufenmaterials und der erwähnten Belastung auf das Eigengewicht des Wölbmaterials die Belastungslinie CD eingezeichnet.

Streng genommen würde diese Linie staffelförmig auftreten, wenn für jede Stufe eine gleichförmig vertheilte Ueberlast für die Flächeneinheit gelten soll. In Rücksicht auf Stöße, welche bei der Benutzung der Treppe eintreten können, ist hier jedoch diese Ueberlast parallel mit der Steigungslinie der Treppe angenommen und hierdurch noch als etwas ungünstiger für das Gewölbe in Betracht gezogen.

Die Belastungsfläche $abcd$ ist in sieben Theilstreifen zerlegt, wovon der Streifen I der schmalere ist, während die Streifen II bis VII eine gleich große Breite aufweisen.

Die Tiefe des Gewölbes ist gleich der Längeneinheit angenommen. Den Theillinien entsprechend sind die Fugenlinien x, z, y u. f. f. in der eigentlichen Gewölbfläche gezogen.

In bekannter Weise (vergl. Art. 143, S. 201) ist zur Ermittlung der Flächen, bezw. der Gewichte der Theile eine Reduktion der Flächen derselben auf eine Basis gleich 2 m ausgeführt, so daß im Gewichtsplane die Strecken $o_1, 1_2$ u. f. f. die Größen der zugehörigen Flächen ergeben, sobald die ihnen zukommende Maßzahl mit der Maßzahl 2 der Basis multiplicirt wird. Die Strecke o_7 mißt $2,8\text{ m}$; folglich besitzt die Belastungsfläche $2,8 \cdot 2 = 5,6\text{ qm}$, und das in Frage kommende Gesamtgewicht des Gewölbekörpers, einschl. der Belastung beträgt, bei der Gewölbetiefe von 1 m und dem Gewicht von 1600 kg , für 1 cbm Backsteinmaterial $5,6 \cdot 1 \cdot 1600 = 8960\text{ kg}$. Dieser Werth entspricht der Mittelkraft R .

Die Einzelgewichte wirken, wie früher schon erörtert, in den Mittellinien ihrer Theilstreifen, welche durch kleine Sterne in der Zeichnung angedeutet sind.

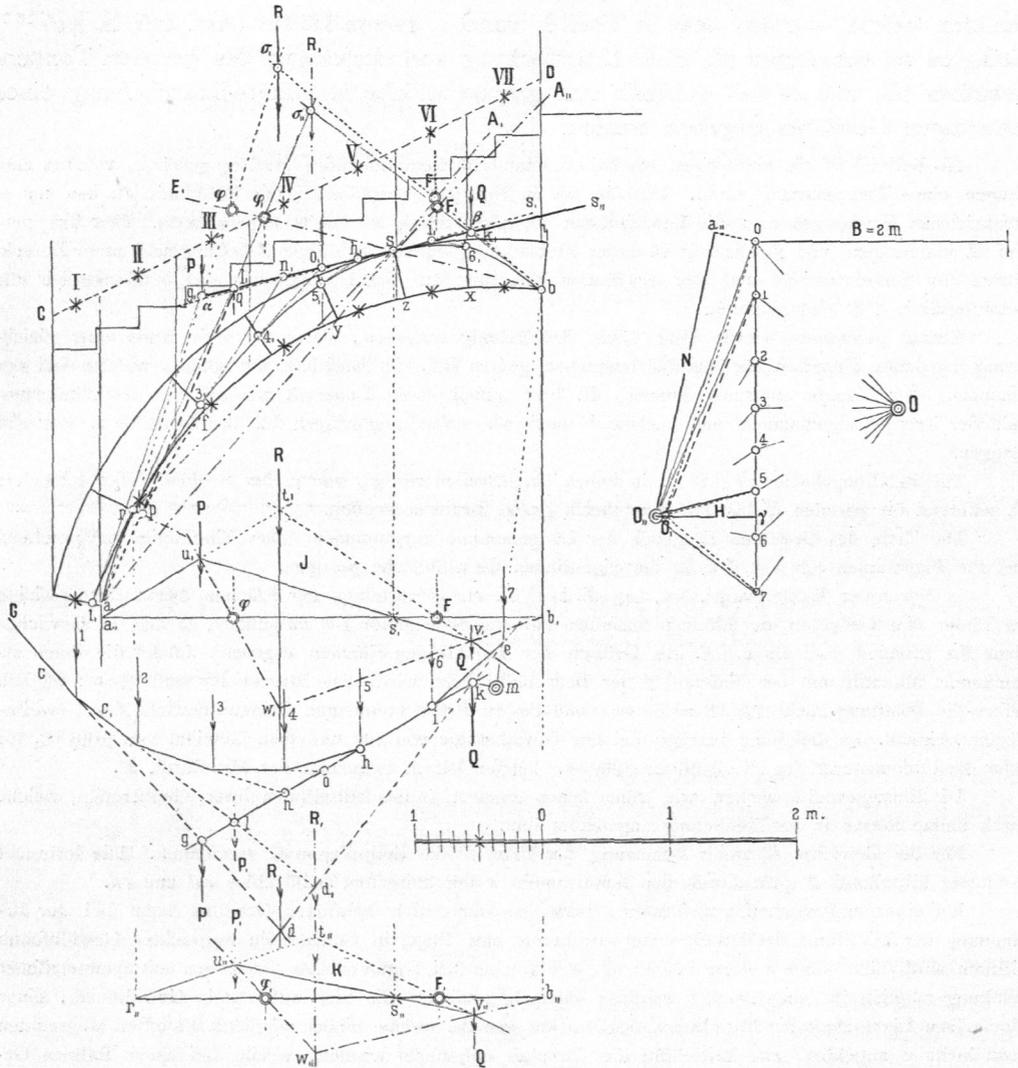
Für die Gewichte ist unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon G gezeichnet. Die lothrecht gerichtete Mittelkraft R geht durch den Schnittpunkt d der äußersten Seilstrahlen cd und ed .

Bei einem unsymmetrisch geformten, bezw. unsymmetrisch belasteten Gewölbe kann bei der Bestimmung der Mittellinie des Druckes von vornherein eine Fuge, in welcher ein wagrechter Gewölbschub wirksam wird, nicht ohne weitere Rechnung, wie folches bei symmetrischen Gewölben mit symmetrischer Belastung möglich ist, angenommen werden; vielmehr muß für die hier auftretende Gewölbförmigkeit, einer allgemeinen Eigenschaft der Mittellinien des Druckes gemäß, welche einem möglichst kleinsten wagrechten Gewölbschube angehört, eine Mittellinie des Druckes aufgesucht werden, welche bei einem stabilen Gewölbe innerhalb der Gewölbfläche verbleibt und zwei Punkte mit der inneren Wölblinie und einen Punkt mit der Rückenlinie gemeinschaftlich hat. Diese drei Punkte sind vorweg noch unbekannt. Wählt man jedoch einstweilen beliebig, z. B. die Punkte a und b auf der inneren Wölblinie, den dazwischen liegenden Punkt s auf der Rückenlinie, so läßt sich eine Mittellinie des Druckes als Probelinie ermitteln, welche diese drei Punkte enthält, im Allgemeinen aber noch nicht innerhalb der Gewölbfläche verbleibt. Aus ihrem Verlaufe erkennt man aber dort, wo dieselbe sich am weitesten von den Wölblinien entfernt, diejenigen Punkte, durch welche eine neu gezeichnete Mittellinie des Druckes gehen müßte, wenn dieselbe in der Gewölbfläche liegen soll. In den meisten Fällen sind nur wenige derartige Untersuchungen erforderlich, die außerdem unter Anwendung der Verfahren der graphischen Statik ziemlich einfach sind.

¹⁶⁷⁾ 2. Aufl.: Art. 267, S. 253.

Um eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, welche durch die gewählten 3 Punkte a, s, b geht, die zugleich den im Gewölbefchnitte für die Theillinien eingezeichneten Fugenlinien angehören, hat man zu beachten, daß von der Fuge $s z$, bezw. von der ihr zukommenden Theillinie aus für den Gewölbkörper von s bis a die Gewichtssumme gleich der Strecke o_5 , von s bis b die Gewichtssumme gleich der Strecke s_7 des Gewichtplanes in Frage kommt. Die Lage dieser resultirenden Gewichte ist im Seilpolygon G zu ermitteln, indem für die durch die Fuge $s z$ von einander gefchiedenen Gewichte

Fig. 311.



durch Erweitern des gemeinschaftlichen Seilstrahles hi die Schnittpunkte g und k mit den äußersten Seilstrahlen c und e bestimmt werden. Durch g zieht die lothrechte Resultirende $P = o_5$, während durch k die Lothrechte $Q = s_7$ geht.

Da außerdem die Lage der Mittelkraft R von P und Q bekannt ist, so läßt sich für die Gewichte P und Q ein Seilpolygon b, β, s, a, a mit den äußersten Strahlen $b\sigma_1$ und $a\sigma_1$ im Gewölbeplane fest legen, welches durch die 3 Punkte a, s, b geht, und worin die in βa , bezw. $a\beta$ wirkenden Seilspannungen als in s thätige Gewölbfschübe auftreten. Zur Ermittlung dieses Seilpolygons ist ein bekannter Satz der graphischen Statik benutzt, welcher sagt:

Wenn sich die drei Ecken α, σ_1, β , welche einem Seilpolygon $a\alpha\beta b$ mit den fortgeführten beiden äußersten Strahlen $\alpha\sigma_1$ und $\beta\sigma_1$ angehören, auf drei gegebenen Strahlen P, R, Q bewegen, wenn ferner

zwei Seiten des Seilpolygons, z. B. $a\sigma_1$ und $\alpha\beta$, sich um zwei feste Punkte a , bezw. s drehen, so dreht sich auch die dritte Seite $\beta\sigma_1$ stets um einen und denselben festen Punkt F , den sog. Fixpunkt, welcher immer auf der durch die beiden festen Punkte a und s geführten geraden Linie, der sog. Polaraxe liegt. Zur Bestimmung jenes Fixpunktes F und auch des zur weiteren genauen Durchführung der Zeichnung zu benutzenden zweiten Fixpunktes φ einer zweiten Polaraxe E_1 , braucht man nur, um die zeichnerischen Darstellungen dafür im Gewölbeplane ganz zu vermeiden, bei der lothrechten Richtung von P, R und Q aus leicht ersichtlichen Gründen die Projectionen der Fixpunkte F und φ zu ermitteln und diese auf die Polaraxe A_1 (Gerade durch a und s) für F , bezw. auf die Polaraxe E_1 (Gerade durch b und s) für φ unmittelbar zu übertragen. Solches ist im Hilfsplane \mathcal{F} geschehen. Auf der beliebig, hier wagrecht gezogenen Geraden a_1b_1 sind gemäfs der lothrechten Richtung von P, R und Q durch lothrechtliches Projiciren die den Punkten a, s, b entsprechenden Punkte a_1, s_1, b_1 fest gelegt. Die Gerade a_1b_1 ist die Projection der Polaraxe A_1 , und eben so ist b_1a_1 die Projection der Polaraxe E_1 .

Zieht man durch a_1 einen sonst beliebigen, die Geraden P und R in u_1 , bezw. t_1 schneidenden Strahl, legt hierauf, durch u_1 und s_1 bestimmend, eine Gerade fest, welche die Linie Q in v_1 schneidet, und fügt man zuletzt den Strahl v_1t_1 ein, so ist der Schnittpunkt F derselben mit a_1b_1 die Projection von dem auf der Polaraxe A_1 liegenden Fixpunkte. Um den Fixpunkt φ zu erhalten, ist von b_1 ausgehend dasselbe Verfahren zu beobachten; man kann aber unter Benutzung der schon im Plane \mathcal{F} vorhandenen Strahlen die Gerade b_1v_1 bis w_1 auf R ziehen, die Gerade v_1u_1 unberührt lassen und w_1 mit u_1 verbinden, um im Schnittpunkte φ dieses Strahles mit der Geraden b_1a_1 die Projection des Fixpunktes der Polaraxe E zu ermitteln.

Überträgt man im Gewölbeplane den Punkt F nach F auf A_1 und den Punkt φ nach φ auf E_1 , so sind $a\varphi$ und bF die Richtungen der äufsersten Strahlen des durch as und b gehenden Seilpolygons. Sie treffen die Richtungen von P und Q in den Punkten α , bezw. β , und die durch die Punkte α und β ziehende Gerade s_1 , welche nothwendig auch durch s gehen mufs, ist die dritte Seilseite des nunmehr bestimmten Seilpolygons für die Punkte a, s und b . Als Probe für die Richtigkeit dient noch der Umstand, dafs die Strahlen $a\alpha$, bezw. $b\beta$, gehörig erweitert, sich in einem gemeinschaftlichen Punkte σ_1 auf der Linie der Mittelkraft R schneiden müssen.

In der Linie s_1 wirkt der Gewölbschub für den Gewölbeheil za in der Richtung $s\alpha$, für den Gewölbeheil zb in der Richtung $s\beta$. Die Gröfse desselben erhält man im Gewichtsplane sofort, wenn man durch den Punkt o eine Parallele oO_1 zu $a\varphi$ und durch den Punkt γ eine Parallele γO_1 zu bF zieht; beide treffen sich im Punkte O_1 , und die Länge des Strahles $O_1\mathcal{S}$ liefert, da \mathcal{S} der Endpunkt der Gewichtsstrecke P und der Anfangspunkt der Gewichtsstrecke Q ist, die gefuchte Gröfse des Gewölbschubes. Zur Prüfung der Zeichnung dient, dafs $O_1\mathcal{S}$ parallel mit der Geraden $\alpha\beta$ sein mufs.

Um nun für diesen Gewölbschub eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, verfährt man in folgender Weise. Das Gewicht \mathcal{S} , welches von s aus bis zur Fuge y in Frage kommt, greift auf der Linie s_1 in h_1 an; zieht man im Gewichtsplane die Linie $O_1\mathcal{A}$ und hierzu eine Parallele durch h_1 , bis die Fuge y getroffen wird, so ergibt sich hier ein Punkt jener Drucklinie. So wirken bis zur Fuge r die Gewichte $2, 3, 4$ und 5 . Die Lage des resultirenden Gewichtes P_1 gleich der Strecke $\mathcal{I}\mathcal{S}$ ergibt sich durch den Schnittpunkt l der Seilstrahlen c_1 und h_1i des Seilpolygons G ; bringt man den Angriffspunkt von P_1 entsprechend l nach q auf s_1 , zieht man O_1r und hierzu eine Parallele qp , so ist p ein Punkt der gefuchten Probelinie. Führt man die Zeichnung derselben nach diesen Angaben für das ganze Gewölbe durch, was in Fig. 311 nicht weiter kenntlich gemacht ist, so findet man, dafs diese Probelinie in der Gewölbläche szb verbleibt, die Gewölbläche sza jedoch in dem Stücke fpa verläfst, dafs mithin diese Drucklinie noch nicht für die Stabilitäts-Unterfuchung des Gewölbes maßgebend wird. Der am weitesten von der Wölblinie entfernte Punkt p dieser Probelinie giebt ein Erkennungszeichen für die Lage einer gefährlichen Stelle (Bruchfuge) im Gewölbe an. Der dem Punkte p zugehörige Punkt dieser Bruchfuge ist in r bekannt geworden. Die Punkte s und b bleiben unverändert, weil von s bis b die Probelinie in der Fläche bleibt.

Ermittelt man nunmehr ein Seilpolygon, welches durch die Punkte r, s und b für die Gewichte von s bis r und von s bis b geht, so weiß man zunächst, dafs das resultirende Gewicht P_1 des Stückes von s bis zur Fuge r gleich $\mathcal{I}\mathcal{S}$ ist und lothrecht durch l zieht, dafs ferner das resultirende Gewicht des Stückes von s bis zur Fuge b wiederum gleich $Q = \mathcal{S}\mathcal{I}$ ist und lothrecht durch k zieht und dafs endlich für das bezeichnete Seilpolygon die durch r und s geführte Gerade A_1 , eine Polaraxe wird, während die zweite Polaraxe im vorliegenden Falle als der durch b und s gelegte Strahl E_1 verbleibt.

Ermittelt man im Hilfsplane K in der früher angegebenen und aus der Zeichnung näher ersichtlichen Weise die Projectionen der Fixpunkte F_1 und φ_1 und überträgt man dieselben nach F_1 auf die

Polaraxe $A_{,,}$ bezw. nach φ_1 für die Polaraxe E_1 , so sind $r\varphi_1$ und bF_1 die äußersten Strahlen des zu berücksichtigenden Seilpolygons. Man kann schon hiernach bei genauer Zeichnung, unbekümmert um näheres Festlegen des Seilpolygons, ohne Weiteres die eindeutige Bestimmung des jetzt sich geltend machenden Gewölbschubes vornehmen.

Zieht man, da $P_1 = 15$ und $Q = 57$ ist, durch r im Gewichtsplane eine Linie $rO_{,,}$ parallel zu $r\varphi_1$ und ferner hier durch γ einen Strahl $\gamma O_{,,}$ parallel zu bF_1 , so ergibt sich der gemeinschaftliche Schnittpunkt $O_{,,}$ dieser Linien. Zieht man $O_{,,}s$, so ergibt dieser Strahl die Größe des neuen Gewölbschubes und zugleich die Neigung desselben zur Lothrechten an. Führt man durch s im Gewölbeplane eine Gerade $s_{,,}$ parallel zu $O_{,,}s$, so ist hiermit die Lage des Gewölbschubes gegeben. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung dient, dass der Punkt h_1 , als Schnittpunkt der Lothrechten P_1 mit dem Strahle $r\varphi_1$, der Punkt k_1 , als Schnittpunkt der Richtung Q mit der Linie bF_1 , und der Punkt s Elemente von einer und derselben Geraden $s_{,,}$ sein müssen; dass ferner auch die Strahlen $r\varphi_1$ und bF_1 , gehörig erweitert, sich auf der Richtungslinie der durch d_1 des Seilpolygons G gehenden Resultirenden R_1 von P_1 und Q in einem gemeinschaftlichen Punkte $s_{,,}$ schneiden.

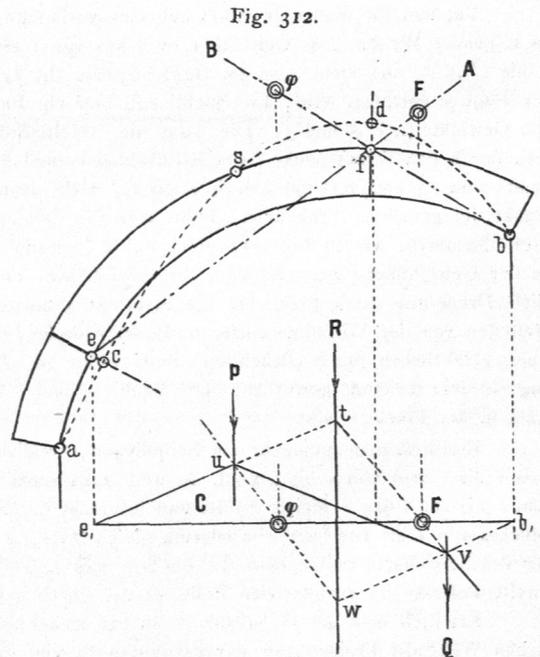
In der Geraden $s_{,,}$ wirkt in der Richtung sg_1 der Gewölbschub $sO_{,,}$, in der Richtung sk_1 der Gewölbschub $O_{,,}s$. Setzt man den Gewölbschub für die beiden Theile links und rechts von der Fuge sz unter Benützung der aus dem Seilpolygon auf $s_{,,}$ übertragenen Angriffspunkte h entsprechend h_1 , o für o_1 u. f. f. mit den bis auf die einzelnen Fugen kommenden resultirenden Gewichten zusammen, so erhält man, wenn z. B. h_1s_1 parallel $O_{,,}s$, o_1s_1 parallel $O_{,,}s$ u. f. f. des Gewichtsplanes gezogen wird, in s_1 , z_1 u. f. f. Punkte der Mittellinie des Druckes in der Fläche sz_1a und eben so, wenn r_1 durch r , k_1 durch k auf $s_{,,}$ übertragen ist, durch Ziehen der Strahlen r_1s_1 parallel $O_{,,}s$, k_1s_1 parallel $O_{,,}s$ in s_1 , z_1 Punkte der Drucklinie in der Fläche sz_1b .

Die gezeichnete Mittellinie des Druckes $r_1r_31_41_51_61_7$ bleibt vollständig in der Gewölbfäche, hat mit der inneren Wölblinie nur die beiden Punkte r und b und mit der Rückenlinie nur den einen Punkt s gemein, ist also eine Drucklinie mit dem möglichst kleinsten Horizontalfchube. Derselbe ist gleich der wagrechten Seitenkraft von $o_{,,}s$, d. h. gleich $H = O_{,,}\gamma$ im Gewichtsplane.

Der Werth von $H\gamma$ bestimmt sich durch Messung zu $0,8\text{ m}$. Da die Basiszahl $B = 2\text{ m}$ ist, so wird $H = 0,8 \cdot 2 = 1,6\text{ qm}$, bezw. auch $= 1,6\text{ cbm}$. Dieser Werth liegt nach der Tabelle auf S. 202 zwischen der Gewölbfärke $d = 1$ Stein und $d = 1\frac{1}{2}$ Stein, so dass für die Ausführung des unterfuchten Gewölbes die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zu nehmen ist. Der größte Fugendruck entfällt für die Kämpferfuge a als Strecke $oO_{,,}$. Zieht man $oa_{,,}$ parallel der Fuge a und bestimmt man in N die normale Seitenkraft des Fugendruckes, so misst $O_{,,}a_{,,}$ nach dem Zeichenmaßstabe $2,28\text{ m}$; mithin ist der größte Normaldruck durch die Zahl $2,28 \cdot 2 = 4,56$ Quadr.- bezw. Cub.-Met. bestimmt. Nach derselben Tabelle würde d auch hierfür die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweisen sein, so dass die Gewölbfärke überall gleich groß bleiben kann.

In vielen Fällen zeigt sich bei der Stabilitäts-Untersuchung einhütiger Gewölbe, dass sich für die drei zuerst gewählten Punkte a, s, b eine Probelinie herausstellt, welche, wie in Fig. 312 angegeben, die Gewölbfäche mehrfach, häufig einmal unterhalb, ein zweites Mal oberhalb dieser Fläche verlässt. Dann werden durch die am weitesten abtgehenden Punkte c und d dieser Linie von der inneren, bezw. äußeren Wölblinie Bruchfugen gekennzeichnet, deren Grenzpunkte e , bezw. f in Gemeinschaft mit einem unveränderten Punkte b nunmehr an die Stelle der zuerst angenommenen drei Punkte zu treten haben. Die Polaraxen werden die durch e und f , so wie durch b und f geführten Strahlen A , bezw. B .

Zu diesen Polaraxen angehörigen Fixpunkte F und φ werden in der Hilfsfigur C nach dem mitgetheilten Verfahren unter Anwendung der Gewichte P für den Theil fe , und Q für den Theil fb



nebst ihrer Mittelkraft R aufgefucht, und dann wird die neue, durch b, f und e gehende Drucklinie in der vorhin beschriebenen Weise gezeichnet. Bei einem überhaupt stabilen Gewölbe wird man bald zum Abschluss derartiger Untersuchungen gelangen.

Ist die Wölblinie eines einhäufigen Gewölbes kein Kreisbogen, sondern irgend eine der in Art. 135 (S. 175) angegebenen Curven, so erfährt die Stabilitäts-Untersuchung in ihren Grundlagen keine Aenderung.

Noch möge bemerkt werden, dass auch bei geraden Tonnengewölben mit unsymmetrischer Belastung das Verfahren der Ermittlung der Mittellinie des Druckes genau der eben behandelten Untersuchungsart eines einhäufigen Gewölbes entspricht. Selbst wenn einhäufige Gewölbe außer lothrecht wirkenden Gewichten noch durch zur Wagrechten geneigt gerichtete Kräfte, wie bei Strebebogen der Kreuzgewölbe, die auf ihrer Rückenfläche z. B. noch vom Winddruck getroffen, also dadurch mit beansprucht werden können und wovon später noch das Nöthige gefagt werden wird, bleibt das Wesen des Verfahrens dasselbe.

Schliesslich ist noch eines für die Praxis wichtigen Falles zu gedenken, bei welchem Tonnengewölbe von verschiedener Spannweite und von verschiedener Belastung sich gegen ein gemeinschaftliches Widerlager setzen und dieses durch ihre resultirenden Kämpferdrücke beanspruchen, welche nach Lage, Gröfse und Richtung von einander verschieden sind. Es handelt sich deshalb hier noch um die statische Untersuchung derartiger Gewölbanlagen, besonders des Widerlagers, wofür Fig. 313 in Benutzung genommen werden soll.

Die beiden ungleich weiten, auch ungleich belasteten geraden Tonnengewölbe G und G_1 , deren Belastung, bei jedem Gewölbe für sich betrachtet, eine zu ihrem Scheitellothe L , bzw. L_1 gleichmäfsig auftreten möge, stützen sich gegen ein und dasselbe Widerlager VI .

Da jedes Gewölbe für sich ein symmetrisches Gewölbe mit symmetrischer Belastung in Bezug auf das Scheitelloth bildet, so wirkt in einer gedachten Scheitelfuge jedes Gewölbkörpers G , bzw. G_1 ein wagrecht gerichteter Gewölbeschub. Aus diesem Grunde wurde nur je eine Hälfte der Gewölbe, wofür die Tiefe gleich ist, dargestellt.

In bekannter Weise ist, nachdem die Flächen der sämtlichen Theilstreifen auf eine Basis $oB = 1,5$ m reducirt wurden, für das gröfsere und stärker belastete Gewölbe G eine Mittellinie des Druckes für den möglichst kleinsten Gewölbeschub H ermittelt, welche dem gemäfs durch den höchsten Punkt der Scheitelfuge und den tiefsten Punkt h einer unter 60 Grad geneigten Bruchfuge geht. Diese Bruchfuge ist hier zugleich Kämpferfuge. Wäre dies nicht der Fall, so müsste die Bruchfuge zuvor, wie bei Fig. 312 angegeben ist, bestimmt werden. Dasselbe gilt auch für das kleine Gewölbe G_1 .

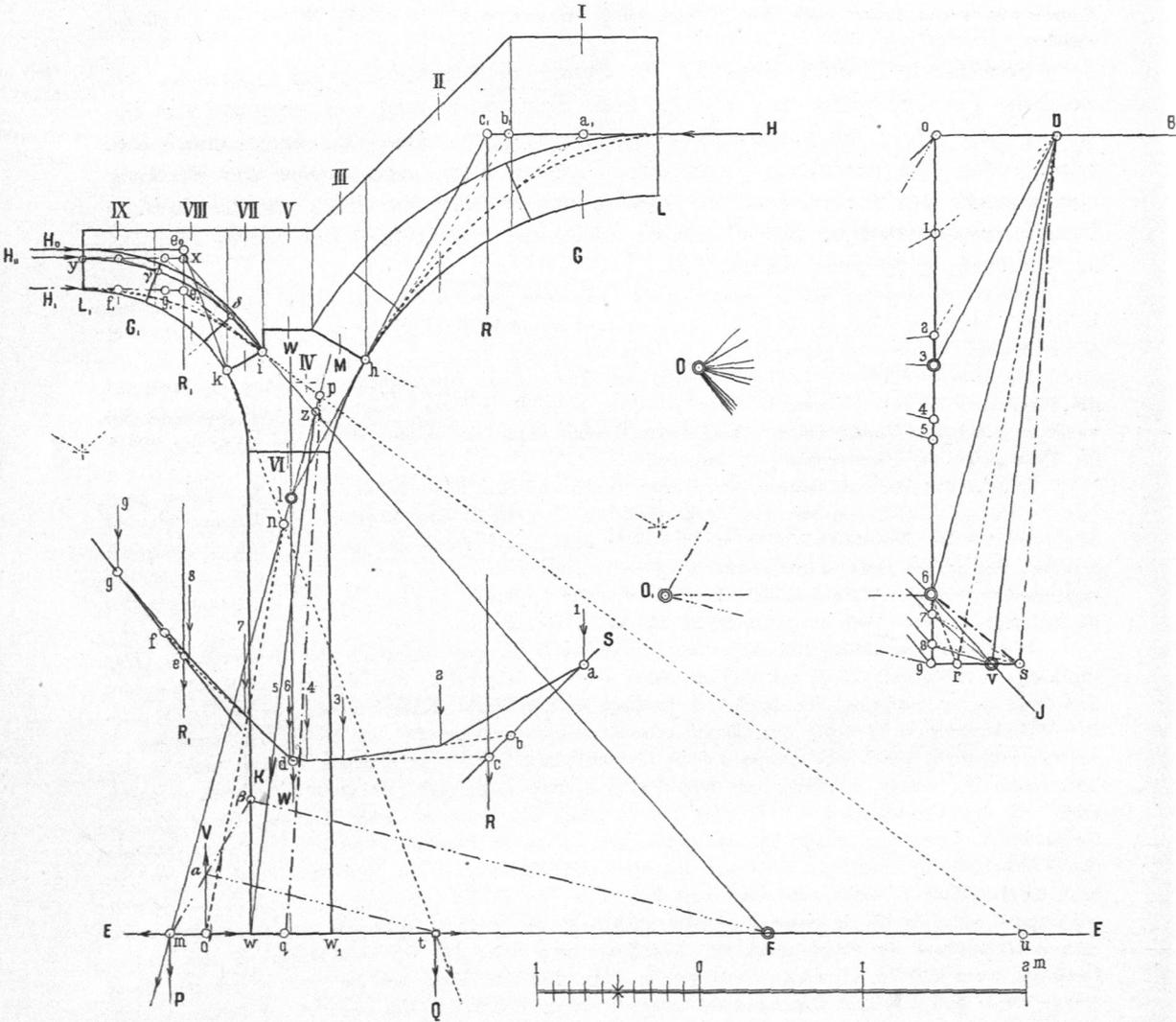
Die für G gezeichnete Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Gewölbfäche. Der zugehörige Gewölbeschub H ist im Gewichtsebene als Do dargestellt. Aus diesem Gewölbschube und dem Gewichte oJ entspringt der durch c_1h der Lage nach bestimmte Kämpferdruck von der Gröfse DJ . Der Widerlagskörper VI nebst dem darauf ruhenden Gewölbanfänger IV und seiner Uebermauerung V besitzt ein Gewicht gleich der Strecke JB im Gewichtsebene. Dieses resultirende Gewicht wirkt in der Lothrechten W , welche mit Hilfe des Seilpolygons S ihrer Lage nach, als durch d gehend, gefunden wird. Mit dem Gewichte JB lässt sich der Kämpferdruck DJ sofort zu einer Hauptmittelkraft $D6$ zusammensetzen. Ihre Lage im Gewölbeplane erhält man, indem die Parallele M zu $D6$ durch den Schnittpunkt l der gehörig erweiterten Linie c_1h mit der Linie W gezogen wird. Die Mittelkraft $D6$, welche in dieser Hauptlinie M wirkt, trifft die Ebene EE , worin die als fest angenommene Fussfläche des Widerlagskörpers enthalten ist, in einem Punkte m auferhalb der durch w gehenden Seitenkante der rechteckigen Grundfläche des Stützkörpers VI . Hierdurch zeigt sich, dass der Gewölbeschub H des grofsen Gewölbes, wenn dasselbe allein ausgeführt werden sollte, den Stützkörper um die durch w gehende Kante drehen würde und dass kein Gleichgewicht gegen Drehung stattfände. Um zunächst ein solches Gleichgewicht herbeizuführen, muss das kleine Gewölbe einen Gegendruck liefern, welcher mindestens die Gröfse und Lage annehmen muss, dass die Mittelkraft $D6$, im Strahle M angreifend, mit diesem noch völlig unbekanntem Gegendruck des Gewölbes G_1 zusammengesetzt, eine neue Mittelkraft giebt, welche so weit zurückgedrängt wird, dass dieselbe wenigstens durch den Punkt w der Drehkante des Widerlagers geht, um damit einen Grenzzustand des Gleichgewichtes gegen Drehen in der Voraussetzung herbeizuführen, dass die von $D6$ und jenem unbekanntem Gegendrucke im Widerlagskörper abhängige Mittellinie des Druckes ganz in der lothrechten Schnittfläche dieses Körpers bleibt. Von einer Gefahr hinsichtlich des Gleitens in den wagrechten Lagerfugenflächen dieses Körpers möge keine Rede sein.

Um für den erwähnten Gegendruck des kleinen Gewölbes zunächst Grenzwerte zu ermitteln, ist

147.
Tonnengewölbe
von
verschiedenen
Spannweiten.

zu beachten, daß, wenn dieses Gewölbe für sich allein bestände, der Kämpferdruck desselben einem möglichst kleinen Gewölbschub H_0 angehört. Derselbe Schub H_0 erzeugt alsdann eine fog. Minimal-Drucklinie, welche durch den höchsten Punkt der Rückenlinie im Scheitellothe L_1 und den tiefsten Punkt k der Kämpfer-, hier zugleich Bruchfuge zu führen ist. Dieser hier auch wagrechte Horizontalschub ist nach bekannter Methode als $H_0 = gr$ im Gewichtplane gefunden. Die Größe des Kämpferdruckes ergibt sich als br . Derselbe wirkt in der durch e_0k gezogenen Geraden. Setzt man diesen Kämpferdruck mit der bekannten, in der Hauptlinie M wirkenden Mittelkraft D_6 zusammen, so entsteht die Mittelkraft D_r .

Fig. 313.



Sie geht im Gewölbeplane durch den in M enthaltenen Schnittpunkt n mit dem fortgeführten Strahle e_0k des Kämpferdruckes br . Zeichnet man no parallel D_r , so ist die Lage dieser Schlussmittelkraft gefunden. Auch diese trifft die Ebene EE der Fußfläche des Widerlagers in einem Punkte o , welcher noch außerhalb der Drehkante w derselben liegt.

Hieraus folgt, daß der Widerlagskörper unter dem hier eingeführten möglichst kleinsten Gegendrucke des Gewölbes G_1 nicht fähig ist, dem Schube des größeren Gewölbes G genügenden Widerstand zu leisten, und daß der Schub des größeren Gewölbes zur Herstellung des Gleichgewichts des ganzen

Systems gegen Drehung einen größeren Gegendruck des kleineren Gewölbes, als folcher in Folge des möglichst kleinsten Gewölbschubes H_0 sich darbietet, wachrufen wird, daß also statt $H_0 = \delta r$ ein größerer Gewölbschub für G_1 eintreten muß. Da für diesen neuen Gewölbschub nur die allgemeine wagrechte Richtung bekannt ist, während sein Angriffspunkt und seine Größe noch vollständig unbekannt sind; so kann man, da ein Wachsen dieses Schubes sich unbedingt als erforderlich herausgestellt hat, da ferner der wagrechte Gewölbschub für G_1 aber überhaupt vermöge der symmetrischen Form und Belastung des Gewölbes nothwendig seinen Angriffspunkt innerhalb der Scheitelfuge desselben haben muß, sofort zu einer weiteren Grenzbestimmung für denselben übergehen.

Nimmt man zu diesem Zwecke eine Mittellinie des Druckes an, welche einem möglichst größten Gewölbschube angehört und welche man mit dem Namen Maximal-Drucklinie bezeichnet, so geht dieselbe bei dem vorliegenden Gewölbe G_1 durch den tiefsten Punkt der Scheitelfuge und den höchsten Punkt i der Bruchfuge. Die wagrechte Richtung des Gewölbschubes H_1 schneidet die resultirende Gewichtslinie R_1 des Gewölbstückes G_1 im Punkte e_1 . Die Richtung $e_1 i$ giebt die Lage des nun entstehenden Kämpferdruckes an. Zieht man im Gewichtsebene δs parallel zu $e_1 i$, so erhält man $q s$ als Horizontalanschub H_1 und δs als Kämpferdruck. Die Maximal-Drucklinie für H_1 ist in bekannter Weise im Gewölbeplane eingezeichnet; dieselbe verbleibt innerhalb der Gewölbfäche, so daß hiernach für H_1 keine weitere Untersuchung nöthig wird. Vereinigt man nun wiederum den Druck $D\delta$ mit dem Kämpferdruck δs zu der Mittelkraft Ds , zieht man $e_1 i$ im Gewölbeplane bis zum Schnitte p mit der Hauptlinie M , führt man ferner durch p einen Strahl $p q$ parallel zu Ds , so zeigt sich, daß dieser Strahl, welcher nunmehr die Mittelkraft aus dem Drucke $D\delta$ und dem neuen größeren Kämpferdrucke δs des Gewölbes G_1 enthält, durch den Punkt q innerhalb der Fußfläche des Widerlagskörpers geht und daß somit kein Drehen um die Seitenkanten dieser Fußfläche eintreten kann, oder daß bei der früher hinsichtlich der Lage einer Mittellinie des Druckes im Widerlager gemachten Voraussetzung das System stabil ist.

Hiernach ist also gefunden, daß der durch die Maximal-Drucklinie bedingte Gegendruck, sobald folcher in diesem Maße im kleinen Gewölbe durch das große Gewölbe nach gerufen würde, im Stande ist, die Standfähigkeit des ganzen Systemes herbei zu führen. Dieser hier eingetretene, der Maximal-Drucklinie entsprechende Gegendruck kann aber füglich bei einer anderen Form der Gewölblinien oder einer anderen Art der sonst symmetrischen Belastung der verschiedenen Gewölbe oder einer anderen Gewölbfstärke eben so gut auch über die andere Drehkante w_1 der Fußfläche des Widerlagers hinausfallen, und damit wäre dann offenbar ein Zeichen dafür gegeben, daß der Schub des großen Gewölbes G eines derart großen Gegendruckes nicht bedürfte, um die Standfähigkeit des Systemes herzustellen.

Würde in einem anderen Falle aber der Punkt q noch innerhalb der Strecke $m w$ vor der Drehkante w gefunden, so ist auch der Gegendruck, welcher der Maximal-Drucklinie des Gewölbes G_1 zukommt, nicht fähig, dem Schube des großen Gewölbes G den nöthigen Widerstand zu leisten, und ein solcher Fall würde dann bekunden, daß das gegebene System nicht standfähig wäre.

Aus der hier mitgetheilten Untersuchung ergibt sich, entsprechend den Grenzwerten von H_0 und H_1 , auch eine Grenzlage für die Punkte o und q in der Ebene EE . So gut nun zwischen den Grenzen H_0 und H_1 noch zahllose Werthe des Horizontalanschubes für das Gewölbe G_1 , nur größer als H_0 und kleiner als H_1 , sich einführen ließen, ebenso gut würden noch zahllose Kämpferdrücke und zahllose, zwischen o und q liegende Schnittpunkte der auf diesen Drücken und des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D\delta$ mit der Ebene EE zu finden sein.

Um nun den Gewölbschub H_1 des kleinen Gewölbes zu finden, welcher eine, jedoch in der Gewölbfäche verbleibende Mittellinie des Druckes liefert, die einem solchen Kämpferdrucke zukommt, der im Stande ist, mit dem Schube $D\delta$ eine Mittelkraft zu erzeugen, welche die Ebene EE genau im Grenzpunkte w der Drehkante zwischen o und q trifft, kann man in folgender Weise vorgehen. Denkt man sich den Angriffspunkt des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D\delta$ nach m in EE verlegt, eben so z. B. den Angriffspunkt des Kämpferdruckes δr der Minimal-Drucklinie durch Fortführen der Geraden $e_0 k$ nach t in EE gebracht, so kann man den Schub $D\delta$ hier zerlegen in eine lothrechte Seitenkraft P , deren Größe offenbar gleich der Strecke ob im Gewichtsebene ist, und in eine wagrechte Seitenkraft, deren Größe gleich Do ebendasselbst erhalten war; gleichfalls kann man in t den Kämpferdruck δr in seine lothrechte Seitenkraft Q gleich der Strecke δg und in seine wagrechte Seitenkraft von der Größe $H_0 = q r$ zerlegen. Die Mittelkraft Dr aus $D\delta$ und δg hat in o ihren Angriffspunkt auf EE ; diese kann in eine lothrechte Seitenkraft V und in eine wagrechte Seitenkraft zerlegt werden. Da nun für den Gleichgewichtszustand das Kräftepolygon $obrD$ geschlossen und mit ununterbrochenem Richtungssinn versehen sein soll, so tritt die Strecke Dr in o im Sinne rD , aber in gleicher Größe von Dr auf. Ihre lothrechte Seitenkraft ist also $V = q o$.

Die algebraische Summe aller in E liegenden wagrechten Seitenkräfte muß gleich Null sein, wie auch die algebraische Summe der lothrechten Seitenkräfte gleich Null ist. Das für die drei lothrechten Seitenkräfte P, Q und die diese beiden verzehrende Kraft V mit einer wagrechten Schlufsseite mt verfehene Seilpolygon muß äußerste Strahlen am und at besitzen, welche sich auf V in einem beliebigen Punkte a schneiden, und außerdem für den Gleichgewichtszustand geschlossen sein.

Da die Größen $P = ob$, $Q = bq$ und $V = go$ bekannt sind, so wird, wenn man im Gewichtsebene oO_1 parallel zur Seilseite ma und bO_1 parallel zu mt zieht, in O_1 der Pol des Seilpolygons mat erhalten; die Gerade O_1g wird der zu at gehörige Polstrahl, also parallel mit at .

Soll nun eine Gleichgewichtslage für das ganze System herbeigeführt werden, wobei für irgend einen möglichen, zwischen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 auftretenden Kämpferdruck und dem Schube Db des Gewölbes G eine Mittelkraft entstehen soll, welche durch einen gegebenen Punkt w geht, so läßt sich der Schnittpunkt F der Richtungslinie eines solchen Kämpferdruckes mit EE überhaupt folgendermaßen fest legen.

Die durch den Punkt g im Gewichtsebene geführte wagrechte Linie gs enthält stets den Endpunkt des von D nach dieser Linie zu ziehenden Kämpferdruckes, weil $ob = P$ und $bq = Q$ unveränderlich bleiben; eben so können Do und die wagrechte Lage der Linie gs keine Aenderung erfahren.

Aus diesem Grunde bleibt auch og stets unverändert gleich V . Endlich ist auch der Punkt m der Hauptlinie M in EE unverrückbar, wie auch der Pol O_1 nebst den Polstrahlen oO_1 , o_1b , o_1g nicht veränderlich wird.

Geht nun die Lothrechte V durch einen beliebigen Punkt auf EE , z. B. durch w , so trifft der äußerste Seilstrahl, welcher nach wie vor parallel O_1o ist, diese Lage von V in β . Durch diesen Punkt zieht auch, wie früher bemerkt, nothwendig die zu O_1g parallele zweite äußerste Seilpolygonseite. Legt man also durch β einen Strahl βF parallel O_1g , so wird die wagrechte Schlufsseite des Seilpolygons $m\beta F$ im festen Punkte F geschnitten. Durch diesen Punkt F muß der mit der lothrechten Seitenkraft Q behaftete mögliche Kämpferdruck gehen, welcher die durch w gehende, vorhin bezeichnete Mittelkraft bedingt. Von den zahllosen Linien, welche durch F , zwischen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 liegend, gezogen werden können und welche sämtlich zwischen diesen Grenzen i und k einen Kämpferdruck enthalten können, welcher der gestellten Forderung entspricht, ist eine vorhanden, welche den jetzt möglichst kleinsten Kämpferdruck für G_1 enthält.

Zieht man zur Bestimmung dieser Linie durch F und den höchsten Punkt i der Bruchfuge einen Strahl, so schließt derselbe den größten Winkel mit der Wagrechten ein, der in Bezug auf die Punkte i und k möglich wird, steht also am steilsten und wird deshalb, innerhalb des Dreiecks ors zur Führung einer durch b gezogenen Parallelen benutzt, einen kleineren Abschnitt auf der wagrechten gs hervorrufen, als jeder andere von F nach der Fuge ik gezogene Strahl, d. h. einen möglichst kleinen Gewölbschub für G_1 veranlassen.

Zieht man im Gewichtsebene $o\gamma$ parallel zu Fi , so ist bv der gefuchte Kämpferdruck und qv der zugehörige Horizontalschub des Gewölbes G_1 . Verlängert man den Strahl Fi bis zum Schnitte x mit der Lothrechten R_1 und legt man durch x eine Wagrechte, so trifft diese die Lothrechte L_1 der Scheitelfuge in y . Dieser Punkt wird Angriffspunkt für den Horizontalschub $H_{,,}$. Zeichnet man für diesen Schub eine Mittellinie des Druckes $\gamma\gamma\delta i$, so bleibt dieselbe ganz innerhalb der Gewölbfäche. Der Strahl Fi schneidet die Hauptlinie M im Punkte z . Die Mittelkraft aus Db und dem zuletzt ermittelten Kämpferdrucke bv ist Dv . Führt man durch z eine Parallele zu Dv , so trifft dieselbe in der That und wie es sein soll den Punkt w auf EE .

Hiernach ist der in xi durch F ziehende Kämpferdruck bv ein solcher, welcher, von dem hierfür möglichst kleinsten in der Wagrechten xy wirkenden Horizontalschube $H_{,,} = qv$ mit bedingt, fähig ist, den Grenzzustand des Gleichgewichtes des ganzen Systemes gegen Drehung um die Kante w der Fußfläche des Widerlagers VI hervorzurufen.

Soll bei einer derartigen Stabilitäts-Untersuchung die Preisbarkeit des Materials berücksichtigt werden, so ist beim Gewölbe G der Angriffspunkt von H etwas tiefer, der Punkt k in der Bruchfuge etwas nach innen zu rücken. Eben so wäre beim kleinen Gewölbe der Angriffspunkt von H_0 etwas tiefer, von H_1 etwas höher zu legen, auch die Punkte i und k ebenfalls je etwas in das Innere auf der Bruchfuge ki zu verrücken. Der Punkt w kann gleichfalls nach g zu verlegt werden. Am eigentlichen Verfahren der Stabilitäts-Untersuchung wird hierdurch keine Aenderung herbei geführt.

Nach den an der Zeichnung ausgeführten Messungen ergibt sich für das Gewölbe G der Werth H zu $0,75 \cdot 1,5 = 1,125 \text{ qm}$, welchem für Backsteinmaterial nach der Tabelle auf S. 202 eine Gewölbfärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweisen ist. Für das kleine Gewölbe G_1 wird der hier zu berücksichtigende Horizontalschub $H_{,,} = 0,4 \cdot 1,5 = 0,6 \text{ qm}$, wonach die Gewölbfärke zu 1 Stein fest zu setzen ist.

Hätte man $H_1 = 0,56 \cdot 1,5 = 0,84 \text{ qm}$ in Betracht gezogen, so würde auch hierfür die Gewölbefläche gleich 1 Stein fein. Die normalen Kämpferdrücke erfordern im vorliegenden Falle keine größeren Stärken.

Die Fußfläche des Pfeilers wird von einem lothrechten Drucke $oq = 3,3 \cdot 1,5 \cdot 1 = 4,95 \text{ cbm}$ getroffen. Bei der Lage des Angriffspunktes desselben in q für die Maximal-Drucklinie in G_1 , welcher nahezu mit dem Schwerpunkte der Fußfläche von $0,5 \text{ m}$ Breite und 1 m Tiefe zusammenfällt, ergibt sich die Beanspruchung der Steine an der Grundfläche bei einem Eigengewicht von 1600 kg für 1 cbm zu $\frac{4,95 \cdot 1600}{100 \cdot 50} = 1,58 \text{ kg}$ für 1 qcm .

Liegt der Angriffspunkt der Gesammt-Resultirenden aller Drücke des Systemes in der Kräfteebene in einer Hauptaxe der Grundfläche des Widerlagers im Abstände ξ vom Schwerpunkte dieser Grundfläche, so ist für einen Punkt C im Abstände z von diesem Schwerpunkte die Spannung N nach der Gleichung¹⁶⁸⁾

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

zu bestimmen. Hierin bezeichnen P die gegebene lothrechte Kraft, F die Querschnittsfläche und \mathcal{I} das Trägheitsmoment, bezogen auf eine Schwerpunktsaxe, welche rechtwinkelig zur Hauptaxe steht, worin der Angriffspunkt o von P liegt.

Sind hier b die Breite des Pfeilers mit rechteckiger Grundfläche und t die Tiefe desselben, so ist $\mathcal{I} = \frac{1}{12} t b^3$ für die zu der Seite t parallel genommene Schwerpunktsaxe. Alsdann ist $F = b t$, und man erhält

$$N = \frac{P}{t b} \left(1 + \frac{12 \xi z}{b^2} \right).$$

Nach der Zeichnung ist $b = 50 \text{ cm}$ und $t = 100 \text{ cm}$; P ergibt sich zu $4,95 \cdot 1600 = 7920 \text{ kg}$. Liegt der bezeichnete Angriffspunkt von P im Abstände $\xi = \frac{b}{2}$, also in w und ist dann für die Kantenspannung N der Abstand z ebenfalls gleich $\frac{b}{2}$, so wird

$$N = \frac{7920}{100 \cdot 50} \left(1 + \frac{12 \cdot 25 \cdot 25}{25 \cdot 25} \right) = \approx 20,6 \text{ kg für } 1 \text{ qcm}.$$

Diese Beanspruchung ist für Backsteinmaterial viel zu groß, und es müßte dieserhalb für das Widerlager eine größere Breite oder festeres Material angenommen werden. In jedem Falle ist es zweckmäßiger, die Breite des Widerlagers zu vergrößern, damit schon für dasselbe eine Mittellinie des Druckes eintreten kann, welche für den Gewölbefschub des großen Gewölbes thunlichst nur abhängig gemacht wird von einem Kämpferdrucke des kleinen Gewölbes, welcher durch die Minimal-Drucklinie für H_0 bedingt ist und wobei alsdann die Drucklinie im Widerlager im inneren Drittel seiner lothrechten Fläche bleibt.

c) Ausführung der Tonnengewölbe.

Zur Ausführung der Tonnengewölbe werden im Allgemeinen wesentlich Backstein, Bruchstein und, wenn auch in weniger häufigen Fällen, Quader (Werkstücke, Haufsteine) als Hauptbaustoffe benutzt, je nachdem in den einzelnen Gegenden dieses oder jenes von den genannten Materialien als vorherrschendes zur Verfügung steht und je nachdem die Durchbildung der als Tonnengewölbe ausgeführten Decke eines Raumes in architektonischer Beziehung mehr oder weniger reich, mehr oder weniger gegliedert in die Erscheinung treten soll. Waren in frühester Zeit die Tonnengewölbe bei der Decken-Construction über größeren Räumen von hohem Werthe und in ihrer Ausführung oft so kühn behandelt, daß die Reste derselben noch heute die Bewunderung der Kunst- und Sachverständigen, ja jedes gebildeten Menschen wach rufen, so ist nach weiterer Entwicklung des Gewölbbaues überhaupt doch die Anwendung des Tonnengewölbes zur Ueberdeckung größerer Räume, um als wichtiger Factor bei monumentalen Bauwerken aufzutreten, mehr und mehr in den Hinter-

148.
Allgemeines.

¹⁶⁸⁾ Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte (Gleichung 50 auf S. 273; 2. Aufl.: Gleichung 69 auf S. 86) dieses Handbuchs.

grund getreten, so dafs heute, mit wenigen, ja vereinzelt da stehenden Ausnahmen, Tonnengewölbe bei Werken des Hochbaues nur zur Ueberdeckung von Kellerräumen, Treppenhäusern, Durchfahrten und, wenn es höher kommt, von Eingangshallen Verwendung finden.

149.
Mauerung
der Tonnengewölbe.

Bei der Mauerung der Tonnengewölbe gelten, ganz abgesehen davon, ob als Wölbmaterial Backstein, Quader oder Bruchstein in Anwendung kommen, zuvor die Sätze, dafs:

1) in der Stirnfläche des Gewölbes eine ungerade Anzahl vom Schlussstein aus symmetrisch geordneter und gleich gestalteter Steine auftreten, welche durch Lagerfugen geschieden sind, die in erster Linie, als einem Hauptverbände zukommend, Ebenen angehören, welche senkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes und senkrecht zur Stirnfläche des Gewölbes stehen;

2) dafs ferner die Stofsflächen zwischen den Wölbsteinen in Ebenen liegen, welche senkrecht zur Laibungsfläche und senkrecht zur Gewölbaxe gerichtet sind, doch so, dafs dabei die Stofsflächen der benachbarten Wölbchichten oder Wölbcharen auf Verband angeordnet sind, und

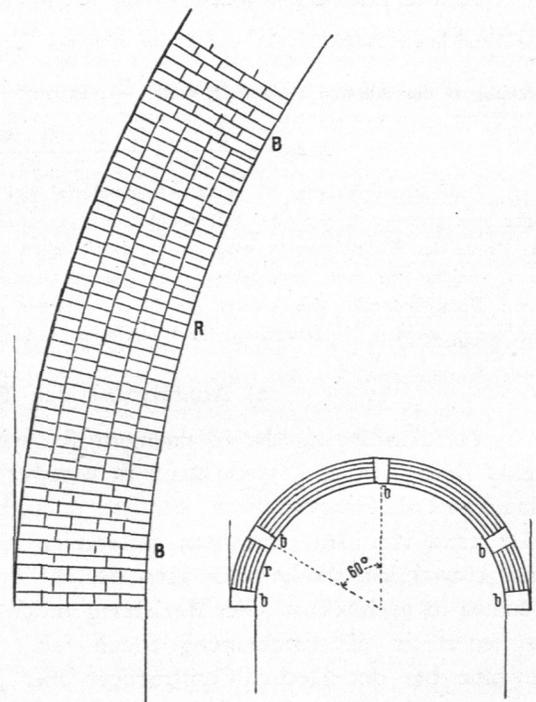
3) dafs endlich, wenn das Gewölbe eine gröfsere Stärke erhält, als dafs für jede Schicht ein einziger Stein ununterbrochen von der inneren Laibung bis zur Rückenlinie durchtreten kann, in diesem Falle in jedem senkrecht zur Gewölbaxe genommenen Gewölbschnitte (Stirnschnitt) die einzelnen Wölbcharen auch hier einen regelrechten Mauerverband aufweisen.

Werden aus besonderen Veranlassungen bei gröfsere Gewölben mit erheblicher Gewölbstärke bei Verwendung von Backsteinen oder kleineren Bruchsteinen mehrere über einander liegende Gewölberinge, sog. Rollschichten, für die Erzielung der erforderlichen Gewölbstärke in Ausführung genommen, so ist es dringend erforderlich, die Gewölbstärke jedes einzelnen Ringes so zu bestimmen, dafs bei n Ringen jeder Ring $\frac{1}{n}$ der Gesamtbelastung zu tragen vermag und dafs nach Fig. 314 an den gefährlichen Stellen b , bzw. B des Gewölbes, also im Scheitel, in den Bruchfugen oder

in ihrer Nähe und am Kämpfer durchgehende in regelrechtem Verbände ausgeführte Schichten eingefügt werden, zwischen welchen die Ringe r , bzw. R für sich ausgemauert werden.

Ist bei den Untersuchungen des Gleichgewichtszustandes der Tonnengewölbe im Allgemeinen auf die innigere Verbindung der Wölbsteine durch Mörtel keine Rücksicht genommen, vielmehr vorausgesetzt, dafs ein Gewölbe schon an sich in

Fig. 314.



150.
Mörtel.

jedem befonderen Falle stabil und tragfähig fein foll, ohne dafs ein von der Wirkung des die Steine mehr oder weniger gut verkittenden Bindemittels, des Mörtels, abhängiger Factor von vornherein mit in Rechnung gestellt wird, fo ift doch bei der praktifchen Ausführung der Tonnengewölbe, wie der Gewölbe überhaupt, auf eine zweckmäßige Verwendung guten, mit Sorgfalt bereiteten Mörtels Bedacht zu nehmen, da hierdurch felbftredend ein erhöhter Sicherheitsgrad für den Gewölbkörper erzielt wird.

Im Gewölbebau kommen entweder Luftmörtel, Kalkmörtel allein oder hydraulifcher Mörtel, Cement für fich oder endlich, und zwar mit grofsem Vortheil benutzbar, der fog. verlängerte Cementmörtel, d. i. ein Gemifch aus Cementmörtel und Kalkmörtel, zur Verwendung. Für Gewölbe, welche durchgängig aus Schnittfeinen oder Quadern hergerichtet werden, tritt die Verbindung der Steine durch Mörtel mehr in den Hintergrund, während die richtige Formgestaltung, Lagerung und Verbandanordnung der Wölbsteine vorwiegend in Betracht gezogen werden müffen. Aus diefem Grunde befchränkt fich die Mörtelgabe bei Quadergewölben vielfach beim Verfetzen der Steine zunächft nur auf ein ganz dünnes Befstreichen der Lagerflächen mit fog. Weifskalk (gelöfchter Kalk ohne Sandzufatz), um hierdurch in erfter Linie die noch bei der Bearbeitung der Steine etwa verbliebenen geringfügigen Unebenheiten der Flächen auszugleichen, und fodann, nach der Fertigftellung des Gewölbes, auf das Vergiefen der Fugen mit dünnflüffigem, nicht zu fchnell erhärtendem Mörtelbrei.

Zu beachten ift, dafs die Gewölbanfänger, wenn diefelben vorgekragt werden, ohne Weiteres gleich mit dem Gefchofs, bezw. Widerlagsmauerwerk in regelrechtem Verbands und bei Backstein- oder Bruchsteinmauerwerk am zweckmäßigften mit Verwendung von verlängertem Cementmörtel ausgeführt werden. Zu diefem Mörtel benutzt man vortheilhaft das Gemifch von 1 Raumtheil Kalkmörtel, im Mifchungsverhältnifs 1 Theil gelöfchten Kalk, 3 Theile reinen fcharfkörnigen Mauerfand und 1 Raumtheil Cementmörtel, im Mifchungsverhältnifs von 1 Theil Cement und 3 Theilen reinen Flußfands, bezw. Mauerfands, oder auch ein Gemifch von 2 Raumtheilen des bezeichneten Kalkmörtels und 1 Raumtheil des angegebenen Cementmörtels. Ein inniges Mengen beider Mörtelarten ift vorzunehmen.

Es ift rathfam, Gewölbe von gröfserer Spannweite oder stark zu belastende Gewölbe, welche aus Backsteinmaterial (volle Backsteine oder Lochsteine) oder aus Bruchstein ausgeführt werden, immer mit verlängertem Cementmörtel, unter Umständen auch mit Cementmörtel allein herzustellen.

Im Hochbauwesen erfolgt die Ausführung der Gewölbe am besten erft dann, wenn fich für den Gewölbkörper die Einwirkung von Niederfchlägen beim Vorhandenfein der Ueberdachung des Bauwerkes nicht mehr geltend machen kann.

Erheifchen befondere Umstände eine frühere Herftellung der Gewölbe, fo find diefelben nach ihrer Vollendung mit einer genügend starken Sandfchüttung zu überwerfen und hierauf noch mit einer aus Dachpappe oder dergl. bestehenden Schutzdecke zu verfehen, damit etwa auf das Gewölbe herabfallende Bautheile daffelbe nicht durchfchlagen und damit ferner das auf das Gewölbe kommende Regenwaffer nicht nachtheilig wirken kann. Damit das letztere in geeigneter Weife abfliefsen und fchließlic fachgemäß fortgeleitet werden kann, find unter Berücksichtigung von Gefälle in den Gewölbzwickeln an einem Punkte oder bei langen Gewölben an mehreren Stellen Abflußöffnungen von etwa 12^{cm} Länge und Breite, bezw. 25^{cm}

Länge und 12 cm Breite anzulegen, durch welche einseitig Abflusnröhren geführt werden.

152.
Rüftungen.

Die Einwölbung der Tonnengewölbe erfolgt, gleichgiltig welches Material dabei zur Verwendung gelangt, auf besonderen, meistens aus Holzwerk angefertigten, möglichst leicht aufzustellenden und nach der Benutzung auch möglichst mühelos wieder zu lösenden Rüftungen.

Von der gesamnten Rüftung sind die Rippen oder Rüftbogen die wesentlichsten Bestandtheile. Für kleinere Gewölbe werden zu diesen Rippen einfache Wölbseiben oder auch einfache Lehrbogen benutzt, während hierfür bei größeren Gewölben trägerartige, aus entsprechend starken Hölzern abgebundene Zimmerwerke, die fog. Lehrgerüste, zur Anwendung kommen.

Die einfachen Wölbseiben bestehen nach Fig. 315 aus zusammengefügtten Brettern von 30 bis 35 mm Stärke, welche oben nach der Wölblinie gefchnitten, sonst nur durch seitlich aufgenagelte Leisten von 15 bis 20 cm Breite und 30 bis 50 mm Stärke mit einander verbunden sind.

Bei den einfachen Lehrbogen (Fig. 316) sind bei stärkerer Ausführung zwei neben einander liegende Brettstücke von 30 bis 35 mm Stärke zu einem, der Wölblinie angepassten Wölbkranz vereinigt. Dieser Wölbkranz erfährt weiter durch Leisten oder Bretter, welche strahlenförmig von einem wagrechten Grundbrett ausgehen, eine Absteifung und Befestigung.

Einen einfachen Lehrbogen, welcher jedoch schon den Uebergang zu den Gerüstbogen eines Lehrgerüsts bildet, zeigt Fig. 317. Hierbei ist der aus etwa 5 cm starken, 1,5 m bis höchstens 3,0 m langen Bohlen angefertigte Wölbkranz *a* mit der Schwelle *b* durch einzelne Pfosten *c* in kräftige Verbindung gebracht.

Fig. 315.

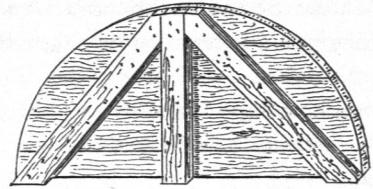


Fig. 316.

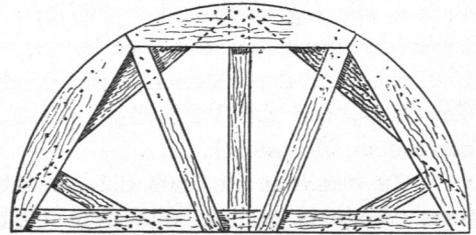
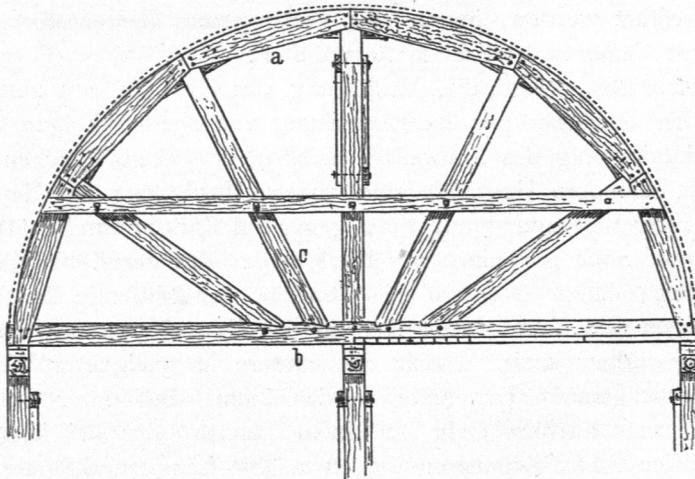
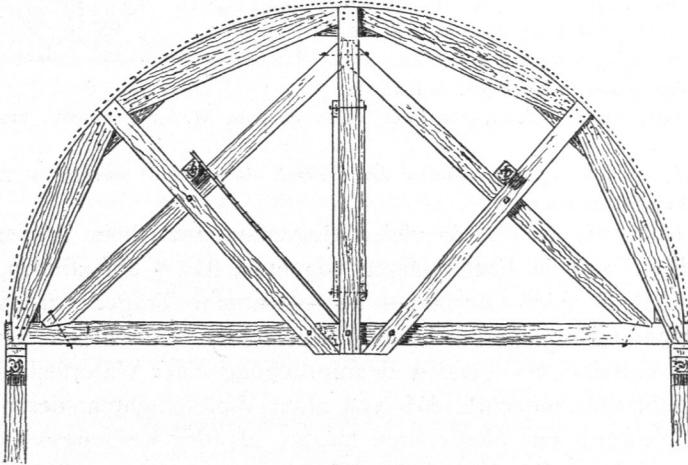


Fig. 317.



Bei größeren Lehrgerüften ist das Holzwerk der Rippen so zu ordnen, daß möglichst unverfchiebbare Dreiecksverbindungen entstehen. Zwischen die Berührungsflächen derjenigen Verknüpfungspunkte, bei welchen durch die Belastung der Rüst-

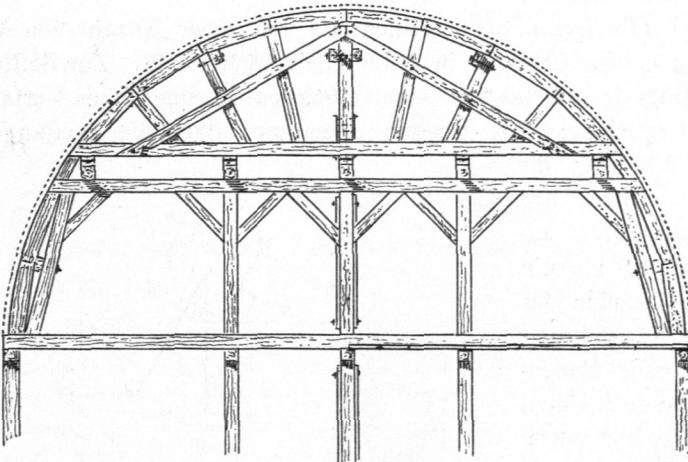
Fig. 318.



bogen die Hölzer sich leicht in einander pressen können, sind zweckmäßig dünne Streifen aus Weis-, Zink- oder Kupferblech zu legen.

Meistens werden derartige Rüstbogen als Häng- und Sprengwerke mit durchgehender wagrechter Schwelle konstruiert. Seltener sind im Hochbauwesen die ge-

Fig. 319.



sprengten Gerüste, deren Streben unmittelbar nach dem Widerlager, bezw. nach dem Fußboden des zu überwölbenden Raumes geführt werden. In Fig. 318 u. 319 sind Rippen mit durchgehender Schwelle und darüber befindlichem Streben- nebst Hängfäulen-System dargestellt. In Fig. 320 ist eine Rüstbogen-Construction gegeben,

bei welcher in den Randhölzern a radial gerichtete Stäbe b zur Aufnahme gebogener Latten c dienen, welche dann die 2,0 bis 2,5 cm starke Schalung aufnehmen.

Die Stäbe oder Speichen b sind rund, besitzen einen Durchmesser von 5 bis 8 cm und werden unten etwas zugespitzt, in 3 bis 5 cm weite, 10 cm tiefe Löcher gefeckt, welche in den Randhölzern a in Entfernungen von etwa 40 cm vorgebohrt werden. Die auf dem Kopfe der Stäbe mit Nägeln befestigten, etwa $2 + 4$ cm starken Latten werden vor ihrer Verwendung in Wasser gewiecht, um dadurch leichter biegsam zu werden.

Die Schwellen, Pfosten und Randhölzer sind vielfach als Rundholz von 15 bis 22 cm Durchmesser ohne weiteres Befchlagen gelassen.

Diese Lehrbogen, welche in vielen Gegenden am Rhein Anwendung finden, sind für die Einwölbung in Entfernungen von etwa 0,60 m aufzustellen.

Sollen die Rüst- oder Lehrbogen als eigentliche Träger der nach und nach von den Bogenanfängen aufgebrachtten Wölbchichten hinsichtlich ihrer durch das Gewicht der Wölbsteine erfolgenden Beanspruchung einer Unterfuchung unterzogen werden, so ergibt sich zunächst, dafs von allen Wölbchichten, deren Lagerflächen eine geringere Neigung zur Wagrechten haben, als der Reibungswinkel des Wölbmaterials beträgt, kein Druck auf den Tragbogen ausgeübt wird. Sodann aber ergibt sich weiter, dafs eine Wölbchicht, deren Lagerfläche in ihrer Neigung diesen Reibungswinkel überschreitet, abgleiten würde und nur durch ihre vom Rüstbogen getragene Unterlagerung hieran verhindert wird. Diese Wölbchicht erzeugt also einen Druck für den Rüstbogen. Verfolgt man jede weitere Wölbchicht bis zur Scheitelschicht, so ergibt sich ein fortwährendes Steigen der Gröfse der einzelnen Drücke der Wölbchichten und erst nach dem vollständigen Schlusse des Gewölbes kann, da das Gewölbe alsdann frei für sich bestehen soll, die Entlastung der Rüstbogen sich geltend machen.

Für den Rüstbogen selbst kommen die von einer Anzahl von Wölbchichten hervorgerufenen gröfsten Drücke in erster Linie in Betracht. Zur Bestimmung dieser gröfsten Belastung des Rüstbogens benutzt man ein zeichnerisches Verfahren, welches jedoch unter der nicht ganz strengen Annahme, dafs die Pressungen immer in winkelrechter Richtung für den Rüstbogen wirken, nur als Näherungsverfahren anzusehen ist. Da die Theorie der Rüstbogen indessen für die praktische Ausführung keine hervorragende Bedeutung hat, dieselbe auch einem anderen, als dem hier betretenen Gebiete angehört, so möge nur das gewöhnliche Verfahren angegeben werden, welches zur Ermittlung des an irgend einer Stelle auftretenden gröfsten Druckes dient.

Fig. 320.

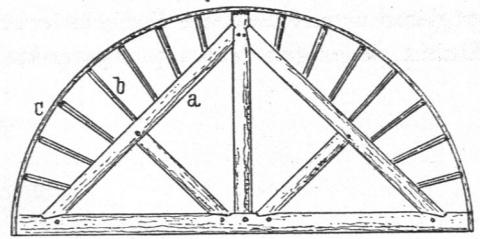
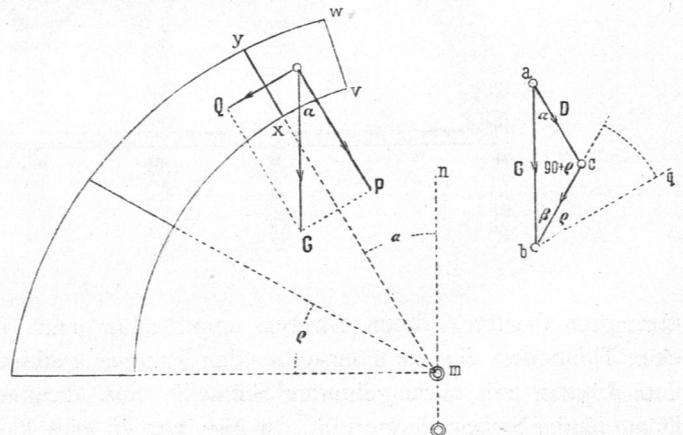


Fig. 321.



In Fig. 321 sei $xyvw$ ein Wölbstein von sehr geringer Breite $xv = b$, von der Tiefe gleich der Längeneinheit und vom Gewichte v für die Körpereinheit. Alsdann ist das Gewicht dieses Wölbsteines, da die Höhe h desselben als xy und die Breite b für das schmale Stück beibehalten werden können, bestimmt als

$$G = b \cdot h \cdot 1 \cdot v \dots \dots \dots 162.$$

Der Körper ruht auf der beliebig angenommenen Lagerfläche xy , welche unter einem Winkel α zum Scheitellothe mn geneigt ist. Bezeichnet ρ den Reibungswinkel des Materials, so erhält man nach der Lehre von der schiefen Ebene unter Bezugnahme auf Fig. 321 und auf die darin vorgenommene Zerlegung von G in die Seitenkräfte P und Q , diejenige Kraft D , welche den Körper auf der schiefen Ebene xy abwärts zu treiben sucht und welche dem Drucke auf die Unterlage des Wölbsteines entsprechen soll, als

$$D = P - \operatorname{tg} \rho \cdot Q,$$

d. h., da $P = G \cdot \cos \alpha$ und $Q = G \cdot \sin \alpha$ ist, auch

$$D = G (\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha) \dots \dots \dots 163.$$

Dieser Ausdruck läßt sich nach Fig. 321 leicht durch Zeichnung darstellen. Nimmt man $ab = G$, zieht man ac parallel zu P , bq parallel zu Q und trägt man alsdann den Winkel $cbq = \rho$ an bq , so schneidet der Schenkel bc den Strahl ac in c , und im Dreiecke abc ist ac gleich dem gesuchten Werthe von D .

Denn es ist

$$\frac{D}{G} = \frac{\sin \beta}{\sin (90 + \rho)} = \frac{\sin [90 - (\alpha + \rho)]}{\cos \rho} = \frac{\cos (\alpha + \rho)}{\cos \rho} = \frac{\cos \alpha \cdot \cos \rho - \sin \alpha \cdot \sin \rho}{\cos \rho},$$

also auch

$$D = G (\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha).$$

Bringt man das Dreieck abc in die Lage von Fig. 322, indem man $ab = G$ parallel zu xy zieht, so ergibt sich auch ac als D . Schlägt man ac von a aus auf ab nieder, so ist auch $da = D$ der für den Wölbstein $xyvw$ in Frage kommende Druck.

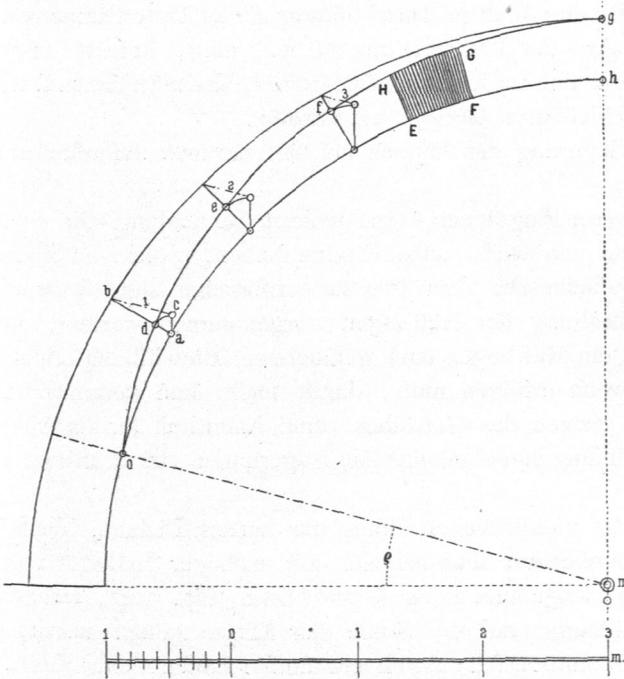
Setzt man in Gleichung 163 für G den Werth aus Gleichung 162, so wird

$$D = b h v (\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha),$$

und hieraus folgt weiter

$$\frac{D}{b v} = z = h (\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \cdot \sin \alpha) \dots \dots \dots 164.$$

Fig. 323.



Dieser Werth von z bezeichnet den spezifischen Druck des Rüstbogens im Punkte x . Derselbe kann nach Maßgabe von Fig. 322 wiederum leicht durch Zeichnung ermittelt werden, sobald man für jeden Punkt x nur die Strecke ab gleich der zugehörigen Fugenlänge $xy = h$ nimmt und sonst unter Benutzung des veränderlichen Winkels α , wie derselbe der jedesmal gewählten Fuge zukommt, und des als unveränderlich geltenden Reibungswinkels ρ ganz nach Fig. 322 verfährt.

Am einfachsten wird diese Darstellung gleich in der Stirnfläche des Gewölbes, wie Fig. 323 zeigt, selbst vorgenommen. Bei der hier gegebenen Bestimmung der einzelnen Drücke ist der Reibungswinkel ρ nur zu 15 Grad gewählt, um der durch den frischen Mörtel bewirkten wesentlichen Verminderung der Reibung zwischen den Lagerflächen Rechnung zu tragen.

Verbindet man die für mehrere Fugen gewonnenen Punkte d, e, f u. f. f., wobei die Strahlen $1, 2, 3$ u. f. f.

fämmlich parallel zu mo geführt werden, durch einen Linienzug, so begrenzt derselbe gemeinschaftlich mit der inneren Wöblinie die Fläche $odefgh$ der grössten, rechtwinkelig zum Rüstbogen wirkenden Drücke. Soll mit Hilfe dieser Zeichnung der grösste auf die Fläche EF kommende Druck D ermittelt werden, so ergibt sich für die Tiefe gleich der Längeneinheit nach Gleichung 164: $D = zbv$, d. h., da zb die Fläche $EFGH$ darstellt, die Regel: Man bestimme die Mafszahl des Flächeninhaltes des Stückes $EFGH$ der Druckfläche und multiplicire dieselbe mit der Mafszahl des Gewichtes der Körpereinheit des Wöblmaterials, um den Werth des für die Länge EF in Frage kommenden Druckes zu erhalten.

Aus der Druckfläche ergibt sich die Zunahme der rechtwinkelig zum Rüstbogen gerichteten Pressungen vom Punkte o gleich Null bis zum grössten Drucke gh im Punkte h des Gewölbeseitels. Für die Construction des Rüstbogens folgt hieraus, das bis zum Punkte o keine Unterstüttzung der Wöblsteine durch diesen Bogen nothwendig wird, das also bis zu diesem Punkte vom Kämpfer aus, wie Fig. 319 (S. 221) zeigt, die Anordnung der Rippe sich auf einfachere verbindende Theile, vom Punkte o ab bis zum Scheitel jedoch ausser verbindenden Theilen noch auf kräftigere, stützende Constructionsglieder zu erstrecken hat.

154.
Unter-
lagerung.

Die einzelnen Rippen werden parallel zur Stirnebene des Gewölbes in Entfernungen von 1^m bis höchstens 2^m hinter einander aufgestellt. Hierzu bedürfen dieselben einer kräftigen Unterlagerung, welche als weiteres Zubehör des Lehrgerüstes auftritt. Diese Unterlagerung mus so hergestellt sein, das die einzelnen Rippen während der Ausführung des Gewölbes sich nicht in merkbarem Grade senken, sich nicht verschieben oder verdrehen können. Zweckmäsig ist eine Unterstüttzung, welche möglichst aus lothrecht oder aus schwach geneigten Pfosten besteht, welche dann rechtwinkelig zu den Rippen ziehende Rahmhölzer oder Holme erhalten, also in ihrem Wesen ähnlich der Anordnung einer festen Fachwerkwand erscheint. Hänge- und Sprengwerks-Constructionen zu solchen Unterstüttzungen zu wählen, ist deshalb weniger vortheilhaft, weil bei diesen leichter ein Zusammendrücken der verschiedenen Verbandhölzer und damit leichter das unbeabsichtigte Senken der Rüstbogen eintreten kann. Im Hochbauwesen lassen sich bei grösseren Gewölben derartige Hänge- und Sprengwerksunterstüttzungen dann nicht gut vermeiden, wenn der Raum unter der Deckenbildung während der Bauzeit möglichst frei zu lassen ist. In solchen Fällen mus in jeder Beziehung für eine kräftige Durchbildung dieser Unterstüttzungen gefordert werden. Wie auch die Art der Unterstüttzungen sein mag, stehend oder liegend, immer müssen dieselben unter sich noch durch Längshölzer, Kreuzstreben u. s. w. abgesteift werden, um als unverschiebbares Gerippe aufzutreten.

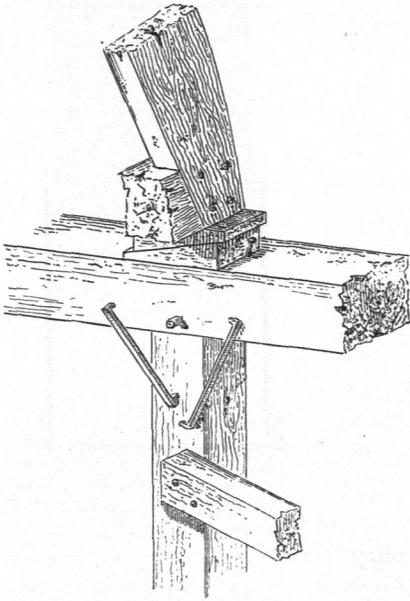
155.
Ausrüstungs-
vorrichtungen.

Von Bedeutung ist die Auflagerung der Rippen auf der darunter befindlichen Stütz-Construction.

Da die Rippen auf ihrer oberen Begrenzung eine weitere Bekleidung, die sog. Schalung, wovon gleich die Rede sein wird, aufzunehmen haben, welche in ihrer oberen Mantelfläche der Laibungsfläche des Gewölbes zu entsprechen hat, so mus von vornherein eine genaue Aufstellung der Rüstbogen vorgenommen werden; da aber auch andererseits die Lösung der Rüstbogen nach gefchehener Einwölbung leicht, allmählich, sanft und nicht stofsweise erfolgen mus, damit nach dem veranlassenen Senken der Rippen ein etwaiges Setzen des Gewölbes ohne Nachtheil für dasselbe stattfinden kann, so sind diesen Bedingungen gemäs die Lagerungen der Rüstbogen auszubilden.

Zu diesen Lagerungen benutzt man in vielen Fällen aus hartem Eichen-, Weisbuchen-, Eschenholze u. s. w. angefertigte Doppelkeile mit mäsigter Schärfe von 10 bis 15 cm Breite, 20 bis 30 cm Länge und 6 bis 10 cm Dicke (Fig. 324), welche zwischen den Holm der Unterstüttzung und die Sohle der Rippe gelegt werden. Durch ein geringes Antreiben oder andererseits durch ein sanftes Lösen dieser Keile,

Fig. 324.



welche ab und an auch zur Verminderung der Reibung mit schwarzer Seife dünn befrichten werden, ist ein leichtes Heben oder Senken der Rüstbogen möglich.

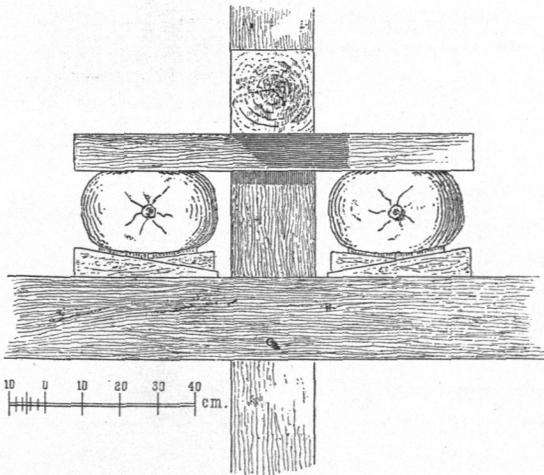
Außer solcher Keillagerung kommen bei größeren Gewölben auch Sandfäcke, besser Sandbüchsen oder Sandtöpfe, und unter Umständen auch Schraubenfätze zur Verwendung.

Die Sandfäcke sind aus festem Zeug, Segelleinwand oder auch aus Leder angefertigte Beutel, welche an einem Ende zugeschnürt werden können. Diese Säcke werden mit ganz reinem, durchaus trockenem, feinem Sande äußerst fest gefüllt und entweder gleich beim Aufstellen der Rüstungen statt der eben bezeichneten Keile eingelegt oder erst später nach Vollendung der Wölbung zwischen Holm und Schwelle gebracht. Im letzteren Falle sind die Rüstbogen während der Wölbung durch einen Holzpfosten, auf welchem ein kurzes Lagerholz liegt, gestützt. Die

Pfosten werden nach Schluß des Gewölbes an jeder Seite von Sandfäcken (Fig. 325), die durch angeschobene kleine Holzkeile weiter gerichtet sind, umlagert und dann keilförmig eingeschnitten, so daß sie zum Umkippen gebracht werden können. Ist

dieses Umkippen erfolgt, so setzen sich die kurzen Lagerhölzer mit den Rüstbogen unmittelbar auf die Sandfäcke. Wird die Schnürung derselben vorsichtig gelöst, so rinnt der Füllsand in feinen Fäden langsam aus und die Rüstbogen senken sich in regelmäßiger, stoßfreier Weise. Unter Umständen befördert man das Ausfließen des Sandes noch durch Anrühren desselben mit Hilfe eines Eisendrahtes oder Holzpflockes.

Fig. 325.



Entfernung über dem Boden kleine Oeffnungen angebracht, welche durch einen dünnen Holzpflock geschlossen werden. Zur Büchse gehört weiter ein cylindrischer Stempel, welcher aus Gusseisen besteht, oder aus einem Holzkörper, welcher oben und unten mit Eisenringen beschlagen ist, hergestellt wird. In die Sandtöpfe wird wiederum eine in ihren Eigenschaften schon vorhin beschriebene Sandfüllung gebracht; die Stempel werden so aufgesetzt, daß unter denselben eine genügende Sandlage verbleibt und die so eingerichtete Büchse nach ihrer Einfügung zwischen

Holm und Schwelle eine richtige und genaue Aufstellung der Rüstbogen möglich macht.

Nach der Ausführung des Gewölbes wird das Löfen der Rüstbogen durch Ausziehen der Verchlüsse der Oeffnungen der Büchsen eingeleitet. Die Sandfüllung derselben rieselt aus, und die Senkung der Rüstbogen geht langsam vor sich. Hierzu ist aber vollständige Trockenheit des reinen Sandes nothwendig, da derselbe, feucht geworden und durch die Belastung gepreßt, sich zusammenballt und nicht ausfließt, selbst wenn durch Nachhelfen mittels eines Eisendrahtes dieses Fließen befördert werden sollte. In solchem Falle müssen die Sandtöpfe mit stark erwärmten Sandbeuteln umlegt werden, um hierdurch den Sand in den Büchsen wieder in möglichst trockenem Zustand zu setzen. Offenes Feuer darf selbstverständlich zum Trocknen des Büchsenandes nicht in Anwendung kommen.

Die Schraubensätze sind einfache Hebenschrauben. Die in Fig. 327 gegebene Hebenschraube steht zwischen dem Holme des Untergerüstes und der Schwelle des Rüstbogens, während bei der in Fig. 328 dargestellten Schraube die Schraubenmutter *a* in der Schwelle befestigt, die Schraubenspindel weiter jedoch durch eine Oeffnung derselben geführt wird. Im Holm des Rüstbogens ist die Scheibe *b* verlegt, gegen welche der Dorn des Kopfendes der Spindel tritt. Durch entsprechendes Andrehen der Schraubenspindel erfolgt ein Heben oder Senken des Rüstbogens.

Derartige Schraubensätze werden bei größeren Gewölben auch wohl gemeinschaftlich mit Doppelkeilen angewandt. Sind die letzteren beim Aufstellen der Rüstbogen genau eingefügt, so werden die Schraubensätze seitlich von denselben aufgestellt. Nach dem Einwölben werden die Schrauben mäfsig angedreht, um die Rüstbogen in geringem Mafse zu heben und dadurch die Keile etwas zu lüften. Nach dem nunmehr mühelosen Entfernen der Keile ruhen die Rüstbogen nur noch auf den Schraubenätzen, welche für die jetzt vollständig zu beherrschende Senkung der Rüstbogen in Thätigkeit gesetzt werden können.

Bei besonders großen Gewölben des Hochbauwesens ist der Wölbkranz der Rüstbogen nicht aus Bohlen hergerichtet, die unmittelbar mit dem Stützenwerk fest verbunden sind, sondern aus fog. Kranzhölzern *k* (Fig. 329) von etwa 2 m Länge und genügender Stärke angefertigt, welche in Auschnitten (Scheren) ihrer Stützen liegen und durch Doppelkeile, wie Fig. 329 zeigt, unterlagert sind.

Fig. 326.

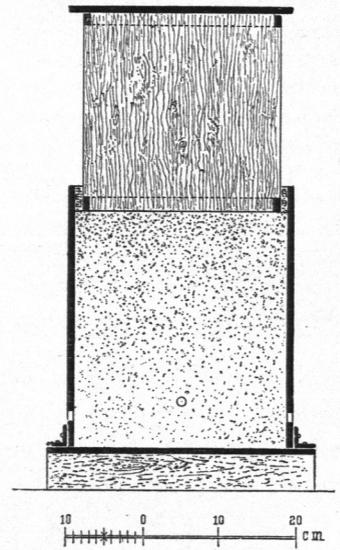


Fig. 327.

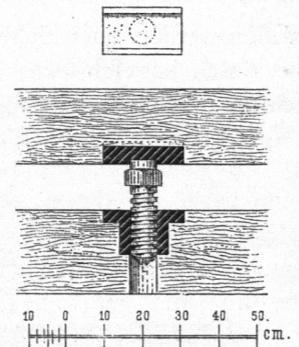


Fig. 328.

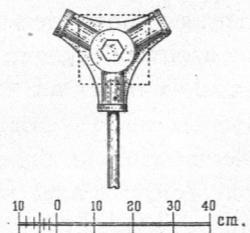
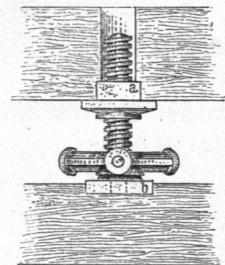
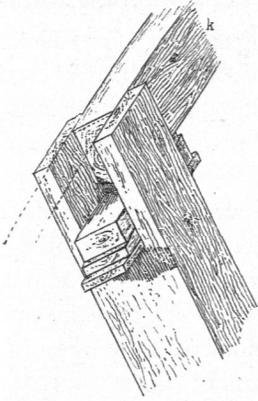


Fig. 329.



Bei folcher Anordnung ist die Senkung der Kranzhölzer durch Lockern der Keile allein schon zu beschaffen.

Den oberen Abchluss der Rüftbogen bildet die Schalung. Hierunter versteht man einen Belag aus Bohlen, Schalbrettern oder aus Latten, Gewölbelatten, welche in ihrer oberen Fläche eine der Laibung des Gewölbes genau entsprechende Mantelfläche liefern. Die Bohlen werden dicht neben einander gelegt, während die Latten mehr oder weniger breite Fugen zwischen sich lassen.

Die Rüftbogen sind die Träger der Schalung, welche rechtwinkelig über diese Bogen hinwegzieht. Die Bohlen erhalten im Allgemeinen keine weitere ausgiebige Befestigung mit den Rüftbogen. Dieselben werden meistens nur an ihren Enden mit dünnen Drahtstiften geheftet. Die Scheitelbohle wird unter Umständen mehrfach geheftet, da hierdurch schon ein seitliches Verschieben der Rüftbogen gegen einander mit vermieden wird. Die Latten werden jedoch zweckmäfsig mit Drahtstiften aufgenagelt. Alle diese Befestigungen müssen aber nach dem Ausrüften, also nach dem Senken der Rüftbogen mühelos in einfacher Weise gelöst werden können. Zur Vermeidung einer unregelmässigen Gestaltung der inneren Wölbfläche während der Ausführung muss die Schalung so stark sein, dass dieselbe sich bei ihrer Belastung durch die Wölbsteine überall in bemerkbarer Weise nicht durchbiegt. Je nach dem Abstände der Rüftbogen von einander erhalten die 20 bis 25 cm breiten Bohlen eine Stärke von 3 bis 5 cm. Die Gewölbelatten besitzen meistens einen quadratischen Querschnitt, dessen Seitenlänge zwischen 5 bis 15 cm schwankt.

Backstein- und Bruchsteingewölbe, so wie auch schiefe Gewölbe erhalten meistens und auch zweckmäfsig eine geschlossene Bohlenverschalung. Quadergewölbe jedoch werden fachgemäss auf einer Lattenschalung ausgeführt. Hierbei unter-

scheidet man die Schalung mit fog. halben Latten (Fig. 330) und Schalung mit fog. ganzen Gewölbelatten (Fig. 331). Bei der ersteren liegt eine Schallatte mitten unter jeder Lagerfuge von zwei zusammentretenden Wölbsteinen. Diese Anordnung ist beim Veretzen der Steine vortheilhaft, gestattet aber ein Beobachten der Lagerfugen von unten aus nicht, und daher ist die zweite Art der Lagerung der Schallatten

Fig. 330.

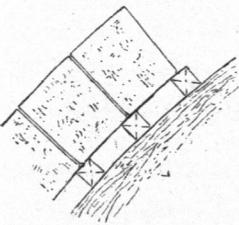
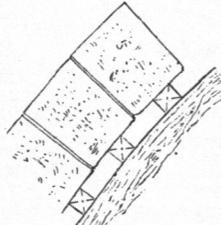


Fig. 331.



mitten unter jedem Wölbstein, wonach ein genaues Verfolgen der geraden Richtung der Lagerfugenkanten von unten aus möglich wird, bei Quadergewölben vorzuziehen.

Auf der Schalung, gleichgiltig ob Bohlen- oder Lattenschalung vorhanden ist, wird die Theilung des Gewölbes durch Blei- oder Kohlenriffe vor Beginn der Wölbung vorgenommen. Je sorgfältiger diese Theilung stattgefunden hat, um so leichter und besser ist die Ausführung des Gewölbes zu beschaffen und zu überwachen.

Die Einwölbung selbst beginnt unter Beobachtung eines sorgfältigen Annässens der Wölbsteine gleichzeitig vom Widerlager aus und geht regelmässige und in Bezug

zur Scheitellinie symmetrisch weiter bis zur letzten Schicht, der Schlufssteinschicht. Durch zweckmäßige Vertheilung des zu benutzenden Wölbmaterials auf der Schalung, bzw. auf besonderen an den Rüftbogen geschaffenen Belastungsböden, für welche die vorhandenen wagrechten Verbindungshölzer der Rippen als Unterlager dienen können, ist man bestrebt, die Ungleichmäßigkeit in der Belastung und die hierdurch bewirkte Formveränderung der Gerüst-Construction während des Einwölbens thunlichst zu beseitigen.

Beim Einsetzen der Schlufssteinschicht ist mit Vorsicht zu verfahren. Scharfes Eintreiben der Steine dieser Schicht durch mit Erschütterungen verknüpfte Stöße ist zu vermeiden, weil hierdurch nicht allein eine unangenehme Wirkung für das Lehrgerüst, sondern auch leicht ein Zerpringen der Mörtelbänder oder gar einzelner Steine herbeigeführt wird. Bei guter und aufmerksam vorgenommener Wölbungsarbeit bleibt für die Schlufssteinschicht die genau bemessene Lücke übrig, welche alsdann voll und regelrecht durch die zugehörigen Wölbsteine gefüllt werden kann. Häufig wird die Schlufssteinschicht erst trocken vermauert, bzw. versetzt und dann in den engen Fugen mit einem Cementmörtel vergossen, wobei zu beachten ist, daß dieser Mörtel die Fugen vollständig füllt. Dieses Verfahren ist immerhin zu empfehlen, da hierdurch alle Erschütterungen des Gewölbkörpers vermieden werden.

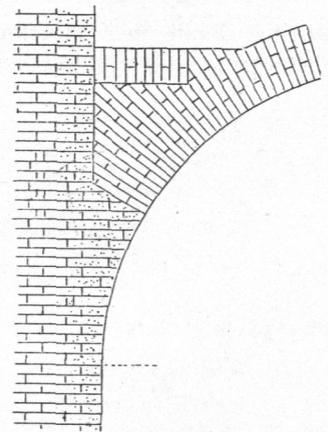
Nach der Vollendung des Gewölbes ist immer noch eine Prüfung der Fugen auf der Rückenfläche desselben vorzunehmen. Etwa vorhandene offene Stellen derselben sind mit Mörtel zu dichten. Sehr zweckmäßig erfolgt hierauf ein Uebergießen der ganzen Rückenfläche mit einem dünnflüssigen Kalk- oder besser Cementmörtel, welche mit Hilfe eines Reifigbesens in einer dünnen Schicht ausgebreitet wird. Hierdurch werden etwa in den Fugen noch vorhandene Lücken gleichzeitig mit ausgefüllt. Nachdem dieses geschehen, ist eine Ausmauerung der Gewölbezwickel, bzw. ein Ausfüllen derselben mit Grobmörtel (Beton) vorzunehmen. Letztere Ausfüllung ersetzt jedoch die Ausmauerung nicht vollständig und sollte deshalb nur bei kleinen Gewölben in Anwendung kommen.

Zum Theile kann die Hintermauerung der Zwickel auch nach Fig. 332 gleich bei der Ausführung des Gewölbes im Wölbverbande mit hergestellt werden.

Von jeher hat die Frage, wann die Ausrüstung des geschlossenen Gewölbes, d. h. die Senkung der Rüftbogen, bzw. die Entfernung derselben geschehen soll, eine Rolle gespielt. Von einer Seite wird die sofortige Ausrüstung der Gewölbe nach ihrer Vollendung, von anderer Seite die Ausrüstung nach einiger Zeit, welche dem Fugenmörtel bereits eine Erhärtung gestattet hat, empfohlen.

Wird die Ausrüstung sofort nach der Vollendung des Gewölbes vorgenommen, so ist der Mörtel noch weich; die Wölbsteine pressen sich an einander und bewirken, namentlich in der Nähe der Bruchfugen, ein Hervorquillen des Mörtels aus den Lagerfugen. Das Gewölbe vermag sich bei sonst entsprechender Anordnung, durch den Mörtel wenig beeinflusst, allerdings in den Gleichgewichtszustand zu setzen; aber die wünschenswerthe Eigenschaft, daß der in seinen Wölbsteinen durch Mörtel verbundene Wölbkörper sich thunlichst einem elastischen Bogen mit geschlossener Wand

Fig. 332.



nähern möge, wird hierdurch ohne Weiteres nicht hervorgerufen. Sind die Gewölbe nur mit Kalkmörtel gemauert, so ist bei sofortiger Ausrüstung das Ausquillen der Fugen oft recht stark bemerkbar; weniger stark zeigt sich dieses Hervorquillen bei Verwendung von verlängertem Cementmörtel oder reinem Cementmörtel. Mit einer Verminderung und Zusammenpressung der Mörtelbänder in den Lagerfugenflächen ist offenbar eine Verkürzung der Bogenlänge und eine Formveränderung des Gewölbes, das sog. Setzen desselben, verbunden, und es dürfte einleuchtend sein, daß, je mehr das Zusammenpressen der noch weichen Mörtelbänder sich geltend macht, desto größer auch das Setzen oder die Senkung des Gewölbes sein muß. Solche Senkungen sollen aber bei jedem Gewölbe auf das möglichst geringste Maß beschränkt werden, und somit folgt, daß, zur Vermeidung starker Zusammenpressungen der Mörtelbänder, dem Mörtel selbst eine gewisse Zeit zu seiner Erhärtung und zu seinem Verbinden mit den Wölbsteinen zu lassen ist. Daß durch die innigere Verbindung des Mörtels mit den Wölbsteinen eine größere Standfähigkeit erzielt werden muß, lehren die Gewölbe früherer Zeit, welche einem Abbruche unterworfen werden mußten. Konnte doch oft bei solchen Gewölben die Schlusssteinschicht ihrer ganzen Länge nach beseitigt werden, ohne daß die Gewölbschenkel nach innen einstürzten; konnten doch oft diese Gewölbschenkel selbst nur durch Zerstören mittels kräftiger Sprengungstoffe beseitigt werden! Die Wölbsteine waren vollständig verkittet; das Gewölbe war ein in sich nahezu gleichartiger Körper; von einem Senken dieses Körpers oder der Erscheinung klaffender Fugen kann keine Rede mehr sein.

Durch diese Gesichtspunkte gelangt man in logischer Weise zu dem Ergebniss, daß eine sofortige Ausrüstung derjenigen Gewölbe, bei welchen, wie bei Backstein- oder Bruchsteingewölben, die Mörtelbefügung immer eine Bedeutung annimmt, weniger rathsam ist, als die nach einiger Zeit nach Schluß des Gewölbes vorgenommene Ausrüstung. Der Gewölbkörper muß eben durch die Verkittung mit Mörtel seine ihm ursprünglich angegebene Form in besserer Weise beibehalten, als solches bei sofortiger Ausrüstung möglich ist, muß weniger Senkung aufweisen und muß im Allgemeinen, weil die Annäherung an einen vollwandigen Bogen, abgesehen davon, daß derselbe mehr oder weniger elastisch ist, in höherem Maße erfolgt, in seiner Standfähigkeit eine Verbesserung erfahren. Wenngleich nun im Hochbauwesen in den meisten Fällen das Entfernen der Wölbgerüste in möglichst kurzer Zeit wird angestrebt werden müssen, da schnelles Vorwärtskommen im Bau oft angezeigt erscheint, so möge unter Berücksichtigung aller Einflüsse, welche, wie feuchte Luft, Windzug u. f. f., die Erhärtung der Mörtelbänder zurückhalten oder beschleunigen können, doch darauf Bedacht genommen werden, ein zu frühzeitiges Ausrüsten der Gewölbe zu vermeiden. Wenngleich nun eine geraume Zeit verfließen muß, bevor alle Mörtelbänder, die in ihren Rändern früher erhärten, als in ihrer Mitte, eine nahezu gleiche Preßbarkeit und nahezu gleiche Bindefähigkeit erhalten, so kann man als Regel gelten lassen, kleine Gewölbe erst etwa nach 2 bis 3 Tagen, große Gewölbe nach 4 bis 6 Tagen und Gewölbe bis etwa 8^m Spannweite erst nach 8 Tagen auszurüsten. Noch größere Gewölbe lasse man so lange als möglich unausrüstet. Bei geringer Fugenstärke von 1^{cm} und gut und rasch bindendem Mörtel kann die Zeit bis zur vorsichtig vorzunehmenden Ausrüstung herabgesetzt werden.

Bei Quadergewölben tritt, wie schon früher erwähnt, die Mörtelung mehr in den Hintergrund. Demnach können solche Gewölbe ein sofortiges Ausrüsten nach ihrer Vollendung schon leichter ertragen.

In jedem Falle ist das Ausrüsten der Gewölbe in ruhiger, vorsichtiger Weise vorzunehmen, damit eine Schädigung sowohl des Gewölbes, wie auch der Gerüsttheile vermieden wird.

Im Allgemeinen zeigt ein jedes Gewölbe nach der Ausrüstung eine mehr oder weniger bemerkbare Senkung. Je sorgfältiger die Ausführung, je besser das benutzte Material war, um so geringer tritt solche Senkung auf.

159.
Senkung.

Die Angaben über das muthmaßliche Senken der Gewölbe sind von vornherein im höchsten Maße ungenau, so daß dieselben besser unterbleiben.

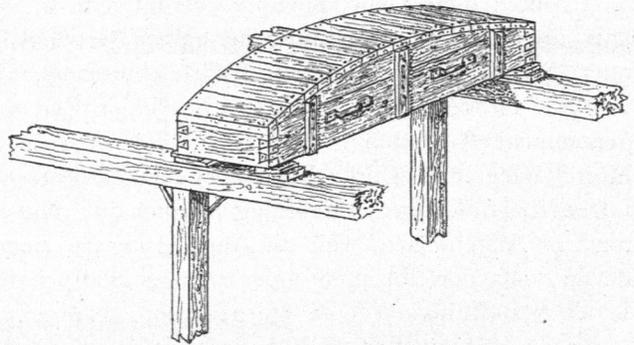
Das über die Rüstung bei Tonnengewölben Gefagte findet im Wesentlichen bei allen solchen Gewölben oder besonderen Gewölbtheilen Anwendung, die nicht eine sog. Einwölbung aus freier Hand zulassen. Letzteres ist bei Gewölben mit sphärischen oder sphäroidischen Laibungsflächen der Fall. Bei diesen tritt dann die Unterstützung durch Lehrgerüste für die Einwölbung entweder gar nicht oder in bedeutender Einschränkung ein.

160.
Rutschbogen.

Bei Gewölben von kleinerer Spannweite, aber verhältnismäßig bedeutender Länge wird unter Umständen auch eine Vereinfachung und billigere Herstellung des gefamnten Lehrgerüsts durch Anwendung eines sog. Rutschbogens oder Schlittens erzielt.

Unter einem Rutschbogen (Fig. 333) versteht man einen kurzen, seitlich lothrecht, oben nach der Wölbungsform geschlossen, unten aber offenen, hölzernen Kasten, welcher auf den stützenden Rahmen oder Holmen des Unterstützungsgerüsts nach und nach dann weiter vorgerückt werden kann, sobald über dem Rutschbogen ein kurzes Stück des Gewölbes ausgeführt ist. Selbstverständlich ist die richtige Aufstellung und das ruhige Lösen solcher Rutschbogen mit Hilfe von Doppelkeilen zu bewirken.

Fig. 333.



Damit die einzelnen Zonen, welche in ihrer Breite der Länge des Schlittens entsprechen, bei dem ganzen Gewölbe im Verband bleiben, ist die Stirn jeder Zone, die für sich im Gewölbeverband gemauert wird, auf Verzahnung zu ordnen. Die Länge des Schlittens darf höchstens 80 cm betragen, weil bei größerer Länge desselben die Ausführung der Wölbung für die vor dem Rutschbogen stehenden Maurer und auch das Vorrücken desselben unbequem wird.

Da nach der Vollendung jeder Zone bei der Anwendung des Rutschbogens eine sofortige Ausrüstung derselben eintreten muß, so ist die Einwölbung sehr sorgfältig, unter Benutzung eines möglichst schnell bindenden und erhärtenden Mörtels auszuführen.

161.
Ausführung
neben
einander
gelegener
Gewölbe.

Liegen zwei oder mehrere Tonnengewölbe, bezw. Gewölbe überhaupt mit gemeinschaftlichen Widerlagern, mögen dieselben als Mauerwerkskörper, als Bogenstellungen oder als besondere eiserne Träger construiert sein, in Reihen oder sog. Jochen mit ihren Axen neben einander, so ist zu beachten, daß diese Zwischenwiderlager an sich in den seltensten Fällen eine solche Stärke erhalten, um dem

einseitigen Schube mit Sicherheit Widerstand leisten zu können. Zur Vermeidung der Verschiebungen dieser Zwischenconstructions und zur Verhinderung des damit leicht eingeleiteten Einsturzes der Gewölbe ist es immer am zweckmäßigsten, die sämtlichen Gewölbejoche mit den nöthigen Wölbegerüsten vollständig zu versehen und die Einwölbung in allen Jochen gleichzeitig, gleich liegend und gleichmäßig fortschreitend vorzunehmen. Kann man der größeren Kosten wegen eine solche vollständige Herrichtung der Lehrgerüste für alle Joche nicht ausführen, so wird erst nur für ein Joch entweder das ganze Gewölbe oder eine gewisse Länge desselben mit dem nothwendigen Lehrgerüste versehen und eingewölbt, dann das angrenzende Joch in gleicher Weise in Angriff genommen und so bis zur Vollendung der ganzen Anlage fortgefahren. In solchen Fällen ist aber eine gründliche und kräftige Abtheilung der Zwischenwiderlager der nicht mit Lehrgerüsten versehenen Joche oder Abtheilungen derselben unbedingt erforderlich, da bei Vernachlässigung dieser Forderung leicht die Gefahr des Einstürzens der fertigen Gewölbtheile eintreten kann.

Die Ausführung der geraden Tonnengewölbe aus Backstein erfordert in erster Linie die Berücksichtigung eines richtigen Mauerverbandes in den einzelnen Schichten und eine bestimmte Eintheilung der Wölb-schichten im Stirnschnitte des Gewölbes, wonach stets eine ungerade Anzahl gleich großer Abstände für die einzelnen Wölb-scharen entstehen soll. Jede Wölb-schicht erscheint keilförmig; die Lagerfugen stehen senkrecht zur Wölblinie, selten rechtwinkelig zu einer bestimmten Bedingungen gemäß construirten Mittellinie des Druckes.

Für den Mauerverband der Wölb-schichten gelten die für den Steinverband der Backsteinpfeiler mit rechteckiger Grundfläche gegebenen allgemeinen Regeln, wonach meistens zwei verschieden angeordnete, neben einander liegende Wölb-schichten im Verbandwechsel auftreten. In Fig. 334 sind für ein Stück eines $1\frac{1}{2}$ Stein starken Tonnengewölbes die Verbände in den Schichten 1 und 2 dargestellt, wobei nament-

162.
Tonnengewölbe
aus
Backsteinen.

Fig. 334.

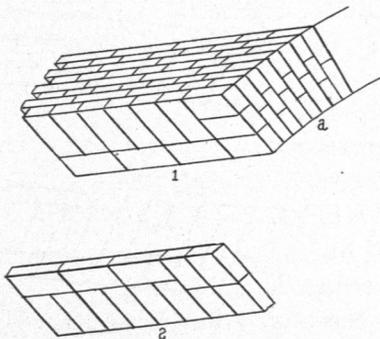
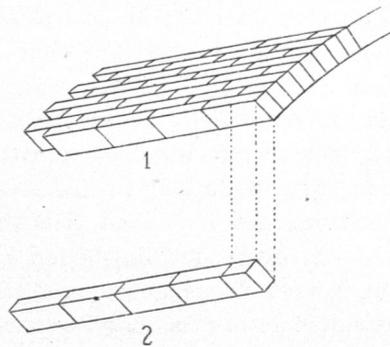


Fig. 335.



lich der Anfang der Wölb-schichten an der Stirnmauer des Gewölbes durch regelrechtes Einfügen von Dreiviertelsteinen zu beachten ist. Die Stofs-fugen in Schnitten parallel zur Stirn sind innerhalb des Gewölb-körpers a im Verbandwechsel stehende, concentrisch zur Wölb-line laufende Bänder, während dieselben auf der Laibungs- und Rückenfläche im Verbandwechsel mit der Stirnlinie gleichlaufend sind. Diese Einwölbungsart wird häufig als »auf Kuf gewölbt« bezeichnet. Bei einem nur $\frac{1}{2}$ Stein starken, auf Kuf gemauerten Tonnengewölbe sind alle Wölb-scharen Läufer-schichten, deren Stofs-fugen gegenseitig um $\frac{1}{2}$ Steinlänge im Verbandwechsel stehen

(Fig. 335), während bei 1 starken Tonnengewölben die neben einander liegenden Wölbchichten nach Fig. 336 angeordnet werden.

Bei Tonnengewölben, deren Stärke über $\frac{1}{2}$ Steinlänge beträgt, wird zur Erzielung keilförmiger Wölbchichten in den meisten Fällen ein Zuhauen der Backsteine erforderlich. Hierbei ist auf der Rückenlinie des Gewölbes die Stärke der Wölbchicht der Backsteindicke gleich zu lassen, so daß die Zuföhrung der Steine nach der Laibungsfläche gerichtet ist. Wollte man fog. Lochsteine zum Einwölben verwenden, so ist ein Zuhauen derselben mißlich. Durchaus verwerflich ist die Anordnung stark keilförmig genommener Mörtelbänder als Lagerfugen, welche dann an der Laibungsfläche dünn, an der Rückenfläche jedoch oft unverhältnismäßig dick auftreten, um hierdurch ein Zuhauen der Wölbsteine zu umgehen. Am besten ist die Verwendung fertig gebrannter keilförmiger Barnsteine, deren Gestalt von vornherein dem auszuföhrnden Tonnengewölbe entsprechend gebildet wurde.

Bei fehr starken Tonnengewölben ist die in Art. 149 (S. 218) erwähnte und näher besprochene Einwölbung, bestehend aus einzelnen Schalen oder Ringen, geeignet, um ein Zuhauen der Steine aller Wölbchichten zu vermeiden.

Für weniger starke oder auch für fehr lange, sonst selbst stärker bemessene Tonnengewölbe aus Backstein ist das Anbringen von Verstärkungsrippen oder Gurten *a* (Fig. 337), welche bei kleineren schwächeren Gewölben in Abständen von 1,5 bis 2,0 m, bei stärkeren Gewölben in Weiten von 3,0 bis 4,0 m wiederkehren und mit dem Gewölbkörper *b* nach der Anordnung der Schichten 1 und 2 im Verbands stehen, zu empfehlen. Diese Rippen können entweder an der Laibungsfläche oder an der Rückenfläche vortreten. Im ersteren Falle ist beim Aufstellen der Rüstbogen des Gewölbes aber für diese Gurte eine besondere Einrüstung nothwendig, was, als weniger bequem, im letzteren Falle vermieden wird.

Bei schwächeren Gewölben treten diese Rippen als wirkliche Gewölbverstärkungen und zuweilen als Träger von Unterlagen der über dem Gewölbe befindlichen, nur leicht zu belastenden Fußböden auf, während bei größeren, langen Tonnengewölben diese Rippen, wenn dieselben unten an der Laibungsfläche vorspringen, eine dem Auge angenehme Gliederung der Gewölbfläche bewirken und bei langen Gewölben mit wagrechter Scheitellinie den Eindruck verwischen, als ob diese Scheitellinie sich nach unten gefenkt hätte. Hier möge bemerkt werden, daß die in vielen Lehrbüchern aufgenommene und häufig wiederkehrende Angabe, wonach Tonnengewölbe bis zu 4 m Spannweite, welche keine weitere Belastung, als höchstens diejenige der Fußböden gewöhnlicher Wohnräume aufzunehmen haben, nur $\frac{1}{2}$ Stein Stärke, bei größerer Spannweite Verstärkungsrippen von 1 Stein Breite und Höhe in Entfernungen von 1,5 bis 2,0, bezw. 2,5 m und erst bei 6 m Spannweite 1 Stein Stärke nebst Verstärkungsrippen von $1\frac{1}{2}$ Stein Höhe und Breite erhalten sollen, mit größter

Fig. 336.

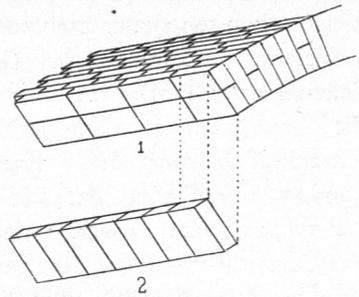
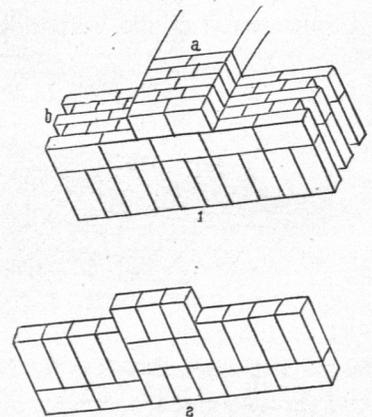
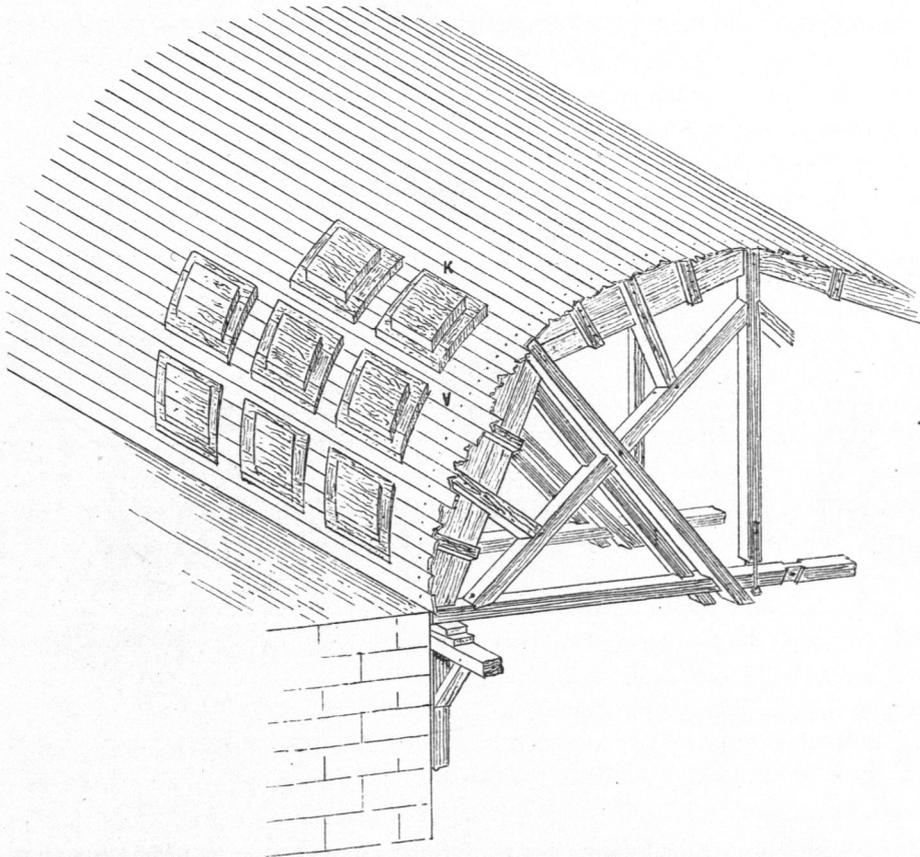


Fig. 337.



Vorſicht zu betrachten iſt. Bei derart ſchwach ausgeführten Tonnengewölben müſſen neben ausgezeichneter Arbeit vorzügliches Steinmaterial und vortrefflichſter Mörtel zur Geltung kommen, und dennoch treten in dieſen Tonnengewölben ſchon bei 4^m Spannweite leicht Verdrückungen, ſelbſt bei guter Ausmauerung der Zwickel, auf. Die Weite von 4^m wird beſſer auf höchſtens 3^m beſchränkt. Auch iſt zu berücksichtigen, daſs, wenn überhaupt über dem Gewölbe ein Fußboden hergerichtet iſt, derſelbe unter Umſtänden mit weit ſtärkerer Belaſtung verfehen wird, als ſolche bei der Bezeichnung »Belaſtung gewöhnlicher Wohnräume« urſprünglich angenommen

Fig. 338.



war. Die Decken-Construction ſoll aber in jedem Falle bei der möglichſt ungünſtigſten Beanspruchung ſtandfähig ſein, und hiernach iſt, wie früher gezeigt, die ſtatiſche Unterſuchung zu führen und die Gewölbſtärke ſowohl für die Gurte, wie für das Gewölbe ſelbſt zu beſtimmen.

Wird ein Backſteingewölbe nach der Widerlagsfuge hin verſtärkt, ſo ſoll dieſe Verſtärkung vom Scheitel bis zum Gewölbfuße ſtetig und ohne ſchroffe Abſätze erfolgen, ſelbſt wenn hierbei ein mäſſiges Verhauen und Kürzen der Wölbſteine an der Rückenfläche des Gewölbes vorzunehmen iſt; denn hierdurch wird ein günſtigerer Verlauf der Mittellinie des Druckes erzielt.

Dem Einwölben mit Backſtein »auf Kuf« ſteht die allerdings mehr bei flach-

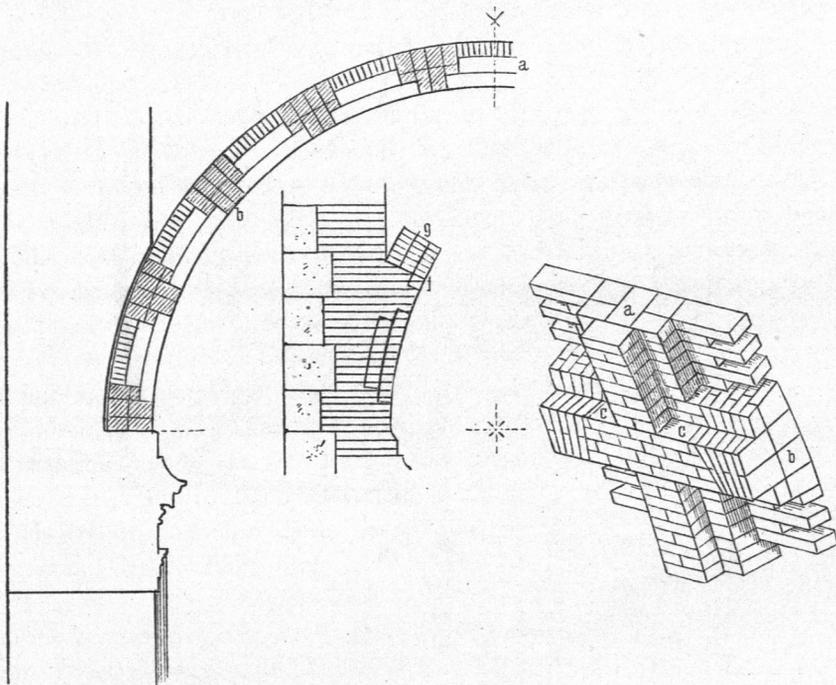
bogigen Gewölben angewandte Verbandart »auf Schwalbenschwanz« oder »auf Stich« gegenüber. Diese soll bei den Kappengewölben näher besprochen werden.

163.
Cassettirte
Tonnen-
gewölbe.

Um die Laibungsfläche eines Tonnengewölbes, abgesehen von einem Schmuck durch Bemalung, schon in der Construction selbst architektonisch zu gliedern und reicher zu gestalten, verfährt man das Gewölbe mit künstlerisch geformten und regelrecht geordneten, durch staffelartig angelegte Umrahmungen begrenzte Füllungen, Vertiefungen oder mit fog. Cassetten.

Bei der Ausführung derartiger cassettirter Tonnengewölbe werden nach Fig. 338 auf der vollständigen Verschalung *V* der Wölbbogen, der Cassettenanordnung entsprechend, Holzkaften *K* befestigt, so das hierdurch die Grundlage für die Mauerung des Gewölbes geschaffen ist. Diese Holzkaften sind nach oben schwach verjüngt, also als mäsig abgestumpfte Pyramiden zu bilden, damit beim Löfen des Wölb-

Fig. 339.



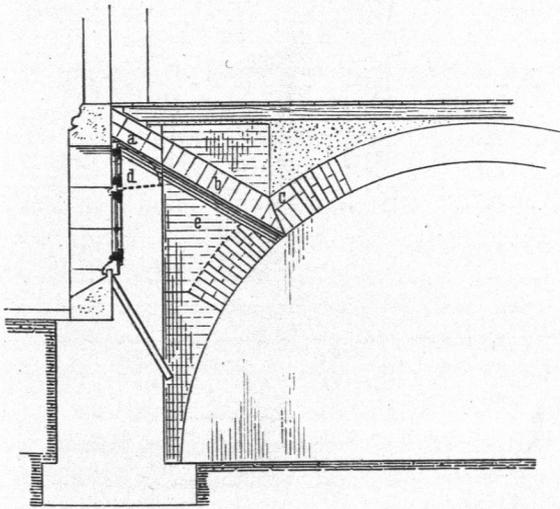
gerüftes ein leichtes Nachfolgen der Cassettenkaften und kein Hängenbleiben derselben im Gewölbe stattfinden kann. In sehr zweckmäßiger Weise können nach einem von *Moller* angegebenen Verfahren nach Fig. 339 die Querrippen *a* der Cassetten als Stücke von Tonnengewölben, die Längsrippen *b* als Bestandtheile des Gewölbes in der Anordnung eines die Querrippen verspannenden scheinrechten Bogens ausgeführt werden, wobei das Zwischenstück *c* ordnungsmäßige Widerlagsflächen zu bieten hat. Der obere Abschluss der Cassetten kann dabei in der Anordnung entweder derjenigen eines $\frac{1}{2}$ Stein starken Tonnengewölbes oder eines $\frac{1}{2}$ Stein starken scheinrechten Gewölbes entsprechen. In Fig. 339 ist die erste Einwölbungsart beibehalten.

Soll ein cassettirtes Tonnengewölbe bis zu einer um etwa 60 Grad zum Scheitellothe geneigten Fuge *f*, welche dann zweckmäßig mit der unteren Fugen-

richtung der Caffette *g* zusammenfällt, ein wagrecht vorgemauertes Widerlager erhalten, so ist, wie Fig. 339 zeigt, auch die tiefste Caffette in wagrechter Schichtenmauerung auszuführen.

Da bei Tonnengewölben an und für sich die Pfeilhöhe ein beträchtliches Maß erreicht, also die Constructionshöhe, einschl. der Gewölbstärke und der Höhe bis zur Oberkante des darüber befindlichen Fußbodens ziemlich groß wird, da ferner die Stirnmauern der Tonnengewölbe häufig nicht für die Anlage von Oeffnungen zur Beleuchtung durch Tageslicht bei den mit Tonnengewölben zu überdeckenden Räumen benutzt werden können, so sind bei beschränkter Constructionshöhe derartige Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern des Gewölbes anzubringen. Diese Lichtöffnungen sind bei den meisten Anlagen in ihren oberen Begrenzungen weit über dem Gewölbefuß abzudecken. Für die Breite dieser Lichtöffnungen muß im Tonnengewölbe freier Platz geschaffen, also das Gewölbe selbst gleichsam an diesen Stellen ausgechnitten werden. Nach der Annahme dieses Auschnittes würde aber für die

Fig. 340.



Weite desselben ein Widerlager des angrenzenden Gewölbtheiles fehlen. Für dieses Widerlager ist ein selbständiger Gewölbtheil, der sog. Kranz *c* (Fig. 340), in das Hauptgewölbe einzufügen, und ferner ist zum oberen Abschluss der zwischen dem Gewölbekranz und der Lichtöffnung *d* verbleibenden Oeffnung ein besonderes kleines Gewölbe, eine sog. Stichkappe *b*, welche in das Hauptgewölbe gesteckt wird, herzustellen. Die an beiden Seiten der Oeffnung, dem sog. Ohr, zu bewirkende Abschließung wird durch lothrecht aufgeführte, auf dem Hauptgewölbe ruhende, $\frac{1}{2}$ bis 1 Stein starke Wangenmauern erzielt. Größtentheils gehören diese Wangen

schon der Hintermauerung der Gewölbe in den Zwickeln an und sind dann, wenn diese zu $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ der Gewölbhöhe ausgeführte Hintermauerung die Oeffnung des Ohres noch nicht schliessen sollte, stets entsprechend höher zu führen. Ist, wie in Fig. 340 angenommen, auch der Mauerbogen *a* der inneren Laibung der Lichtöffnung geneigt anzulegen, so folgt derselbe in feiner Neigung meistens der Neigung der Stichkappe *b*.

Schon in Art. 133 (S. 161) ist der Stichkappen bei Tonnengewölben gedacht worden.

Hinsichtlich der Ausführung dieser Stichkappen ist zu bemerken, daß man Stichkappen, deren Laibungen einer Cylinder-, Kegel- oder Kugelfläche angehören, von einander zu unterscheiden hat. Vorzugsweise werden die cylindrischen oder kegelförmigen, feltener die kugelförmigen Stichkappen in Anwendung gebracht. Bei den ersten beiden kann die Axe der zugehörigen Cylinder- oder Kegelflächen eine wagrechte oder geneigte, nach unten oder nach oben gerichtete gerade Linie sein. Bei kugelförmigen, bezw. Kugel-Stichkappen liegt der größte Kreis der Kappenfläche

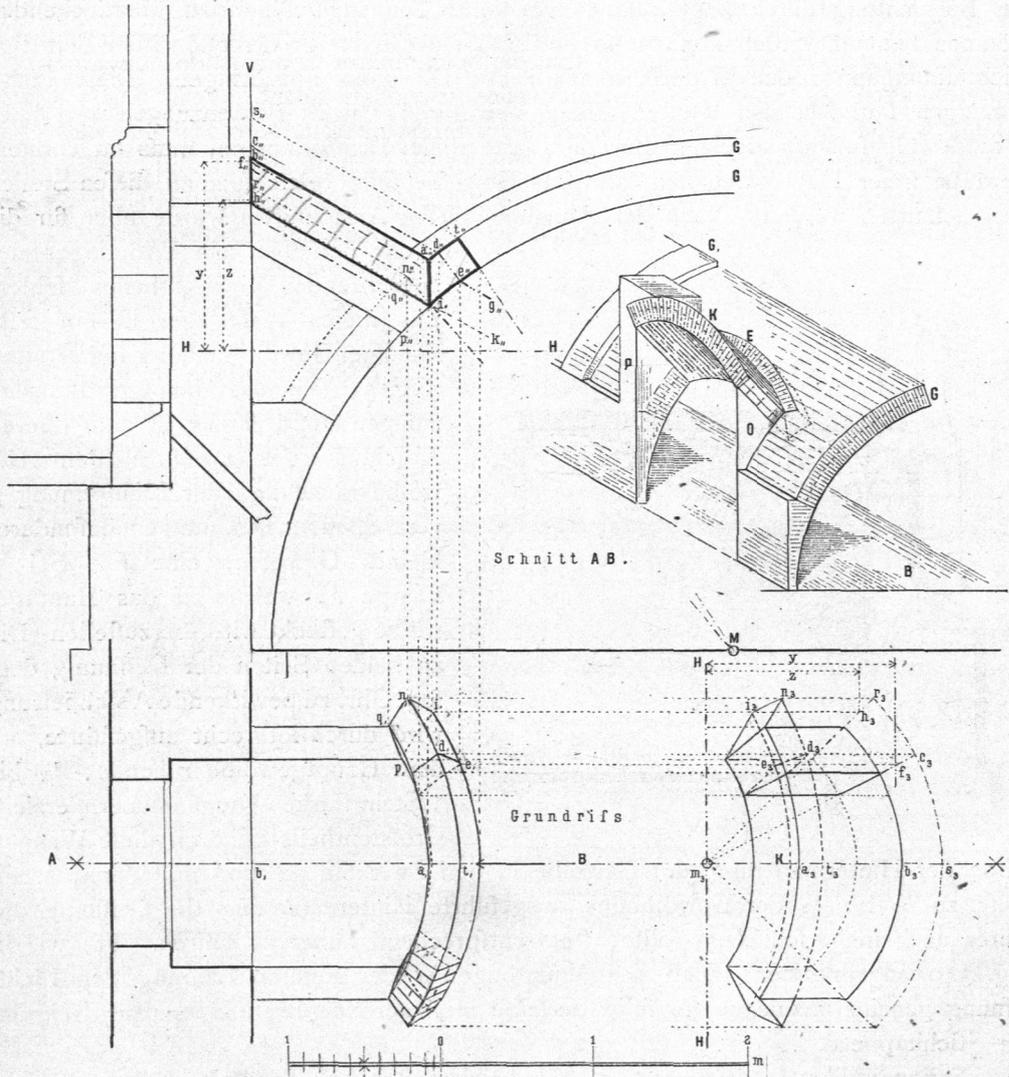
meistens und auch zweckmäÙig tiefer, als der tiefste Punkt der inneren Kranzlinie an der Laibung des Hauptgewölbes.

165.
Cylindrische
Stichkappen.

In Fig. 341 ist die Ausmittlung einer cylindrischen Stichkappe mit geneigter Axe nebst dem Gewölbekranze, so wie ein Bild der ganzen Anordnung gegeben.

Im Bilde sind B die Kämpferebene des Tonnengewölbes, G das Gewölbe, K die cylindrische, nach dem Gewölbe geneigte Stichkappe und E der Kranz, welcher das Widerlager für das Gewölbe der Breite

Fig. 341.



der Stichkappe entsprechend bildet; gegen denselben lehnt sich die Stichkappe. O ist das Ohr und P die Wange der Stichkappe; G_1 ist ein Verstärkungsgurt des Hauptgewölbes.

Die Leitlinie der Stichkappe ist ein Kreisbogen mit dem Halbmesser z , dessen Mittelpunkt in der wagrechten Ebene HH und der lothrechten Ebene V liegt. Derselbe ist in der Hilfsfigur K mit dem Halbmesser $m_3 a_3 = z$ geschlagen. Die Rückenlinie ist der mit dem Halbmesser $m_3 b_3 = y$ beschriebene, durch b_3 gehende concentrische Kreisbogen. Die Neigung der Cylinderaxe der Stichkappe ist durch die dieser Axe parallele Erzeugende h, i , gegeben.

Setzt man im Schnitte AB , nachdem b, a , parallel zu h, i , bis zur Rückenlinie des Gewölbes gezogen ist, die obere Stärke a, t , des Kranzes so fest, daß die untere in der Wölbfläche liegende Stärke

deffelden etwa 1 Stein, bei kleineren Gewölben $\frac{1}{2}$ Stein beträgt, oder umgekehrt, das bei stark nach unten gerichteter Stiehkappe $a,, t,,$ selbst gleich diesen Abmessungen genommen wird, so ist durch die von $t,,$ nach M geführte Gerade und durch die Linien $t'' a''$ und $a'' i''$, so wie ein Stück der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes, gleich der unteren Stärke des Kranzes, begrenzte Figur der in der lothrechten Ebene AB liegende Querschnitt des Kranzes.

Legt man durch t'' eine Erzeugende $t'' s''$ parallel zu der Cylinderaxe, bezw. zu $h,, i,,$, so gehört dieselbe einem ideellen Cylinder an, dessen Leitlinie der um m_3 in der Hilfsfigur beschriebene Kreisbogen mit dem Halbmesser $m_3 s_3$ ist, wobei s_3 hier so hoch über HH liegt, wie die Lage von $s,,$ im Schnitte AB über HH ergeben hat.

Sind fomit für die Stiehkappe und für den Kranz die nöthigen Cylinderflächen bestimmt, so lassen sich mit Hilfe der darstellenden Geometrie auf leichte Weise auf dem aus der Zeichnung ersichtlichen Wege die sämmtlichen Begrenzungslinien des Kranzes, welche als Durchschnittslinien der einzelnen cylindrischen Flächen mit den unteren und oberen Flächen des Tonnengewölbes auftreten, in den drei hier gewählten Projectionen bestimmen. Die von $p,$ und $i,$ auslaufenden Curven gehören der inneren Wölbfläche, die von $q,$ und $n,$ fortziehenden Begrenzungslinien gehören der Rückenfläche des Hauptgewölbes an.

Eben so läßt sich mittels der Projection der Erzeugenden, welche durch $f,,$ bezw. f_3 und $c,,$ bezw. c_3 gelegt sind, eine Fuge $d, e,$ des Kranzes und danach die in der Figur für $d, e,$ angedeutete Fugenfläche bestimmen, wobei nur zu beachten, daß in der Hilfsfigur d_3 auf der durch n_3 gehenden Durchdringungslinie der Rückenlinie der Stiehkappe und der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegt, während e_3 der Durchschnittspunkt der durch f_3 , bezw. $f,,$ gehenden Erzeugenden mit der inneren Wölblinie ist und sich auf der durch $i,$ laufenden Kranzlinie befindet. Die Lagerfugen des Kranzes gehören lothrechten Ebenen an, deren Spuren in der Hilfsfigur als $m_3 r_3$ und $m_3 c_3$ gezeichnet sind.

Der Kranz an sich wird aus Backstein unter Wahrung der so bestimmten Lagerfugen auf Verband gemauert und gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe, wobei auf der Schalung die inneren durch p_1 und i_1 gehenden Durchdringungslinien vorgezeichnet sind, ausgeführt. Die Wangen für die Stiehkappen und danach die Stiehkappen selbst können nach Vollendung des Hauptgewölbes oder gleichzeitig mit demselben hergerichtet werden.

Für die Stiehkappen wird in den meisten Fällen eine Verschalung, welche sich unmittelbar auf die Schalung des Hauptgewölbes legt und die an ihrer Schmieglinie der inneren Durchdringungslinie p_1 folgt, angebracht. Bei untergeordneten Anlagen wird statt solcher Schalung für die Laibungsfläche der Stiehkappe auch hin und wieder ein oben entsprechend abgeformter, zwischen den aufgeführten Wangen liegender Erdhügel, aus thonigem Sande bestehend, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht und dieser als Lehre für die Stiehkappe benutzt.

Bei den kegelförmigen Stiehkappen sind gleichfalls zuerst die Durchschnittslinien der Laibungs-, bezw. Rückenflächen des Hauptgewölbes mit den entsprechenden Kegelflächen der Stiehkappe zu ermitteln.

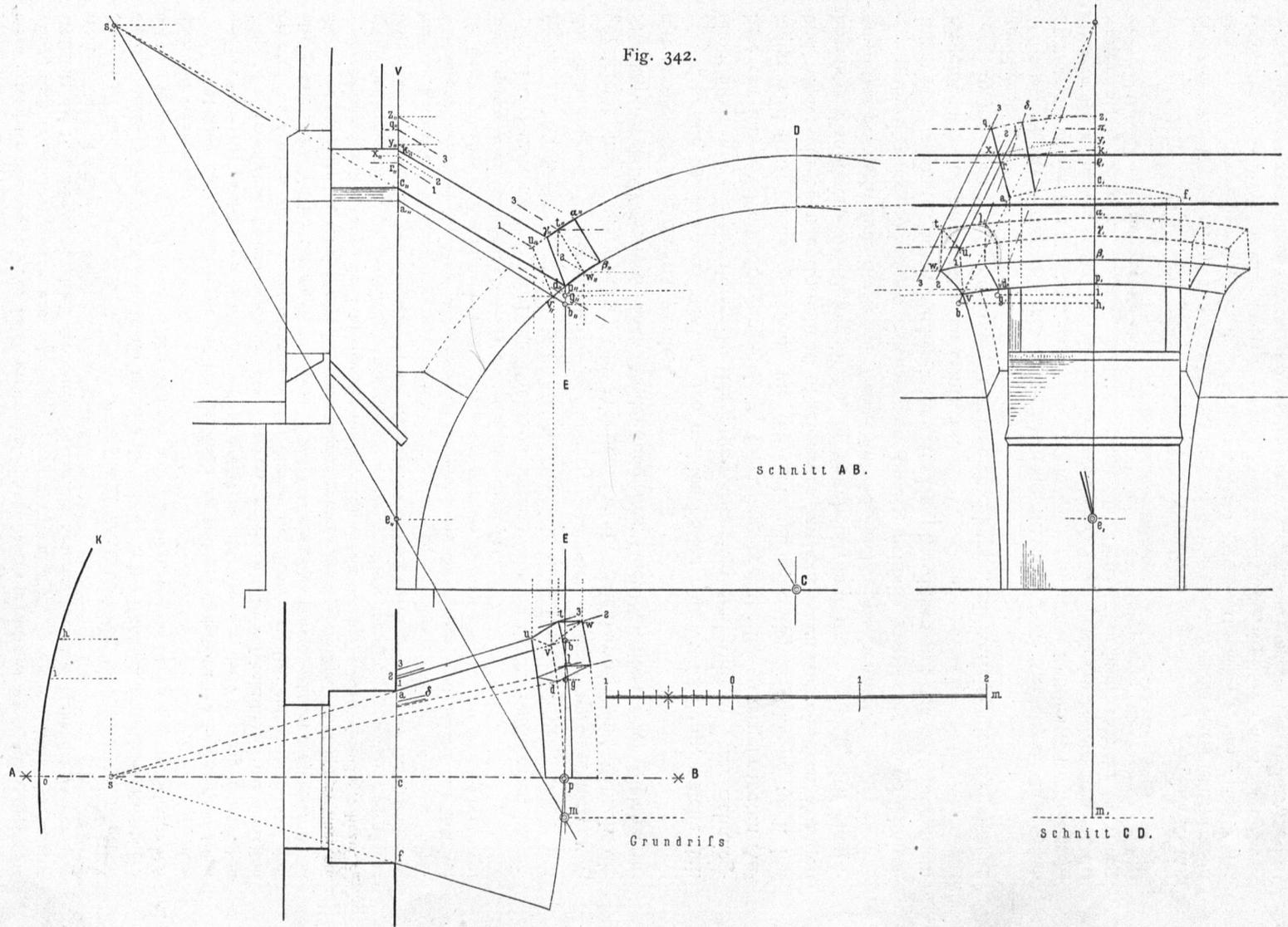
166.
Kegelförmige
Stiehkappen.

In Fig. 342 ist die Zeichnung für eine Stiehkappe mit ansteigender Kegelfläche gegeben.

Die Axe der inneren Kegelfläche ist im lothrechten Schnitte AB die Gerade $s,, m$. Ihre Grundriß-Projection ist $s p$; ihre Projection im Schnitte CD ist $s,, m$. Das weitere Festlegen dieser Kegelfläche ist durch die Bestimmung erfolgt, daß die höchste Seitenlinie derselben durch den höchsten Punkt $e,$ des inneren Laibungsbogens $a, c, f,$ der Fensteröffnung gehen soll. Dieser Bogen besitzt nach der Darstellung im Schnitte CD den auf der Kegelaxe gelegenen Punkt $e,$ als Mittelpunkt; die Projection dieses Punktes in der Ebene V des Schnittes AB ist $e,,$.

Betrachtet man diesen Bogen $a, c, f,$ als Theil eines in der lothrechten Ebene V gelegenen Kreises, so erseht man, daß die für die Laibungsfläche der Stiehkappe benutzte Kegelfläche einem schiefen Kegel angehört, bei welchem die Axe $s,, m$ mit der in der Ebene V enthaltenen Geraden $V e,,$ den Winkel $V e,, s,,$ einschließt. Jede parallel mit der Ebene V geführte Ebene schneidet die Kegelfläche nach einem Kreise. Die höchste Erzeugende ist im Schnitte AB als die Gerade $s,, c,, p,,$ eingetragen. Der Punkt $p,,$ gehört der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes an, ist also ein gemeinschaftlicher Punkt des Hauptgewölbes und der inneren Laibungsfläche der Stiehkappe.

Fig. 342.



Eine durch ρ , geführte lothrechte Ebene E liefert als Kegelschnitt einen Kreis mit dem Halbmesser $m\rho$. Ein Stück dieses Kreises ist im Grundriss AB als Bogen K niedergelegt. Der Mittelpunkt desselben ist die wagrechte Projection des Punktes m , also der Punkt ρ , und hiernach ist $\rho o = \rho, m$ zu nehmen. Die für die Stichkappe in Frage kommende tiefste Seitenlinie des Kegels ist als Strahl $s b$ im Grundriss gekennzeichnet. Derselbe muß durch den tiefsten Punkt a , der Bogenlinie a, c, f , der Fensteröffnung, gehen. Da der Punkt a im Grundriss diesem tiefsten Punkte a , zukommt, so ist die Lage der bezeichneten tiefsten Erzeugenden in ihrem Beginne durch $s a$ bestimmt. Diese Erzeugende trifft, gehörig erweitert, den in der Ebene EE gelegenen Kegelschnitt im Punkte b . Die Ordinate dieses Punktes ist mit Hilfe des Kreises K als $b h$ auszumessen. Trägt man diese Länge $b h$ von m als $m b$, in der Lothrechten EE ab, so ist s, b , die Aufriss-Projection der gefuchten Erzeugenden. Dieselbe durchstößt die Laibungsfläche des Tonnengewölbes in einem Punkte, dessen Projectionen v , und v auf den entsprechenden Kegelerzeugenden, deren Projectionen in s, b , und $s b$ sind, nunmehr leicht gefunden werden können. Durch v, ρ , und $v \rho$ zieht die innere tiefste Durchdringungslinie der Kegelfläche der Stichkappe mit der cylindrischen Fläche des Hauptgewölbes.

Um noch irgend einen Punkt dieser Durchdringungslinie in seinen Projectionen zu erhalten, ist im Grundriss die beliebig genommene Kegelerzeugende sg gezogen, die Ordinate $g i$ des Endpunktes dieser Seitenlinie im Kreise K von m nach g , im Schnitte AB abgetragen und die Gerade s, g , geführt. Dieselbe liefert den Durchstoßpunkt d , im Aufriss, wonach d im Grundriss auf sg und d , im Schnitte CD bestimmt werden kann.

Die Rückenfläche der Stichkappe gehört gleichfalls einem schiefen Kegel an, dessen Axe mit der Axe des Kegels der inneren Laibungsfläche zusammenfällt und dessen Leitlinie ein in der Ebene V gelegener Kreis ist, welcher dem Grundkreise des ersten Kreises concentrisch ist. Nimmt man die rechtwinkelig auf c, ρ , abzusetzende Stärke der Stichkappe als Abstand der beiden parallelen Geraden c, ρ , und k, γ , im Schnitte AB z. B. gleich 1 Steinlänge an, so ist e, k , der Halbmesser des Grundkreises für den Kegel der Rückenfläche der Stichkappe. Im Schnitte CD ist der mit dem Halbmesser $e, k, = e, k$, um e , beschriebene Bogen k, r , ein Stück dieses Grundkreises. Dasselbe ist durch eine den Punkt a , und die Kegelaxe enthaltene Ebene begrenzt, welche die Ebene V in einer Geraden schneidet, die im Punkte a , senkrecht zum Bogen a, c, f , steht. Der Punkt r , ist ein Grenzpunkt. Jede durch die beiden Kegelflächen gemeinschaftlich angehörende Axe geführte Ebene schneidet dieselben in Seitenlinien, welche vermöge der concentrischen Grundkreise und der Annahme des Parallelismus der höchsten Erzeugenden c, ρ , und k, γ , unter einander gleichfalls parallel sind.

Verbindet man im Schnitte AB die Punkte γ , und ρ , durch eine gerade Linie, nimmt man ρ, β , oder, bei stark geneigten Stichkappen, γ, α , gleich der zu wählenden Breite des Kranzes, z. B. bei Backsteingewölben je nach der größeren oder kleineren Spannweite der zusammentretenden Gewölbe zu 1, bezw. $\frac{1}{2}$ Steinlänge an, zieht man darauf β, α , bezw. α, β , senkrecht zur Wöblinie des Hauptgewölbes, so ist $\alpha, \beta, \rho, \gamma$, im Schnitte AB der lothrechte Schnitt des Kranzes.

Die Punkte β , und α , sind wiederum als Punkte weiterer Kegelflächen anzusehen, deren Axen mit der ursprünglichen Kegelaxe zusammenfallen und welche eben so bestimmt werden können, wie solches bei der Kegelfläche des Rückens der Stichkappe gezeigt ist. Zieht man β, γ , bezw. α, z , parallel zu c, ρ , so sind e, γ , bezw. e, z , die Halbmesser der zugehörigen Grundkreise. Dieselben sind, so weit die erweiterte Normale ar im Schnitte CD folches bedingt, stückweise als γ, x , bezw. z, q , gezeichnet. Nach diesen Ermittlungen läßt sich nun die Anschlußfläche des Kranzes im Hauptgewölbe näher angeben.

Die Projectionen dieser Fläche sind im Grundriss als $u v w t$, im Schnitte AB als u, v, w, t , und im Schnitte CD als u, v, w, t , dargestellt. Von diesen Eckpunkten der Fläche sind bereits v , v , früher bestimmt.

Um die Punkte u , u , u , zu erhalten, ist das Folgende zu bemerken. Nach dem Schnitte CD gehört der Punkt u , der durch b, a, r , gehenden Ebene und ferner einer durch r , gehenden Erzeugenden II an, welche, wie oben bemerkt, zur Seitenlinie s, a , des ursprünglichen Kegels der Laibungsfläche der Stichkappe parallel sein muß. Im Schnitte AB entspricht dem Punkte r , der Punkt r . Zieht man r, u , parallel zu s, a , so ist u , auf der Rückenlinie des Hauptgewölbes gefunden; führt man im Schnitte CD die Gerade II parallel zu s, a , so liegt u , entsprechend u , auf dieser Geraden. Die rechtwinkelige Entfernung des Punktes r , vom Lothe s, e , ist gleich ρ, r . Trägt man im Grundriss die Strecke $c I = \rho, r$, ab und zieht man hier wiederum II parallel zu s, a , so ist der Punkt u , entsprechend u , auf II zu finden. In gleicher Weise ist für die übrigen Punkte zu verfahren. Die Punkte t, t, t gehören den Erzeugenden $z z$ an, für welche zunächst der Punkt x , im Schnitte CD maßgebend wird. Die Punkte w, w, w kommen den Erzeugenden $z z$ zu, für welche alsdann der Punkt q , im Schnitte CD grundlegend wird. Da alle Punkte der zu bestimmenden Fläche in der durch die Kegelaxe gehenden

Ebene, welche die Gerade a, r , enthält, liegen müssen, so sind die Erzeugenden 22 , bezw. 33 parallel den zugehörigen Seitenlinien s, a , bezw. s, a , bezw. s, a .

Für eine beliebige Lagerfugenfläche, welche im Schnitte CD durch d, l , bezeichnet ist, gilt dieselbe Art der Bestimmung.

Führt man im Schnitte CD eine beliebige der Ebene a, q , benachbarte Ebene durch die Kegellaxe, so zieht durch den betreffenden Schnittpunkt dieser Ebene mit dem Kreisbogen a, c, f , eine Erzeugende s, g , zu welcher dann alle übrigen Erzeugenden, die für die Eckpunkte der Lagerfugenfläche in Betracht gezogen werden müssen, parallel zu legen sind. Für den Punkt l , ist also die Erzeugende 2_1 parallel zur Geraden s, g . Für die übrigen Punkte der Lagerfugenfläche ist die Zeichnung nicht weiter durchgeführt, da das Nöthige bei der Ansatzfläche des Kranzes mitgetheilt ist.

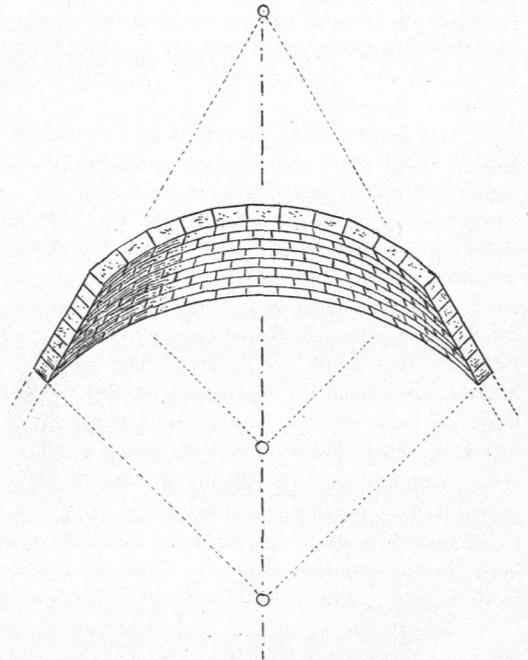
Die kegelförmigen Stichkappen sind vermöge ihrer Verbreiterung nach dem Hauptgewölbe zu für die Beleuchtung der mit solchen Decken versehenen Räume durch Tageslicht günstig. Ihre Einwölbung erfolgt bei Backsteingewölben zweckmässig auf Schwalbenschwanz oder nach dem sog. *Moller'schen* Verbande (Fig. 343), wobei die Lagerfugen in Ebenen parallel zur Stirn der Stichkappe liegen, weil bei der Einwölbung auf Kuf durch das Divergiren der Lagerfugenflächen in den meisten Fällen ein zu starkes Verhauen der Backsteine durch das Zufpitzen der Wölbsteine vom Kranze nach der Fensteröffnung hin eintreten müsste.

167.
Kugel-
Stichkappen.

Bei den Kugel-Stichkappen gehört die Laibungsfläche einem bestimmten Theile einer Kugelfläche an. Fig. 344 giebt die Anlage einer Kugel-Stichkappe an der Schildmauer eines Tonnengewölbes mit dem zugehörigen Kranze im Grundriss, Aufriss und in einem Meridionalschnitte MM . Die Ansatz- oder Widerlagsflächen des Kranzes müssen an den Stirnmauern liegen. Dasselbe gilt auch für solche cylindrische oder kegelförmige Stichkappen. Würde bei diesen Anlagen der Kranz fein Widerlager im Hauptgewölbe entfernt von der Schildmauer erhalten, so wären mehrere Schichten desselben ohne Widerlager; auch könnten die verbleibenden Seitenöffnungen der Stichkappe nicht durch Wangenmauern, welche auf den widerlagslosen Schichten ruhen müssten, geschlossen werden. Unschön und nicht empfehlenswerth ist ferner ein allmähliches Emporziehen der Wölbsteine nach der Abschlusslinie einer in der Stirnmauer befindlichen Licht- oder Thüröffnung.

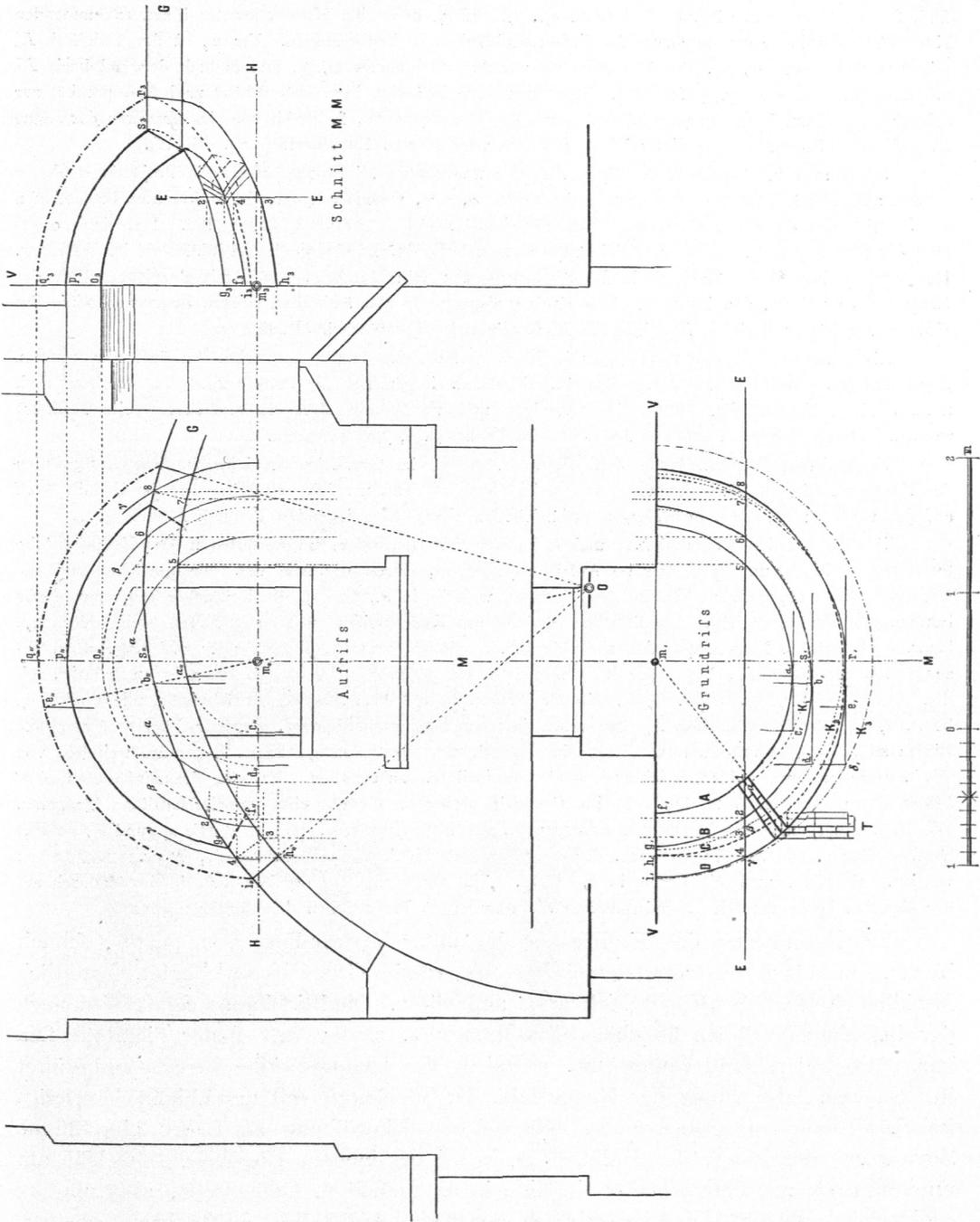
Bei der in Fig. 344 gegebenen Kugel-Stichkappe ist in erster Linie die Bestimmung des Kranzes von Bedeutung. Der Mittelpunkt der Kugel liegt in der Ebene der Stirnmauer. Die Kugelfläche der Stichkappe besitzt in ihrem größten Kreise den durch o , im Aufriss geführten Abschlussbogen einer Maueröffnung, dessen Mittelpunkt m , gleichzeitig die lothrechte Projection des Mittelpunktes der Kugel ist. Diesem entsprechen die Punkte m , bezw. m_3 im Grundriss und im Schnitte MM . Die durch m, m_3 gelegte wagrechte Ebene HH enthält ebenfalls den größten Kreis der Kugel. Erweitert man den durch o , gehenden Kreisbogen, so schneidet derselbe die innere Wölblinie des Hauptgewölbes im Punkte f ,. Die wagrechte Projection dieses Durchstoßpunktes ist f , und die lothrechte Projection desselben im Schnitte MM ist f_3 .

Fig. 343.



Nimmt man im Aufrifs o, p, q gleich der Stärke der Kugel-Stichkappe, so ist diese in der Meridianebene VV gelegen, bezeichnet also die normale Stärke dieser Kappe. Der mit m, p, q und m, q gefchlagene Kreis trifft die Rückenlinie des Hauptgewölbes in g, q , wonach weiter g, q im Grundrifs und g_3, q_3 im

Fig. 344.



Schnitte MM bestimmt werden können. Ausserdem ergeben die geraden Linien f, g, f, g, f, g eine Begrenzungslinie vom Ansatz des Kranzes.

Setzt man im Aufrifs g, i oder f, h als Stärke des Kranzes fest und zieht man i, h normal zur Wöblinie, hier also radial durch O , so ergibt sich in f, g, i, h die lothrechte Projection der An-

fatzfläche des Kranzes. Die Projectionen derselben im Grundriss und im Schnitt MM sind danach leicht zu ermitteln.

In ganz gleicher Weise ist die zweite Ansatzfläche bei G zu zeichnen.

Um für die Kranzlinie weitere Punkte, welche in Fig. 344 durchweg mit $r, 2, 3, 4$ bezeichnet sind, fest zu legen, sind die für die Punkte $o,, p,,$ und $q,,$ geltenden Halbmesser der ihnen zukommenden Kugelflächen benutzt, um im Grundriss diese Kugelflächen zu kennzeichnen. Um $m,$ ist der Halbkreis K_1 mit dem Halbmesser $m,, o,,$, der Halbkreis K_2 mit dem Halbmesser $m,, p,,$ und endlich der Halbkreis K_3 mit dem Halbmesser $m,, q,,$ geschlagen. Führt man eine beliebige lothrechte Ebene nach EE parallel zur Stirnebene VV durch die Kugel-Stichkappe und das Hauptgewölbe, so erhält man im Grundriss der Reihe nach die Schnittpunkte $\alpha\beta\gamma$ dieser Ebene mit den angegebenen Kugelnreisen K_1, K_2, K_3 .

Sucht man im Aufriss in der Spur HH der wagrechten Mittelpunktsebene die Projectionen dieser Punkte auf, so gehen durch diese Punkte die Kreise α, β, γ , welche offenbar die lothrechten Projectionen der Schnittlinien der einzelnen Kugelflächen mit der durch EE geführten Ebene sind. Der Kreis α gehört der Laibungsfläche der Kugel-Stichkappe an; derselbe durchstößt die innere Wölblinie im Punkte 1 . Der Kreis β kommt der Rückenlinie der Stichkappe zu; sein Durchstoßpunkt mit der Rückenlinie des Hauptgewölbes liefert den Punkt 2 . Der Kreis γ dagegen ist der äußersten oberen Begrenzungslinie des Kranzes angehörig; derselbe schneidet die Rückenlinie des Gewölbes im Punkte 4 .

Zieht man endlich den Strahl $4O$, so liefert derselbe den Punkt 3 , welcher der äußersten unteren Begrenzungslinie des Kranzes zuzuweisen ist. Nachdem im Aufriss die Punkte $1, 2, 3, 4$ ermittelt sind, können die entsprechenden Punkte im Grundriss und im Schnitt MM in einfacher Weise bestimmt werden. Durch dasselbe Verfahren sind auch die Punkte $5, 6, 7, 8$ gefunden.

Nach diesen Angaben lassen sich die mit $ABCD$ im Grundriss bezeichneten Begrenzungslinien des Kranzes ermitteln. Die Punkte $s,$ und $r,$ im Grundriss ergeben sich mit Hilfe der im Schnitt MM auf den um m_3 mit $m_3 p_3$, bezw. $m_3 q_3$ beschriebenen Kreisbogen liegenden Punkten s_3 und r_3 .

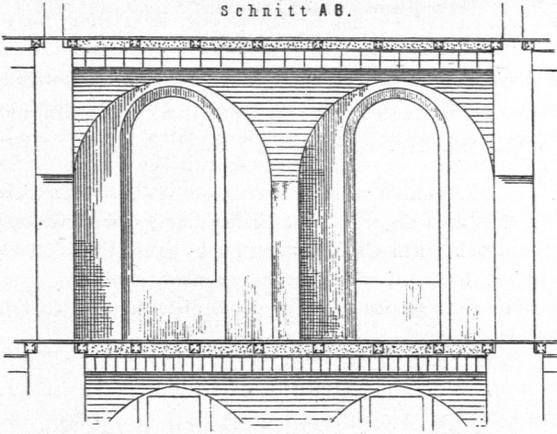
Für die auf den Kranzlinien A und B im Grundriss liegenden, am weitesten in das Hauptgewölbe tretenden Punkte $a,$ und $b,$ ist der im Aufriss angegebene, durch die Axe des Hauptgewölbes und die wagrechte Kugelaxe geführte Schnitt $Om,,$ benutzt, welcher in $a,,$ und $b,,$ die lothrechte Projection dieser betrachteten Punkte ergibt. Da dieselben zunächst auf Kugelnreisen, welche entstehen, wenn durch $a,,$ bezw. $b,,$ lothrechte Ebenen parallel zur Stirnmauer geführt werden, sodann aber auf wagrechten Erzeugenden der Wölblinie, bezw. der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegen, so hat man nur nöthig, mit den Halbmessern $m,, a,,$ bezw. $m,, b,,$ die Kreisbogen $m,, c,,$ bezw. $m,, d,,$ zu schlagen, die Punkte $c,$ bezw. $d,$ auf den Kugelnreisen $K,,$ bezw. $K,,$ im Grundriss zu bestimmen, durch $c,$ bezw. $d,$ parallele Linien zu VV zu führen, um auf diesen die wagrechten Projectionen $a,,$ bezw. $b,$ der am weitesten von VV entfernten Punkte der bezeichneten beiden Kranzlinien zu erhalten. Für die Kranzlinien D und C bildet die parallel zu VV durch δ_1 im Grundriss gezogene Gerade eine gemeinschaftliche Tangente. Die Berührungspunkte liegen auf den Erzeugenden des Hauptgewölbes, welche durch $a,,$ und $b,,$ geführt werden können, und auf Kugelnreisen, deren Projectionen im Aufriss sich mit $b,, d,,$ bezw. $a,, c,,$ decken würden. Erweitert man die Lothe in $a,,$ bezw. $b,$ im Grundriss, so ergeben sich in den dadurch auf der Geraden δ_1 entstehenden Schnittpunkten die wagrechten Projectionen der Berührungspunkte.

Die Ausführung des Kranzes erfolgt unter Verwendung von gutem, schnell bindendem Mörtel mit Lagerfugenflächen, die, wie im Grundriss angedeutet, sämmtlich Meridianschnitten der Kugel-Stichkappe angehören. Die Stichkappe selbst wird nach der bei Kugelgewölben üblichen Einwölbungsart, wovon erst später die Rede sein kann, aus freier Hand eingewölbt, nachdem das Hauptgewölbe bereits ausgerüstet ist. Da eine Ausschalung der Kugelfläche der Stichkappe mit unnöthigen Schwierigkeiten verknüpft ist, so benutzt man bei der Einwölbung als Lehre eine dünne Stange von der Länge des Halbmessers $m,, o,,$ der inneren Kugelfläche, welche am unteren Ende mit einem Haken in eine in $m,,$ befestigte Oese greift, also um $m,,$ drehbar ist und nun den Ringschichten der Kugel-Stichkappe entsprechend als fog. Leier umhergeführt werden kann, so das mit Leichtigkeit durch das obere Ende der Leier die richtige Stellung und Anordnung der Lager- und Stofsugen für die Wölbsteine der Stichkappe zu treffen ist.

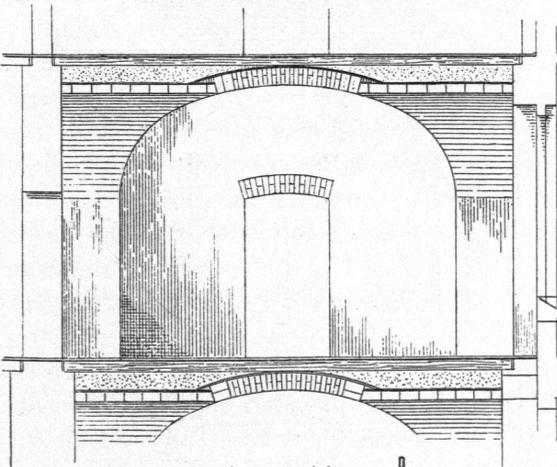
Soll die Kugel-Stichkappe gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe ausgeführt werden,

Fig. 345.

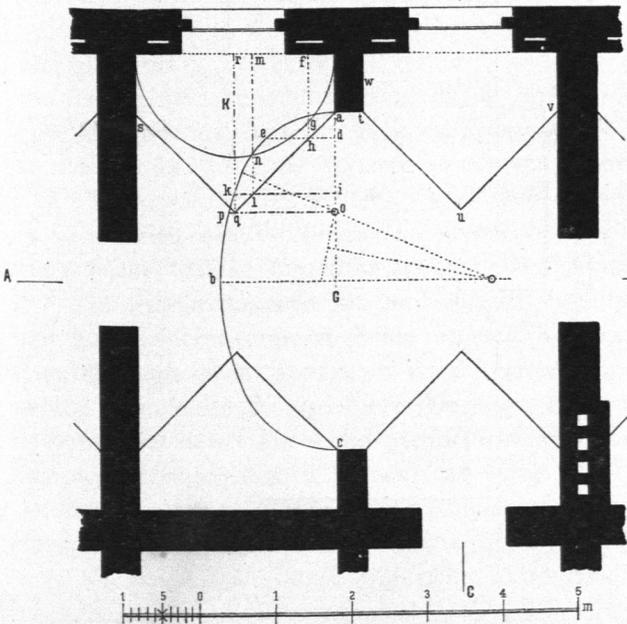
Schnitt AB.



Schnitt CD.



Grundriss



so gebraucht man als Lehre für die Stichkappe einen aus lehmigem Sand entsprechend geformten, auf der Schalung des Hauptgewölbes ruhenden Kern, auf welchem die Wölbsteine der Stichkappe in concentrisch lagernden Ringfichten mit radialen Lager- und Stofsugen vermauert werden.

Die Anordnung von Stichkappen bei Tonnengewölben bietet im Hochbauwesen, abgesehen von der dadurch bewirkten fachgemässen Anlage von Licht- und Thüröffnungen, mannigfache Vortheile. So ist durch dieselben eine Auflöfung der Widerlager in einzelne kräftigere Pfeiler mit dazwischen liegenden Nischen oder Blenden und hiermit eine bedeutende Verminderung der sonst für ein grösseres Tonnengewölbe erforderlichen, oft sehr starken Widerlagsmassen möglich. Eine solche Auflöfung der Widerlager in Pfeiler und Blenden zeigt Fig. 345 für ein Tonnengewölbe, dessen Wölblinie ein aus drei Mittelpunkten beschriebener Korbogen *abc* ist.

Das eigentliche Widerlager dieses Gewölbes sind die bei *a* und *c* verhältnissmässig schmal, aber entsprechend stark angelegten Pfeiler. Zwischen diesen und den Querscheidemauern, welche übrigens auch als eben solche Pfeiler angelegt werden können, befinden sich die Blenden. Diese sind mit geraden Stichkappen überwölbt, welche sich unmittelbar in das Hauptgewölbe einfügen.

In der Zeichnung sind die unteren Durchdringungslinien in ihrer

168.
Auflöfung
der
Widerlager
in Pfeiler
und
Blenden.

wagrechten Projection von vornherein als gerade Linien fest gelegt, welche im Punkte q auf der Axe der Stichkappen unter einem rechten Winkel zusammentreten und an den Ecken der Pfeiler, so wie an den Scheidemauern endigen.

Durch diese bestimmte Annahme wird die Wölblinie der Stichkappen von der Wölblinie des Tonnengewölbes abhängig gemacht, wie bereits in Art. 133 (S. 161) erwähnt wurde. Die Wöblungslinie der Stichkappe K ergibt sich in einfacher Weise durch das Festlegen von wagrechten Erzeugenden beider Gewölbe, welche in gleicher Höhe über der Kämpferebene in einem gemeinschaftlichen Punkte der Durchdringungslinie über den Geraden aq , bezw. qs zusammentreten. Die Erzeugende de des Hauptgewölbes ergibt auf aq den Punkt h ; durch diesen Punkt zieht auch die zugehörige Erzeugende hf der Stichkappe K .

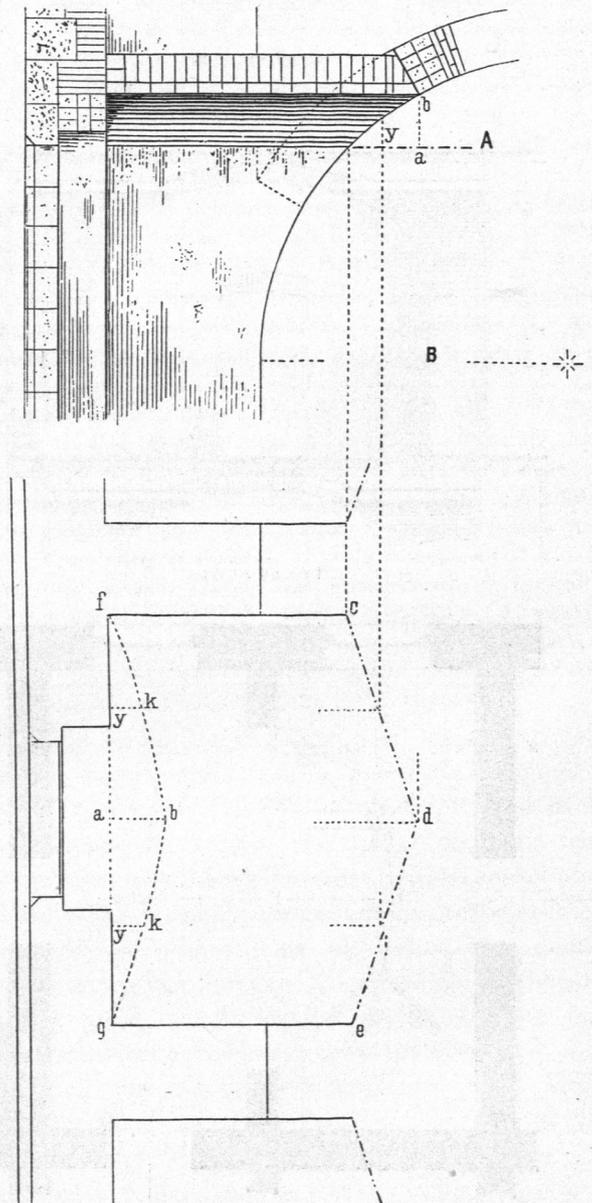
Nimmt man $de = fg$, so ist aus leicht ersichtlichen Gründen der Punkt g ein Punkt der Wölblinie der Stichkappe K . In gleicher Weise ist der Punkt n , wobei $mn = ik$ wird, ermittelt.

Die so gezeichnete Wölblinie nähert sich im vorliegenden Falle, obgleich dieselbe aus zwei Elliptentheilen zusammengesetzt ist, sehr stark der Halbkreisform.

Die Art der Einwölbung ist aus den Schnitten AB und CD ersichtlich. Hätten die Stichkappen nach den vorderen Begrenzungsmauern der Blenden, die nunmehr als Schildmauern für diese Kappen auftreten und in Folge hiervon meistens nur einer mäßigen Stärke bedürfen, aufsteigen sollen, so ändert diese Anordnung nichts an der Lage der Punkte g, n u. f. f. Die Erzeugenden der Stichkappe sind dann von diesen Punkten aus nicht mehr wagrecht, sondern unter gleichen Winkeln ansteigend, dabei aber einander parallel.

Liegt die Kämpferebene A der Stichkappe höher, als die mit B bezeichnete des Hauptgewölbes (Fig. 346), und sollen dennoch die Durchdringungslinien der Laibungsflächen der beiden zusammentretenden Gewölbe in ihrer wagrechten Projection zwei gerade Linien sein, so werden der Winkel cde , unter welchem dieselben zusammenstoßen, und die Lage ihrer Ausgangspunkte c und e von der gewählten Pfeilhöhe ab der Stichkappe und der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes abhängig. Das Festlegen der Leitlinie der Stichkappe mit den beiden Zweigen fb und ge ist z. B. für irgend einen Punkt k mittels der Ordinate y aus der Zeichnung ohne Weiteres zu ersehen.

Fig. 346.



Wird zur Ausführung der Tonnengewölbe ausschließlich Bruchsteinmaterial benutzt, so ist vor allen Dingen auf ein möglichst festes, lagerhaftes, also plattenartiges Material zu sehen. Damit dasselbe den für ein Gewölbe vorgeschriebenen constructionellen Anforderungen entspricht, ist für die einzelnen Steine ein mechanisches Zurichten geboten, das sich darauf erstreckt, daß die einer und derselben Wölbchar zuzuweisenden Steine thunlichst gleiche Dicke und gleiche keilförmige Form durch die Bearbeitung bekommen, da nur hierdurch die Lagerfugenkanten nach dem Vermauern der Steine eine parallele Richtung mit der Gewölbaxe und die Mörtelbänder der Lagerfugen eine möglichst gleiche Stärke erhalten.

169.
Tonnengewölbe
aus
Bruchsteinen.

Ebenfalls sind Steine von einer Längen- und Breitenabmessung unter 20 cm, wenn nicht eine besondere, dem Gufmauerwerk ähnliche Ausführung stattfinden soll, von der Verwendung zur Gewölbemauerung auszuschließen. Die Art der Einwölbung mit Bruchsteinen hat sich hinsichtlich der Verbandanordnung der einzelnen Steine und der Wölbflächen möglichst den für Backsteingewölbe niedergelegten Regeln anzupassen. Die einzelnen Wölbsteine sollen thunlichst durch die ganze Gewölbstärke reichen, die Steine selbst normal zur Laibungsfläche des Gewölbes stehen und die Stosfugen rechtwinkelig zu den Lagerfugen gerichtet sein. Für die Verbindung der Steine ist ein guter verlängerter Cementmörtel, bezw. reiner Cementmörtel zu nehmen. Zeigen sich auf dem Rücken des Gewölbes einzelne Lücken in den Steinen oder gar stärkere Fugen, so sind dieselben sorgsam zu verzwicken; überhaupt ist dahin zu sehen, daß ein Bruchsteingewölbe in seinem Körper ein gut geschlossenes Mauerwerk zeigt, welches in seinem Gefüge sich den Backsteingewölben so weit als irgend möglich nähert.

Bruchsteingewölbe werden zweckmäßig nicht unter 30 cm Stärke ausgeführt. Bei größeren Gewölben muß natürlich die Stärke durch statische Untersuchung ermittelt werden. Hierbei kommt nun aber wesentlich die Festigkeit des zu Gebote stehenden Materials in Betracht.

Weniger feste Bruchsteine liefern ein Gewölbe, welches dieselbe Stärke, wie ein gleich geformtes und belastetes Backsteingewölbe, unter Umständen eine noch größere Stärke erfordert, während festere Bruchsteine eine Stärke erhalten können, welche der Stärke von guten Quadergewölben sich nähert. Bruchsteine, die geringere Festigkeit als gut gebrannte Backsteine besitzen, sollen zu Gewölben nicht verbraucht werden. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse kann die Stärke der Bruchsteingewölbe nach den auf S. 185 u. 186 mitgetheilten Gleichungen 142 u. 145 ermittelt werden, indem man die dadurch erhaltenen Abmessungen gleichsam als untere und obere Grenzwerte betrachtet, wobei jedoch von Fall zu Fall in Rücksicht auf die Beschaffenheit des Wölbmaterials eine Erhöhung, bezw. eine etwaige Herabminderung solcher Stärke sorgfältig erwogen werden muß.

In Frankreich und hin und wieder auch in Deutschland sind Tonnengewölbe nur aus kleineren unbearbeiteten Steinen hergerichtet, welche an den Stirnen der Gewölbe von einem aus guten Bruchsteinen oder Quadern angefertigten, kurzen Gewölbstück begrenzt sind. Die Gewölbe bestehen alsdann aus über einander gelagerten Schalen. Die erste Steinschicht wird unter Benutzung von Cementmörtel auf der Schalung des Gewölbes so gebildet, daß die möglichst ebenen Flächen der Wölbsteine auf der letzteren gut lagern. Auf diese erste noch nicht vollständig erhärtete Schale kommt die zweite u. s. f., bis das Gewölbe die erforderliche Stärke erhalten hat. Das Ganze wird dann mit einem flüssigen Cementmörtel übergossen.

Ein solches Gewölbe kann auch feiner Länge nach streckenweise in Zonen von der unteren bis zur oberen Schale ausgeführt werden.

Nach dem Erhärten dieses Baukörpers, welcher einem fog. Gufsgewölbe ähnlich ist, entspricht derselbe einem vollwandigen Bogen mehr, als einem eigentlichen Gewölbe.

170.
Tonnen-
gewölbe
aus
Quadern.

Das edle, vornehme und dauerhafte Quadermaterial ist zur Ausführung von Tonnengewölben selbstredend sehr geeignet. Seiner oft großen Kosten halber findet dasselbe im Hochbauwesen jedoch eine nur gering zu nennende Verwendung, da wesentlich nur bei Prachtbauten auf Quadergewölbe Rücksicht genommen werden dürfte.

Bei der Ausführung von Gewölben aus Quadern, auch Haufsteine, Schnittsteine, Werkstücke genannt, ist im Allgemeinen für die Verbandanordnung der Lager- und Stofsugenkanten das bei Backsteingewölben Gesagte maßgebend. Die einzelnen Quader der Wölbcharen greifen durch die ganze Gewölbstärke. Nichts steht einer reicheren Ausschmückung der in der Laibung des Gewölbes auftretenden unteren Flächen der Wölbquader durch Ornamente, Caffettirung u. f. w. entgegen, und bei sorgfamer, einem gut und regelrecht gewählten Fugenschnitte entsprechender Bearbeitung der einzelnen Steine erscheint ein Quadergewölbe als eine beachtenswerthe Construction.

Beim Veretzen der Quader auf der Schalung des Gewölbes bedient man sich derselben Werkzeuge und Hilfsmittel, welche beim Quadermauerwerk überhaupt Verwendung finden. Eine Eintheilung der Schichten und ein Vorzeichnen der Lager- und Stofsugenkanten auf der Schalung der Lehrbogen bietet für das richtige Veretzen der Quader den nöthigen Anhalt. Für die Mörtelgabe bei Quadergewölben ist bereits in Art. 150 (S. 218) das Nähere angegeben.

171.
Schnecken-
gewölbe.

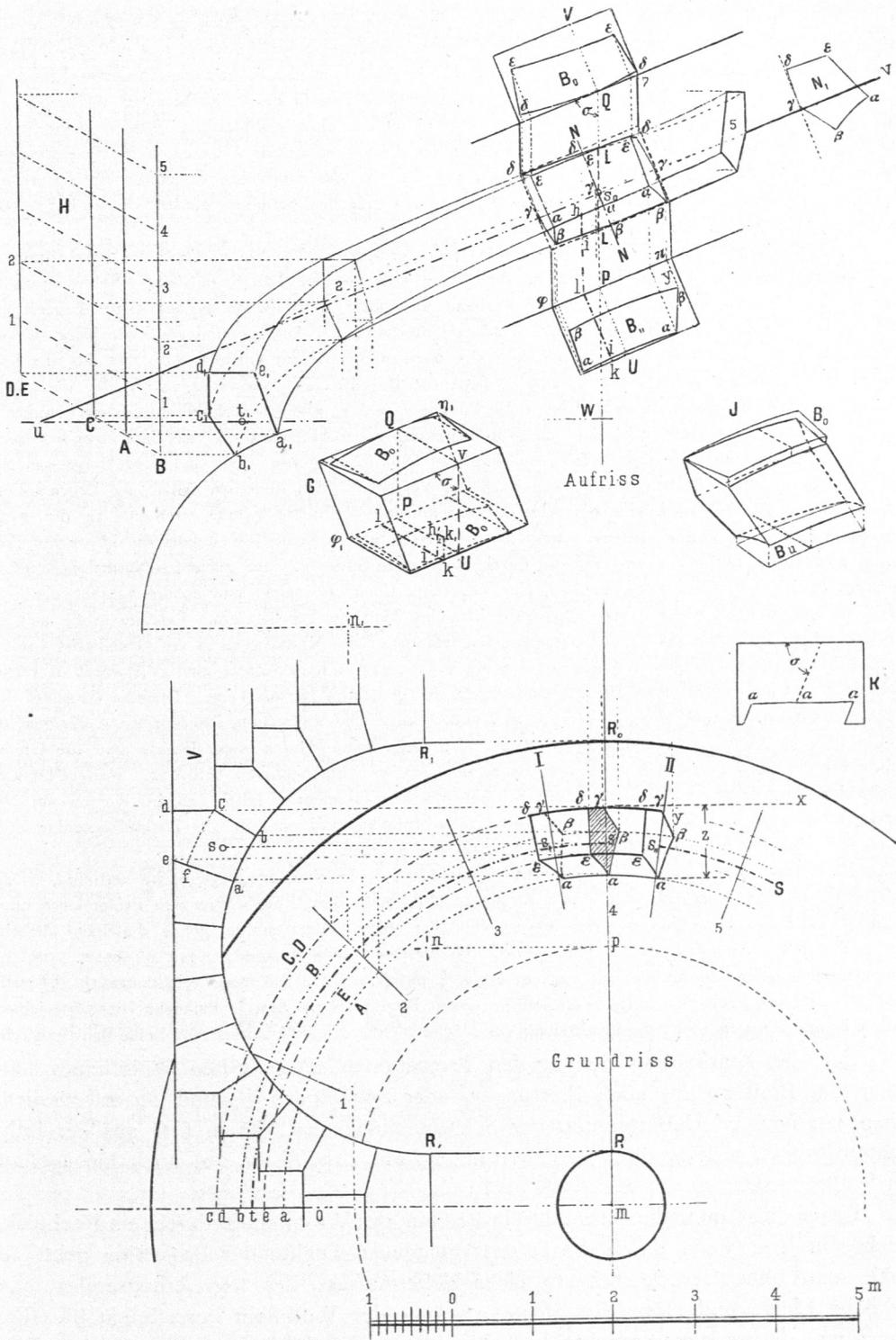
Gestaltet sich der Fugenschnitt bei einem geraden Quader-Tonnengewölbe im Allgemeinen in einfacher Weise, so sind doch für die in Art. 131 (S. 160) bereits erwähnten, schraubenförmig steigenden Tonnengewölbe oder Schneckengewölbe und für die in Art. 134 (S. 164) angeführten schiefen Gewölbe hinsichtlich des Steinfugenschnittes und der Formen der als Wölbsteine zu bearbeitenden Werkstücke besondere Ausmittlungen erforderlich, welche zur Bestimmung der Brettungen oder Schablonen dienen, wonach die Zurichtung der Steine vorgenommen werden muß.

Unter Bezugnahme auf Fig. 274 (S. 161), in welcher die Anordnung der Lager- und Stofsugenkanten der Wölbsteine für ein Schneckengewölbe nur angedeutet wurde, ist in Fig. 347 die Ausmittlung eines Werkstückes für ein derartig schraubenförmig ansteigendes Gewölbe vorgenommen.

Die Erzeugende des Schneckengewölbes sei der in der lothrechten, durch den Mittelpunkt m der vollen Spindel (Mönch, Mäkler) geführten Ebene RR_0 gelegene, hier im Grundriß niedergeklappte Halbkreis R, R , mit dem Mittelpunkte n . Die wagrechte Projection der als Schraubenlinie auftretenden Gewölbeaxe ist der um m mit dem Halbmesser mp beschriebene Kreis, während die wagrechten Projectionen der schraubenförmigen Kämpferlinien die mit den Halbmessern mR_0 , bezw. mR beschriebenen Kreise sind. Unter Berücksichtigung der Steigung, welche der Schraubenlinie der Gewölbeaxe gegeben werden soll, liegen für jede durch m tretende lothrechte Ebene die Punkte R, n, R , in einer wagrechten Linie.

Bestimmt man im lothrechten Mittelpunktschnitte V die Gewölbetheilung, so möge $abcde$ die lothrechte Stirnfläche irgend eines Wölbsteines sein. Betrachtet man den Punkt s_0 , welcher hier der Schwerpunkt des Flächenstückes $abcf$ ist, als einen Punkt der schraubenförmigen Axe desjenigen Wölbkörpers, dem die sämtlichen Steine mit gleichen lothrechten Stirnschnitten angehören, so ist die wagrechte Projection der Axe dieser Wölbchar der um m beschriebene Kreis Sst . Mit Hilfe der Projection der

Fig. 347.



Fläche $abcde$, bezogen auf die Ebene RR_0 , kann die gefamnte wagrechte Projection der bezeichneten Wölbchar vervollständiget werden, wie folches durch die um m beschriebenen Kreife A, B, C, D, E gesehen ist.

Theilt man die Axe tS der Wölbchar in eine beliebige Anzahl gleich großer Theile ein und führt man durch die entsprechenden Theilpunkte lothrechte Mittelpunktschnitte o, r, z u. f. f., bestimmt man der Steigung der Schraubenlinie der Gewölbaxe p gemäß in der lothrechten Projection die Lage a, b, c, d, e, f , des in der Ebene O befindlichen Stirnschnittes der in Frage kommenden Wölbchar, so läßt sich mit Verwendung des im Plane K für die einzelnen Schraubenlinien a, b , bis e , angegebenen Steigungsmasses, wobei z. B. $B1 = 12 = 23$ u. f. f. für die Schraubenlinie b , eben so für die Schraubenlinien d , und e , die Strecke $D1 = B1, 12 = 12$ u. f. f. ist, die lothrechte Projection des schraubenförmigen Körpers der Gewölbchar fest legen. Die Lagerfugenflächen derselben werden von den Schraubenlinien a, e , bezw. b, c , bezw. c, d , begrenzt.

Die Stofs-fugenflächen sind in folgender Weise zu ermitteln. Für die vortheilhafte Bearbeitung ist die Theilung jeder Wölbchar für sich in Wölbsteine von gleicher Länge rathsam. Neben einander liegende Wölbcharen müssen natürlich auf Verband mit Mitte Stofs-fugenfläche auf Mitte Lagerfugenfläche geordnet werden, so dafs, diesem Verbande entsprechend, am Anfange und am Ende jeder zweiten Wechselfchar ein Stein von der halben Länge der übrigen Scharsteine entsteht. Ist nun für die hier genommene Wölbchar S die durch s , und s_1 , gegebene Bogenstrecke, wobei $ss_1 = ss_1$, ist, die Länge der Axe eines Wölbsteines, so gehen durch die Punkte s , und s_1 , die lothrechten Mittelpunktschnitte I und II , welche, nach rechts und links unter Beibehaltung ihres Abstandes s, s_1 , auf dem Kreife S übertragen, die allgemeine Lage der Stofs-fugenflächen der Wölbchar geben. Die besondere Lage und Begrenzung der Stofs-fugenflächen richtet sich nach der Vorschrift, dafs dieselben in Ebenen liegen sollen, welche normal zur Schraubenlinie der Axe der zugehörigen Wölbchar geführt werden. In der wagrechten Projection ist s der mittlere Axenpunkt des Wölbsteines; demselben gehört die lothrechte Projection s_0 auf dem Lothe LL an. Um die durch s_0 gehende Spur NN der gesuchten Normalebene einer Stofs-fugenfläche zu finden, möge durch t , eine wagrechte Ebene W gelegt und an die Schraubenlinie in dem Elemente, welches durch s und s_0 projicirt ist, eine Tangente geführt sein. Letztere erhält man in der lothrechten Projection, wenn die erstreckte Bogenlänge st des Kreisbogens S des Grundrisses von W nach u im Aufrifs abgetragen und nun die Gerade us_0v gezogen wird. Zieht man NN durch s_0 rechtwinkelig zu uv , so erhält man die lothrechte Spur der gesuchten Normalebene. Dieselbe schneidet die Schraubenlinien a , in α , b , in β , c , in γ , d , in δ und e , in ϵ . Die wagrechten Projectionen dieser Schnittpunkte sind im Grundrifs gleichfalls mit $\alpha, \beta \dots \epsilon$ bezeichnet. Durch diese Punkte sind die Grenzpunkte für die Stofs-fugenflächen auf den einzelnen zugehörigen Schraubenlinien bestimmt. Weitere Punkte, welche der Normalebene und den einzelnen Schraubenflächen zukommen, lassen sich mit einigen auf den einzelnen Schraubenflächen eingezeichneten Hilfs-Schraubenlinien ermitteln, da die Durchstofs-punkte derselben mit NN sich dann eben so, wie jene Grenzpunkte ergeben.

Ist hiernach im Grundrifs die wagrechte Projection $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon$ einer Stofs-fugenfläche bestimmt, so ist dieselbe für die Mittelpunktschnitte I und II nur zu übertragen, weil die wagrechten Projectionen aller normal zu der Schraubenlinie der Axe einer Wölbchar gerichteten Schnitte genau dieselben bleiben. Denkt man sich RR_0 auf I , bezw. II so gelegt, dafs dieselben, sich deckend, s mit s_1 , bezw. s mit s_1 , zusammenfallen lassen, so decken sich auch α mit α , β mit β u. f. f., und man erhält danach die vollständige wagrechte Projection eines Wölbsteines, dessen Projection im Aufrifs nunmehr leicht gezeichnet werden kann. Eben so bietet die Ermittlung der Fläche N_1 des Normalschnittes NN keine Schwierigkeit.

Für die Bearbeitung des in den Projectionen dargestellten Wölbsteines sind aufser der Brettung N_1 noch Brettungen oder Schablonen B_o und B_u erforderlich, denen zur leichten Uebertragung der Schraubenlinien $\alpha\alpha, \beta\beta$ u. f. f. aus der lothrechten Projection des Wölbsteines Brettungen, wie z. B. K für $\alpha\alpha$, noch hinzugefügt werden können.

Umschließt man die lothrechte Projection des Wölbsteines durch ein Rechteck, welches in jeder Seite durch die äußerst gelegenen Punkte der Projection geht, so erhält man ohne Berücksichtigung eines Uebermasses, des fog. Arbeitszolles, die wirkliche Länge und Höhe des Steines, woraus der Wölbstein herzustellen ist. Begrenzt man ferner die wagrechte Projection dieses Wölbsteines durch zwei parallele Linien, welche, rechtwinkelig zu R_oR geführt, durch die äußersten Punkte dieser

Projection ziehen, so erhält man im Abstände Z derselben die wirkliche Breite des Werkstückes.

Hätte man die Abmessungen unter Beifügung eines Arbeitszollens entsprechend vergrößert, so würde im Grundgedanken an der Ausmittlung der Schablonen nichts geändert werden. Denkt man sich die für die Brettung B_u maßgebende Seitenfläche U niedergeklappt, so bestimmt sich der Punkt β derselben in folgender Weise. Man ziehe die Lothrechte $\beta\pi$, errichte in π zur Linie P die Senkrechte $\pi\beta$, entnehme aus dem Grundriß die Ordinate y der wagrechten Projection β und trage $\pi\beta = y$ ab; alsdann ist β auf der Ebene U ein Punkt der Brettung B_u . In derselben Weise wird nicht allein für B_u , sondern auch für B_0 , wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, die erforderliche Zahl von Punkten für die Brettungen aus den bekannten Projectionen der oberen und unteren Flächen des Wölbsteines ermittelt. Die Brettungen sind also Projectionen auf die ebenen Seitenflächen des Werkstückes.

Für das Anlegen dieser Brettungen an die obere, bezw. untere Ebene des Werkstückes sind die Geraden QV , bezw. PU maßgebend, welche rechtwinkelig zur Linie Q , bezw. zur Linie P stehen und deren Fußpunkte Q und P auf der lothrechten Linie LL liegen. In der Darstellung G ist das Anlegen der Brettungen B_0 und B_u beim Werkstücke angegeben. Hierbei ist $Q\gamma_1 = Q\gamma$ der Schablonenfläche V und $P\varphi = P\varphi$ der Schablonenfläche U . Reißt man die Geraden VU , bezw. QP am Steine vor, so entsprechen dieselben der Lothrechten LL , welche um einen Winkel σ von den Begrenzungslinien Q , bezw. P abweicht. Dieser Winkel σ ist der sog. Schmiegewinkel.

Mit Hilfe desselben können für die Bearbeitung des Wölbsteines die nöthigen Punkte der am Steine auftretenden Schraubenlinien leicht fest gelegt werden. So ist für den Punkt h , am Steine G zunächst Pl aus der Fläche $U = Pl$ am Steine zu nehmen und lk winkelrecht zur P -Linie vorzureißen, alsdann durch k , dem Schmiegewinkel σ entsprechend, die Linie kk , parallel UV zu ziehen und endlich kk , gleich der Länge ih in der lothrechten Projection des Wölbsteines zu nehmen. Würde nun ih , gleich und parallel kk , gearbeitet, so ist h , ein Punkt der Schraubenlinie α an Wölbsteine. Dieses Uebertragen der Punkte der Schraubenlinie wird durch die vorhin schon erwähnten Brettungen K erleichtert, welche an die betreffenden ebenen Seitenflächen des Werkstückes gelegt werden können und hier das Vorreißen der Projectionen der Schraubenlinien gestatten.

Sind die einzelnen Stücke des Wölbsteines bis zu den betreffenden Schraubenlinien abgearbeitet und die Flächen für die ebenen Stofsugenflächen vermöge der zugehörigen Begrenzungslinien $\alpha\beta$, bezw. $\delta\epsilon$ hergerichtet, so sind die Schablonen N , der Stofsugenflächen anzulegen, wonach alsdann die Steinstücke oder Boffen an den Laibungs- und Rückenflächen zwischen den bereits erhaltenen Schraubenlinien sorgfältig fortgenommen werden können. Bei der Darstellung \mathcal{F} sind diese Stücke beseitigt, während oben und unten die den Brettungen B_0 und B_u entsprechenden Boffen bis zu den ihnen zukommenden Schraubenlinien noch belassen sind.

Wie später bei der Ausführung der schiefen Tonnengewölbe erörtert wird, kann entsprechend der schon aufgestellten Gleichung 128 (S. 174) für das Festlegen der Curven $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$ der Brettung B_u und eben so für die Curven $\delta\delta$ und $\epsilon\epsilon$ der Brettung B_0 je ein Kreisbogenstück mit einem bestimmten Krümmungshalbmesser genommen werden. Ist z. B. ρ_α der gefuchte Halbmesser für die Curve $\alpha\alpha$ der Brettung B_u , so wird

$$\rho_\alpha = \frac{r_\alpha}{\sin \sigma^2}.$$

Eben so wird, wenn ρ_δ der gefuchte Halbmesser für die Curve $\delta\delta$ der Brettung ist,

$$\rho_\delta = \frac{r_\delta}{\sin \sigma^2} \text{ u. f. f.}$$

In diesen Ausdrücken ist r_α gleich dem Halbmesser $m\alpha$, r_δ gleich dem Halbmesser $m\delta$ der im Grundriß fest gelegten Kreisbogen A , bezw. D , während σ den Winkel bezeichnet, welchen die untere, bezw. obere Rechteckseite des die lothrechte Projection des Wölbsteines umschließenden Rechteckes mit dem Lothe LL bildet. Diese Rechteckseiten sind in der Zeichnung parallel mit uv gelegt.

Nach den Abmessungen in der Zeichnung ist $\sin \sigma = \frac{Wu}{us_0} = \frac{6,9}{7,4}$; ferner ist

$$r_\alpha = m\alpha = 4 \text{ m} \quad \text{und} \quad r_\delta = m\delta = 4,85 \text{ m}.$$

Hiernach ist

$$\rho_\alpha = \frac{4}{\left(\frac{6,9}{7,4}\right)^2} = 4,80 \text{ m} \quad \text{und} \quad \rho_\delta = \frac{4,85}{\left(\frac{6,9}{7,4}\right)^2} = 5,58 \text{ m}.$$

Auf gleichem Wege lassen sich die Krümmungshalbmesser für $\beta\beta$ an B_u , bzw. für $\varepsilon\varepsilon$ an B_o berechnen und somit unter Benutzung der betreffenden Krümmungshalbmesser die Schablonen B_u und B_o in erleichterter Weise in natürlicher GröÙe aufzeichnen.

Für die Ausführung der Schneckengewölbe in Backstein- oder Bruchsteinmaterial ist hinsichtlich der Stellung und des Verbandes der Wölbcharen mit Sorgfalt zu verfahren.

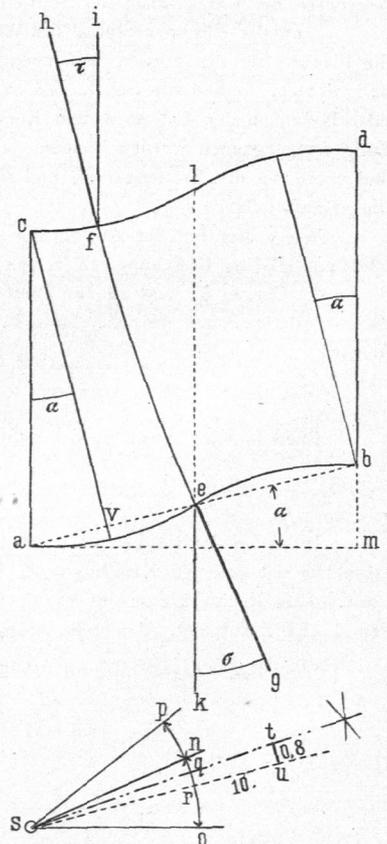
Das Aufstellen der Lehrbogen hat, der schraubenförmig aufsteigenden Gewölbaxe entsprechend, in gleichen wagrechten, nicht zu groß zu nehmenden Entfernungen der mittleren Lothlinien der Bogen so zu geschehen, daß jeder lothrecht gestellte Lehrbogen gleichsam in einem Mittelpunktschnitte steht und jeder folgende Lehrbogen um die Steighöhe, welche den wagrechten Entfernungen ihrer mittleren Lothlinien zukommt, höher gestellt wird, als der unmittelbar vorher befindliche Lehrbogen. Die Schalung der Lehrbogen wird aus thunlichst schmalen, nicht zu langen Leisten, welche nach vorherigem Erweichen in Wasser etwas biegsam sind, hergestellt. Bei schweren Gewölben werden unter Umständen mehrere über einander befindliche Lagen solcher Leisten erforderlich. Bei der Verschalung ist man bemüht, die Oberfläche derselben möglichst genau der Laibungsfläche des schraubenförmigen Gewölbes anzupassen, und man hat dem gemäß die einzelnen Leisten in ihren Kanten etwas nachzuarbeiten.

Ueber die allgemeine Gestaltung der schiefen Tonnengewölbe ist bereits in Art. 134 (S. 164) das Nöthigste gesagt.

Für die besondere Ausführung derselben kommen noch einige Punkte in Betracht, welche hier näher berührt werden sollen. In den meisten Fällen wird für die Ausführung der schiefen Gewölbe aus Werkstücken der früher gekennzeichnete sog. englische Fugenschnitt in den Vordergrund treten, wobei der constante Fugenschnitt für die Richtung der Lagerkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche des Gewölbes maßgebend wird. Die GröÙe dieses Winkels bedingt die Steigung der Schraubenlinien der Lagerkanten und damit die mehr oder weniger stark von Stirn zu Stirn, bzw. vom Kämpfer zur Stirn ansteigenden Schraubenflächen der Lager- und weiter der Stosflächen der Wölbsteine. Ist jener Winkel zu groß, so kann ein Gleiten der Steine auf den Lagerflächen und hiernach ein Ausbauchen an der Gewölbstirn eintreten. Um diesen Uebelstand zu vermeiden, läßt man für den constanten Fugenschnitt einen Grenzwert gelten, welcher wie folgt fest gesetzt wird.

Ist in Fig. 348 $abcd$ die abgewickelte Laibungsfläche eines schiefen Gewölbes, aeb die Verbindungssehne der abgewickelten Stirnlinie, cv ein Loth auf der Geraden ab , so giebt nach dem in Art. 134 (S. 171) Gesagten der $\sphericalangle acv = \sphericalangle bam = \sphericalangle a$ den constanten Fugenschnitt. Bestimmt man nach den an

Fig. 348.



der angezogenen Stelle gemachten Mittheilungen die Scheiteltrajectorie ef , so weicht die im Elemente e dieser Curve gezogene Tangente eg um $\sphericalangle gek = \sphericalangle \sigma$ und die im Elemente f der Trajectorie geführte Tangente fh um $\sphericalangle hfi = \sphericalangle \tau$ von der Richtung der Scheitellinie lek , bzw. von der ihr parallelen Linie if ab. Im Allgemeinen haben die Winkel σ und τ eine vom Winkel α abweichende Gröfse. Nimmt man aus den beiden Werthen der Winkelgrößen σ und τ den Durchschnitt, so soll erfahrungsmäßig, um den vorhin erwähnten Uebelstand nicht herbeizulassen, der Unterschied zwischen der Gröfse dieses Durchschnittswinkels und dem Winkel α die Gröfse von 8 Grad nicht überschreiten.

In der Zeichnung sind die beiden Winkel $\sigma = osn$ und $\tau = nsp$ zum Winkel osp zusammengetragen; der Winkel osp ist durch den Strahl sq halbirt und hierdurch der Durchschnittswerth von $\sigma + \tau$ als Winkelgröfse qso erhalten. Sodann ist $\sphericalangle a = osr$ eingetragen, so dafs jetzt im $\sphericalangle qsr$ der Unterschied zwischen qso und a bestimmt ist. Im rechtwinkligen Dreiecke sut ist die Kathete su gleich 10 Einheiten eines beliebigen Mafsstabes genommen; die Bestimmung der Länge tu der zweiten Kathete nach demselben Mafsstabe ergibt die Gröfse von 0,8 Einheiten. Mithin ist $\text{tg } tsu = \frac{0,8}{10} = 0,08$.

Diese Zahl entspricht einem Winkel von $\approx 4^{\circ} 34'$. Derselbe ist also von dem Grenzwerte = 8 Grad noch weit entfernt, und dieserhalb kann das in der Zeichnung behandelte Gewölbe unter Benutzung des constanten Fugenwinkels zur Ausführung kommen. Würde der bezeichnete Unterschied die Gröfse von 8 Grad übertreffen, so wäre, wenn sonst eine Aenderung der ganzen Gewölbeanlage unstatthaft ist, der strenge oder fog. französische Fugenschnitt in Anwendung zu bringen.

Für die praktische Ausführung wird unter Anwendung des constanten Fugenwinkels der Normalschnitt des schiefen Gewölbes als Kreisbogen genommen, so dafs der Stirnbogen ein elliptischer Bogen wird. Die Theilung für die Wölbsteine erfolgt nach den in Art. 134 (S. 173) gegebenen Erörterungen. Da hiernach alle Wölbsteine mit Ausnahme der Steine mit besonders abgestumpften Ecken in den Bogenanfängen und an den Stirnen des Gewölbes nach den gleichen Brettungen bearbeitet werden können, so ist hierdurch eine weit gröfsere Erleichterung für die Herstellung der Wölbsteine geschaffen, als wenn umgekehrt der Stirnbogen des schiefen Gewölbes ein Kreisbogen und der Normalschnitt ein elliptischer Bogen ist. In diesem Falle können mit geringen Ausnahmen die einzelnen Wölbsteine eben so wenig, wie beim französischen Fugenschnitte, nach denselben Schablonen bearbeitet werden.

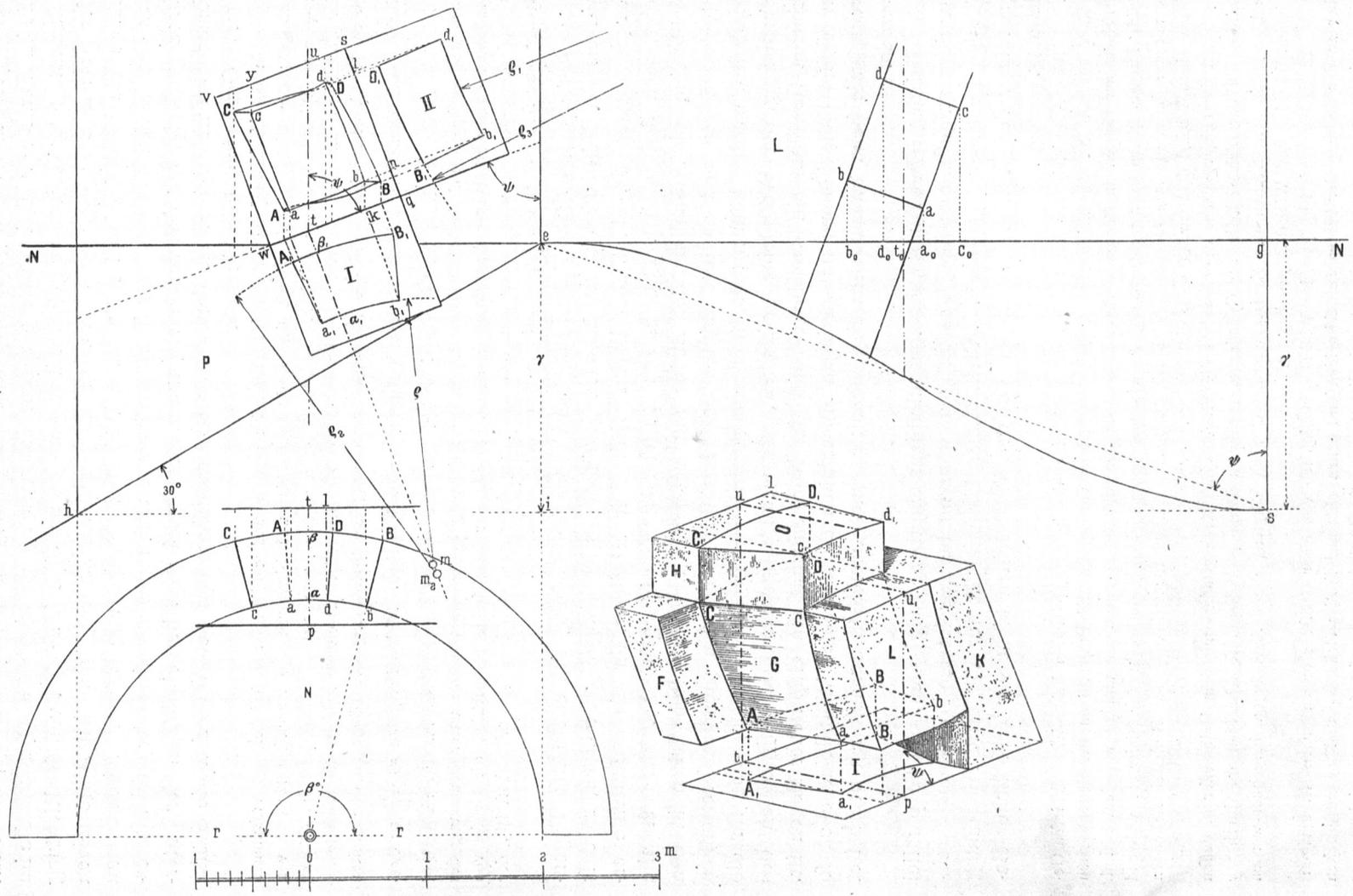
Bei der ersten Anordnung sind allerdings elliptische Lehrbogen, welche parallel zur Stirn aufgestellt werden, anzufertigen, während bei der letzten Anordnung kreisförmige Lehrbogen entstehen. Allein dieser Umstand ist für die erste Anordnung gegenüber den sonstigen Vortheilen bei den Wölbsteinen nicht von erheblicher Bedeutung.

Beim Ausmitteln der Brettungen eines Wölbsteines des in Fig. 349 näher behandelten schiefen Gewölbes kommen für die keilförmige Gestalt des Steines vorwiegend die Projectionen der Seitenflächen desselben auf Ebenen in Betracht, deren Spuren in der Bildtafel P durch wq und qs angedeutet sind. Beide Ebenen stehen hier rechtwinkelig auf einander und gleichzeitig lothrecht zur Bildtafel, während sie mit der durch die Axe tu des Gewölbes geführten, ebenfalls rechtwinkelig zur Bildtafel stehenden Ebene einen Winkel ψ , bzw. $90 - \psi$ einschließen.

Ist die Laibungsfläche des Gewölbes die Fläche eines Kreiscylinders mit dem Halbmesser r , dessen Leitlinie in der rechtwinkelig zur Cylinderaxe geführten Ebene NN liegt, so schneiden die durch wq und qs bestimmten Ebenen den Kreiscylindermantel nach Ellipsen, deren Axenlängen berechnet werden können, sobald r und Winkel ψ gegeben sind.

Ist vorweg nach Fig. 350 der Winkel ψ willkürlich von einer Gröfse σ angenommen, ist übrigens aber an der Stellung der beiden sich schneidenden Ebenen CD und EF , welche wq und qs entsprechen sollen, nichts weiter geändert, als dafs sich dieselben auf der Cylinderaxe zm in einer rechtwinkelig zur

Fig. 349.



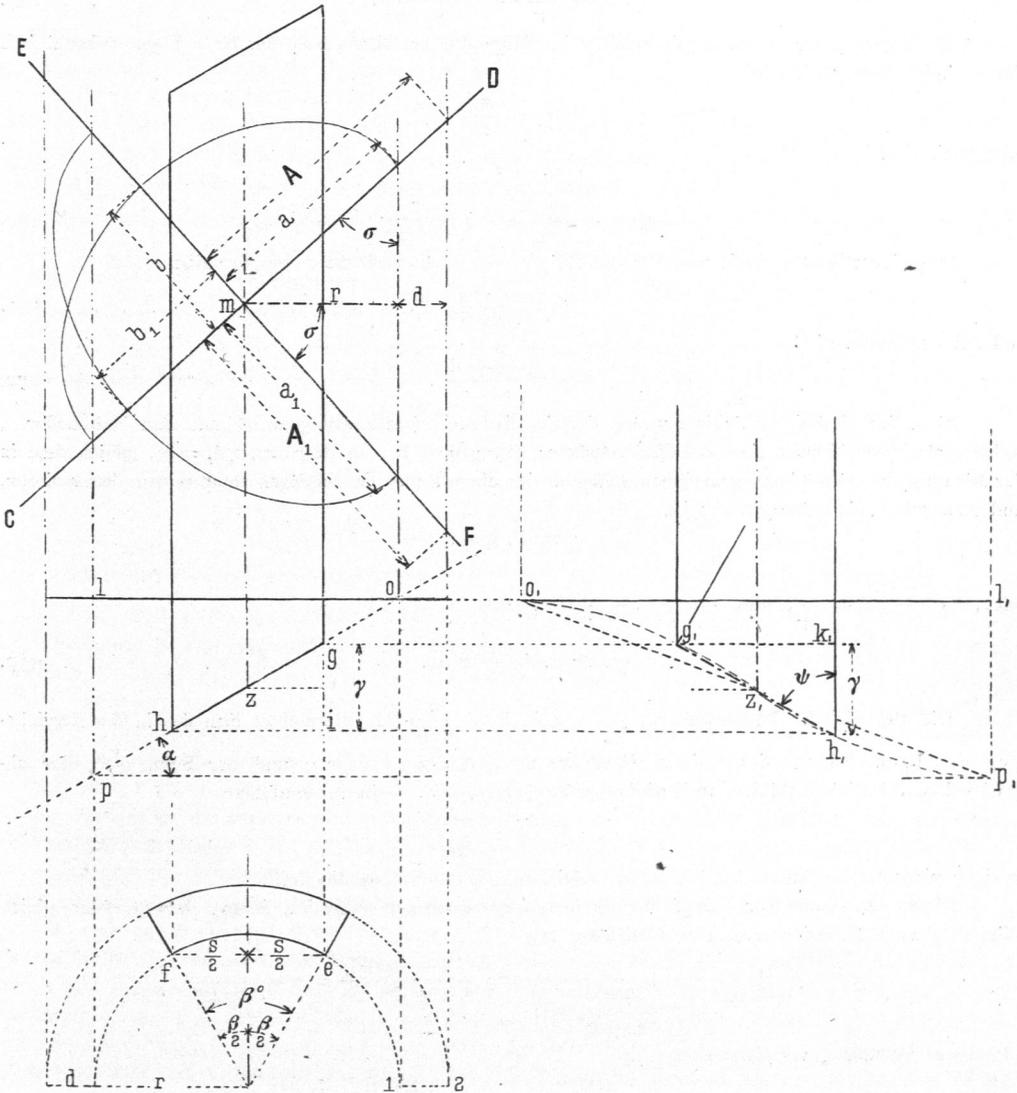
Bildtafel stehenden geraden Linie treffen; so wird die Länge dieser geraden Linie von der Cylinderaxe bis zum Cylindermantel gleich dem Halbmesser r der Leitlinie des Cylinders und fofort auch gleich der Länge der Halbaxen b , bzw. b_1 der erwähnten Ellipfen.

Für die Cylinderfläche r mit einem Kreife vom Halbmesser r als Leitlinie liefert die fchneidende Ebene CD eine Ellipse mit den Halbaxen a und b .

Unter Bezugnahme auf Fig. 350 ift

$$a = \frac{r}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad b = r \dots \dots \dots 165.$$

Fig. 350.



Eben fo giebt für dieselbe Cylinderfläche r die fchneidende Ebene EF eine Ellipse, deren Halbaxen

$$a_1 = \frac{r}{\cos \sigma} \quad \text{und} \quad b_1 = r \dots \dots \dots 166.$$

werden.

Für die Cylinderfläche z , deren normale kreisförmige Leitlinie einen Halbmesser $r + d$ befizt, entfpringt bei der fchneidenden Ebene CD eine Ellipse mit den Halbaxen,

$$A = \frac{r + d}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad B = r + d; \dots \dots \dots 167.$$

eben so bei der schneidenden Ebene EF eine folche mit den Halbaxen

$$A_1 = \frac{r+d}{\cos \sigma} \quad \text{und} \quad B_1 = r+d. \quad \dots \quad 168.$$

Bezeichnet ρ den Krümmungshalbmesser im Endpunkte der Halbaxe b der für CD in Frage kommenden Ellipse der Cylinderfläche ι , so ist

$$\rho = \frac{a^2}{b},$$

d. h. nach Gleichung 165

$$\rho = \frac{\left(\frac{r}{\sin \sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\sin \sigma^2}. \quad \dots \quad 169.$$

Ist ferner ρ_1 der Krümmungshalbmesser im Endpunkte der Halbaxe b_1 der für EF geltenden Ellipse der Cylinderfläche ι , so wird

$$\rho_1 = \frac{a_1^2}{b_1}$$

oder nach Gleichung 166

$$\rho_1 = \frac{\left(\frac{r}{\cos \sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\cos \sigma^2}. \quad \dots \quad 170.$$

In gleicher Weise erhält man für die Ellipsen der Cylinderfläche ι bei der Ebene CD

$$\rho_2 = \frac{r+d}{\sin \sigma^2}. \quad \dots \quad 171.$$

und bei der Ebene EF

$$\rho_3 = \frac{r+d}{\cos \sigma^2}. \quad \dots \quad 172.$$

Ist α der Winkel der Schiefe und β der Centriwinkel eines Kreisbogens ef mit dem Halbmesser r , welcher als Normalchnitt eines schiefen Gewölbes fest gesetzt ist, so ist $gi = kh = \gamma$, gleich dem in der Richtung der Gewölbaxe gemessenen Abstände des einen Endes des schrägen Hauptes von dem anderen, und man erhält, da $hi = fe = s$ ist,

$$\gamma = s \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

oder, da $\frac{s}{r} = \sin \frac{\beta}{2}$, also $s = 2r \cdot \sin \frac{\beta}{2}$ ist, auch

$$\gamma = 2r \cdot \sin \frac{\beta}{2} \operatorname{tg} \alpha. \quad \dots \quad 173.$$

Die abgewickelte Bogenlänge von $ef = g, k$, ist $= \frac{\pi r}{180^\circ} \beta^\circ$. Betrachtet man das in der Abwicklung der Laibungsfläche des schiefen Gewölbes aus g, k , der Länge γ und der Sehne g, h , der abgewickelten Stirnlinie gebildete rechteckwellige Dreieck g, k, h , so ist in demselben

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{gk_1}{\gamma} = \frac{\pi r \beta^\circ}{180^\circ \gamma}, \quad \dots \quad 174.$$

worin γ nicht weiter durch den Werth aus Gleichung 173 ersetzt werden soll.

Nimmt man nunmehr den früher beliebig angenommenen Winkel σ so an, daß derselbe gleich Winkel ψ wird, so erhält man nach Gleichung 169

$$\rho = \frac{r}{\sin \psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{\operatorname{tg} \psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg} \psi^2}}\right)^2} = \frac{r(1 + \operatorname{tg} \psi^2)}{\operatorname{tg} \psi^2} = r + \frac{r}{\operatorname{tg} \psi^2}$$

oder unter Benutzung von Gleichung 174

$$\rho = r + r \left(\frac{180^\circ \gamma}{\pi r \beta^\circ}\right)^2 = r + \left(\frac{180^\circ \gamma}{\pi \beta^\circ}\right)^2 \frac{1}{r}. \quad \dots \quad 175.$$

und ferner nach Gleichung 170

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos \psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg} \psi^2}}\right)^2} = r(1 + \operatorname{tg} \psi^2),$$

d. h. unter Verwerthung von Gleichung 174

$$\rho_1 = r \left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^\circ}{180^\circ \gamma}\right)^2\right] = r + \left(\frac{\pi r \beta^\circ}{180^\circ \gamma}\right)^2 r. \quad \dots \quad 176.$$

Die beiden Gleichungen 175 u. 176 stimmen mit den früher gefundenen Ausdrücken für die Krümmungshalbmesser der Schraubenlinien der Gleichungen 127 u. 130 (S. 174), wie vorauszu sehen war, vollständig überein.

Für die Ellipsen der Cylinderfläche z , also der Rückenfläche des schiefen Gewölbes, ergibt sich unter der Bestimmung $\sigma = \psi$ und bei der Benutzung von Gleichung 171 nach Gleichung 175

$$\rho_2 = (r + d) \left[1 + \left(\frac{180^0 \gamma}{\pi r \beta^0} \right)^2 \right], \dots \dots \dots 177.$$

so wie nach Gleichung 176

$$\rho_3 = (r + d) \left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0 \gamma} \right)^2 \right]. \dots \dots \dots 178.$$

Da die Abmessungen der einzelnen Wölbsteine im Verhältniß zu den Halbmessern der Leitlinien der Cylinderflächen immer noch als klein anzusehen sind, so können, wie schon in Art. 134 (S. 173) erwähnt ist, die Krümmungshalbmesser ρ , ρ_1 , ρ_2 und ρ_3 zur Bestimmung der Brettungen, bezw. der keilförmigen Verjüngung der Wölbsteine benutzt werden. Bei recht großen Abmessungen der Wölbsteine hätte man für die Brettungen die von den zugehörigen Ellipsen begrenzten Flächenstücke in Betracht zu ziehen. Die Längen der reellen Axen dieser Ellipsen ergeben sich nach den Gleichungen 165 bis 168.

Beispiel. Für ein schiefes Gewölbe (Fig. 349) sei der Normalschnitt N ein Halbkreis mit dem Halbmesser $r = 2$ m; die Dicke d des Gewölbes betrage 0,6 m; der Winkel α der Schiefe sei 30 Grad, und der Centriwinkel β ist 180 Grad.

Man erhält nach Gleichung 173

$$\gamma = 2 \cdot 2 \cdot \sin 90 \cdot \text{tg } 30 = 4 \text{ tg } 30 = 4 \cdot 0,5774 = \infty 2,31 \text{ m.}$$

Alsdann ist nach Gleichung 175

$$\rho = 2 + \left(\frac{180 \cdot 2,31}{3,1416 \cdot 180} \right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 2,27 \text{ m.}$$

Ferner wird nach Gleichung 176

$$\rho_1 = 2 + \left(\frac{3,1416 \cdot 2 \cdot 180}{180 \cdot 2,31} \right)^2 \cdot 2 = 16,80 \text{ m.}$$

Endlich liefern die Gleichungen 177 u. 178

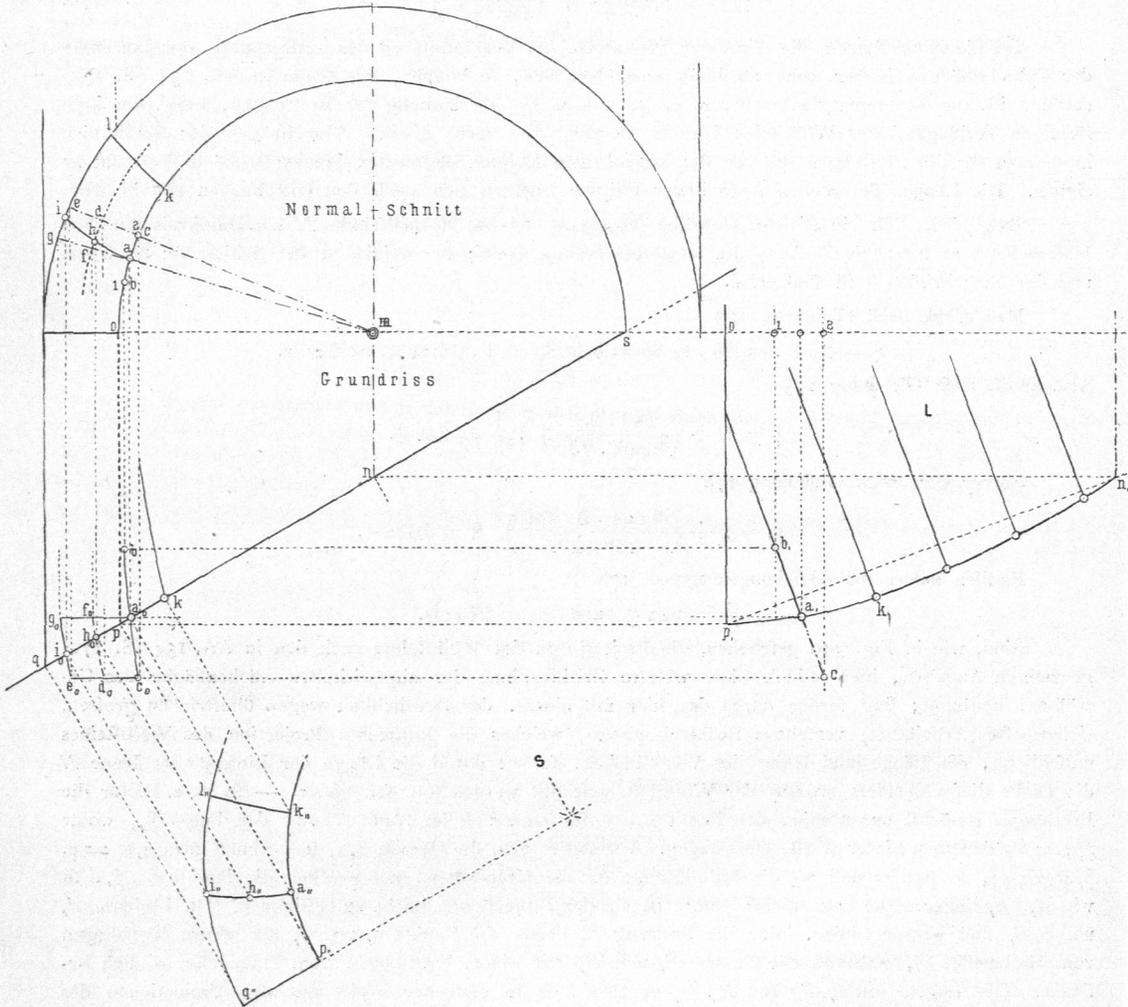
$$\rho_2 = 2,95 \text{ m} \quad \text{und} \quad \rho_3 = 21,84 \text{ m.}$$

Sind, wie in Fig. 349 geschehen, die Projectionen des Wölbsteines nach den in Art. 134 (S. 171) gemachten Angaben, hier jedoch ohne weitere Zuhilfenahme der abgewickelten Rückenfläche des Gewölbes, bestimmt; sind ferner durch das hier mit einem, der Deutlichkeit wegen übertrieben großen, Uebermaße (Arbeitszoll) verfehene Rechteck $qsvw$, welches die lothrechte Projection des Wölbsteines umschließt, die Länge und Höhe des Werkstückes, so wie durch die Länge der Linie pt im Plane N die Dicke dieses Quaders, woraus der Wölbstein gefertigt werden soll, fest gesetzt — so ist z. B. für die Brettung I zunächst nur nöthig, den Punkt a , wofür $t\alpha = t\alpha$ im Plane N und den Punkt β , wofür $t\beta = t\beta$ desselben Planes N ist, einzutragen. Verlängert man die Gerade β, a , und nimmt man $a, m = \rho$, $\beta, m_2 = \rho_2$, so sind m und m_2 die Mittelpunkte für die Kreisbogen, auf welchen die Punkte a, b , so wie A, B , liegen. Die Lage dieser Punkte ist aus den Projectionen leicht zu bestimmen. Die Linien a, A , und b, B , sind gerade Linien. Für die Brettung II liegen die Punkte b , und d , auf einem Kreisbogen vom Halbmesser ρ , während die Punkte B , und D , auf einem Kreisbogen vom Halbmesser ρ_3 sich befinden. Die Lagen von b, d , und B, D , ergeben sich in einfacher Weise aus den Projectionen des Wölbsteines, indem z. B. für den Punkt d , der Brettung II die Ordinate $ld = ld$ im Plane N ist u. f. f. Auch bei dieser Brettung sind b, B , und d, D , gerade Linien. Ueber das Anlegen der Brettungen I und II an das betreffende Werkstück und das Bearbeiten desselben, unter Heranziehen der für die Schraubenlinien ab, bd u. f. f. der lothrechten Projection des Wölbsteines angefertigten Schablonen, gilt wesentlich das in Art. 171 (S. 248) beim Schneckenengewölbe angegebene Verfahren. Hier ist nur zu bemerken, dafs die Brettung I sowohl für die obere, als auch für die untere Steinfläche, die Brettung II ebenfalls für die vordere und hintere Steinfläche zu benutzen sind, wenn diese Schablonen nur entsprechend den Lagen der zugehörigen Grenzpunkte des Wölbsteines auf den zu bearbeitenden Stein gelegt werden.

Der in Fig. 349 im Bilde gegebene Stein zeigt wohl genügend die unter Beobachtung der Geraden ut , bezw. u, p , welche durch den Schmiegewinkel ψ bestimmt sind, erforderlichen Handhabungen für das Anlegen der Brettungen und das danach einzuleitende Bearbeiten des Gewölbsteines G , welcher nach Befeitigung der Boffen O, F, L, K entsteht.

Eine besondere Aufmerksamkeit erfordert bei der Anwendung des englischen Fugenschnittes die Bearbeitung der Stirnsteine. Die Stirnebene des Gewölbes schneidet die schraubenförmigen Lagerfugenflächen desselben im Allgemeinen in nach unten convexen Curven, so dafs für jeden rechts und links symmetrisch vom Schlussstein liegenden Wölbstein eine besondere Stirnschablone nöthig wird. In Fig. 351 ist für einen Stein eine Stirnbrettung $a,, i,, k,, l,,$ ermittelt.

Fig. 351.



Der Normalchnitt des schiefen Gewölbes ist als Halbkreis angenommen und in L ein Stück der Abwicklung der Laibungsfläche des Gewölbes gezeichnet.

Auf der Fläche L sind die durch a, k , u. f. f. rechtwinklig auf p, n , stehenden, abgewickelten Lagerfugenkanten eingetragen, wobei die Kante b, a , noch beliebig bis c , verlängert ist. Hier liegt der Punkt c , auf der Erzeugenden z , wofür die Länge oz gleich der Bogenlänge oz im Normalchnitte ist. Da die Lagerfugenflächen dadurch erzeugt werden, dafs in jedem Punkte der schraubenförmigen Lagerkante eines Wölbsteines eine gerade Linie vorhanden sein soll, welche normal zur inneren Gewölbfläche steht, so giebt der im Normalchnitte durch m und z geführte Halbmesser me diese gerade Linie in der Strecke ce an. Der Punkt e ist der Durchstoßpunkt derselben mit der Rückenlinie des Gewölbes; die wagrechte Projection der Geraden ce ergibt sich auf der Spur der durch c , parallel zum Normalchnitt geführten Ebene als $c_0 e_0$. Wird zwischen den Punkten c und e des Normalchnittes noch irgend ein

durch d geführter Kreis gelegt, welcher als Leitlinie einer Cylinderfläche angefaßt werden kann, so würde auch d ein Durchstoßpunkt von ce mit dieser Cylinderfläche sein. Die wagrechte Projection desselben ist d_0 .

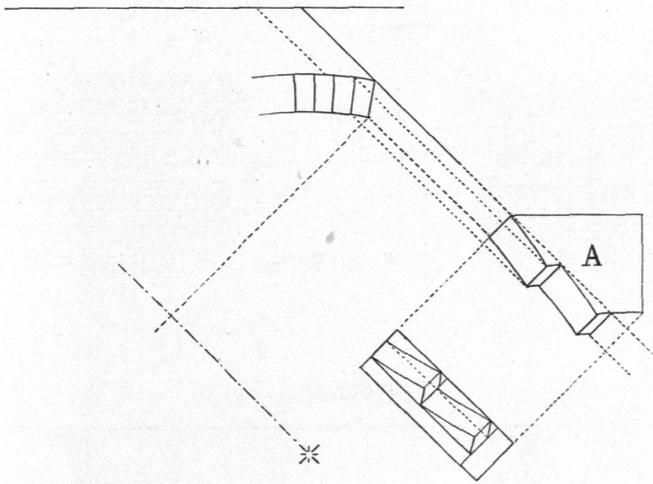
Verfährt man in gleicher Weise mit der Geraden ag , so erhält man die wagrechten Projectionen der Durchstoßpunkte a, f, g in a_0, f_0, g_0 . Setzt man diese Darstellungen fort, so ergeben sich offenbar in $c_0 a_0, d_0 f_0$ und $e_0 g_0$ die wagrechten Projectionen von Schraubenlinien, welche auf den durch c , bezw. a gehenden Lagerfugenflächen liegen.

Diese Schraubenlinien durchschneiden die Stirnebene qs des schiefen Gewölbes in den Punkten a_0, h_0 und i_0 . Die lothrechten Projectionen befinden sich bezw. auf den durch a, d und e gehenden Kreisen des Normalschnittes, sind also in a, h und i bestimmt. Die Verbindungslinie ahi dieser Punkte ist die lothrechte Projection der Schnittlinie der Schraubenfläche, welche der durch a gehenden Lagerkante zukommt, mit der Ebene der Gewölbstirn.

Projicirt man diese Schnittlinie in die Stirnebene S auf bekanntem Wege, so erhält man die wirkliche Gestalt a, h, i , derselben.

Wendet man das angegebene zeichnerische Verfahren auch für die (durch k gehende Lagerkante

Fig. 352.

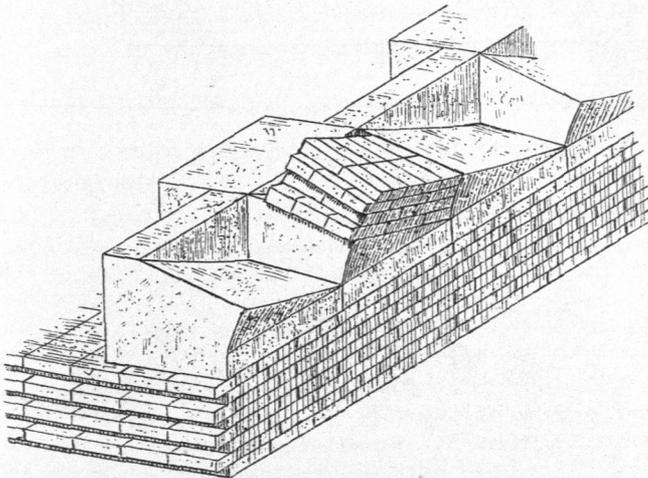


an, so erhält man in k, l , die zugehörige Schnittlinie und in dem ebenen Flächenstücke a, h, i, l, k , die nöthige vordere Brettung für den hier gewählten Stirnstein.

Die Bestimmung der Brettungen für die Kämpfersteine wird, nachdem die Projectionen derselben ermittelt sind, so weit dabei die Ansätze für die Wölbsteine in Frage kommen, nach den für diese Steine gegebenen Vorschriften bewirkt. Die übrigen Begrenzungsflächen ergeben sich als Ebenen, welche unmittelbar nach den Projec-

tionen derselben fest gelegt werden können. Bei nicht sehr breiten Wölbsteinen läßt man zweckmäÙig zwei Wölbcharen gegen einen Kämpferstein A treten, welcher alsdann, wie Fig. 352

Fig. 353.



zeigt, eine dem entsprechende Länge erhält.

Schiefe Gewölbe, welche vollständig aus Haufsteinen hergestellt werden sollen, sind in Folge der erheblicheren, durch die besondere Gestalt der Wölbsteine entspringenden Steinhauerarbeiten nicht billig. Um die Kosten für schiefe Gewölbe zu vermindern, können dieselben auch aus Backsteinmaterial ausgeführt werden, wobei jedoch unter sonstiger Beobachtung

des englischen oder auch des französischen Fugenschnittes, zur Vermeidung des häßlichen und unzuweckmäßigen Verhauens der Backsteine an den Kämpfern und den Hauptern, fowohl die Kämpfersteine als auch die Stirnsteine am rathsamsten aus Quadern, wie in Fig. 353 u. 354 angegeben, angefertigt werden. Zwischen den zusammengehörigen Kämpfer- und Stirnsteinen sind alsdann die aus Backstein bestehenden Wölbcharen in regelrechtem Verbande in gewöhnlicher Wölbweise einzubringen.

Um die Schwierigkeiten, welche bei der Ausführung von schiefen Gewölben in gewissem Grade immer entstehen, zu beseitigen, können verschiedene mehr oder weniger gute Aenderungen in der Gewölbebildung derselben vorgenommen werden. Die einfachste Anordnung zum Umgehen des rechtmäßigen Wölbens schiefer Gewölbe besteht nach Fig. 355 darin, daß man einzelne parallel zur Stirn gestellte Gurtbogen 1, 2 u. f. f. als kurze gerade Tonnengewölbe neben einander ausführt, welche unter sich eine Verbindung durch eiserne Anker erhalten. Die gefamnte Laibungsfläche dieser Gewölbebildung zeigt alsdann fichelartige lothrechte Flächen neben den cylindrischen Flächen der Gurte, wodurch kein besonders schönes Aussehen entspringt. Zweckmäßig werden

Fig. 354.

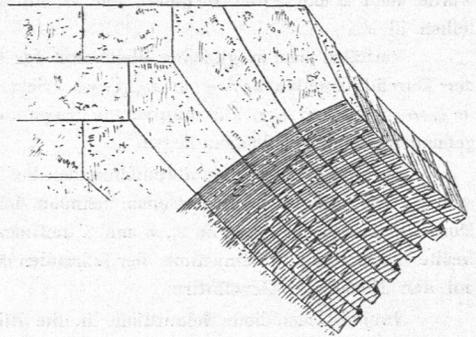
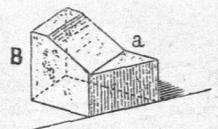
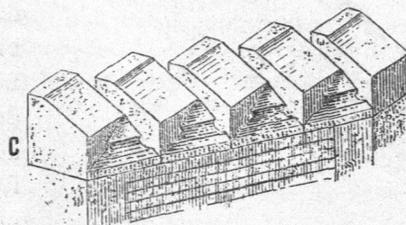
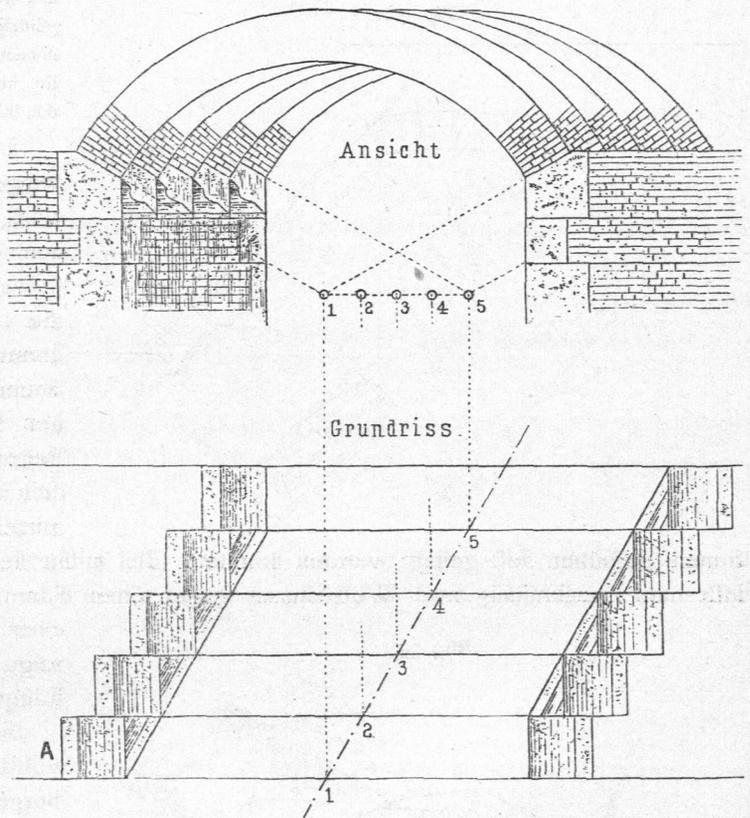
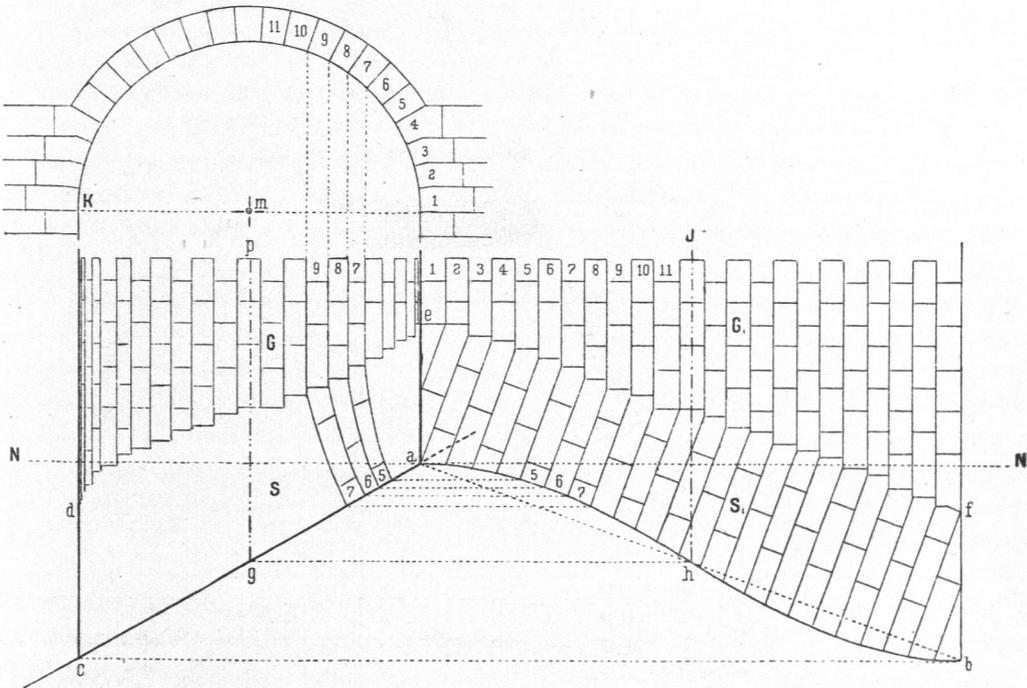


Fig. 355.



die Kämpfersteine *A* auch bei solchen Anlagen aus Werkstücken angefertigt, welche entweder, wie bei *B*, mit der dreieckigen wagrechten Fläche *a* belassen oder, wie bei *C*, mit einem Eckauslauf versehen werden. In langen schiefen Gewölben kann vortheilhaft bei Quadermaterial, wie Fig. 356 giebt, an den Stirnen ein Stück *S* als schiefes Gewölbe mit richtigem englischen oder, wenn man will, mit französischem Fugenschnitt ausgeführt und hiermit ein längeres als gerades Gewölbe angeordnetes Stück *G* in Verbindung gebracht werden. Die Ausmittlung des Steinverbandes ist aus der Zeichnung unter Beachtung der abgewickelten Laibungsfläche des schiefen Gewölbes ersichtlich. Durch eine derartige Anordnung wird an den Kosten für das Bearbeiten der Wölbsteine erheblich gespart.

Fig. 356.

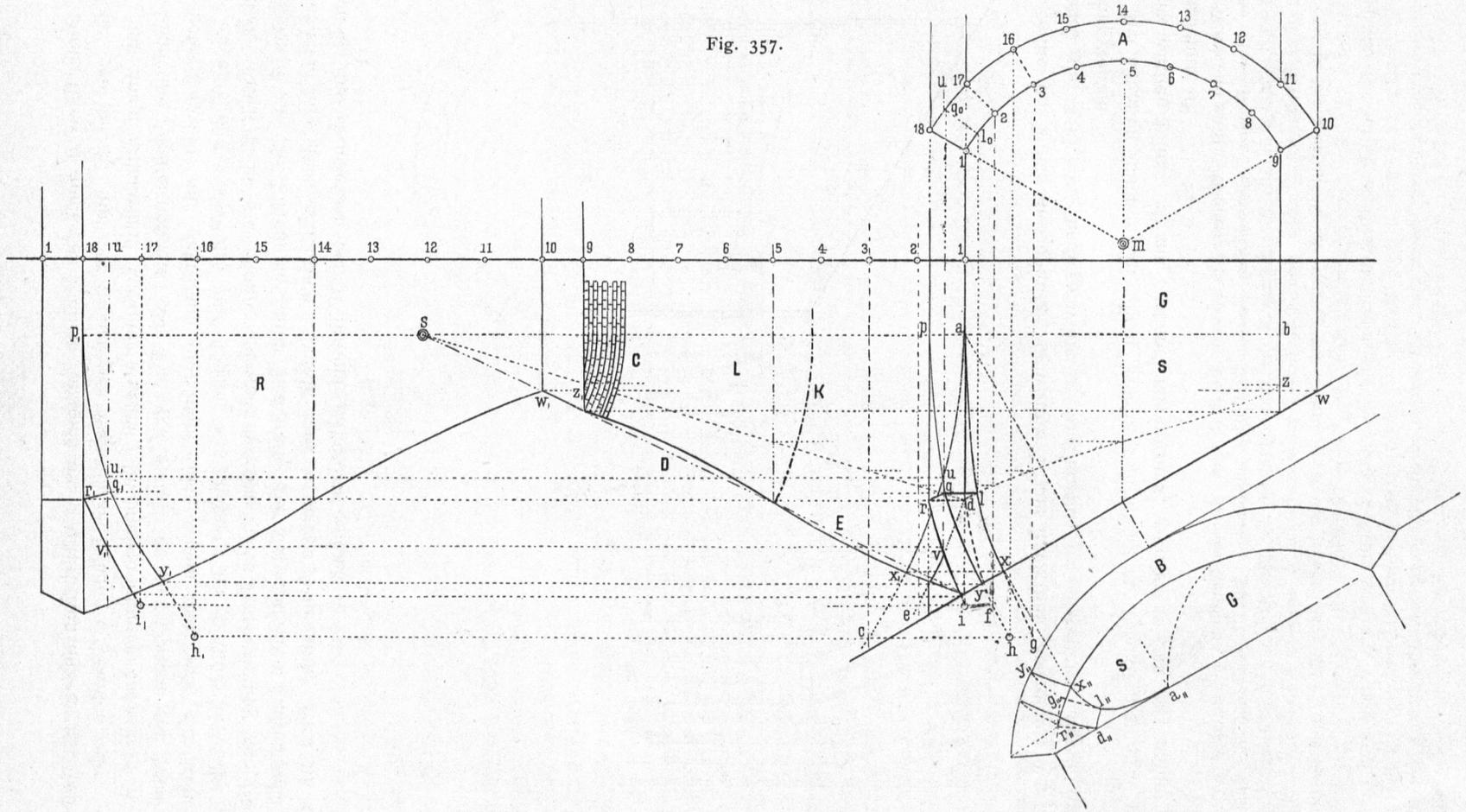


Sollte das Stück des geraden Gewölbes *G* aus Backstein ausgeführt werden, während die schiefen Quadergewölbe *S* verblieben, so erwachsen dabei keine Schwierigkeiten.

Bei längeren schiefen Gewölben, welche vollständig aus Backsteinmaterial ausgeführt werden sollen, ist ein Verband anzuordnen, welcher in Fig. 357 näher gekennzeichnet ist.

Wieder ist an den Häuptern ein kürzeres Stück *S* eines schiefen Gewölbes, dazwischen aber ein längeres Stück *G* eines gewöhnlichen geraden Gewölbes angeordnet. Die Lagerkanten der schiefen Gewölbetheile bilden in der Abwicklung *L* der Laibungsfläche des Gewölbes mit dem Kreisbogen *K* concentrische Kreisbogen *C*. Der gemeinschaftliche, auf der Fläche *L* liegende Mittelpunkt *s* dieser Kreisbogen ist der Schnittpunkt der verlängerten Grenzlinie *ab* des geraden Gewölbes *G* und der weiter geführten Sehne *DE* der abgewickelten Stirnlinie des schiefen Gewölbes *S*. Die Stofskanten der schiefen Gewölbstücke sind auf der abgewickelten Laibungsfläche in geraden Linien enthalten, welche einer radialen Richtung *sa*, *sd* u. f. folgen. Auf die Wölbfläche zurückgeschlagen, liegen die Stofskanten auf durchweg verschiedenen Schraubenlinien, wovon eine *dz* derselben, entsprechend *dz*, der Abwicklung, gezeichnet ist. Die auf die Wölbfläche zurückgebrachten kreisförmigen Lagerkanten bilden besondere Curven, welche

Fig. 357.



wie ag , entsprechend dem Kreisbogen ac der Abwicklung, oder wie df , entsprechend dem Kreisbogen de , mit Hilfe der Cylinder-Erzeugenden $1, 2, 3$, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, bestimmt werden können. Die Erzeugenden der Lagerfugenflächen sind gerade Linien, welche in jedem Punkte der Lagerkante streng genommen normal zur Laibungsfläche des cylindrischen Gewölbes stehen sollen. So ist z. B. für den Punkt l , dessen lothrechte Projection l_0 ist, die Gerade l_0q_0 , welche nach dem Mittelpunkte m des Normalschnittes des Gewölbes gerichtet wird, eine solche Erzeugende. Da dieselbe in einer rechtwinkelig zur Gewölbaxe stehenden Ebene liegt, so erhält man ihre wagrechte Projection in lq und hierdurch die Projection einer etwa hier vorhandenen Stofsflächenkante eines Backsteines. In gleicher Weise ist dr bestimmt. Ermittelt man auf dem schon früher in Fig. 280 angegebenen Wege die den Lagerkanten ag, df zugehörigen Rückenlinien $pqqh$, bzw. rvi , so ist die wagrechte Projection der Lagerfugenflächen für diese Lagerkanten zu erhalten.

Bringt man die Rückenlinien in die abgewickelte Rückenfläche des Gewölbes R zurück, was mit Hilfe der Erzeugenden $16, 17, U, 18$ der Cylinderfläche leicht geschehen kann, so ergibt sich die allgemeine Anordnung des Fugenschnittes im schiefen Gewölbe S , wobei die Stofsflächenkanten dl, qr , Schraubenslinien folgend, sich ebenfalls in einfacher Weise ermitteln lassen.

In der Stirnanficht B sind die Curven a, l, x , und q, y , den Kantenlinien alx , bzw. qy entsprechend, eingetragen.

Wenngleich die hier gegebenen zeichnerischen Darstellungen bei der Berücksichtigung von Backsteinmaterial mehr in den Hintergrund treten können, so ist doch besonders darauf Rücksicht zu nehmen, sobald die in der Zeichnung behandelte Verbandart und Gewölbearordnung für eine Quaderausführung in den schiefen Gewölbetheilen in Anwendung kommen soll, zumal eine solche Lösung eine schönere Gestaltung des gesammten Gewölbes zulässt, als solche nach Fig. 356 möglich ist.

Für eine saubere und tadellose Ausführung der schiefen Gewölbe ist eine gute geschlossene Schalung der parallel zur Stirn aufgestellten Lehrbogen herzurichten. Auf dieser Schalung sind die Fugenlinien der Wölbsteine vorzureißen. Dieses Aufzeichnen der Fugenlinien mit Hilfe eines biegsamen Lineals (Blechstreifen) und des gebräuchlichen Winkeleisens wird namentlich beim englischen Fugenschnitt sehr einfach, sobald unter Benutzung einer gefärbten Schnur auch die erzeugenden geraden Linien der cylindrischen Wölbfläche, welche den einzelnen Fugenlinien nach Ausweis der Zeichnung in bestimmten Punkten angehören, mit aufgeschnürt werden. Diesen aufgezeichneten Fugenlinien folgend, werden die in den Schichten entsprechend bezeichneten Gewölbquader sorgsam versetzt. Bei schiefen Backsteingewölben werden natürlich die Fugenlinien nur gruppenweise für eine grössere Zahl von neben einander liegenden Wölbcharen aufgerissen.

Die Ausführung der einhüftigen Tonnengewölbe richtet sich genau nach der Bauweise, welche für das einfache gerade Tonnengewölbe angegeben ist. Da bei den einhüftigen Gewölben geschlossene Stirnmauern meistens fehlen oder doch nur als Blendmauern ab und an eingefügt auftreten, so kommt bei diesen Gewölben, gleichgiltig welches Material auch zur Einwölbung benutzt wird, wesentlich der gewöhnliche Verband auf Kuf in Anwendung.