HANDBUCH

DER

ARCHITEKTUR.

Unter Mitwirkung von

Oberbaudirektor
Profeſſor Dr. Joſef Durm
in Karlsruhe

und

Geh. Regierungs- u. Baurat
Profeſſor Hermann Ende
in Berlin

herausgegeben von

Geheimer Baurat
Profeſſor Dr. Eduard Schmitt
in Darmſtadt.

Dritter Teil:

DIE HOCHBAUKONSTRUKTIONEN.

2. Band:

Raumbegrenzende Konſtruktionen.

Heft 3, b:

Gewölbte Decken (Gewölbe).
Verglaſte Decken und Deckenlichter.

ZWEITE AUFLAGE.

ARNOLD BERGSTRÄSSER VERLAGSBUCHHANDLUNG (A. KRÖNER).
STUTTGART 1901.

DIE
HOCHBAUKONSTRUKTIONEN.

DES

HANDBUCHES DER ARCHITEKTUR

DRITTER TEIL.

2. Band:

Raumbegrenzende Konſtruktionen.

Heft 3, b:

Gewölbte Decken.
(Gewölbe.)

Von **Carl Körner,**
Geh. Hofrat und Profeſſor an der techniſchen Hochſchule zu Braunſchweig.

Verglaſte Decken und Deckenlichter.

Von

Adolf Schacht,
Eiſenbahn-Bau- und Betriebs-Inſpektor
zu Celle,

und

Dr. **Eduard Schmitt,**
Geh. Baurat und Profeſſor an der techniſchen
Hochſchule zu Darmſtadt.

ZWEITE AUFLAGE.

Mit 429 in den Text eingedruckten Abbildungen, ſowie 11 in den Text eingehefteten Tafeln.

STUTTGART 1901.
ARNOLD BERGSTRÄSSER VERLAGSBUCHHANDLUNG
A. KRÖNER.

Geſamtanordnung und Gliederung des »Handbuches der Architektur« (zugleich Verzeichnis der bereits erſchienenen Bände, bezw. Hefte) ſind am Schluſſe des vorliegenden Heftes zu finden.

Jeder Band, bezw. jeder Halb-Band und jedes Heft des »Handbuches der Architektur« bildet auch ein für ſich abgeſchloſſenes Buch und iſt einzeln käuflich.

Das Recht der Ueberſetzung in fremde Sprachen bleibt vorbehalten.

139222

Druck der UNION DEUTSCHE VERLAGSGESELLSCHAFT in Stuttgart.

DM05113

Handbuch der Architektur.

III. Teil.

Hochbaukonſtruktionen.

2. Band, Heft 3, b.

(Zweite Auflage.)

INHALTSVERZEICHNIS.

Raumbegrenzende Konſtruktionen.

2. Abſchnitt.

Nach oben begrenzende Konſtruktionen.

Seite

B. Gewölbte Decken (Gewölbe) 1
10. Kap. Allgemeines 1
Litteratur über »Gewölbe im allgemeinen« 5
11. Kap. Tonnen- oder Kufengewölbe 6
a) Geſtaltung der Tonnengewölbe 6
b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager 41
c) Ausführung der Tonnengewölbe 77
12. Kap. Kappengewölbe (Preuſsiſche Kappen) 122
a) Geſtaltung der Kappengewölbe 122
b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager 123
c) Ausführung der Kappengewölbe 147
13. Kap. Kloſtergewölbe und Muldengewölbe 163
a) Kloſtergewölbe 163
1) Geſtaltung der Kloſtergewölbe 163
2) Stärke der Kloſtergewölbe und ihrer Widerlager 179
3) Ausführung der Kloſtergewölbe 181
b) Muldengewölbe 191
14. Kap. Spiegelgewölbe 192
a) Geſtaltung der Spiegelgewölbe 192
b) Stärke der Spiegelgewölbe und ihrer Widerlager 196
c) Ausführung der Spiegelgewölbe 196
15. Kap. Kreuzgewölbe im allgemeinen 199
16. Kap. Kreuzgewölbe im beſonderen 211
a) Cylindriſche Kreuzgewölbe 211
1) Geſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe 211
2) Stärke der cylindriſchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager 221
α) Stabilität der Gewölbkappen 222
β) Stärke der Gratbogen 235
γ) Stärke der Widerlager 238
δ) Empiriſche Regeln für die Gewölbſtärke 241
ε) Verankerungen 244
3) Ausführung der cylindriſchen Kreuzgewölbe 245
b) Gotiſche Kreuzgewölbe 261
1) Einfache gotiſche Kreuzgewölbe 263
α) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen 263
β) Die Scheitel der Randbogen tiefer als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen 266
γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer als die Scheitel der Randbogen gelegen 269

Seite

2) Mehrteilige gotiſche Kreuzgewölbe (Stern- und Netzgewölbe) 271
3) Gotiſche Kreuzkappengewölbe 281
4) Steigende gotiſche Kreuzgewölbe 282
5) Widerlager der gotiſchen Kreuzgewölbe 286
6) Rippen der gotiſchen Kreuzgewölbe 294
7) Einwölbung der Kappen 295
α) Bufige Kappen ohne Stelzung 295
β) Bufige Kappen mit Stelzung 311
8) Stärke der gotiſchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager 320
α) Stabilität der Gewölbekappen 320
β) Stabilität der Gewölberippen 336
γ) Stabilität der Widerlager 341
9) Ausführung der gotiſchen Kreuzgewölbe 349
17. Kap. Fächer- oder Trichtergewölbe 355
a) Geſtaltung der Fächergewölbe 355
b) Stärke der Fächergewölbe und ihrer Widerlager 360
c) Ausführung der Fächergewölbe 361
18. Kap. Kuppelgewölbe 364
a) Geſtaltung der Kuppelgewölbe 364
b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager 376
c) Ausführung der Kuppelgewölbe 386
d) Niſchen- oder Chorgewölbe 392
19. Kap. Böhmiſche Kappengewölbe 393
a) Geſtaltung der böhmiſchen Kappengewölbe 393
α) Sämtliche Kämpferpunkte liegen in einer wagrechten Ebene 394
β) Die Kämpferpunkte liegen in verſchiedenen wagrechten Ebenen 401
γ) Die Kämpferpunkte liegen in einer ſchiefen Ebene 403
b) Stärke der böhmiſchen Kappengewölbe und ihrer Widerlager 405
c) Ausführung der böhmiſchen Kappengewölbe 406
20. Kap. Gufsgewölbe und hängende Gewölbe 411
C. Verglaſte Decken und Deckenlichter 416
21. Kap. Begehbare Deckenlichter 417
22. Kap. Nicht begehbare Deckenlichter und verglaſte Decken 426
a) Allgemeines 426
b) In tragende Deckenkonſtruktionen eingefügte Deckenlichter 433
c) An Dachſtühlen hängende oder in anderer Weiſe damit verbundene Deckenlichter und Glasdecken 441
d) Verglaſte Decken und Deckenlichter mit beſonderen Tragkonſtruktionen 449
Litteratur über »Verglaſte Decken und Deckenlichter« 456
Berichtigungen 456

Verzeichnis

der in den Text eingehefteten Tafeln.

Zu Seite 58: Stabilitätsunterſuchung eines ſymmetriſchen Tonnengewölbes und ſeines Widerlagers.
» » 158: Anlage von Kappengewölben zwiſchen Gurtbogen.
» » 223: Stabilitätsunterſuchung eines cylindriſchen Kreuzgewölbes über quadratiſchem Grundriſs.
» » 227: Stabilitätsunterſuchung eines cylindriſchen Kreuzgewölbes über rechteckigem Grundriſs.
» » 230: Stabilitätsunterſuchung eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Schwalbenſchwanzverband.
» » 236: Stabilitätsunterſuchung des Gratbogens eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Kufverband.
» » 238: Stabilitätsunterſuchung des Widerlagers für ein cylindriſches Kreuzgewölbe mit Gratbogen.
» » 306: Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen über rechteckigem Gewölbefelde.
» » 319: Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.
» » 342: Statiſche Unterſuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.
» » 346: Statiſche Unterſuchung eines Strebebogens unter Berückſichtigung des Winddruckes.

B. Gewölbte Decken.

(Gewölbe.)

Von Carl Körner.

10. Kapitel.

Allgemeines.

1. Erklärung.

Ein Gewölbe iſt ein Syſtem von einzelnen, beſonders geſtalteten und nach beſtimmten Geſetzen vereinigten Körpern, welche ſich in ihren Seitenflächen aneinander fügen und in ihrer Geſamtheit ſich gegen feſte, ſelbſtändig auftretende Stützkörper in der Weiſe ſetzen, daſs ſie den Raum zwiſchen dieſen Stützkörpern nicht allein freiſchwebend überdecken, ſondern je nach Umſtänden auch fähig ſind, noch fremde Laſten mit Sicherheit zu tragen.

Im allgemeinen iſt vorwiegend Steinmaterial, natürliches oder künſtliches, für die Gewölbkörper in Betracht zu ziehen, ſo daſs ein Gewölbe als ein ſog. maſſives Bauwerk anzuſehen iſt.

Hiernach heiſsen gewölbte Decken auch Steindecken oder maſſive Decken.

2. Geſchichtliches.

Die Kunſt der Herrichtung von Gewölben, wie ſolche ſchon in grauer Vorzeit bei den verſchiedenſten Anlagen, wie bei Kanälen, Thoren, Brücken oder bei den Deckenbildungen von Grabkapellen, Schatzhäuſern, Thermen, Tempeln u. ſ. w. auftreten, muſs als eine ſehr alte gelten, wie die neueren Forſchungen auf kunſtgeſchichtlichem Gebiete ergeben haben und worüber bereits in Teil II, Band 1 dieſes »Handbuches« das Nähere mitgeteilt worden iſt.

Die eigentliche höhere Entwickelung des Gewölbebaues iſt jedoch den Römern zuzuſchreiben. Sie waren fähig, unter Verwendung des ihnen reichlich zu Gebote ſtehenden, ausgezeichneten Baumaterials und unter geſchickter Verwertung der ihnen im Bau von Gewölben überkommenen Kenntniſſe die engeren Grenzen der Bildung derartiger Konſtruktionen zu überſchreiten und Gewölbebauten zu ſchaffen, welche noch heute ſelbſt in ihren Reſten Bewunderung erregen und den Anſpruch erheben, zu den Groſskonſtruktionen gezählt zu werden. Weiſen dieſelben auch eine groſse Anhäufung von Maſſen auf, die untereinander verkittet ſind, ſo iſt die Kühnheit, mit welcher die Ausführung derſelben vorgenommen wurde, doch zugleich auch wieder ein lebendiger Anſtoſs zu neuerem Schaffen geworden.

Die byzantiniſche Baukunſt hat ſich die Kunſt der Römer zu Nutzen gemacht und ihren Gewölbebauten namentlich durch geringere Maſſenbildung einen ſchwungvollen Ausdruck zu geben gewuſst und ſomit einen weiteren Fortſchritt im Gewölbebau veranlaſst, welcher ſich denn auch ſpäter in der romaniſchen Baukunſt wiederum mit zur Geltung gebracht hat. Blieb in der romaniſchen Baukunſt der Gewölbebau infolge der Grundriſsanordnung ihrer Baſilika mit vorwiegend quadratiſcher Teilung in verhältnismäſsig einfacher Ausbildung, ſo konnte beim Verlaſſen dieſer Grundriſsform ein weiterer Fortſchritt in der Anlage und Ausführung der gewölbten Decke nicht unterbleiben. Das Zuſammenfügen von quadratiſchen mit rechteckigen Grundriſsteilungen der chriſtlichen Kirchen beſeitigte die beſchränktere Anordnung des Grundriſſes der romaniſchen Baſilika und forderte den denkenden Baumeiſter des Mittelalters auf, ein beſonderes Gewölbeſyſtem zu erſinnen, welches in zweckmäſsiger, ſicherer, leichter und ſchöner Weiſe ſein reich gegliedertes Bauwerk im Inneren überdeckte. Den Baumeiſtern der gotiſchen Baukunſt iſt es gelungen, ein derartiges Wölbſyſtem zu ſchaffen. Erhabene Meiſterwerke ſind in den Domen dieſer Bauzeit als ſtrahlende Vorbilder der Wölbkunſt geboten; ſtets und ſtändig werden ſie Bewunderung und Nachahmung finden!

Von diesem Zeitabschnitt an haben neue Wölbsysteme für Grosskonstruktionen sich nicht mehr gezeigt. Für Decken als Grosskonstruktionen, namentlich für Profanbauten, ist das Steinmaterial durch das Eisen zurückgedrängt, und bei den mit gewaltigen Abmessungen behafteten Raumüberdeckungen hat dieses Material die Führung übernehmen müssen.

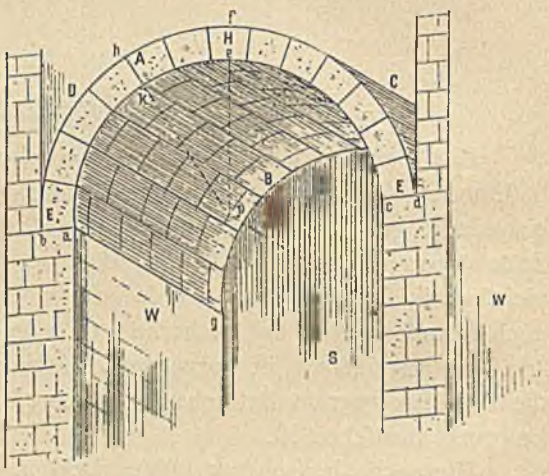
Allein für Kirchen- und Profanbauten von kleinerem oder gröserem Umfange werden gewölbte Decken nach wie vor in geeigneter Weise in Anwendung gebracht.

3. Bestandteile und Bezeichnungen.

Die Bestandteile der »gewölbten Decke« oder kurz des »Gewölbes« haben Benennungen erhalten, welche im folgenden nach Fig. 1 zusammengestellt sind.

1) Der Gewölbkörper oder das eigentliche Gewölbe *abcd* ist die Gesamtheit der die Decke des Raumes bildenden einzelnen Steine.

Fig. 1.



2) Widerlagsmauern oder Widerlager *W* sind die das Gewölbe stützenden Mauerkörper; sie haben dem durch den Gewölbkörper entstehenden Gewölbschube sicheren Widerstand zu leisten.

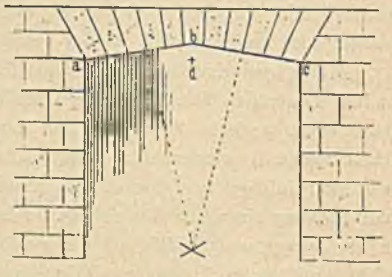
3) Stirnmauern oder Schildmauern *S* sind seitliche Begrenzungsmauern eines mit einem Gewölbe überdeckten Raumes, welche nicht als Widerlager auftreten. Sind solche Schildmauern nicht vorhanden, so nennt man das Gewölbe selbst ein offenes Gewölbe.

4) Laibung *B* ist die innere oder untere Gewölbfläche.

5) Rücken *C* ist die äussere oder obere Gewölbfläche.

6) Gewölblinie, Bogenlinie oder Gewölbbogen ist eine gesetzmäsig gebildete krumme Linie *aec*, bezw. *bfd*, welche die Gewölbflächen *B*, bezw. *C* erzeugt. Ist diese Gewölblinie eine gerade Linie, so entsteht ein scheitrechtes oder gerades Gewölbe (scheitrechter Bogen, Sturz); ist dieselbe eine gerade gebrochene Linie *abc* (Fig. 2), so erhält man das scheitrechte Gewölbe mit Stich; die Höhe des Stiches ist *db*.

Fig. 2.



7) Leitlinie *pm* ist eine gerade Linie oder eine gesetzmäsig gebildete krumme Linie, an welcher die Ebene der Gewölblinie der beabsichtigten Erzeugung der Gewölbfläche gemäs fortbewegt, bezw. um welche jene Ebene gedreht werden kann. Die Leitlinie wird zur Gewölbachse, wenn bei jeder neuen Stellung der Ebene der Gewölblinie die einander entsprechenden Punkte der Bogenlinie auch stets den ihnen zugewiesenen entsprechenden Abstand von dieser Leitlinie bekommen. Die Länge der Gewölbachse bestimmt die Länge des Gewölbes. In einzelnen Fällen kann auch eine gerade Linie die Erzeugende und eine gesetzmäsig gebildete krumme Linie die Leitlinie der Gewölbflächen werden.

8) Kämpferlinien *a g* ſind die Schnittlinien der inneren Gewölbfläche mit der Widerlagsfläche. Die Elemente der Kämpferlinie ſind die Kämpferpunkte.

9) Scheitelpunkt (*e* in Fig. 1, *b* in Fig. 2) iſt derjenige Punkt der inneren Gewölblinie, für welchen eine höchſte Tangente parallel zur geraden Verbindungslinie der Kämpferpunkte feſtgelegt werden kann.

10) Scheitellinie iſt diejenige Linie, deren Elemente die ſämtlichen Scheitelpunkte der inneren Gewölbfläche ſind.

11) Gewölbanfang oder Gewölbfuſs *a b*, bezw. *c d* (Fig. 1) iſt der untere, unmittelbar auf dem Widerlager beginnende Gewölbteil.

12) Widerlagsfläche oder Gewölbefohle iſt diejenige Fläche, deren Elemente durch die Geſamtheit des Gewölbefuſses gebildet ſind.

13) Spannweite oder Sprengweite *a c* iſt die Entfernung der Kämpferpunkte in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie.

14) Pfeilhöhe oder Stichhöhe *p e* iſt die gröſste, lotrecht genommene Ordinate der erzeugenden Bogenlinie, von der Verbindungslinie der in ihrer Ebene gelegenen Kämpferpunkte aus gemeſſen.

15) Pfeil- oder Stichverhältnis iſt die Zahl, entſtanden aus der Maſszahl der Pfeilhöhe, geteilt durch die Maſszahl der Spannweite.

16) Haupt des Gewölbes oder Gewölbeſtirn *a b f e d c* iſt die Fläche zwiſchen der inneren und äuſseren Bogenlinie in der Ebene der Erzeugenden (Vor- und Hinterhaupt).

17) Gewölbſteine *A* ſind die beſonders, meiſtens keilförmig geſtalteten und aneinander gefügten Steinkörper. Beſonders hervorzuhebende Gewölbſteine ſind die Anfänger oder Kämpferſteine *E*, welche unmittelbar auf dem Widerlager ruhen, und die Schluſsſteine *H*, welche die Scheitellinie enthalten.

18) Gewölbfugen *h k* ſind die Trennungen zwiſchen den einzelnen Wölbſteinen in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie; ſie liefern die Teilung eines Gewölbes.

Flächen, welche das Gewölbe ſchneiden, indem dieſelben alle Fugen von der Beſchaffenheit *h k* enthalten, heiſsen Lagerfugenflächen, ihre Schnittlinien mit der Laibung, bezw. mit dem Rücken des Gewölbes heiſsen Lagerfugenkanten oder kurzweg Lagerfugen. Dagegen nennt man Stoſsfugenflächen diejenigen Schnittflächen, welche durch die Ebenen der erzeugenden Bogenlinie beim Durchſchnitt mit dem Gewölbkörper entſtehen. Die Schnittlinien dieſer Flächen mit der inneren, bezw. äuſseren Gewölbfläche heiſsen Stoſsfugenkanten oder kurzweg Stoſsfugen. In einem Gewölbe darf niemals eine ſog. Schluſsfuge, d. h. eine Fuge, welche die Scheitelpunkte enthalten würde, vorhanden ſein.

Die Lagerfugenflächen begrenzen die Wölbſchichten oder Wölbſcharen. Die Stoſsfugenflächen teilen die einzelnen Wölbſchichten in Gewölbſteine ab. Die Kämpferſchicht enthält ſämtliche Kämpferſteine; die Schluſsſteinſchicht wird aus ſämtlichen Schluſsſteinen gebildet.

19) Gewölbſtärke oder Gewölbdicke wird ausgedrückt durch das Längenmaſs der Gewölbfugen, im Scheitel durch das Höhenmaſs in der Mitte des Schluſsſteines.

20) Gewölbeſchenkel heiſsen die rechts und links von einer durch die Scheitellinie gelegten lotrechten Ebene befindlichen Gewölbſtücke.

21) Gewölbzwickel *D* nennt man den Zwiſchenraum vom Gewölbrücken bis zu der über der Kämpferlinie aufgeführten Widerlagsmauer.

Alle Bezeichnungen, welche hier für ein Gewölbe gegeben ſind, werden auch für die ſog. Mauerbogen, Thür- oder Fenſterbogen (ſiehe hierüber Teil III, Band 2, Heft 1 [Abt. III, Abſchn. 1, B: Wandöffnungen] dieſes »Handbuches« unter b), ſowie für die ſog. Strebebogen beibehalten, d. h. für Gewölbe von geringer Längenabmeſſung, von denen erſtere zum oberen Abſchluſs von Maueröffnungen, letztere zur beſonderen Abſteifung von Gewölbwiderlagern dienen.

4. Einteilung der gewölbten Decken.

Im Hochbauweſen werden Gewölbe vorzugsweiſe zum oberen Abſchluſs von ſeitlich durch Mauerwerk begrenzten Räumen, alſo zur Herſtellung von raumabſchlieſsenden Decken in Anwendung gebracht. Geſtaltung des Grundriſſes, Raumanordnung und Raumteilung ſetzen ſich mit der Deckenbildung der Räume jederzeit in ein Abhängigkeitsverhältnis.

Bei der Mannigfaltigkeit in der Durchbildung des Grundriſſes; bei der Verſchiedenheit zwiſchen den Mauermaſſen, welche als feſte, dem Gewölbſchube widerſtehende Stützkörper bei der Raumanordnung in Frage kommen, und den Mauerkörpern, welche nur als ſeitliche Begrenzungen des Raumes auftreten; bei der eingehenden Berückſichtigung der beſonderen Eigenſchaften des zu Gebote ſtehenden Mauer- und Wölbmaterials; bei der Abwägung der Belaſtung der zu ſchaffenden Baukörper — haben ſich für die Formgebung und Konſtruktion der den Räumen zuzuweiſenden »gewölbten Decken« zahlreiche Geſichtspunkte und Forderungen ergeben, deren vollſtändige, richtige und zweckmäſsige Beachtung und Erfüllung die hervorragendſte Aufgabe im Bau der gewölbten Decken iſt.

Die gewölbten Decken im Hochbauweſen zeigen im Vergleich mit den meiſtens offenen Gewölben des Ingenieurbauweſens einen weit gröſseren Reichtum an Form und an Gliederung der Anlage, ſo daſs die eigentliche Gewölbetechnik vorzugsweiſe dem Gebiete des Hochbauweſens angehört.

Um bei der geſchilderten Vielſeitigkeit der Anordnung gewölbter Decken die Konſtruktion derſelben in überſichtlicher Weiſe behandeln zu können, teilt man die für ſolche Decken maſsgebend werdenden Gewölbe in beſondere Gruppen ein. So vielfach nun die Zahl dieſer Gruppen gebildet werden könnte, wenn auch die Eigenſchaften von Gewölbformen mit berückſichtigt werden ſollten, welche mehr in zweiter Linie Beachtung verdienen, ſo iſt es doch möglich, die Gruppenzahl der in den Vordergrund tretenden Gewölbe weſentlich einzuſchränken.

Im groſsen genommen ſind zwei Hauptgruppen der Gewölbe zu unterſcheiden: cylindriſche und ſphäriſche Gewölbe.

Bei den cylindriſchen Gewölben, für welche die Bezeichnung »cylindriſch« im weiteren Sinne des Wortes zu nehmen iſt, gehören die Laibungsflächen der Gewölbe im allgemeinen Cylinderflächen an, welche entſtanden ſind durch Fortbewegen einer ebenen, geſetzmäſsig gebildeten krummen Linie als Erzeugende an einer geraden oder einer ebenen, bezw. räumlichen krummen Linie als Leitlinie, oder umgekehrt durch Fortbewegen einer ge-

Fig. 3.

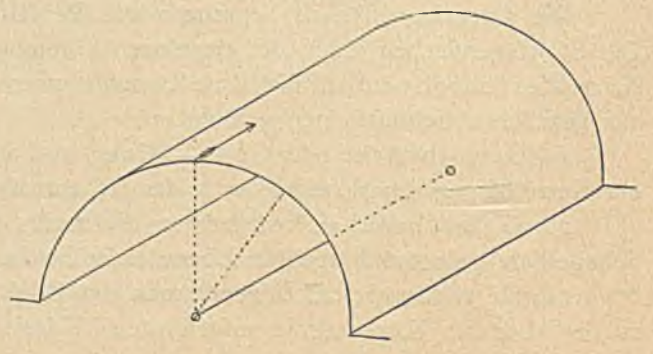
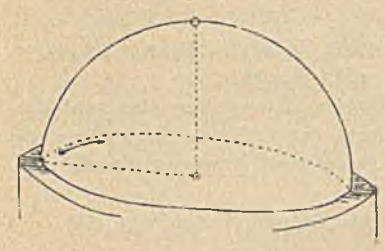


Fig. 4.



raden oder einer krummen Linie als Erzeugende an einer ebenen krummen Linie als Leitlinie.

Bei den ſphäriſchen Gewölben entſteht die Laibungsfläche durch Drehen einer ebenen, geſetzmäſsig gebildeten krummen Linie um eine feſte gerade Linie.

In der That ſind aus dem einfachſten, durch einen Halbkreis in der Laibungsfläche erzeugten cylindriſchen Gewölbe (Fig. 3), und aus dem einfachſten ſphäriſchen Gewölbe, deſſen Laibungsfläche einer Halbkugel (Fig. 4) angehört, die vielfachen ſpäter entwickelten Gewölbformen entſtanden.

Von den Hauptgruppen umfaſst, benennt man die Glieder derſelben folgendermaſsen:

a) Cylindriſche Gewölbe:
   1) das Tonnen- oder Kufengewölbe;
   2) das Kappengewölbe oder die preuſsiſche Kappe;
   3) das Kloſtergewölbe;
   4) das Muldengewölbe;
   5) das Spiegelgewölbe;
   6) das Kreuzgewölbe.

Den Uebergang vom cylindriſchen Kreuzgewölbe zur Gruppe der ſphäriſchen Gewölbe bildet

   7) das gotiſche Kreuzgewölbe, und
   8) das Fächergewölbe oder das Trichtergewölbe.

b) Sphäriſche Gewölbe:
   9) das Kugel-, bezw. das Kuppelgewölbe, und
   10) das böhmiſche Kappengewölbe.

Beſondere Bildungen, deren Geſtalt wohl der Gewölbeform entſpricht, deren Konſtruktion aber weſentlich von der charakteriſtiſchen Durchbildung und Ausführung des in der Erklärung der Gewölbe gegebenen Weſens derſelben abweicht, ſind:

   11) die Gufsgewölbe, aus einem Gufsmaterial (Gufsmörtel, Beton) gebildet, und
   12) die hängenden Gewölbe, wobei die ſtützenden Widerlagsteile, von oben durch beſondere Tragkonſtruktionen aufgehängt, freiſchwebend gehalten werden.

Nach dieſen Erörterungen ſollen die einzelnen Gewölbe in Rückſicht auf ihre Geſtaltung und Ausführung für die Anlage der gewölbten Decken näher beſprochen werden.

Litteratur

über »Gewölbe im allgemeinen«.

Leybold, L. Syſtematiſche Zuſammenſtellung der Gewölbeformen und Conſtruction. Kaiſerslautern 1856.

Leybold, L. Syſtematiſche Zuſammenſtellung der Gewölbeformen und deren Conſtruction. Romberg's Zeitſchr. f. pract. Bauk. 1858, S. 3.

Vaulting and groining. Building news, Bd. 10, S. 951; Bd. 11, S. 22, 76, 112, 132.

Dejardin. *Routine de l'établiſſement des voûtes, ou recueil de formules pratiques et de tables déterminant a priori et d'une manière élémentaire, le tracé, les dimenſions et le métrage des voûtes d'une eſpèce quelconque.* Neue Ausg. Paris 1865.

Bosc, E. *Étude pratique sur la conſtruction des voûtes. Gaz. des arch. et du bât.* 1877, S. 46, 71, 99, 111, 112.

Gottgetreu, R. Beitrag zur geſchichtlichen Entwickelung 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 Entſtehung 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.

Der Gewölbe-Bericht des öſterreichiſchen Ingenieur- und Architekten-Vereins und die Entwickelung der Anwendung der Bauweiſen der Gewölbe in der Baukunſt. Wien 1898.

II. Kapitel.

Tonnen- oder Kufengewölbe.

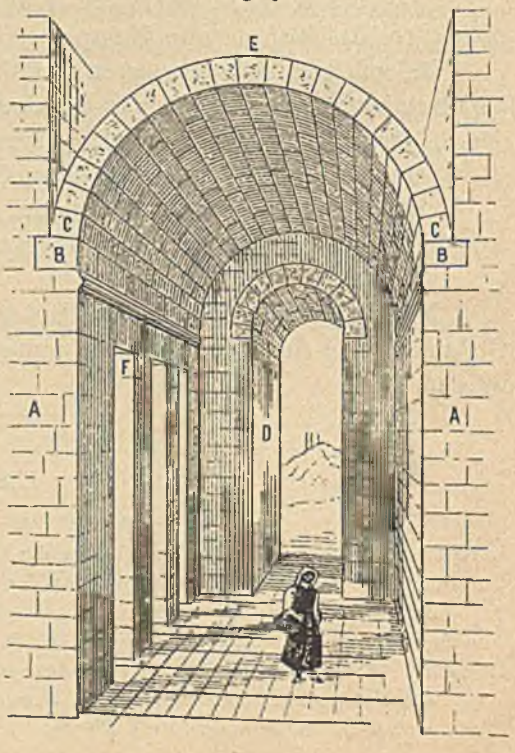
a) Geſtaltung der Tonnengewölbe.

5. Gerades Tonnengewölbe; Halbkreisgewölbe.

Das einfache Tonnen- oder Kufengewölbe beſitzt als Laibungsfläche die halbe Oberfläche eines geraden Kreiscylinders. Die Gewölbachſe 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 Stoſsfugenkanten. Jede Ebene, welche durch die Gewölbachſe geführt wird, ſchneidet die Laibungsfläche in geraden, der Gewölbachſe parallelen Linien oder geraden Lagerfugenkanten. Die Pfeilhöhe dieſes Gewölbes iſt gleich der halben Spannweite desſelben; mithin wird das Pfeilverhältnis $\frac{1}{2}$.

In Fig. 5 iſt ein gerades, einfaches Tonnengewölbe dargeſtellt.

Fig. 5.

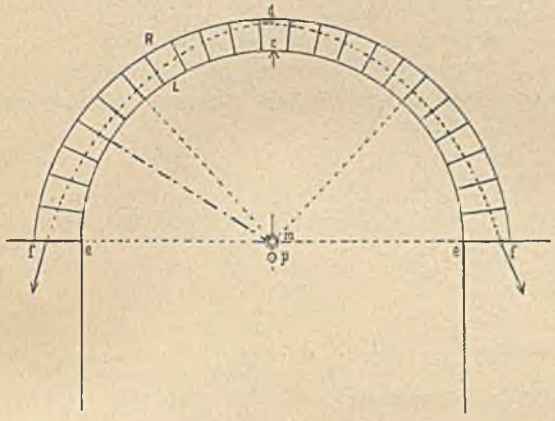


Die Rückenlinie desſelben iſt ein zur inneren Wölblinie konzentriſch geführter Halbkreis, ſo daſs für das Gewölbe überall die gleiche Gewölbſtärke vorhanden iſt. Die Widerlagskörper *A* ſtützen das Gewölbe. Die eine Widerlagsmauer iſt mit Oeffnungen verſehen, welche unterhalb der Kämpferſchicht *B* mit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

Die Stirn *B E B* des Gewölbes iſt durch die radial gerichteten Gewölbfugen ſo geteilt, daſs eine ungerade Anzahl gleich groſser Teilungen der Wölbſchichten *B, C, E* entſtanden, alſo eine Schluſsfuge vermieden und die Anordnung einer Schluſsſteinſchicht *E* ermöglicht iſt, welche zu beiden Seiten von ſymmetriſch liegenden Gewölbeſchenkeln begleitet wird.

Die Lagerfugenkanten treten als gerade Linien auf, welche vom Vorhaupt bis zum Hinterhaupt durchlaufen, während die Stofsfugenkanten, welche Teile des erzeugenden Halbkreifes find, bei den einzelnen Wölbfchichten in Verband gefetzt, gegen die Lagerfugenkanten geführt find. Die einzelnen Wölbfteine haben eine keilförmige Geftalt. Die Gewölbefohle ift eine wagrechte Ebene; die Lagerfugenflächen ftehen fenkrecht zur Laibungsfläche und rechtwinkelig zur Stirn des Gewölbes, während die Stofsfugenflächen rechtwinkelig zu den Lagerfugenflächen und in Ebenen auftreten, welche parallel mit der Gewölbeftirn find.

Fig. 6.

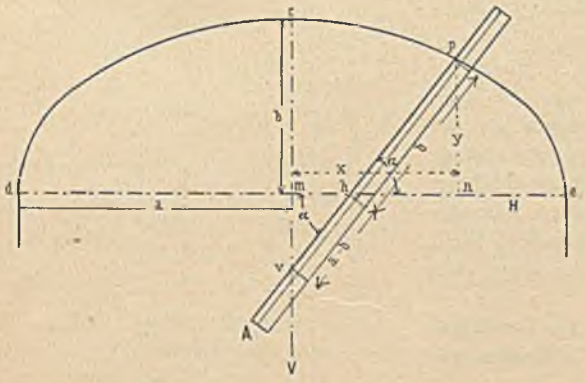


Aus ftatifchen Gründen ift häufig die Rückenlinie R (Fig. 6) auch bei den einfachen geraden halbkreisförmigen Tonnengewölben kein zur inneren Wölblinie konzentrifcher Kreis, fondern ein Kreisbogen $f\,d\,f$ mit dem Mittelpunkte p, welcher fenkrecht unter dem Mittelpunkte m der inneren Wölblinie L liegt. Hierdurch entfteht eine vom Scheitel $c\,d$ aus bis zum Gewölbfufs $e\,f$ ftetig wachfende Gewölbftärke; der Fugenfchnitt für das Gewölbe felbft erleidet aber hierdurch im allgemeinen keine Aenderung.

6. Elliptifches Tonnengewölbe.

Ift die Laibungsfläche eines geraden Tonnengewölbes die halbe Oberfläche eines elliptifchen Cylinders, fo entfteht das elliptifche Tonnengewölbe. Ift in Fig. 7 die Pfeilhöhe $m\,c$ die halbe kleine Achfe der Ellipfe, während die grofse Achfe $d\,e$ die Spannweite giebt, fo heifst ein folches elliptifches Gewölbe ein gedrücktes Tonnengewölbe, und andererfeits wird ein elliptifches Gewölbe ein überhöhtes Tonnengewölbe (Fig. 8) genannt, wenn die halbe grofse Achfe $m\,c$ der Ellipfe zur Pfeilhöhe und die kleine Achfe $d\,e$ derfelben zur Spannweite genommen wird. Auch bei diefen elliptifchen Gewölben find die Lagerfugenflächen winkelrecht zur Laibungsfläche und fenkrecht zur Stirnebene des Gewölbes anzuordnen.

Fig. 7.



In Fig. 7 u. 8 find die Konftruktionen für Ellipfen gegeben, welche zweckmäfsig für das Zureifsen derfelben auf dem Reifsboden (Gipseftrich, Bretterboden) in der Praxis Anwendung finden.

In Fig. 7 fei die Länge der halben grofsen Achfe der Ellipfe $m\,d = a$, diejenige der halben kleinen Achfe $m\,c = b$. A fei eine Holzleifte mit gerader Kante $v\,p$. Auf derfelben ift $v\,p = a$ und $p\,h = b$ genau abgetragen und bezeichnet, fo dafs auch $v\,h = a - b$ ift.

Bewegt man diefe Leifte in der Weife, dafs der Punkt v fich dabei auf der lotrechten Linie V der kleinen Achfe b und der Punkt h fich auf der wagrechten Linie H der grofsen Achfe fortbewegt, fo wird durch den Punkt p ftets ein Ellipfenpunkt beftimmt. Sind folche Punkte p in gröfserer Zahl feft-

gelegt, 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 Koordinaten x, y ein Punkt der Ellipse ist, folgt unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 7 durch nachstehende Ueberlegung. Es ist $\frac{y}{b} = \sin \alpha$, also

$$\frac{y^2}{b^2} = \sin \alpha^2 \quad \ldots \quad 1.$$

Ferner ist

$$x = mh + hn \quad \ldots \quad 2.$$

Aus der Aehnlichkeit der beiden rechtwinkeligen Dreiecke mhv und hnp ergiebt 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 2

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

und, da

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

ist, auch

$$\frac{x}{a} = \cos \alpha$$

und

$$\frac{x^2}{a^2} = \cos \alpha^2 \quad \ldots \quad 3.$$

Werden die beiden Gleichungen 1 und 3 addiert, so ergiebt sich

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

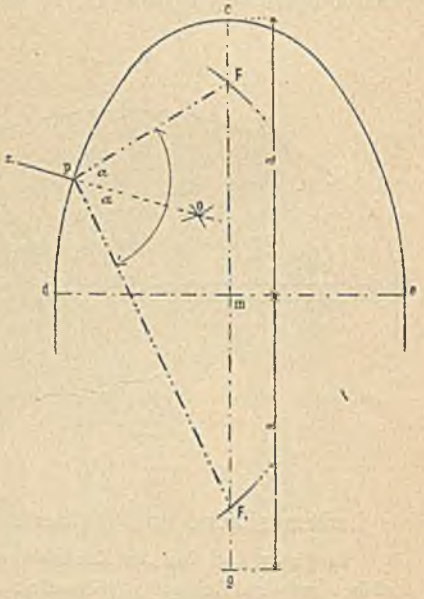
woraus

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2}\,(a^2 - x^2) \quad \ldots \quad 4.$$

als bekannte Mittelpunktsgleichung der Ellipse folgt.

In Fig. 8 ist die Ellipsenkonstruktion 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 Achse ist, angegeben.

Fig. 8.



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 Achse 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 Halbierungsstrahl 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. 9 gegeben.

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

Die proportionale Teilung 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 $m c$ gezogene Parallele $i_1 h_1 g_1$ teilt in ihrem Fufspunkte g_1 die Länge $d m = a$ in demfelben Verhältniffe, wie der Punkt g die Länge $m e = b$ geteilt hat.

Denn mit Bezugnahme auf Fig. 9 ift $\frac{x}{u} = \frac{a}{b}$, alfo

$$x = \frac{u}{b} a \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 5.$$

Ift nun allgemein $u = \frac{1}{n} b$, fo wird auch

$$x = \frac{\frac{1}{n} b a}{b} = \frac{1}{n} a.$$

Die Ordinate des Viertelkreifes $c e$ ift für den Punkt $g = g i = y$. Zieht man durch i wiederum die Parallele zu $d e$, fo wird die Gerade $g_1 h_1 i_1$ im Punkte i_1 gefchnitten, und diefer Punkt ift ein Ellipfenpunkt. Denn man erhält aus dem rechtwinkeligen Dreiecke $m g i$

$$y^2 = b^2 - (b - u)^2,$$

auch

$$y^2 = 2 b u - u^2 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 6.$$

Aus Gleichung 5 folgt $u = \frac{b}{a} x$. Setzt man diefen Wert in Gleichung 6, fo wird

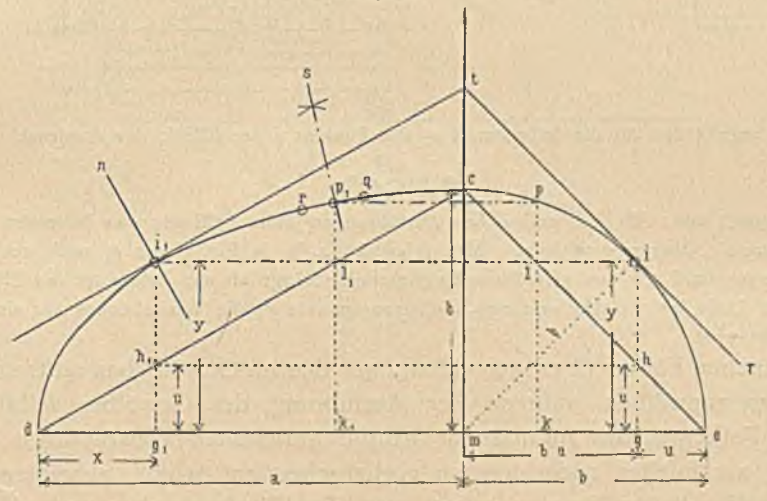
$$y^2 = \frac{2 b^2 x}{a} - \frac{b^2}{a^2} x^2,$$

d. i.

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2} (2 a x - x^2), \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 7$$

entfprechend der Scheitelgleichung der Ellipfe mit den Halbachfen a und b.

Fig. 9.



Ebenfo ift der Ellipfenpunkt p_1 zu ermitteln. Um die Normale in dem beliebigen Ellipfenpunkte i_1 zu beftimmen, legt man in dem entfprechenden Punkte i des Viertelkreifes $c e$ rechtwinkelig zu $m i$ die Berührende T feft. Diefelbe trifft die erweiterte Gerade $m c$ im Punkt t, und, wie bekannt, ift die von t nach i_1 geführte Gerade die Tangente der Ellipfe in i_1. Das Lot $i_1 n$ im Punkte i_1 auf $t i_1$ errichtet, giebt die Normale für diefen Punkt.

Das Feftlegen der winkelrechten Fugenrichtung bei einer Ellipfe [1]) kann nach Fig. 10 auch in der folgenden Weife gefchehen. Aus den Halbachfen a und b der Ellipfe $d c e$ ift das Rechteck $m c k e$ gezeichnet und darin find die Diagonalen $m k$ und $e c$ gezogen. Für den beliebigen Punkt p der Ellipfe, deffen Abfciffe x ift, foll die Normale beftimmt werden.

Man fälle von p das Lot $p g$ auf $m e$, welches verlängert die Diagonale $m k$ in f trifft. Von f fälle man das neue Lot $f l$ auf die Diagonale $c e$, welches entfprechend erweitert die Seite $m e$ des Rechteckes in h fchneidet. Die Verbindungslinie von h und p liefert die gefuchte Normale N. Auf Grund

[1]) Siehe: *Annales des ponts et chauffées* 1886, II. Sem., S. 404.

der Konſtruktion iſt mit Anwendung der Bezeichnungen in Fig. 10 aus der Aehnlichkeit der Dreiecke hgf und cme zunächſt $\frac{z}{v} = \frac{b}{a}$, demnach

$$z = v\,\frac{b}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\

für einen Zwiſchenteil der halben Ellipſe die Normalen Co, qr, st .... gezeichnet. Die Schnittpunkte $5, 4, 3$ .... der Normalen Co mit qr, ſodann qr mit st .... liefern die Krümmungsmittelpunkte der zugehörigen Kreisbogen, und zwar 5 für den Kreisbogen Cq, 4 für den Kreisbogen qs .... Der für die Ellipſe mit den Halbachſen a und b maſsgebende Krümmungshalbmeſſer ρ iſt in den Endpunkten der groſsen Achſe als

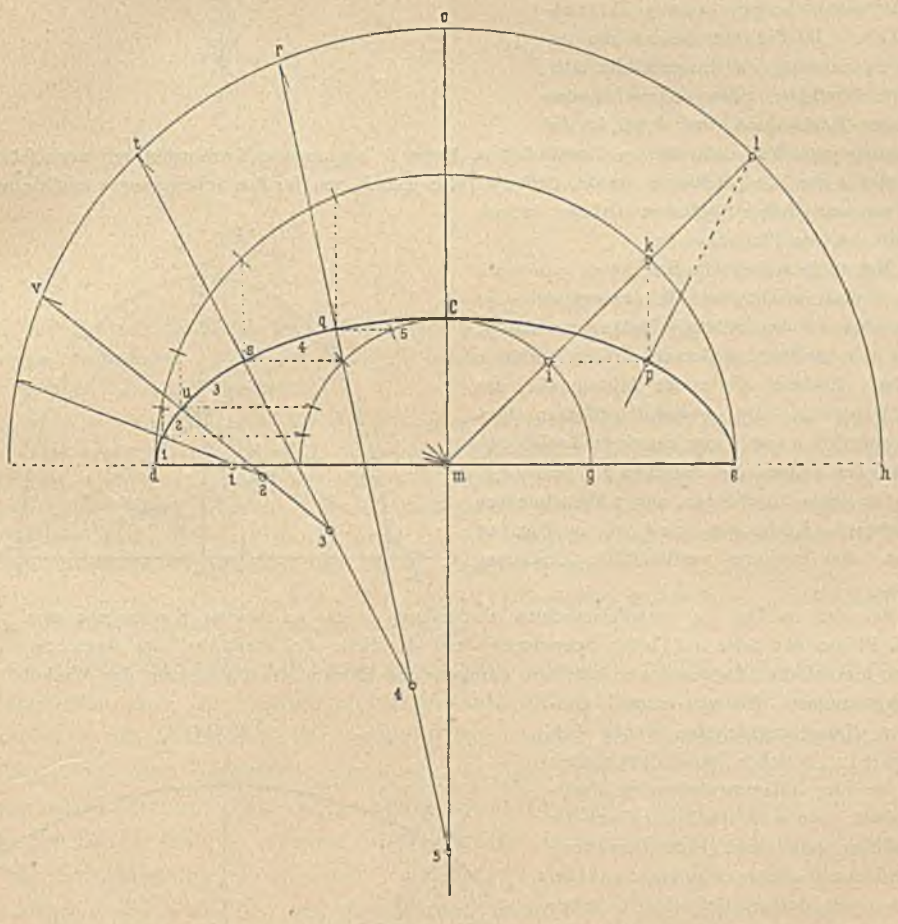
$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

und in den Endpunkten der kleinen Achſe als

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

bekanntlich beſtimmt, ſo daſs nach Berechnung dieſer Werte die gröſsten und kleinſten Krümmungshalbmeſſer von vornherein feſtgeſetzt werden können.

Fig. 11.



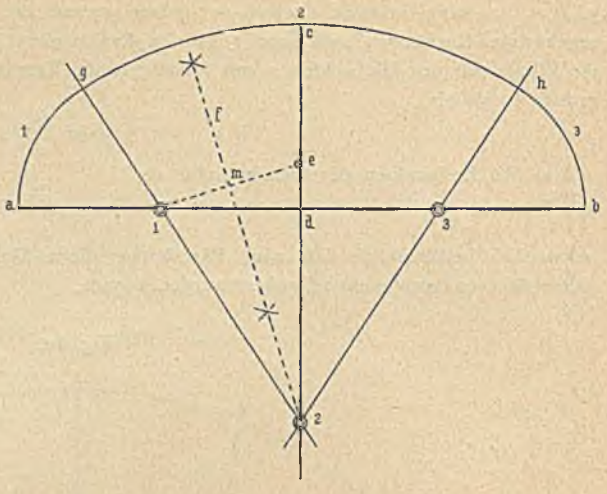
Die aus den verſchiedenen Kreisbogenſtücken zuſammengefügte Bogenlinie $d\,C\,e$, wobei in den Vereinigungspunkten C, q, s .... für je 2 Kreisbogen eine gemeinſchaftliche Tangente vorhanden iſt, wird Korbbogenlinie oder kurz Korbbogen genannt. Sie wird beſchrieben aus einer beſtimmten, bei Korbbogen mit wagrechter Achſe und wagrechter Scheiteltangente ungeraden Anzahl von Mittelpunkten, beiſpielsweiſe deren 9 in Fig. 11.

Wenngleich die Anzahl dieſer Mittelpunkte nach dem ſoeben erklärten Verfahren beliebig groſs genommen werden könnte, ſo iſt doch für die praktiſche Ausführung ſolcher Korbbogen meiſtens nur eine geringe Zahl von Mittelpunkten er-

forderlich. In vielen Fällen, namentlich wenn bei gedrückten Bogen das Pfeilverhältnis nicht unter $^1/_8$ ſinkt, werden nur 3 Krümmungsmittelpunkte benutzt.

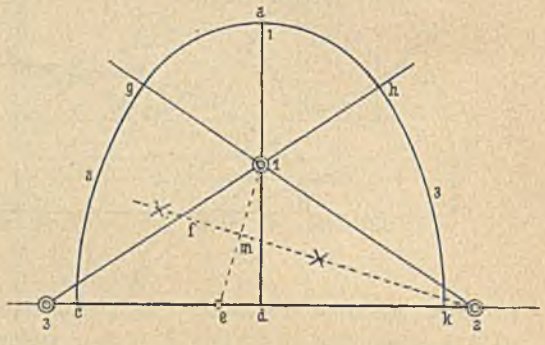
Von den zahlreichen Angaben für die Konſtruktion von Korbbogen ſollen hier nur einige, welche in der Praxis noch hier und dort Anwendung finden, berückſichtigt werden.

Fig. 12.



1) Korbbogen aus 3 Mittelpunkten. In Fig. 12 ſei ab die gegebene Spannweite, cd die gewählte oder gegebene Pfeilhöhe eines zu zeichnenden gedrückten Korbbogens, 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.

Fig. 13.

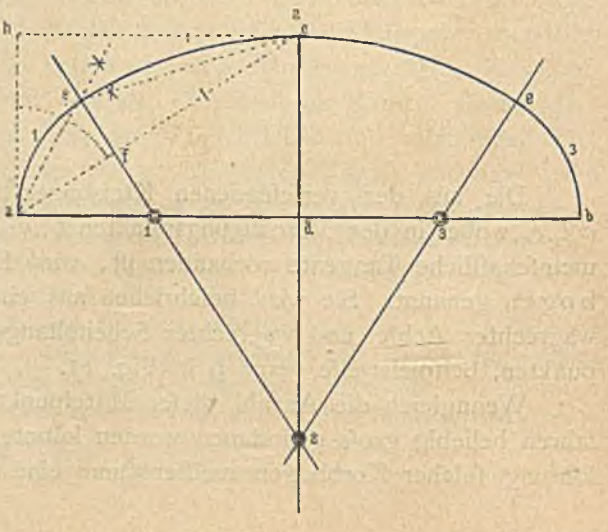


Man trage auf cd die Strecke $ce = a1$ ab, ziehe $e1$ und errichte im Halbierungspunkte m der Geraden $e1$ das gehörig verlängerte Lot f, welches die verlängerte Gerade cd im Punkte 2 ſchneidet. Alsdann iſt 2 der Mittelpunkt des Scheitelbogens 2. Die gemeinſchaftlichen Vereinigungspunkte g und h der einzelnen Kreisbogen liegen auf den verlängerten Strahlen 21, bezw. 23.

Für einen überhöhten, aus 3 Mittelpunkten beſchriebenen Korbbogen cak iſt in Fig. 13 die nun ohne weiteres verſtändliche Zeichnung gegeben.

Bei der in Fig. 14 veranſchaulichten Darſtellung eines gedrückten Korbbogens 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 zuſammentretenden Kreisbogen wird. Von e iſt das Lot ef auf die Diagonale ac gefällt und gehörig erweitert, um in ſeinem Schnitte 1 mit ad und im Schnitte 2 mit der verlängerten Geraden cd die geſuchten Mittelpunkte 1 und 2 für die Bogen 1 und 2 zu liefern.

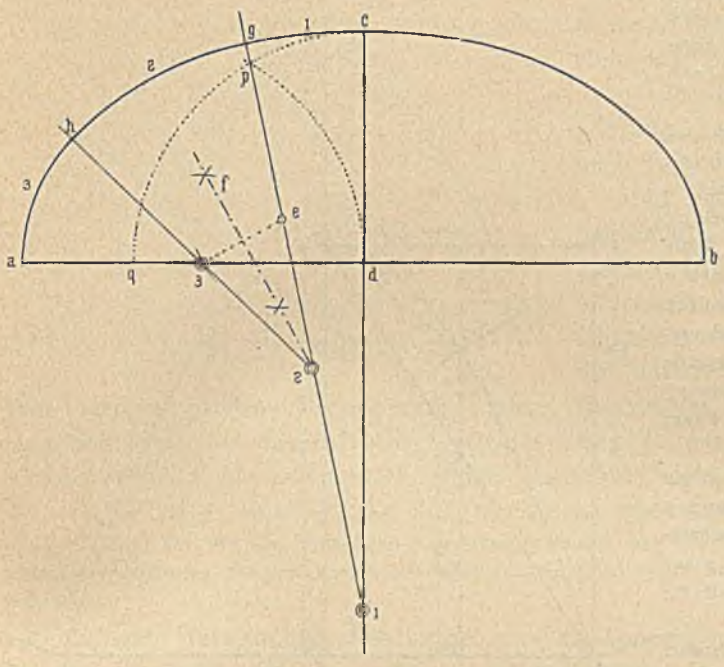
Fig. 14.



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

2) Korbbogen aus 5 Mittelpunkten. Beim gedrückten Korbbogen in Fig. 15 iſt ab die Spannweite und dc die Pfeilhöhe. Obgleich die Halbmeſſer für den Scheitelbogen und für den An-

Fig. 15.



ſatzbogen 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 auf die praktiſche Ausführung der Korbbogengewölbe den Halbmeſſer des Scheitelbogens nicht zu groſs, den Halbmeſſer des Kämpferbogens dagegen nicht zu klein zu nehmen. In Fig. 15 iſt der erſtere ($= c\,1$) etwas kleiner als die Spannweite und der letztere ($= a\,3$) etwas gröſser als $^1/_4$ der Spannweite $a\,b$ gewählt.

Um die Länge des Scheitelbogens, welche gleichfalls ziemlich willkürlich angenommen werden könnte, nicht zu übertreiben, iſt es empfehlenswert, den mit dem Halbmeſſer $d\,c$ um d beſchriebenen Viertelkreis $q\,c$ in 3 Teile zu zerlegen und durch den höchſten Teilpunkt p den Strahl $1\,p$ als Begrenzungshalbmeſſer für den Scheitelbogen anzunehmen. Dieſer um 1 mit $1\,c$ beſchriebene Bogen erhält dann im Punkte g der erweiterten Geraden $1\,p$ ſeinen Endpunkt.

Nachdem $a\,3$ als Halbmeſſer des Kämpferbogens feſtgelegt iſt, wird, ähnlich der Konſtruktion in Fig. 12, die Länge $a\,3$ von g nach e auf $g\,1$ abgetragen und im Halbierungspunkte der Linie $3\,e$ das Lot f errichtet, welches entſprechend verlängert die Linie $g\,1$ in 2 ſchneidet. Der Punkt 2 iſt alsdann Mittelpunkt für den Bogen 2, welcher mit dem Halbmeſſer $2\,g$ beſchrieben wird. Der Begrenzungshalbmeſſer für dieſen Bogen iſt der erweiterte Strahl $2\,3$, auf welchem h der Vereinigungspunkt für den um 3 mit $3\,a$ beſchriebenen Kämpferbogen und für den Bogen $g\,h$ wird.

3) Korbbogen aus mehr als 5 Mittelpunkten werden immerhin am zweckmäſsigſten auf Grund des in Fig. 11 gegebenen Verfahrens beſchrieben.

8. Parabelgewölbe.

Durch theoretiſche Unterſuchungen ergiebt ſich, daſs, unter ſonſt gleichen Verhältniſſen genommen, die Parabel von allen einfachen Kurven diejenige iſt, für welche, wenn dieſelbe als Mittellinie der Gewölbſtirn, bezw. als Bogenlinie gewählt wird, das ſtabilſte Gewölbe hergeſtellt werden kann, und ſchon aus dieſem Grunde ſollten Tonnengewölbe, wenn nicht ganz beſondere äſthetiſche Forderungen für die Geſtaltung derſelben geſtellt werden, als Gewölbe mit einer Parabel als Bogenlinie, bezw. als Stirnmittellinie, alſo als Parabelgewölbe häufiger als bis jetzt im Hochbauweſen der Fall iſt, zur Ausführung kommen. Für Parabeltonnengewölbe würde die Pfeilhöhe mindeſtens gleich der halben Spannweite auftreten, da bei geringer Pfeilhöhe eine flachbogige Parabel als Erzeugende für ein Flachbogengewölbe entſteht. Eine die halbe Spannweite überſchreitende Bogenhöhe liefert eine Bogenöffnung, welche für die Benutzung des dazu gehörigen Raumes oft erwünſcht und vorteilhaft iſt, ohne daſs dadurch beſondere Schwierigkeiten für die Gewölbeausführung erwachſen, daſs vielmehr dadurch noch Nutzen für die Widerlagskörper entſteht.

Von den zahlreichen Konſtruktionen der Parabel iſt ein für unſere Zwecke ſehr brauchbares Verfahren zum Zeichnen einer mit beliebiger Weite und Höhe verſehenen Parabel in Fig. 16 gegeben.

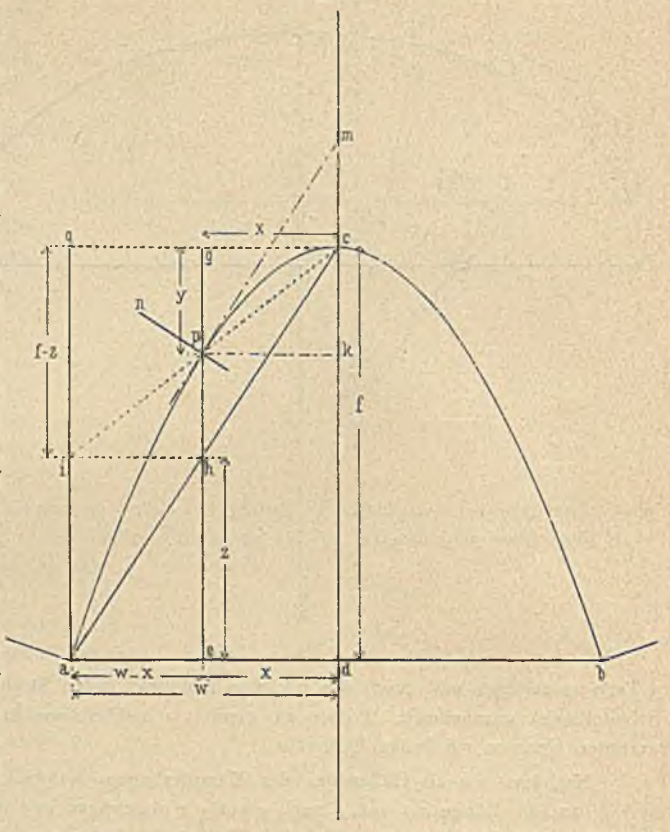
Es ſei $w = a\,d = d\,b$ gleich der halben Spannweite und $f = c\,d$ gleich der Pfeilhöhe der zu zeichnenden Parabel; die Abmeſſungen ſind für beide Stücke beliebig gewählt.

Man ziehe $c\,q$ parallel zu $a\,d$, $a\,q$ parallel zu $c\,d$ und die Gerade $a\,c$. Zieht man nunmehr durch den beliebigen Punkt e der Geraden $a\,d$ die Parallele $e\,g$ zu $d\,c$, ſo ſchneidet dieſelbe die Linie $a\,c$ im Punkte h. Führt man durch h parallel zu $a\,d$ die Gerade $h\,i$, welche die Gerade $a\,q$ in i ſchneidet und verbindet man i mit c durch eine gerade Linie, ſo trifft dieſelbe die Gerade $e\,g$ in einem Punkte p, welcher ein Punkt der geſuchten Parabel iſt.

Nimmt man $p\,k$ parallel zu $a\,d$ und $k\,c = c\,m$, ſo iſt der Strahl $m\,p$ nach bekannten Eigenſchaften der Parabel Tangente in p, und das in p auf $p\,m$ errichtete Lot iſt die Normale für dieſen Punkt.

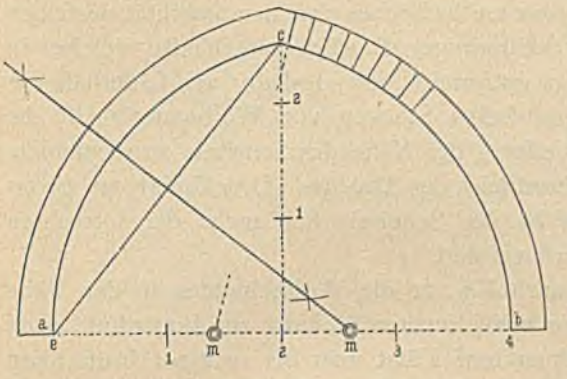
Daſs p ein Punkt der Parabel iſt, ergiebt ſich unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 16 in folgender Weiſe. Auf Grund der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke $g\,p\,c$ und $g\,i\,c$ iſt $\frac{y}{x} = \frac{(f-z)}{w}$, demnach

Fig. 16.



$$y = (f-z)\,\frac{x}{w} \quad \ldots\ldots\ldots\

Fig. 18.



winkel unabhängig ſind, auch bei dem neuen Syſtem mit konjugierten Achſen Gültigkeit behalten.

Von Bogenlinien in der Form von Fig. 17 u. 18 werden wir ſpäter noch Gebrauch machen.

9. Spitzbogiges Gewölbe.

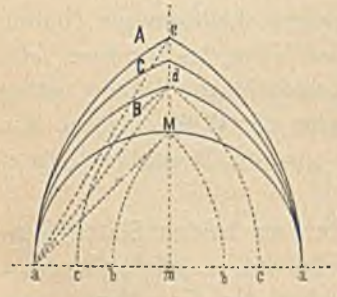
Iſt die Bogenlinie nicht ſtetig gekrümmt, ſondern wie in Fig. 18 aus zwei in einem Punkte *c*, dem Scheitelpunkte, ſich ſchneidenden Bogenſchenkeln *a c* und *b c* zuſammengeſetzt, die am Schnittpunkte einen mehr oder weniger groſsen Bogenwinkel bilden, ſo entſteht der Spitzbogen als erzeugende Linie für das ſpitzbogige Gewölbe. Je nach der Gröſse des Bogenwinkels entſtehen die mehr oder weniger ſchlanken Spitzbogen.

In Fig. 18 iſt der Bogenwinkel *a c b*, bei dem das Pfeilverhältnis $2\frac{1}{2} : 4$ 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 Bogenſchenkel 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 gotiſchen 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. 19 ſind einige Spitzbogen für die Spannweite *a a* in Zuſammenſtellung mit einem um *m* beſchriebenen Halbkreiſe gezeichnet, wobei die Mittelpunkte *b* und *c* der Bogenſchenkel *B* und *C*, wie ohne weiteres erſichtlich, mit Hilfe der Sehnenlängen *a M* und *a d* 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 Dreieckes *a e a* bildet. So lange der Mittelpunkt für die Spitzbogenſchenkel innerhalb der Strecke *m a* bleibt, erſcheint der danach gebildete Bogen weniger ſchlank, aber vielfach in äſthetiſcher und in gewiſſen Fällen in ſtatiſcher und konſtruktiver Beziehung günſtiger. Eine Grenzlage bildet gleichſam der um *a* beſchriebene Spitzbogen *A*. Rückt der Mittelpunkt noch über die Kämpferpunkte *a* hinaus, ſo entſteht leicht eine übertrieben ſpitze, lanzettartige Form für die Bogenlinie. Wegen der Vielſeitigkeit, 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 Gewölbfugen, welche für jeden Bogenſchenkel nach dem ihm zugehörigen Mittelpunkte gerichtet ſein ſollen, in be-

Fig. 19.



achtenswerter Weiſe. Bei kleinerem Wölbmaterial wird namentlich, wie Fig. 20 zeigt, über dem Scheitelpunkte des Bogens ein häſsliches und der Stabilität desſelben ungünſtiges Syſtem von kleinen, ſtark keilförmigen Stücken angehäuft, welches in keiner Weiſe einer guten Konſtruktion entſpricht und deshalb als fehlerhaft bezeichnet wurde. Aber auch ſelbſt bei gröſseren Stücken von Wölbmaterial iſt die Fugenanordnung in der angegebenen 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 lotrechten Richtung nähernde Gewölbfugen anzuordnen ſind.

Aus dieſem Grunde richtet man nach Fig. 21 die Wölbſchichten in der Nähe des Scheitels unter Aufgeben der genau winkelrechten 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 winkelrechte Fugenrichtung für die Mittelpunkte *o*, bezw. *II* eintreten, ſo iſt nunmehr das höchſte Bogenſtück zwiſchen den normalen Grenzfugen *o . . . o* und *II . . . II* für kleineres Wölbmaterial,

Fig. 20.

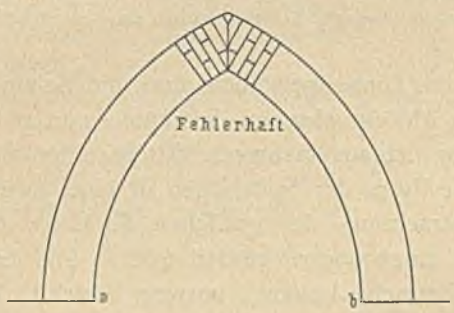
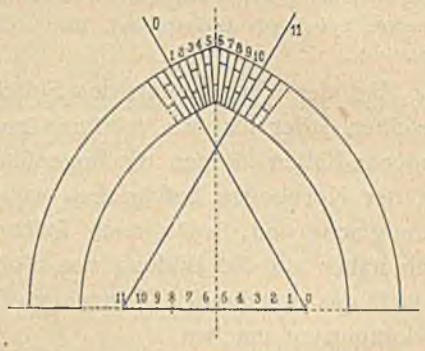


Fig. 21.

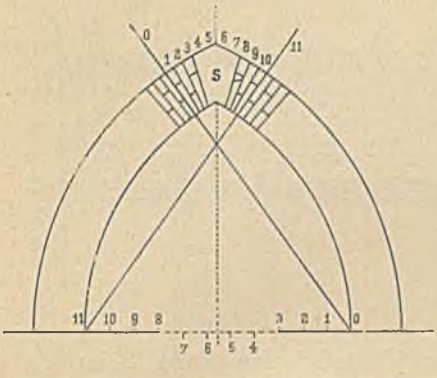


z. B. für Ziegel, in der Weiſe in Schichten zu teilen, daſs, der Dicke der Ziegel und der Stärke der Fugen zwiſchen dem Ziegelmauerwerk entſprechend, die Teilung auf der Rückenlinie des Gewölbbogens mit Vermeiden der ſog. Schluſsfuge vorgenommen wird. Die Teilung auf der inneren Bogenlinie vorzunehmen, iſt nicht rätlich, weil alsdann infolge der immerhin noch notwendigen keilförmigen Geſtalt der Wölbſteine bei der ſonſt üblichen Gewölbſtärke in der Nähe des Rückens ſehr ſtarke Mörtelfugen erforderlich werden, während bei der empfohlenen Teilung, unter Beobachtung regelrechter Fugenſtärken, die einzelnen Steine der Wölbſchichten nur ein mäſsiges Verhauen erleiden oder in der Nähe der inneren Bogenlinie etwas ſchwächere Fugen als oben am Rücken erhalten.

Da die Teilung von der gedachten Scheitellotrechten zu beiden Seiten ſymmetriſch liegt, alſo für den Schluſsſtein eine volle Steinſchicht eingeführt werden muſs, ſo hat man immer für die zu teilende Strecke zwiſchen den Grenzfugen eine ungerade Zahl von Wölbſchichten anzuordnen. Dieſe Zahl iſt nun maſsgebend für das Feſtlegen der Richtungslinien der einzelnen Fugen, indem die Verbindungslinie der Hauptmittelpunkte, *o . . II*, in dieſelbe Anzahl gleicher Teile zerlegt wird. In der Zeichnung ſind *II* Teilpunkte angewandt, und nunmehr richtet ſich Fuge *1* nach der Geraden *1 . . . 1*, *2* nach der Linie *2 . . . 2* u. ſ. f.

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

Fig. 22.

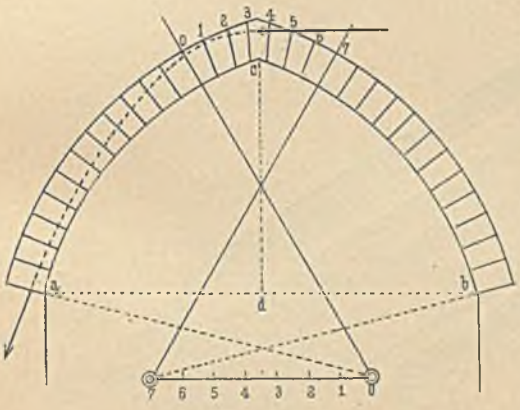


Zuweilen fügt man auch ſelbſt dann, wenn Ziegelmaterial verwendet wird, unter teilweiſem Beibehalten der eben beſchriebenen Fugenanordnung, nach Fig. 22 eine beſonders aus gröſseren Thonſteinen gebrannte oder aus Werkſtücken (Quadern) bearbeitete Schluſsſteinſchicht *S* ein, was namentlich bei ſteileren Spitzbogen rätlich iſt, da alsdann das 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 winkelrechte Fugenrichtung beibehalten wird, ſchon mit einem Neigungswinkel von etwa 45 Grad zur Wagrechten *o ... 11* angenommen werden, während bei weniger ſteilen, ſog. ſtumpfen Spitzbogen die ſchon in Fig. 21 angegebene höhere Grenzlage ohne Nachteil für die Ausführung gewählt werden kann.

Werden die Mittelpunkte *o* und *7* (Fig. 23) unter die wagrechte Verbindungslinie *a b* der Kämpferpunkte gelegt, ſo entſteht der gedrückte Spitzbogen. Wird dabei die Pfeilhöhe *c d* kleiner als die halbe Spannweite *a d*, ſo erhält man den flachen Spitzbogen.

Fig. 23.



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 vorteilhaft zur Ausführung ſpitzbogiger Tonnengewölbe.

Ebenſo wie aus zwei Kreisbogenſchenkeln ein Spitzbogen gebildet werden kann, würde man auch aus zwei ſymmetriſchen elliptiſchen Bogen oder aus zwei ſymmetriſchen Korbbogen einen Spitzbogen konſtruieren und danach ein entſprechendes Tonnengewölbe herſtellen können. In der Anwendung ſind alsdann alle diejenigen Punkte wieder zu berückſichtigen, welche bereits bei den elliptiſchen und Korbbogengewölben Erwähnung gefunden haben. Auf die elliptiſchen Spitzbogengewölbe wird noch bei den »Tonnengewölben mit ſog. Stichkappen« und bei den »Netzgewölben« hinzuweiſen ſein.

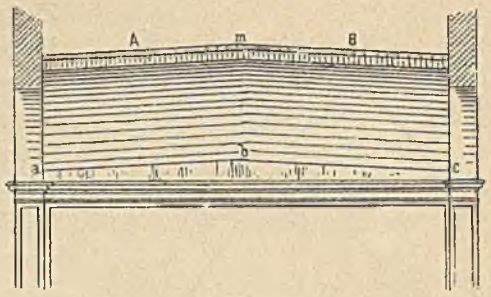
10. Tonnengewölbe mit Stich.

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. 24) die Achſen von den Stirnmauern bis zur Mitte des Raumes ſchwach geneigt anſteigen, oder wie geſagt wird, man läſst das Gewölbe »mit Stich« verſehen. Die

POLITECHNIKA GDAŃSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA

Scheitellinie und die Kämpferlinien erhalten dann als Parallele zur Gewölbachſe denſelben Stich.

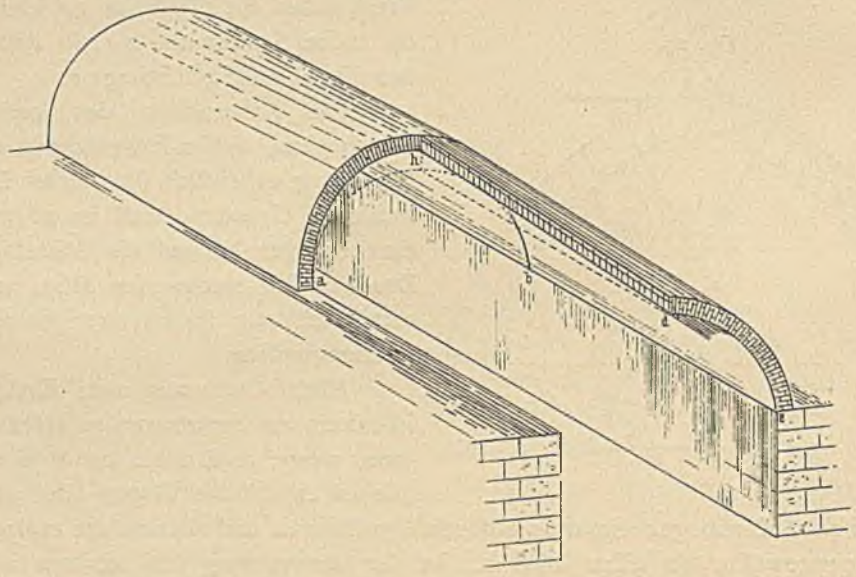
Fig. 24.



In ſolchem Falle bilden die beiden cylindriſchen Gewölbkörper A und B, da ihre Achſen nicht mehr rechtwinkelig zu ihren Stirnebenen ſtehen, ſchiefe cylindriſche Körper, welche in einer ſog. »Naht« oder in einem »Grat« $m\,b$ zuſammentreffen, ſonſt aber überall den gleichen lotrechten Querſchnitt beſitzen.

Das ſchräge Anſteigen $a\,b$, bezw. $c\,b$ der Kämpferlinien kann beim Vorhandenſein wagrecht geführter Kämpfergeſimſe jedoch von nachteiliger Wirkung werden; um dies zu vermeiden, ordnet man das Gewölbe nach Fig. 25 bei wagrechten Kämpferlinien ſo an, daſs die Scheitellinie bis zur mittleren Bogenlinie, welche eine andere Form $a\,h\,b$ als die Bogenlinie der Stirn erhält, in entſprechender

Fig. 25.

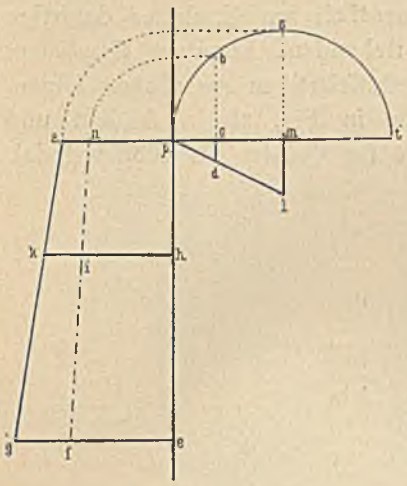


Weiſe anſteigt. Die Folge hiervon iſt, daſs die ſämtlichen lotrechten Schnitte, parallel zur Stirnebene gelegt, verſchiedene Bogenlinien aufweiſen müſſen. In der praktiſchen Ausführung ſolcher Gewölbe wird aber auf dem den Körper des Gewölbes tragenden Gerüſte, wovon ſpäter erſt die Rede ſein kann, ohne von vornherein die Wölblinien zu ändern, an den notwendigen Gerüſtſtellen eine, vermöge des geringen Stiches, nur 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. 26 verfahren.

Es ſei $p\,e$ die wagrechte Länge der Gewölbhälfte, der um m mit dem Halbmeſſer $m\,p$ beſchriebene Halbkreis $p\,s\,t$ der Stirnbogen und $m\,l$ die Höhe des Stiches der Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat des Gewölbes. Lotrechte Ebenen $b\,c$, welche rechtwinkelig zur Stirnebene geführt werden, ſollen

Fig. 26.



die Laibungsfläche des Gewölbes in geraden anfteigenden Linien fchneiden, deren Stichhöhe cd am Grat fich zur Stichhöhe ml der Scheitellinie verhält, wie fich der Abftand pc der gewählten lotrechten Ebene zum Halbmeffer pm des Stirnbogens verhält.

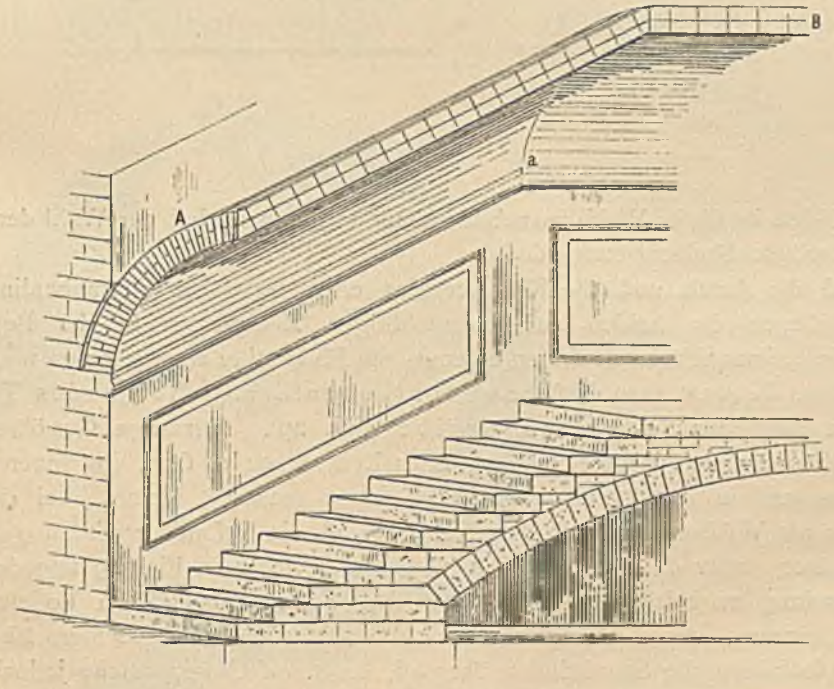
Nimmt man daher $pn = cb$ und $ef = db$, fo ift nf die gefuchte anfteigende Linie für den lotrechten Schnitt bc und $ef - bc = cd$ die Auffütterung für den Punkt f. Für den beliebig in h parallel zur Stirnebene genommenen lotrechten Schnitt hk ift im Punkte i die Auffütterung gleich dem Unterfchiede zwifchen hi und cb, während für den Punkt k die Höhe diefer Auffütterung offenbar gleich dem Unterfchiede zwifchen hk und ms ift, weil ag der anfteigenden Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat entfpricht, für welche $eg = ls$ und $pa = ms$ mafsgebend war.

Was hier für den Halbkreis als Stirnbogen gefagt ift, gilt auch für irgend eine andere Form des zu Grunde gelegten Stirnbogens.

11. Steigendes Tonnengewölbe.

Liegen die gerade Gewölbachfe und die ihr parallelen Kämpferlinien eines Tonnengewölbes in einer fchiefen Ebene, wobei jedoch zwei einander zugehörige Kämpferpunkte einer wagrechten Geraden angehören, fo wird dasfelbe ein gerades fteigendes Tonnengewölbe genannt. Fig. 27

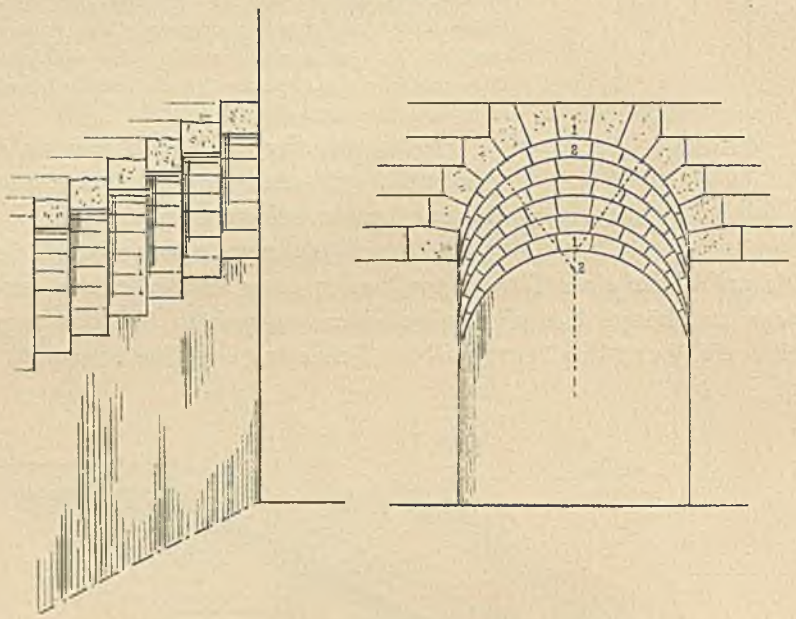
Fig. 27.



veranfchaulicht dasfelbe an dem im Durchfchnitte genommenen Gewölbkörper A. Tritt dasfelbe mit einem wagrechten geraden Tonnengewölbe B zufammen, fo entfteht in der Schnittlinie wiederum ein Grat a. Derartige Tonnengewölbe finden in der Regel nur bei Treppenanlagen Verwendung und find auch hierfür fchon in früher Zeit in grofsartiger Weife zur Ausführung gelangt.

Wenngleich der praktiſchen Herrichtung dieſer Gewölbe beſondere Schwierigkeiten nicht entgegenſtehen, ſo wurden doch namentlich im Mittelalter derartige ſteigende Gewölbe aus einzelnen, nebeneinander ſtehenden, kürzeren Gewölben, ſog. »Gurten« oder »Zonen«, deren Kämpfer einer ſtaffelartigen Anordnung folgen, zuſammengefügt. Dieſe Konſtruktionsweiſe, welche in Fig. 28 in Anſicht und Längenſchnitt dargeſtellt iſt, eignet ſich beſonders für Quader als Wölbmaterial.

Fig. 28.



Auch bei den in dieſer Weiſe auszubildenden Gewölben iſt bei der Wahl der Bogenlinie die gröſste Freiheit vorhanden.

12. Schraubenförmig ſteigendes Tonnengewölbe; Schneckengewölbe.

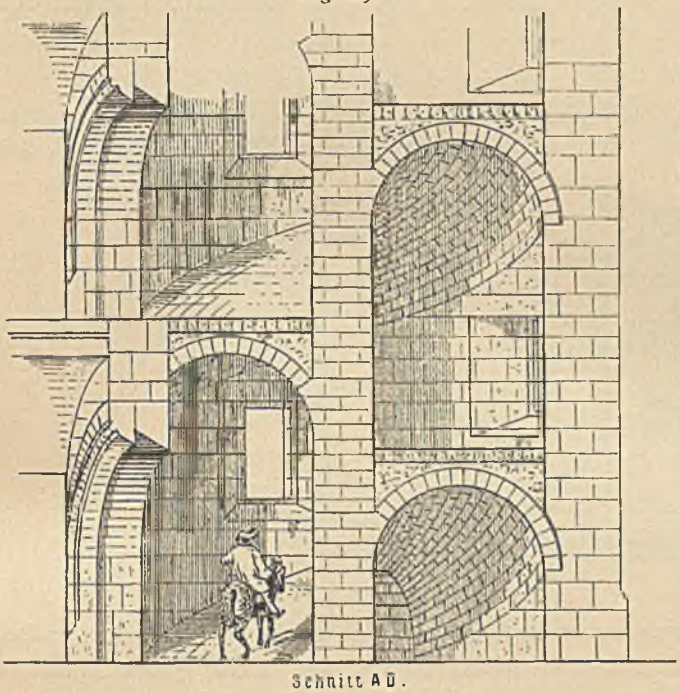
Sind die Achſe und die Kämpferlinien eines Gewölbes Schraubenlinien, bei deren Feſtlegen die beiden zuſammengehörigen Kämpferpunkte der Bogenlinie, welche die Laibungsfläche desſelben erzeugt, die Endpunkte einer geraden wagrechten Linie bilden, ſo nennt man dasſelbe ein ſchraubenförmig ſteigendes Tonnengewölbe oder ein Schneckengewölbe (Fig. 29). Derartige Gewölbeanlagen können über maſſiven Wendeltreppen, über Reitrampen u. ſ. w. 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. 29 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*, bezw. *cd* Grate, welche jedoch genau der erzeugenden Bogenlinie entſprechen.

13. Ringgewölbe.

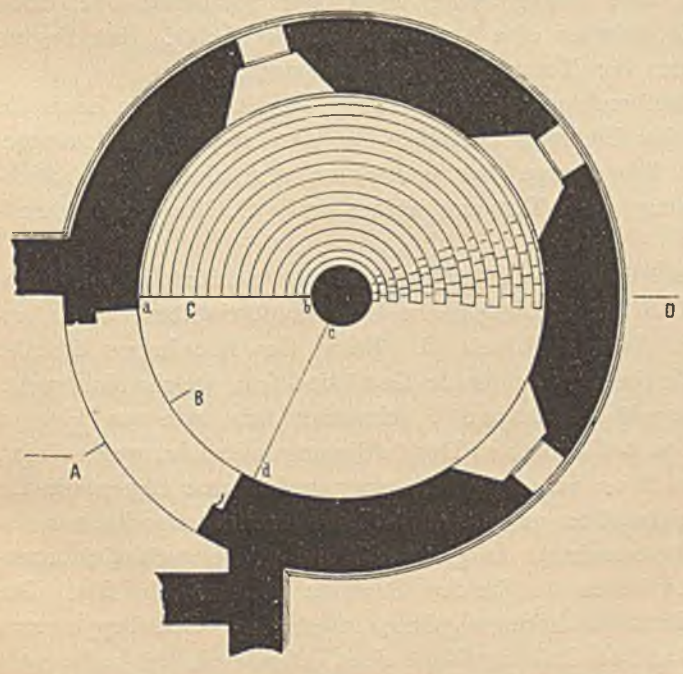
Iſt die Achſe eines Gewölbes eine in einer wagrechten Ebene liegende, geſetzmäſsig gebildete Kurve, und ſind die in derſelben Ebene liegenden Kämpferlinien der Achſe derartig entſprechend genommene Kurven, daſs in der winkelrecht zur Achſe geſtellten lotrechten Ebene der erzeugenden Bogenlinie zwei zuſammengehörige Kämpferpunkte in jeder Stellung dieſer Ebene immer denſelben urſprünglichen Ab-

ſtand von der Achſe behalten, ſo entſteht die Laibung eines Ringgewölbes oder des ringförmigen Tonnengewölbes (Fig. 30). Am häufigſten wird die Gewölbachſe kreisförmig oder elliptiſch (nur als Halbkreis, bezw. als halbe Ellipſe oder vollſtändig geſchloſſen) zur Anwendung gebracht. Bei Bruchſtein- und Backſteinmaterial entſtehen beim Herſtellen ſolcher Ringgewölbe keine erheblichen Schwierigkeiten; bei Anwendung von Hauſteinmaterial ſind die einzelnen Wölbſteine jedoch nach einem beſonders zu ermittelnden Fugenſchnitte zu bearbeiten. Tritt an die Stelle der krummlinigen Gewölbachſe eine gebrochene gerade Linie, d. h. ein Polygonalzug, ſo entſteht eine Nebenart des Ringgewölbes, welche mit dem Namen polygonales Tonnengewölbe bezeichnet wird. Hierbei ſchneiden die Tonnengewölbe der einzelnen Seiten des Polygons über den Ecken der Achſe in einem gemeinſchaftlichen Grat zuſammen.

Fig. 29.



Schnitt AD.

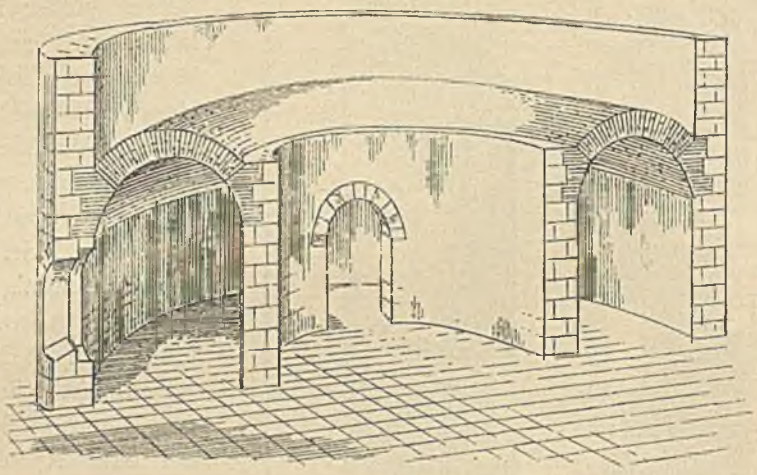


14. Tonnengewölbe mit Stichkappen.

Durchdringen die Gewölbflächen kleinerer Tonnengewölbe das eigentliche Hauptgewölbe, ſo nennt man die erſteren Stichkappen oder Lünetten und das ganze 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 geſtattet, hat dazu 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 Reichtum ausgeſtattet, bei den hervorragenden Bauwerken italieniſcher

Fig. 30.



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 Achſe. Ihre Bogenlinie entſpricht den Bogenlinien des Tonnengewölbes überhaupt.

Unter c wird bei der Beſprechung der Ausführung der Stichkappen noch die genaue Ausmittelung 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.

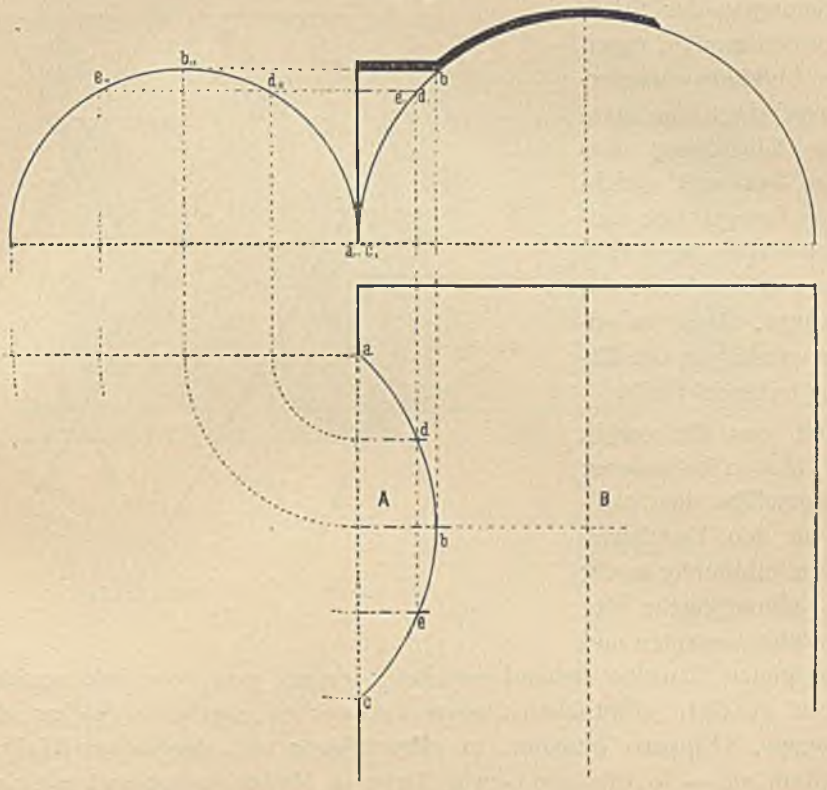
In Fig. 31 iſt im Grundriſs *A* die Laibungsfläche der Stichkappe mit halbkreisförmiger Bogenlinie und *B* die Laibungsfläche des Hauptgewölbes, deſſen erzeugende Bogenlinie gleichfalls ein Halbkreis iſt. Beide Gewölbe haben dieſelbe wagrechte Ebene als Kämpferebene und gerade Gewölbachſen, welche ſich rechtwinkelig treffen. Die Laibungsflächen *A* und *B* ſchneiden ſich, wie aus Fig. 31 erſichtlich iſt, in einer leicht zu beſtimmenden Durchdringungslinie *a b c*, 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 Projektion als Kurve 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 Haupt-

gewölbe gefteckte kleinere Stichkappengewölbe den Anfchlufs und die weitere Stütze gewähren mufs.

Hierin ift der Grundfatz für die Konftruktion der Stichkappen ausgefprochen.

So gut nun die wagrechte Projektion der Durchdringungslinien, fei die innere oder äufsere Wölbfläche dabei in Betracht gezogen, neben der Bogenlinie des Hauptgewölbes von der Bogenlinie der Stichkappe abhängig gemacht wird, ebenfogut kann auch umgekehrt diefe Bogenlinie bei gegebenem Hauptgewölbe von einer beftimmten, vorweg vorgefchriebenen wagrechten Projektion der Durchdringungslinie abhängig gemacht und unter Berückfichtigung der fonft als unveränderlich feft-

Fig. 31.



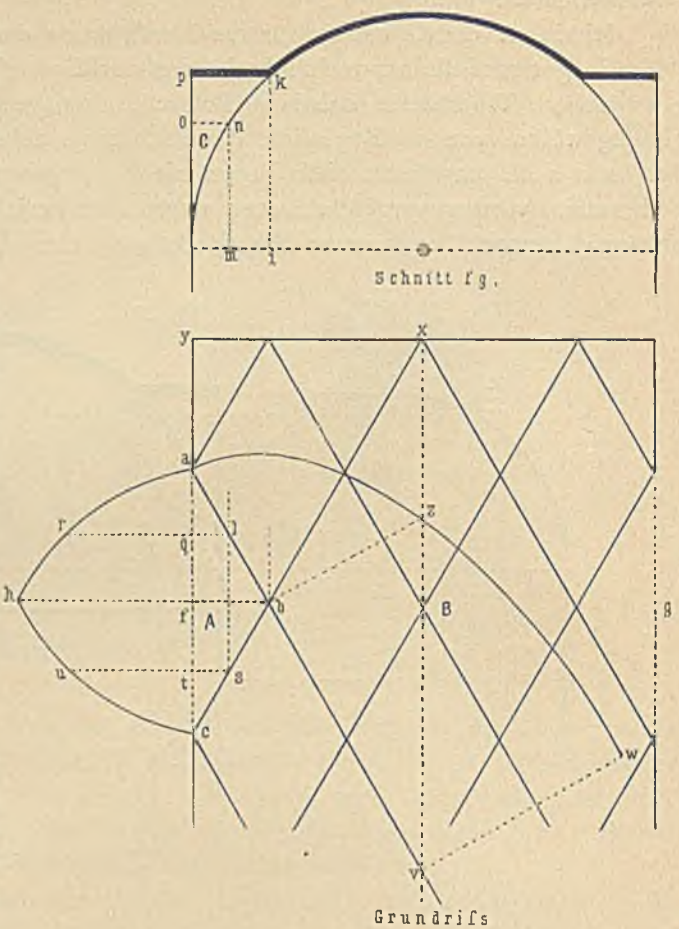
liegenden Beftimmungsftücke des übrigen Gewölbkörpers ermittelt werden. Und gerade unter Benutzung diefer Freiheit ift eine fernere Grundlage für die weitere Entwickelung des Tonnengewölbes erworben, welche fich bei der Anordnung der fog. Netzgewölbe, die fpäter einer befonderen Betrachtung unterzogen werden müffen, in gewiffem Grade Geltung verfchafft.

In Fig. 32 ift *A* die Grundrifsprojektion der Laibungsfläche der Stichkappe und *B* diejenige der halbkreisförmigen Laibungsfläche des Hauptgewölbes. Beide Gewölbe befitzen diefelbe wagrechte Kämpferebene. Die Weite der Stichkappe fei *a c*.

Die wagrechte Projektion der Durchdringungslinie foll die gebrochene gerade Linie *a b c* fein, deren Stücke Seiten eines gleichfchenkeligen Dreieckes mit der Grundlinie *a c* bilden. Die hiernach zu beftimmende Bogenlinie *a h c* der Stichkappe ift aus Bogenfchenkeln zufammengefetzt, welche im vorliegenden Falle Ellipfen angehören und, wie aus Fig. 32 hervorgeht, in leicht erfichtlicher Weife gefunden werden können. So ift z. B. $f h = i k$ und $q r = t u = m n$. Man erhält alfo für das in das Hauptgewölbe gefteckte Gewölbe einen »elliptifchen Spitzbogen« als erzeugende Bogenlinie.

In der lotrechten Ebene $a\,b$ erſcheint die Durchdringungslinie als Teil $a\,z$ einer Ellipſe, welche im Viertel als $a\,z\,w$ dargeſtellt und deren halbe groſse Achſe $a\,v$, deren halbe kleine Achſe $v\,w$ gleich dem Halbmeſſer $x\,y$ der Bogenlinie des Hauptgewölbes iſt. Im Schnitt $f\,g$ iſt C die Aufriſsprojektion der Stichkappenfläche.

Fig. 32.



Werden an den Widerlagern des Hauptgewölbes die Einfügungen der Stichkappen in beſtimmten, regelmäſsigen Abſtänden wiederholt, ſo entſpringt eine mannigfaltige Gliederung des Hauptgewölbes und gleichzeitig eine ſachgemäſse 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 Anſchluſsgewölbe der Stichkappen an den Durchdringungslinien ſelbſtändig an der inneren Laibungsfläche des Hauptgewölbes vortreten und durch das ganze Gewölbe ziehend erweitern; ordnet man, da dieſe vorſpringenden Teile, 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« entſtanden. 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.

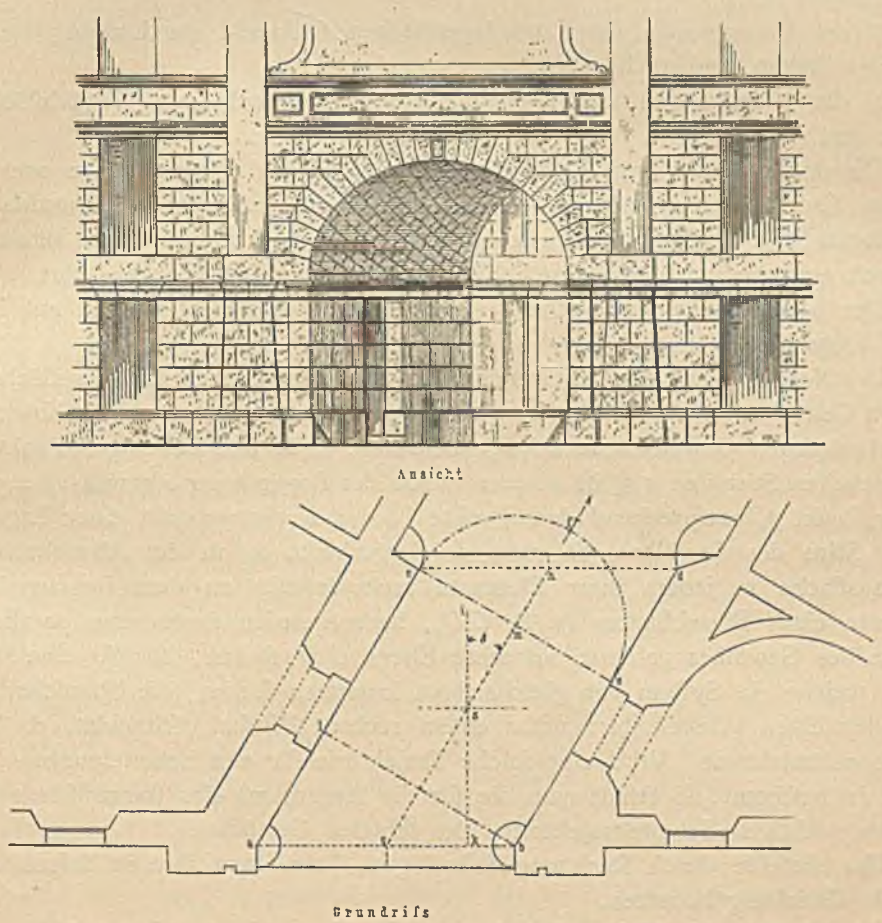
15. Schiefes Tonnengewölbe.

Iſt die Gewölbachſe $g\,h$ eines Tonnengewölbes (Fig. 33) nicht rechtwinkelig zur Stirnebene $a\,b$, bezw. $c\,d$ eines Gewölbes gerichtet, ſo entſteht ein ſchiefes Gewölbe. Als Maſs der Schiefe gilt die Gröſse des Winkels δ, um welchen die Richtung der Gewölbachſe von dem Lote $i\,k$ zur Stirnebene abweicht. Wenngleich die ſchiefen Gewölbe im Hochbauweſen thunlichſt vermieden werden, ſo können

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 ſchiefen Gewölbe iſt die zweckmäſsige Anordnung der Lager- und Stoſsfugenflächen derſelben. Würden die Lagerfugenflächen als Ebenen behandelt, deren Kanten gerade Linien, parallel zu den Widerlagslinien *a c*, bezw. *b d* geführt, ſein ſollten, ſo würden, wenn dieſe Ebenen bis zur Gewölbſtirn treten — möchten dieſelben auch ſenkrecht auf der cylindriſchen Laibungsfläche ſtehen, deren Erzeugende der Normalſchnitt *c f e* des ſchiefen Gewölbes iſt — die aus den einzelnen Wölbſteinen gebildeten Gewölbſtücke

Fig. 33.



über den dreieckigen Grundflächen *a b l* und *d e c* 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 Lagerfugenflächen die Stoſsfugenflächen 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 Stoſsflächen 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 Miſsſtände iſt von der gewöhnlichen Anordnung des beim geraden Tonnengewölbe auszuübenden Fugenſchnittes, wonach ſowohl die Lagerflächen als auch die Stoſsflächen in Ebenen liegen, welche je für ſich rechtwinkelig zur Laibungsfläche des Gewölbes ſtehen, bei den ſchiefen Tonnengewölben abzuweichen, und hierfür der ſog. 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 Stoſsfugenkanten 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 Stoſsfugenflächen ſenkrecht zur Gewölbfläche gerichtet ſind.

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

Der »franzöſiſche Fugenſchnitt« geſtaltet ſich mit Bezugnahme auf Fig. 34 in der folgenden Weiſe.

Der Normalſchnitt der im Grundriſs als $a\,b\,c\,d$ gegebenen Laibungsfläche eines ſchiefen Gewölbes iſt als Halbkreis $a\,f\,e$ angenommen und hiernach die Abwickelung der cylindriſchen Gewölbfläche $a\,b_1\,d_1\,c$ beſtimmt. Für den beliebigen Punkt p der abgewickelten Stirnlinie $a\,b_1$ iſt $a\,s = x$ gleich der Bogenlänge $a\,g$ und $s\,p = y = i\,h$. Iſt der Punkt p, entſprechend dem Punkte h, der Ausgangspunkt einer Lagerkante an der Stirn des Gewölbes, ſo mufs die Lagerkante $p\,t$ in der Abwickelung der Laibungsfläche in jedem ihrer Elemente rechtwinkelig zu dem ihr zugehörigen Elemente eines Stirnſchnittes (z. B. $C\,D_1$, hervorgerufen durch eine parallel zum Haupte des Gewölbes geführte lotrechte Ebene $C\,D$) 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 Orthogonaltrajektorie. Wird eine ſolche Trajektorie für den Scheitelpunkt l als die Kurve $l\,v$ beſtimmt, ſo erhält man die für die Anordnung des franzöſiſchen Fugenſchnittes wichtige »Scheiteltrajektorie« des ſchiefen Gewölbes.

Um dieſelbe durch Rechnung feſtzulegen, kann man ihre im folgenden entwickelte Gleichung benutzen.

Bezeichnet r den Halbmeſſer des für den Normalſchnitt $a\,e$ gewählten Kreisbogens (hier ein Halbkreis), β das Bogenmafs für den Halbmeſſer 1 und α den Winkel der Schiefe, ſo iſt, bei Annahme des rechtwinkeligen Koordinatenſyſtems $X\,Y$ mit dem Anfangspunkte a, für einen beliebigen Punkt p (x, y) der »abgewickelten Stirnlinie« $a\,b_1$, die Abſciſſe $a\,s$ gleich der Bogenlänge $a\,g$, d. h.

$$x = r\,\beta\,, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 14.$$

oder, wenn der zugehörige Zentriwinkel $a\,m\,g$ des Bogens $a\,g$ eine Gröfse von β Graden beſitzt, ſofort

$$x = \pi\,r\,\frac{\beta^0}{180^0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 15.$$

Die Ordinate $y = sp$ des betrachteten Punktes p wird, da $sp = ih$ und

$$ih = ia \,.\, \operatorname{tg}\alpha = (r - mi)\operatorname{tg}\alpha = (r - r\cos\beta)\operatorname{tg}\alpha$$

ift, durch

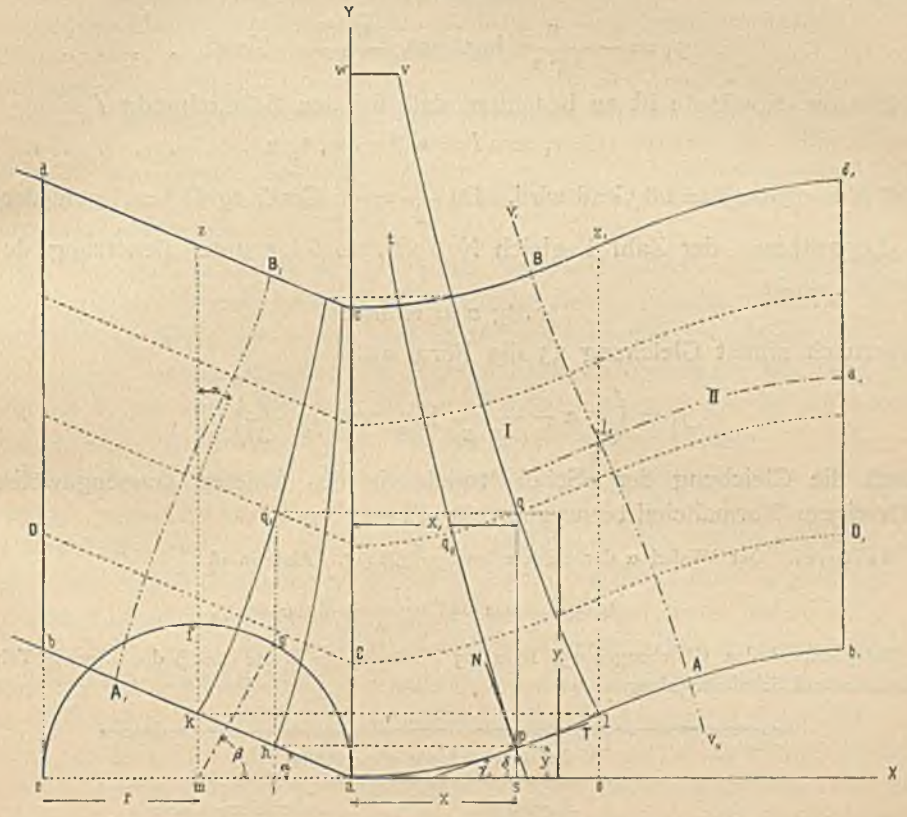
$$y = \operatorname{tg}\alpha\,(1 - \cos\beta)\,r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 16.$$

beftimmt.

Für die im Punkte p beginnende Trajektorie pt ift, wenn für diefen Kurvenpunkt nur zur Unterfcheidung von der abgewickelten Stirnlinie die Koordinaten x_1, y_1 ftatt x, y eingeführt werden, in Bezug auf die Tangente pN im Elemente p der Trajektorie

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{dy_1}{-dx_1} = -\frac{dy_1}{dx_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 17.$$

Fig. 34.



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

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\operatorname{tg}\gamma}\,; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 18.$$

mithin unter Benutzung von Gleichung 17

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

oder, da für den Punkt p auch $x_1 = x$, alfo $dx_1 = dx$ ift, auch

$$dy_1 = -\frac{dx}{\operatorname{tg}\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 19.$$

Nun ist auch $\operatorname{tg}\gamma = \frac{dy}{dx}$ und aus Gleichung 14 folgt

$$dx = r \,.\, d\beta; \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 20.$$

ferner erhält man aus Gleichung 16: $dy = r \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta \,.\, d\beta$; mithin wird

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{r \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta \, d\beta}{r \,.\, d\beta} = \operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta \quad \ldots \ldots \quad 21.$$

Unter Einführung der Werte aus den Gleichungen 20 u. 21 in Gleichung 19 erhält man

$$dy_1 = -\frac{r \,.\, d\beta}{\operatorname{tg}\alpha \,.\, \sin\beta} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 22.$$

als Differentialgleichung der Trajektorie. Durch Integration dieser Gleichung ergiebt sich

$$y_1 = -\frac{r}{\operatorname{tg}\alpha} \text{ log. nat. } \frac{\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}}{2} + \text{Konst.} \quad \ldots \ldots \quad 23.$$

Für die Konstante ist zu beachten, dafs für den Scheitelpunkt l

$$y = y_1 = o\,l = m\,k = r \,.\, \operatorname{tg}\alpha \quad \ldots \ldots \ldots \quad 24.$$

und $\sphericalangle\, \beta = \sphericalangle\, a\,m\,f = 90$ Grad wird. Da $\frac{\beta}{2} = 45$ Grad, $\operatorname{tg} 45^0 = 1$ und der natürliche Logarithmus der Zahl 1 gleich Null ist, so folgt unter Benutzung der Ausdrücke 23 u. 24

$$r \,.\, \operatorname{tg}\alpha = \text{Konst.},$$

und hiernach nimmt Gleichung 23 die Form an:

$$y_1 = \left(\operatorname{tg}\alpha - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \text{ log. nat. } \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}\right) r, \quad \ldots \ldots \quad 25.$$

wodurch die Gleichung der »Scheiteltrajektorie des schiefen Tonnengewölbes mit kreisförmigem Normalschnitt« ausgedrückt ist.

Beispiel. Der Winkel α der Schiefe betrage $22^0\,30'$. Alsdann ist

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

Entsprechend den Gleichungen 15, 16 u. 25 ist für einige Werte von β die folgende Tabelle für die Stirnlinie und Scheiteltrajektorie

Winkel der Schiefe $\alpha = 22^0\,30'$

β	Stirnlinie.		Scheiteltrajektorie	
	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. 34 ist $\alpha = 22^0\,30'$ und $r = 3^{\text{m}}$ genommen. Für $\beta = 60^0$ ergiebt sich für den Punkt q der Scheiteltrajektorie $l\,v$ demnach die Abscisse $x_1 = a\,s =$ Bogen $a\,g = 1{,}0472 \,.\, 3 = 3{,}1416^{\text{m}}$; die Ordinate $y_1 = s\,q = 1{,}7402 \,.\, 3 = 5{,}2206^{\text{m}}$.

Iſt in einem gegebenen einzelnen Falle die Scheiteltrajektorie lv in Verbindung mit der halben abgewickelten Stirnlinie al und der Widerlagslinie aY durch Zeichnung feſtgelegt, ſo kann das Flächenſtück $alvw$ ohne weiteres als Lehre (Schablone) zur Beſtimmung der ſämtlichen Lager- und Stoſsfugenkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche ab_1d_1c benutzt werden. Hierbei iſt nur Folgendes zu berückſichtigen.

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

Iſt z. B. p ein Teilpunkt der Gewölbſtirn (Fugenpunkt) des Teiles *I*, ſo führt man die Lehre mit ihrer Seite aw ſo lange an ac entlang, bis die Kurve lv mit einem Elemente durch den Punkt p läuft, und zeichnet alsdann das auf die Fläche *I* von lv fallende Kurvenſtück pt als Lagerkante vor. Die Stoſsfugenkanten 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 Stoſskante ein.

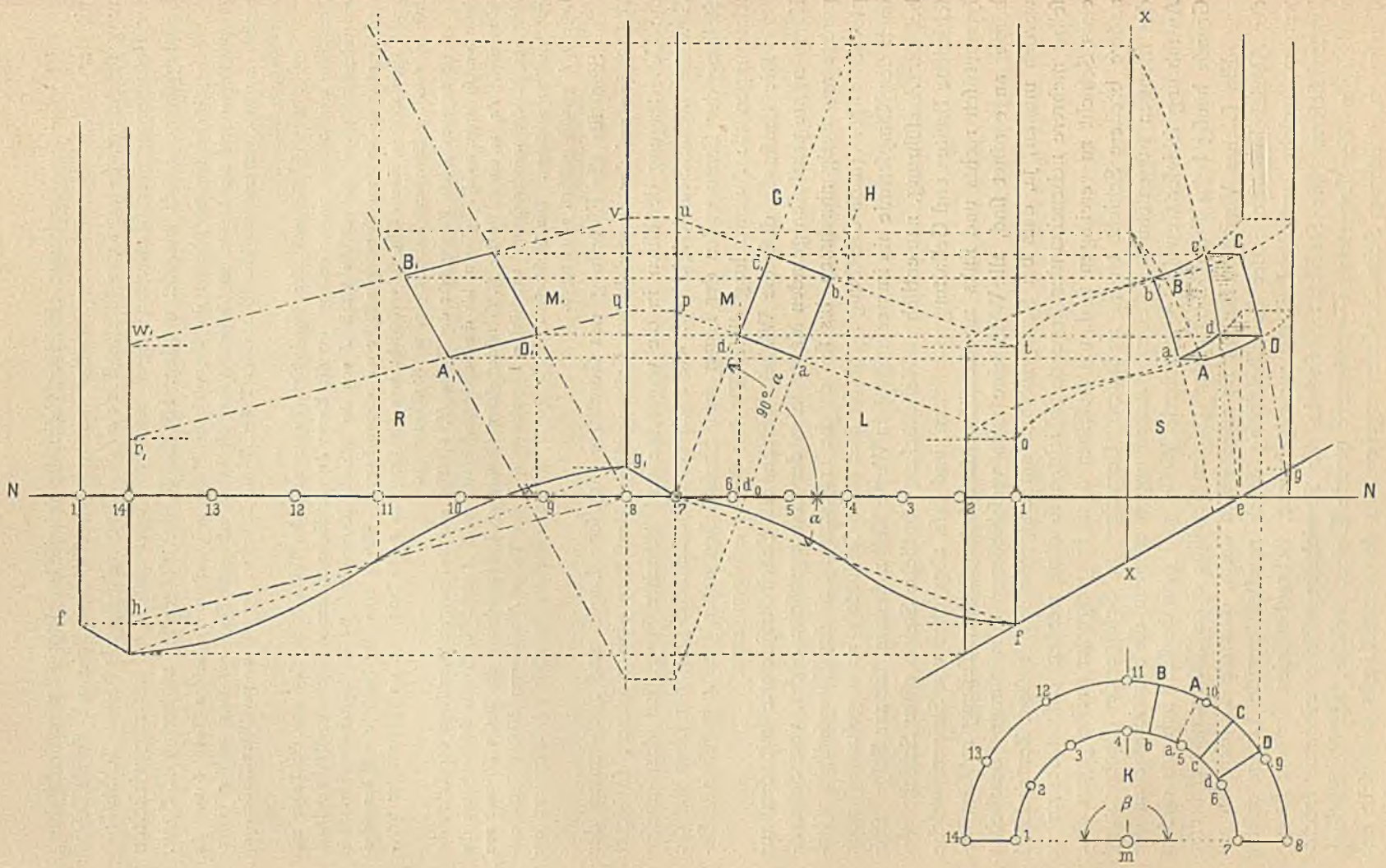
Iſt dagegen A ein Fugenpunkt des Teiles *II*, ſo läſst man bei umgekehrter Lage der Lehre die Seite aw ſo lange an d_1b_1 gleiten, bis die Scheiteltrajektorie durch A zieht. Trifft eine ſolche Kante die Scheitellinie lz_1 in einem Punkte l_1, ſo bildet dieſer die Grenze der Lagerkante des Teiles *II*,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

Sind für die Einteilung des Gewölbes ſämtliche Lager- und Stoſskanten der Wölbſteine auf der abgewickelten Laibungsfläche desſelben eingezeichnet, ſo bietet die Uebertragung derſelben in die wagrechte und lotrechte Projektion des ſchiefen Gewölbes keine Schwierigkeiten, wie auch unter Berückſichtigung der oben für die Stellung der Erzeugenden der Lager- und Stoſsflächen unter 3 u. 4 gegebenen Beſtimmungen die Ausmittelung dieſer Flächen leicht erfolgen kann.

Der Umſtand, daſs die Winkel, welche die Scheiteltrajektorie mit den zur Kämpferlinie parallelen geraden Mantellinien der Laibungsfläche bildet, vom Scheitelpunkte aus ſtetig abnehmen, bis ſie, da die Trajektorie ſich der Kämpferlinie aſymptotiſch nähert (nach Gleichung 25 iſt für $\beta = 0$ die Ordinate $y_1 = \infty$ gefunden) auch nach der Kämpferlinie hin immer mehr dem Werte Null zuſteuern, hat zur Folge, daſs bei der Ausführung, namentlich in Werkſtücken, ſämtliche Steine einer Schicht verſchiedene Breiten und Geſtaltungen erhalten, und daſs, abgeſehen von Steinen, welche ſymmetriſch rechts und links zur Gewölbachſe bei ſorgfältiger Teilung im Gewölbkörper angeordnet ſind, alle Wölbſteine nach verſchiedenen Abmeſſungen bearbeitet werden müſſen, ja, daſs bei Kreisgewölben mit einigermaſsen groſsem Zentriwinkel ſelbſt mehrere nebeneinander 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 Trajektorien auf der Abwickelungsfläche der Gewölbelaibung durch parallele gerade Linien erſetzt werden, welche, auf die Laibung zurückgebracht, Schraubenlinien für die Lagerkanten liefern. Die Stoſskanten ſind in der Abwickelungsfläche wiederum rechtwinkelig zu den Lagerkanten genommene gerade Linien, welche, auf die Laibung übertragen, wiederum Schraubenlinien ergeben. Iſt der Normalſchnitt und nicht der

Fig. 35.



N
N
X
X
G
H
M.
M.
R
L
S
K
A
B
C
D
a
b
c
d
e
f
g
h
t
u
v
w
p
q
r
B_1
A_1
D_1
C_1
d_1
g_1
d'_0
$90° - \alpha$
α
β
m

Stirnbogen des ſchiefen Gewölbes bei dieſer Fugenanordnung ein Halbkreis oder ein Kreisſegment, ſo iſt man bei ſorgfältiger Teilung der Wölbſchichten im ſtande, den ſämtlichen Wölbſteinen, mit Ausnahme der Stirn- und Kämpferſteine, kongruente Laibungsflächen zu geben.

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

Auf dieſen Grundſätzen 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. 35 dienen.

In derſelben iſt S ein Teil des Grundriſſes des ſchiefen Gewölbes mit der Achſe XX, L die Abwickelung der inneren, R diejenige der oberen Gewölbfläche und K der in der Ebene NN ſtehende Normalſchnitt des Gewölbes, welcher als Halbkreis gewählt iſt.

In der abgewickelten Gewölbfläche L iſt die maſsgebende Lagerkante durch den an der Stirn befindlichen Kämpferpunkt 7, welcher dem Punkte e in S auf NN entſpricht, als gerade Linie $7\,G$ rechtwinkelig zur geraden Verbindungslinie $f7$ der Endpunkte der abgewickelten Stirnlinie gelegt, ſo daſs $7\,G$ die Richtung aller Lagerkanten, G, H u. ſ. w., $f7$ die Richtung aller Stoſskanten op, tu u. ſ. w., wobei letztere ſonſt für die einzelnen Wölbſchichten im Verbande ſtehen, bezeichnet. Die Lagerkanten ſchneiden die zu der Kämpferlinie ft parallelen Mantellinien unter dem konſtanten Fugenwinkel α; die Stoſskanten treffen dieſe Mantellinien unter einem Winkel von $90^0 - \alpha$.

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

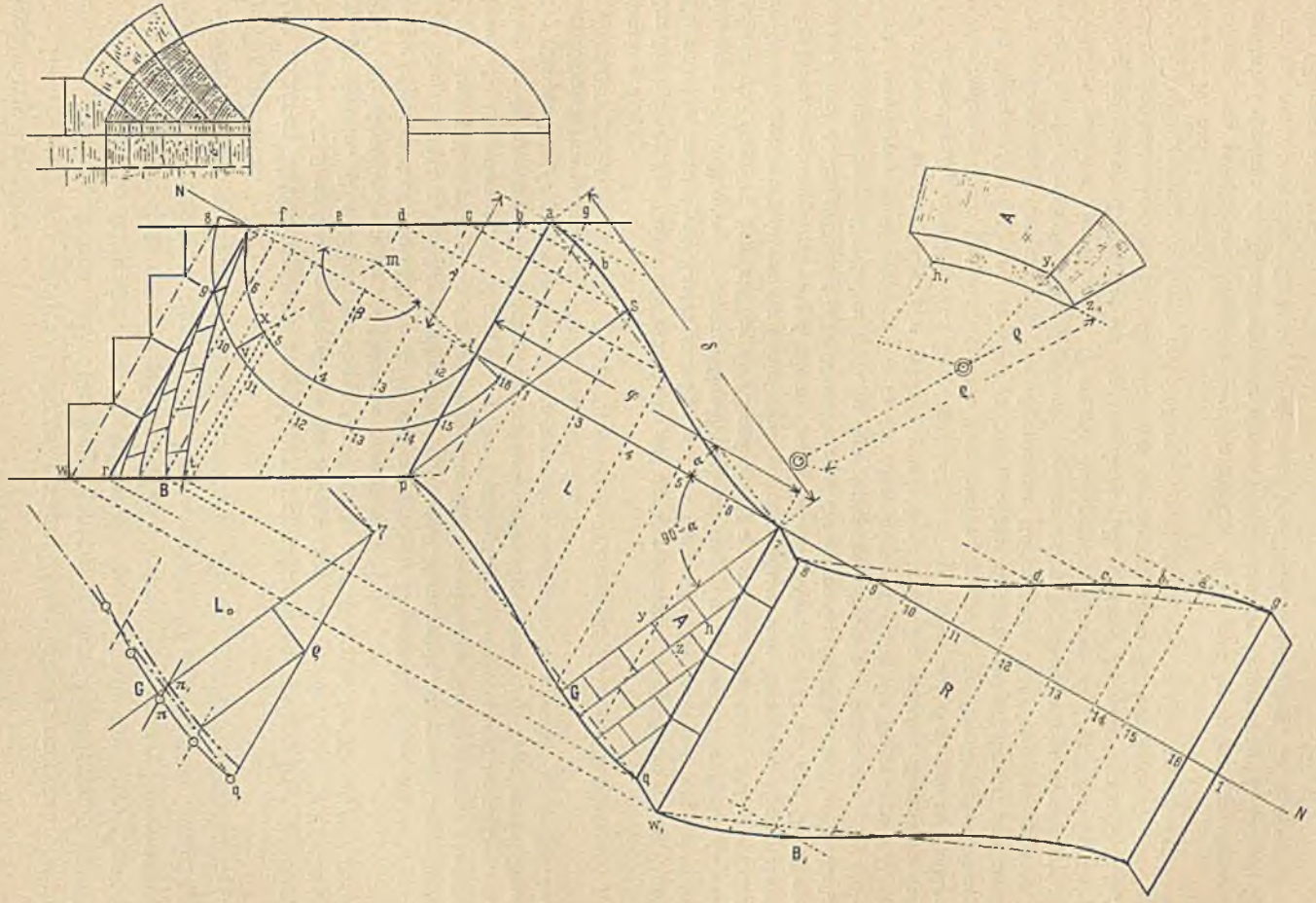
Zur Beſtimmung der Lager- und Stoſskanten auf der abgewickelten Rückenfläche R ſind dieſelben, da die Fugenflächen, welche jene Kanten enthalten, auf der inneren Gewölbfläche ſenkrecht ſtehen ſollen, von den Lager- und Stoſskanten der inneren Gewölbfläche abhängig zu machen. Der Punkt d_1, welcher der Lagerkante $7\,G$ angehört, liegt auf der zur Kämpferlinie $7u$ parallelen Mantellinie Md_0 der Laibungsfläche, um eine Bogenlänge $7d_0$ von der Kämpferlinie entfernt. Nimmt man demnach im Normalſchnitte K die zurückgeführte Bogenlänge $7d_0 = 7d$, ſo iſt, wenn in d die Normale dD bis zum Gewölbrücken gezogen wird, durch die Bogenlänge $8D$ die Mantellinie auf der oberen Gewölbfläche, welche den Punkt D_1 auf der oberen Abwickelung R enthalten muſs, in ihrer ſenkrechten Projektion beſtimmt.

Nimmt man ferner die Bogenlänge $8x$ in der Abwickelung R gleich der Bogenlänge $8D$, ſo iſt die durch x parallel zu $7u$, bezw. $g_1 v$ geführte gerade Linie xM_1 die geſuchte Mantellinie auf der Fläche R, in welcher D_1 enthalten iſt. Der Punkt d_1 liegt aber auch auf der geraden Stoſskantenlinie op; die Stoſsfugenfläche ſchneidet, da ihre Erzeugenden ſenkrecht zur Gewölbfläche ſtehen, die abgewickelte Widerlagsfläche $7g_1vu$ in einer zu 78 parallelen Geraden pq und ferner, der normalen Stellung jener Erzeugenden entſprechend, die abgewickelte Rückenfläche R in einer zur geraden Verbindungslinie $8h_1$, alſo der abgewickelten Stoſskante der oberen Gewölbfläche parallelen Geraden qr_1. Der Schnitt derſelben mit der Mantellinie xM_1 ergiebt den geſuchten Punkt D_1, und die Gerade $8D_1$ bezeichnet die maſsgebende Lagerkante auf der Abwickelung R_1, während die maſsgebende Richtung der abgewickelten Stoſskanten die Gerade $8h_1$ iſt. Auf der abgewickelten Rückenfläche iſt jedoch eine rechtwinkelige Durchkreuzung der Lager- und Stoſskanten, wie ſolches auf der Abwickelung der Laibungsfläche der Fall iſt, nicht vorhanden.

Beſtimmt man auf gleichem Wege die Lage des Punktes A_1, ſo geht durch denſelben die zu $8D_1$ parallel geführte Lagerkante $A_1 B_1$, und nunmehr wird es leicht, die obere Abwickelungsfläche $A_1 B_1 C_1 D_1$, welche der unteren Abwickelungsfläche $a_1 b_1 c_1 d_1$ eines Gewölbſteines entſpricht, in der aus Fig. 35 erſichtlichen Weiſe zu zeichnen.

Bringt man ferner die geraden Lager- und Stoſsfugenkanten in die Grundriſsprojektion, wie aus Fig. 35 erkannt werden kann, zurück, ſo erhält man die Schraubenlinien, welche in ab und dc die Lagerkanten, in ad und bc die Stoſskanten des gewählten Wölbſteines auf der inneren Laibungsfläche, dagegen in AB und DC die Lagerkanten und in AD und BC die Stoſskanten desſelben auf der Rückenfläche des ſchiefen Gewölbes enthalten, während die geraden Linien aA, bB, cC und dD im Schnitte K die Grenzerzeugenden der als Schraubenflächen auftretenden Lager- und Stoſsfugenflächen ſind.

Fig. 36.



Unter Beachtung der für den englischen Fugenschnitt geltenden Grundsätze ist in Fig. 36 ein schiefes Gewölbe, dessen Normalschnitt ein Kreisbogen mit dem Zentriwinkel β ist, in Rücksicht auf die weitere Fugenteilung dargestellt. Die maßgebende Lagerkante $7\,G$ soll im Endpunkte 7 der Kämpferlinie $7\,q$ beginnen und auf der für die Stoßkanten maßgebenden Richtung $7\,a$ rechtwinkelig stehen; gleichzeitig soll auch im günstigsten Falle der auf der Stirnlinie $p\,q$ liegende Endpunkt G dieser Lagerkante ein Teilpunkt für diese Gewölbstirn werden. Die Anzahl der Wölbsteine an der Stirnfläche muß aber, damit, wie bekannt, zu beiden Seiten des Schlußsteines eine gleiche Zahl von Wölbsteinen vorhanden ist, eine ungerade sein. Teilt man nun die abgewickelte Stirnlinie unter Annahme einer günstigen Breitenabmessung der Wölbsteine in eine ungerade Anzahl gleich großer Strecken ein, so wird im allgemeinen ein solcher Gewölbteilpunkt nicht sofort oder auch selbst nicht nach mehreren Teilversuchen mit dem Punkte G zusammenfallen. Tritt dieser Umstand ein, so verfährt man am besten, wenn man die Länge $7\,q$ der Kämpferlinie des Gewölbes, wie bei L_0 in Fig. 36 zu ersehen ist, um ein an und für sich meistens geringes Stück $\pi\,\pi_1$ so abändert, daß die abgewickelte Stirnlinie durch den Punkt π_1 geht, welcher alsdann auch Endpunkt der maßgebenden Lagerkante wird. Auf diese verlegte Stirnlinie werden die Teilpunkte des Gewölbehauptes ohne weiteres übertragen und durch dieselben die zu $7\,\pi_1$ parallelen Lagerkanten gezogen. Die auf Verband zu ordnenden Stoßkanten richten sich zunächst nach den Punkten ρ, in welchen die Lagerkanten die Kämpferlinien treffen, und nunmehr ist die Teilung der einzelnen Wölbschichten durch Stoßkanten so vorzunehmen, daß, abgesehen von den Stirnsteinen, in allen Schichten gleich lange Wölbsteine vorkommen.

Zum strengen Erzielen der gleichen Länge der Wölbsteine zwischen den Stirnsteinen ist jedoch die Einteilung der abgewickelten Stirnlinie in eine ungerade Zahl gleich breiter Teile aufzugeben und durch eine derartige Einteilung der Sehne $p\,q$ der Stirnlinie zu ersetzen. Die Stirnfläche des Gewölbes erleidet hierdurch allerdings eine Zerlegung nach ungleich breiten Wölbsteinen.

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

Die Stirnsteine bieten bei der Bearbeitung wohl einige Schwierigkeiten. Nur die rechts und links an den Häuptern 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 diejenigen, 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 Halbmessern ρ und ρ_1, welche in Fig. 36 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 Stoßfugenkante $z_1 y_1$ am Steine A ist die von der Geraden $7\,a$ abhängige Schraubenlinie maßgebend. Mit Bezugnahme auf Fig. 36 ist, wenn r den Halbmesser $m\,7$ des Normalschnittes des Cylinders, auf welchem die Schraubenlinie liegt und α den Steigungswinkel $1\,7\,a$ derselben auf der Abwickelung L bezeichnet, allgemein

$$\rho = \frac{r}{\cos \alpha^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 26.$$

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

$$\cos \alpha^2 = \frac{\varphi^2}{\delta^2} = \frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 27.$$

Aus den Gleichungen 26 u. 27 folgt

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

oder

$$\rho = r\left[1 + \left(\frac{\gamma}{\varphi}\right)^2\right] \quad \ldots \quad 28.$$

Für den Zentriwinkel β des als Kreisbogen genommenen Normalfchnittes des fchiefen Gewölbes wird

$$\varphi = \pi r \frac{\beta^0}{180^0}, \quad \ldots \quad 29.$$

wodurch Gleichung 28 übergeht in

$$\rho = r + \left(\frac{180^0 \cdot \gamma}{\pi \beta^0}\right)^2 \frac{1}{r} \quad \ldots \quad 30.$$

Der Krümmungshalbmeffer ρ_1 der Schraubenlinie für die Lagerkante $z_1 h_1$ des Steines A ergiebt fich mit Hilfe der für diefe Schraubenlinie in der Abwickelung mafsgebenden Geraden $7G$, für welche der Steigungswinkel $17G = 90 - \alpha$ in Betracht kommt, durch den Ausdruck

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos(90 - \alpha)^2} = \frac{r}{\sin \alpha^2} \quad \ldots \quad 31.$$

Nun iff $\sin \alpha = \frac{\gamma}{\delta}$, alfo

$$\sin \alpha^2 = \frac{\gamma^2}{\delta^2} = \frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2} \quad \ldots \quad 32.$$

Aus der Verbindung von Gleichung 31 mit 32 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 Wert aus Gleichung 29 eingefetzt wird,

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0 \gamma}\right)^2 r. \quad \ldots \quad 33.$$

Iff der Normalfchnitt des fchiefen Gewölbes ein Halbkreis, wofür $\beta = 180$ Grad wird, fo erhält man für diefen befonderen Fall, entfprechend Gleichung 30,

$$\rho = r + \left(\frac{\gamma}{\pi}\right)^2 \frac{1}{r} \quad \ldots \quad 34.$$

und gemäfs Gleichung 33

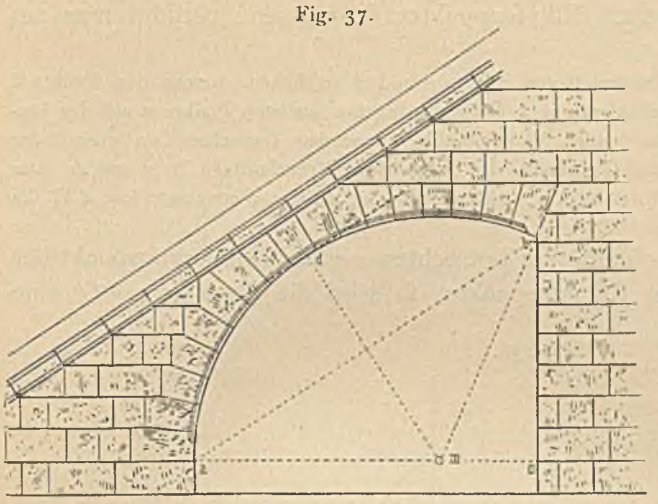
$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r}{\gamma}\right)^2 r \quad \ldots \quad 35.$$

Noch möge hier die Bemerkung Platz finden, dafs bei fchiefen Gewölben die Anwendung des konftanten Fugenwinkels eine gewiffe Grenze hat, welche nicht überfchritten werden darf, damit das Ausbauchen der Gewölbftirnen vermieden wird. Diefer Punkt kann jedoch erft bei Befprechung der Ausführung der Tonnengewölbe (unter c) näher berührt werden, wobei dann ferner unter Berückfichtigung des zur Verwendung gelangenden Wölbmaterials auch noch die Verfahren mitgeteilt werden follen, wonach in vereinfachter Weife die Herftellung von fchiefen Gewölben für etwa vorzunehmende Deckenbildungen erfolgen kann.

16. Einhüftiges Tonnengewölbe.

Liegen die wagrechten Kämpferlinien eines Tonnengewölbes (Fig. 37) in zwei verfchiedenen wagrechten Ebenen, fo heifst dasfelbe kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Fig. 37.



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

Als Erzeugende der einhüftigen Gewölbe kann irgend eine geſetzmäſsig gebildete ebene Kurve benutzt werden. Bei gegebenen Kämpferpunkten a und b kann in vielen Fällen ein Kreisbogen Verwendung finden, der im tiefſtgelegenen Kämpferpunkte a eine lotrechte Tangente beſitzt und ſonſt die gerade Verbindungslinie ab als Sehne erhält. Ein derartiger um m zu beſchreibender, leicht zu beſtimmender Kreisbogen hat in ſeinem Halbierungspunkte 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 Halbierungspunkt 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 aufserdem in mancher Beziehung der Anſatz der Erzeugenden in den Kämpferpunkten mit lotrechter Tangente erwünſcht iſt, ſo ſetzt man an die Stelle des Kreisbogens als Erzeugende ſehr oft elliptiſche Bogen oder Korbbogen.

In Fig. 38 iſt die Erzeugende acb aus zwei Viertelellipſen ac und bc zuſammengeſetzt, welche in a und b lotrechte 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 wx, deſſen Halbmeſſer gleich der Strecke $c\gamma$ auf der durch den gegebenen Punkt c geführten Lotrechten zu iſt, für die lotrechten Ordinaten der Ellipſenſtücke maſsgebend wird.

Teilt man die Strecken γa, γb und den Halbmeſſer bw des Viertelkreiſes wx proportional, ſo gehören den entſprechenden proportionalen Teilpunkten die aus dem Winkelkreiſe zu entnehmenden lotrechten Ordinaten den geſuchten Ellipſenpunkten an.

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

Zieht man durch den beliebig genommenen Punkt β_1 der Strecke γb die Lotrechte gf, wobei f auf ub liegt, alsdann durch f die Gerade he parallel zu ab, durch e die Lotrechte ed, ſo iſt β_{11} ein dem Teilpunkte β_1 der Strecke γb entſprechender proportionaler Teilpunkt der Strecke γa.

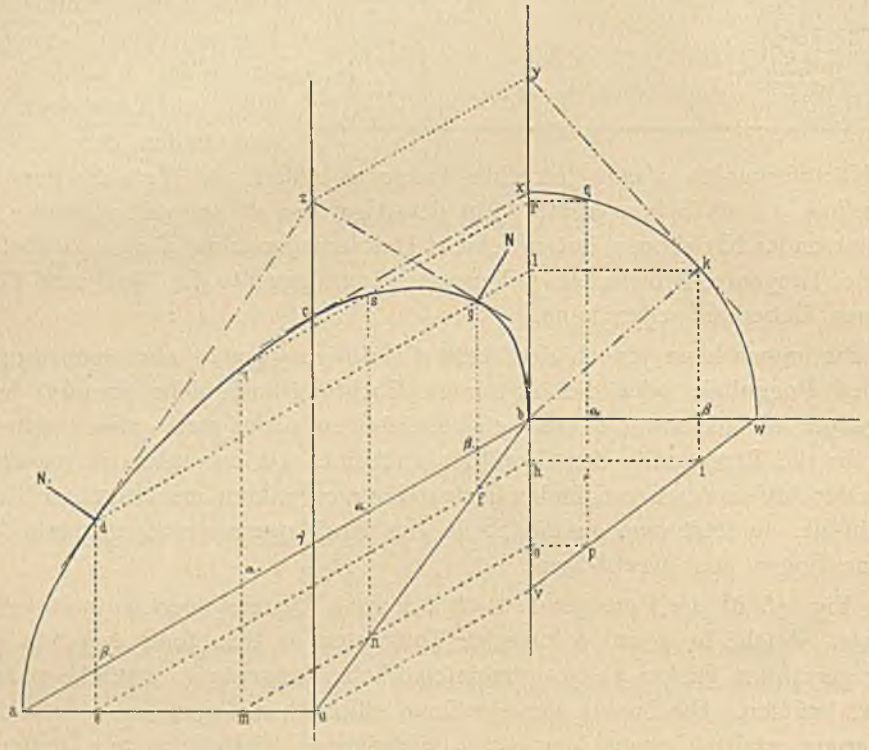
Führt man durch h den Strahl hi parallel bw und durch i die Lotrechte ik, ſo iſt β wiederum ein Punkt, welcher bw in demſelben Verhältniſſe teilt, wie der Punkt β_1 die Strecke γb und der Punkt β_{11} die Strecke γa zerlegt. Die Ordinate βk des Viertelkreiſes wx liefert die Länge der lotrechten Ordinaten $\beta_1 g$ und $\beta_{11} d$ für die geſuchten Punkte d und g der zugehörigen Viertelellipſen. Auf gleiche Weiſe ſind noch die Punkte s und t beſtimmt.

Um die Normalen in einzelnen Ellipſenpunkten feſtzulegen, verfährt man am einfachſten wie folgt.

Soll dies z. B. für die einander zugeordneten Punkte g und d geſchehen, welche dem Punkte k des Viertelkreiſes $w x$ entſprechen, ſo zieht man in k die Kreistangente bis zum Punkte y auf der Lotrechten $b y$ und nimmt γz auf der die beiden Viertelellipſen trennenden Lotrechten $z u$ gleich der Strecke $b y$. Die Strahlen $z g$ und $z d$ ſind Tangenten der zugehörigen Viertelellipſen in g und d. Das in g zu $z g$ errichtete Lot $g N$ iſt die Normale in g, während das in d auf $z d$ errichtete Lot $d N_1$ die Normale im Ellipſenpunkte d wird.

Iſt der Punkt γ der durch c geführten Lotrechten $z u$ der Halbierungspunkt der geraden Verbindungslinie $a b$ der Kämpferpunkte, ſo wird die Bogenlinie $a c b$ eine

Fig. 38.



halbe Ellipſe mit den halben konjugierten Durchmeſſern $\gamma a = \gamma b$ und γc und mit γ als Mittelpunkt.

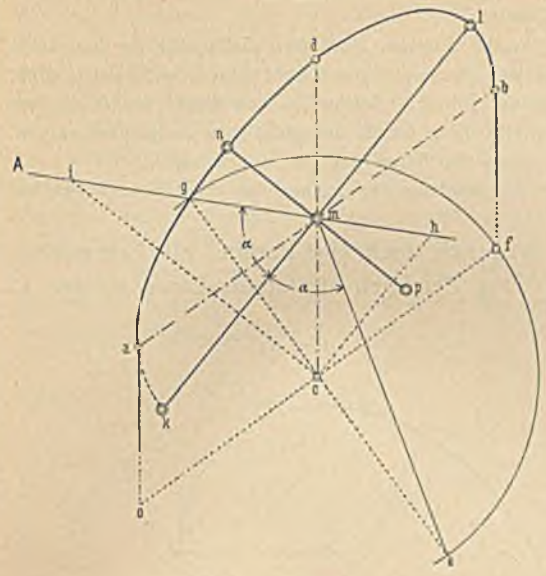
In ſolchem Falle iſt die Ermittelung der Ellipſenpunkte ebenſo zu bewirken, wie in Fig. 38 gezeigt wurde. Häufig iſt es jedoch ratſam, die Ellipſe mit Benutzung ihrer reellen Achſen zu zeichnen, deren Beſtimmung in folgender Weiſe geſchehen kann [2]).

Es mögen in Fig. 39 $a b$ als Verbindungslinie der Kämpferpunkte, $m a = m b$ und $m c = m d$ als halbe konjugierte Durchmeſſer der Ellipſe gegeben ſein; geſucht werden die reellen Achſen $k l$ und $n p$ derſelben.

Man ziehe durch c die Gerade $o f$ parallel zu $a b$ und nehme $c f = c o$ gleich dem halben konjugierten Durchmeſſer $m a$; alsdann beſchreibe man um c mit dem Halbmeſſer $c f$ einen Kreis, welcher das in c auf $o f$ errichtete Lot in g und e trifft; verbinde den bekannten Mittelpunkt m der Ellipſe mit dem Punkte g durch den Strahl A und mit e durch die Gerade $m e$ und halbiere den Winkel $g m e$; als-

[2]) Siehe: Jacob Steiner's Vorleſungen über ſynthetiſche Geometrie. Die Theorie der Kegelſchnitte, geſtützt auf projectiſche Eigenſchaften. Bearbeitet von H. Schröder. Leipzig 1867.

Fig. 39.



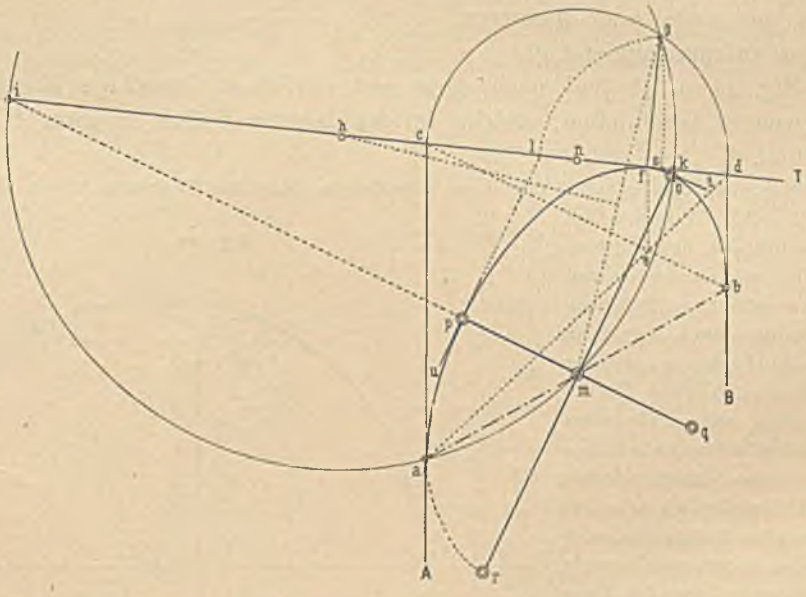
dann giebt die Halbierungslinie $m\,k$ dieſes Winkels die Lage der einen reellen Achſe und das in m auf $m\,k$ errichtete Lot $n\,m\,p$ die Lage der zweiten reellen Achſe der Ellipſe.

Um die Gröſse derſelben zu finden, ziehe man $c\,h$ parallel zu $m\,k$ und $c\,i$ parallel zu $p\,n$; alsdann wird $m\,h = m\,p = n\,m$ gleich der halben Achſe $n\,p$ und $m\,i = m\,k = m\,l$ gleich der halben Achſe $k\,l$. Mit Hilfe dieſer beiden reellen Achſen iſt die Ellipſe nach bekanntem Verfahren zu konſtruieren.

Recht oft ſind die beiden lotrechten Tangenten der feſten Kämpferpunkte a und b (Fig. 40), ſowie eine in beſtimmter Richtung vorgeſchriebene dritte Tangente für die elliptiſche Erzeugende des einhüftigen Gewölbes gegeben, und hiernach iſt die zugehörige Kurve zu ermitteln. Mit Anwendung der Sätze der ſynthetiſchen Geometrie kann man ſich in ſolchem Falle der in Fig. 40 gegebenen Löſung bedienen.

Die beiden durch die gegebenen Kämpferpunkte a und b gehenden Lotrechten A und B ſollen zwei parallele Tangenten der geſuchten Ellipſe ſein; die dritte veränderliche, hier gegebene, Tangente ſei T. Zur Beſtimmung des Berührungspunktes f dieſer Tangente mit der Ellipſe verbinde man die

Fig. 40.



Schnittpunkte c und d des Strahles T mit den Tangenten A und B durch die geraden Linien $a\,d$ und $b\,c$ und ziehe durch den Schnittpunkt e derſelben den Strahl $e\,f$ parallel zu A, bezw. B; alsdann iſt f der geſuchte Berührungspunkt. Errichtet man in f das Lot auf T und beſchreibt man über $c\,d$ einen Halbkreis um n, ſo wird auf jenem Lote ein Stück $f\,g$ 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

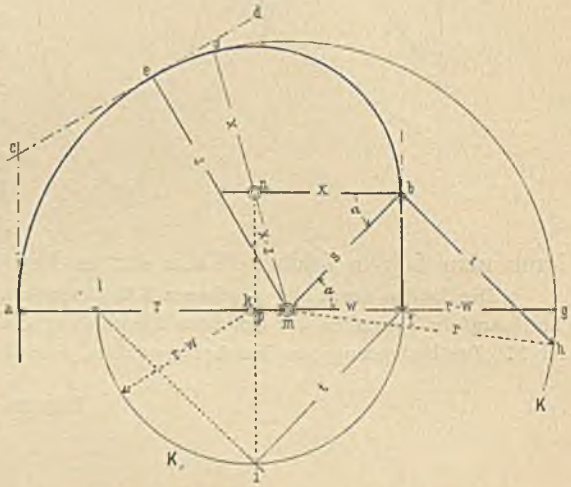
ſchneidet, ſo beſtimmen die von i durch m und von k ebenfalls durch m geführten geraden Linien iq und kr die Lage der reellen Achſen der geſuchten Ellipſe.

Um die Gröſse der Achſen zu erhalten, beſchreibt man um i mit dem Halbmeſſer ig den Kreisbogen gs bis zum Punkte s auf T und zieht st parallel zu im, bis mk im Punkte o geſchnitten wird; alsdann iſt $mo = mr$ die Länge eine halben Achſe 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 $mp = mq$ die Länge der zweiten Halbachſe.

Nach Feſtlegen dieſer reellen Achſen erfolgt das Zeichnen der erzeugenden elliptiſchen Bogenlinie $apfob$ des einhüftigen Gewölbes.

Statt einer elliptiſchen Bogenlinie läſst ſich auch die Parabel als Erzeugende eines einhüftigen Gewölbes verwenden. Das Zeichnen derſelben kann in der in Fig. 17 (S. 14) angedeuteten Weiſe geſchehen, wenn in a und b bei verſchiedener Höhenlage derſelben auch lotrechte Tangenten angenommen werden und, der Lage der Punkte a, b und c entſprechend, die für die Ermittelung der Parabel maſsgebenden Dreiecke adc und bdc benutzt werden.

Fig. 41.

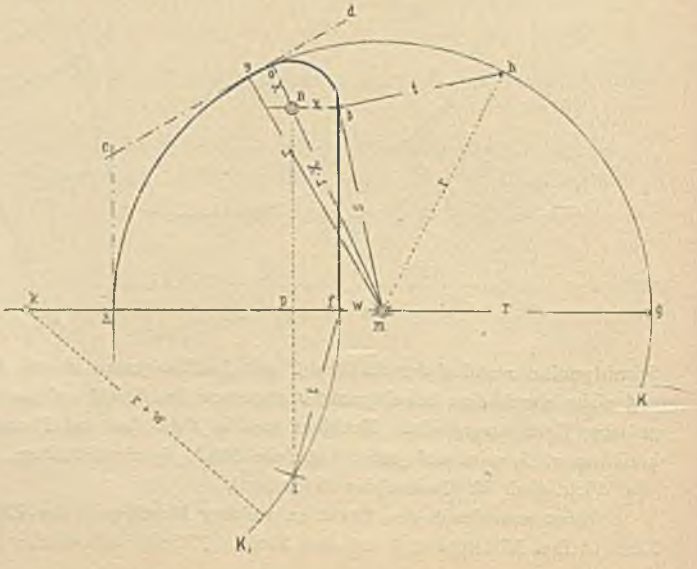


Statt der erwähnten Kegelſchnittlinien wählt man, wie früher ſchon erwähnt, um in leichter Weiſe eine normale Fugenſtellung zu erhalten, auch für einhüftige Gewölbe eine Korbbogenlinie als Erzeugende, die dann aus zwei oder mehreren Kreisbogen zuſammengeſetzt iſt.

In Fig. 41 u. 42 ſind nach einer und derſelben Grundlage Korbbogen aus 2 Mittelpunkten beſchrieben, welche in den meiſten Fällen in ihrer Konſtruktion möglich ſind.

Die Kämpferpunkte a und b mit ihren zugehörigen lotrechten Tangenten, ſowie eine beliebige Gerade cd, welche Tangente des Korbbogens ſein ſoll, ſind gegeben.

Fig. 42.



Nimmt man $ae = ce$ und errichtet in e das Lot 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 lotrecht gerichtete Tangente haben ſoll, ſowie 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, beſchreibt

man um m mit dem Halbmeſſer $m\,a$ einen Kreisbogen K, welcher die verlängerte Gerade $a\,m$ im Punkte g ſchneidet, zieht die Linie $m\,b$ und hierzu in b das Lot $b\,h$, deſſen Endpunkt h dem Kreiſe K angehört. Nimmt man alsdann $f\,k = f\,g$ als Halbmeſſer eines um k beſchriebenen Kreiſes K_1, trägt $f\,i = b\,h$ von f als Sehne desſelben ein und fällt man von i das Lot $i\,p$ auf $a\,f$, ſo iſt $f\,p$ gleich dem geſuchten Halbmeſſer x.

Wird nunmehr in b rechtwinkelig zur lotrechten Tangente $b\,f$ die Strecke $b\,n = x$ angetragen, ſo iſt n der Mittelpunkt des vom Kämpferpunkte b ausgehenden Kreisbogens. Zieht man endlich den gehörig verlängerten Strahl $m\,n$, 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 geſuchten Korbbogen bildenden Kreisbogen $a\,o$ und $o\,b$ wird.

Die gegebene Konſtruktion iſt durch folgende, den Bezeichnungen in Fig. 41 u. 42 entſprechende Beziehungen begründet. In Fig. 41 liegt der Mittelpunkt m innerhalb der Spannweite $a\,f$ des Gewölbes. Im ſchiefwinkeligen Dreiecke $m\,b\,n$ iſt

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

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

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

d. h.

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

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

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

oder

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2\,(r - w)}\,, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 36.$$

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

Die beiden rechtwinkeligen Dreiecke $f\,p\,i$ und $f\,i\,l$ ſind einander ähnlich, und es iſt

$$\frac{f\,p}{f\,i} = \frac{f\,i}{f\,l}\,,$$

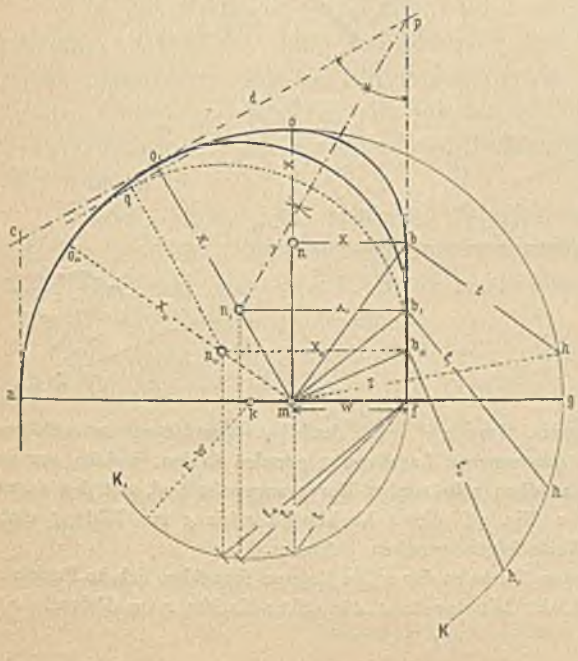
d. h. entſprechend der Gleichung 36

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

In Fig. 42 liegt der Mittelpunkt m des Kreiſes K auſserhalb der Spannweite $a\,f$; mithin wird die Strecke w negativ, und man erhält unter Einführung von $-w$ ſtatt w in Gleichung 36 für dieſen Fall

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2\,(r + w)}\,, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 37.$$

Fig. 43.



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

In Fig. 43 ſind für verſchiedene Hüfthöhen $f\,b$, $f\,b_1$ u. ſ. ſ. nach dem angegebenen Verfahren die zugehörigen Korbbogen aus 2 Mittelpunkten gezeichnet. Hierbei mag bemerkt werden, daſs eine Grenzlage für den Kämpferpunkt b in einer Hüfthöhe $f\,b_1$ entſteht, ſobald der Mittelpunkt n_1 des von b_1 ausgehenden Kreisbogens der Schnittpunkt der Halbierungslinie des Winkels $c\,p\,f$, welchen die beiden Tangenten $c\,d$ und $f\,b$ bilden, mit der Senkrechten $m\,o_1$ auf $c\,d$ wird. Iſt die Hüfthöhe kleiner als $f\,b_1$, z. B. gleich $f\,b_{,,}$, ſo tritt eine parallele Verſchiebung der

urſprünglichen Tangente $c\,d$ nach q ein, und der Vereinigungspunkt $o_{,,}$ der beiden Korbbogenkreiſe liegt unterhalb von q.

Bei Korbbogen für einhüftige Gewölbe, mit mehr als 2 Mittelpunkten, z. B. aus 4 derſelben, beſchrieben, läſst ſich recht oft die in Fig. 44, 45 u. 46 angegebene Konſtruktion verwerten.

Fig. 44.

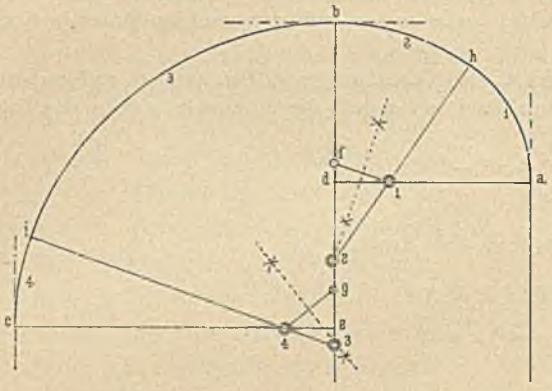
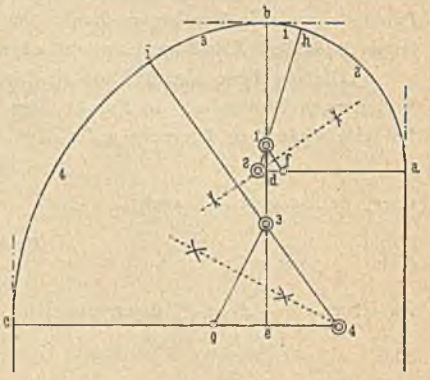


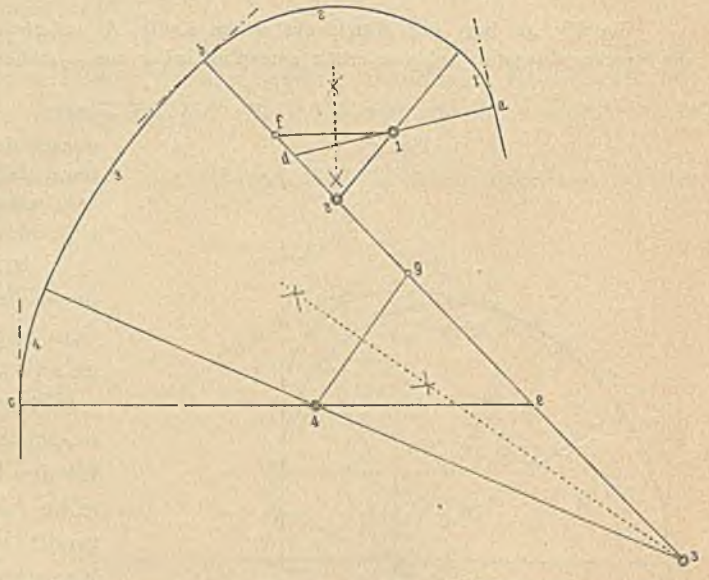
Fig. 45.



Gegeben ſind 3 als Tangenten geltende gerade Linien mit den Berührungspunkten a, b und c. Man ziehe in dieſen Punkten winkelrechte 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 $a\,a$ und $b\,d$, ſowie Gruppe $b\,e$ und $c\,e$. 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.

Fig. 46.



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 $1\,f$ das Lot errichtet, welches die erweiterte kürzere Strecke im Punkte 2 als Mittelpunkt des zweiten Kreisbogens ſchneidet. Eine durch die Mittelpunkte 1 und 2 gelegte gerade Linie bildet den Scheideſtrahl der zu vereinigenden beiden Kreisbogen der erſten Gruppe. Für die zweite Gruppe iſt nach denſelben Grundſätzen 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 Kurve angepaſst ſind, mit den darauf beliebig feſtgelegten Berührungspunkten a, b, c (Fig. 46) die 4 Kreisbogen 1 bis 4 zur Bildung eines einhüftigen Korbbogens 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 $a\,d$ iſt gröſser als $b\,d$; mithin iſt der Mittelpunkt 1 des erſten Kreiſes 1 im Abſtande $a\,1$, kleiner als $b\,d$ gewählt, auf $a\,d$ angenommen.

Hierauf ist $bf = a1$ abgetragen, in der Mitte der Geraden $f1$ das Lot errichtet, welches erweitert den verlängerten Strahl bd in 2 schneidet. 2 ist Mittelpunkt des Kreises 2. Die durch 2 und 1 geführte Gerade scheidet beide Kreise.

Die in b und c geführten Normalen der zweiten Gruppe treffen sich im Punkte e. Da ce gröfser ist als be, so ist der Mittelpunkt 4 auf der gröfseren Strecke ce angenommen und dabei $c4$ kleiner als bc gewählt. Nunmehr ist $bg = c4$ auf be abgetragen, wiederum in der Mitte der Verbindungslinie $g4$ das Lot errichtet, welches verlängert die entsprechend fortgeführte Normale be im Punkte 3, d. i. im Mittelpunkte des Kreises 3 trifft. Der Scheidestrahl der Kreise 3 und 4 ist die durch die Punkte 3 und 4 geführte Gerade.

b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager.

17. Stärke unbelasteter halbkreisförmiger Tonnengewölbe.

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 mufs, damit diese Baukörper eine sichere und dauernde Standfähigkeit besitzen. Bei der Bestimmung dieser Stärken ist nicht aufser acht zu lassen, dafs der Materialaufwand für die Gewölb- und Widerlagsmassen ohne Schädigung der Stabilität der ganzen Wölbanlage möglichst klein 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 gröfste Belastung festzusetzen, welche aufser dem Eigengewicht der Konstruktion 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 grofse 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; aufserhalb dieser Grenzen können sie sogar zu einem Irrtum Veranlassung geben.

Für das Festlegen der Form der Gewölblinie, 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, soweit und so scharf als solches möglich, zu ergründen, um hierdurch die Ueberzeugung von der Festigkeit und Sicherheit des Baukörpers in allen seinen Teilen zu gewinnen.

Diese Aufgabe der statischen Untersuchung der Gewölbe fällt der »Gewölbetheorie« anheim. Die Bekanntschaft mit derselben mufs hier vorausgesetzt und in dieser Beziehung auf Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Abt. II, Abschn. 4[3]) dieses »Handbuches« verwiesen werden.

Wenngleich in den Abhandlungen über »Gewölbetheorie« wesentlich die im Ingenieurbauwesen vorkommenden Gewölbe in Betracht gezogen werden, so ist dennoch zu beachten, dafs diese Theorie auch für die Gewölbe im Hochbau von grofsem Werte ist und in ihren Ergebnissen immer mehr und mehr Verwendung finden sollte. Auf einige wichtige dieser Ergebnisse möge im folgenden hingewiesen werden[4]).

[3]) 2. u. 3. Aufl.: Abt. II, Abschn. 5.

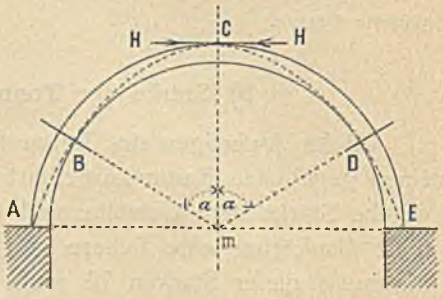
[4]) Siehe auch: Scheffler, H. Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken. Braunschweig 1857.
Ritter, A. Lehrbuch der Ingenieurmechanik. Hannover 1876.

Ein unbelaſtetes halbkreisförmiges Tonnengewölbe mit konzentriſcher Rückenlinie iſt, wenn von der Bindekraft 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

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

wird.

Fig. 47.

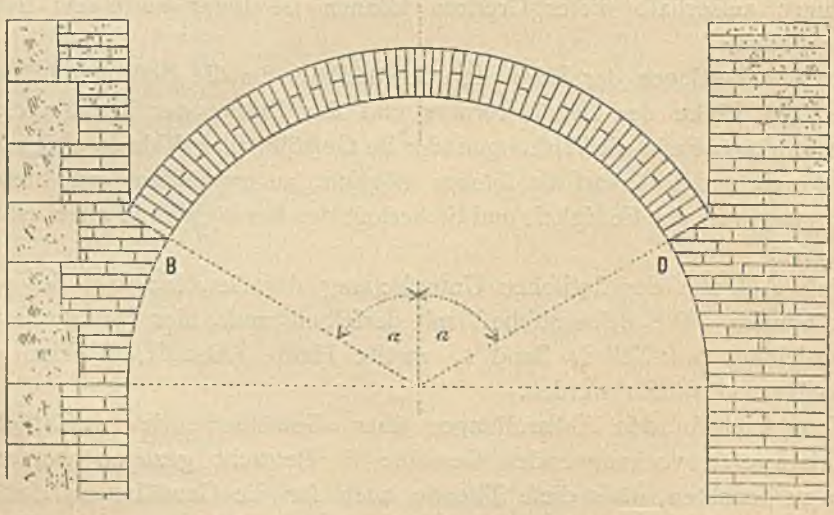


Bei dieſer Abmeſſung verläuft die dem möglich kleinſten Horizontalſchube H entſprechende Mittellinie des Druckes (Stützlinie, Drucklinie) nach Fig. 47 ganz innerhalb der Stirnfläche als Kurve $A\,B\,C\,D\,E$, welche in den Punkten B und D die innere Wölblinie berührt, mit der Rückenlinie die Punkte $A\,C\,E$ enthält und an dieſen Stellen die ſog. Bruchfugen kennzeichnet. Der Bruchwinkel α beträgt 54 Grad 10 Minuten oder nahezu 60 Grad mit dem Scheitellote Cm; die Kurve ſelbſt nähert ſich ſtark einer Parabel.

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

Hieraus folgt für die praktiſche Ausführung der Halbkreis-Tonnengewölbe ſchon die beachtenswerte Anordnung, daſs zweckmäſsig die unteren Wölbſtücke $B\,A$ und

Fig. 48.



$D\,E$ gar nicht als Gewölbe in Mitleidenſchaft gezogen, vielmehr mit dem Widerlagskörper vereinigt und in wagrechten (Fig. 48) oder noch beſſer in winkelrecht zur Kurve $A\,B$, bezw. $D\,E$ gerichteten Schichten (Fig. 49 u. 50) gemauert werden. Durch dieſe Konſtruktion wird die Spannweite des Gewölbes vermindert; die Gewölbdicke wird ſich dadurch geringer geſtalten und die Widerlagsſtärke ſich ebenfalls

verkleinern. Da die Form der Mittellinie des Druckes von der Form der Gewölblinie wefentlich mit abhängt, die erftere aber fich bei Halbkreisgewölben von der Parabel nicht weit entfernt, fo folgt, dafs bei einer Parabel als Gewölblinie von

Fig. 49.

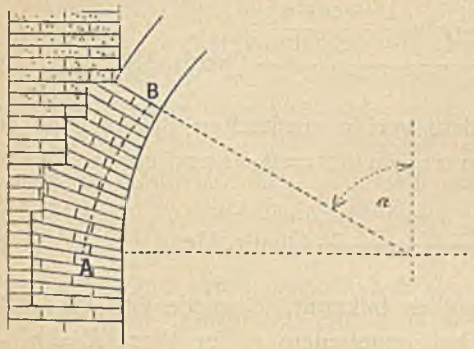
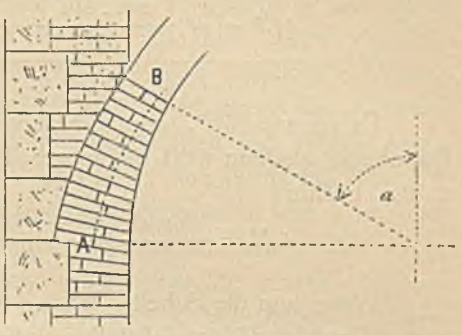


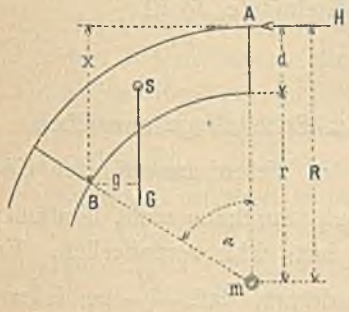
Fig. 50.



vornherein auch eine günftige Mittellinie des Druckes in einem Parabel-Tonnengewölbe entfpringen wird (Art. 8, S. 13).

Von Wichtigkeit für die Beftimmung der Gewölbftärke und fpäter der Dicke des Widerlagers ift die Ermittelung der Gröfse des Gewölbfchubes H. Für eine beliebige, unter einem Winkel α zur Wagrechten geneigte Fuge B (Fig. 51) eines unbelafteten Halbkreisgewölbes hat der in der Scheitelfuge wirkende wagrecht gerichtete Gewölbfchub H mindeftens einen Wert, der fich nach den Bezeichnungen in Fig. 51 berechnen läfst aus der Gleichung 367 in Teil I, Band I, zweite Hälfte (S. 451[5]) diefes »Handbuches«

Fig. 51.



$$H = \frac{G\,g}{x} \quad \ldots\ldots \quad 38.$$

Ift nun, wie in üblicher Weife angenommen wird, die Tiefe des Gewölbes rechtwinkelig zur Zeichenfläche gleich der Längeneinheit des Zeichenmafsftabes und ferner das Gewicht der Raumeinheit des Wölbmaterials gleich der Krafteinheit, fo läfst fich das Gewicht G des Ringftückes AB gleich dem Flächeninhalte diefes Stückes fetzen, d. h.

$$G = \frac{R^2 - r^2}{2}\,\alpha \text{ Quadr.-Met.} \quad \ldots\ldots \quad 39.$$

Da nun die wagrechte Entfernung g des Schwerpunktes S des Ringftückes vom Punkte B fich als

$$g = r \cdot \sin\alpha - \frac{2}{3} \cdot \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \cdot \frac{\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2}{\frac{\alpha}{2}} \text{ Met.} \quad \ldots\ldots \quad 40.$$

beftimmt und da ferner der lotrechte Abftand x des Angriffspunktes A des Gewölbfchubes H vom Fugenpunkte B als

$$x = (R - r \cdot \cos\alpha) \text{ Met.} \quad \ldots\ldots \quad 41.$$

[5]) 2. Aufl.: Art. 274 (S. 258). — 3. Aufl.: Art. 280 (S. 294).

erſcheint, ſo erhält man, wenn in Gleichung 40

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

geſetzt wird, unter Einführung der Werte 39, 40 u. 41 in Gleichung 38,

$$H = \frac{(R^2 - r^2)\,\frac{r\alpha\,.\,\sin\alpha}{2} - (R^3 - r^3)\,\frac{1-\cos\alpha}{3}}{R - r\,.\,\cos\alpha}$$ Quadr.-Met. . . 42.

Es ſei $\alpha = 60^0$, alſo näherungsweiſe dem vorhin ermittelten Bruchwinkel entſprechend; alsdann wird Bogen $\alpha = 1{,}0472$, $\sin\alpha = \sin 60^0 = 0{,}866$ und $\cos\alpha = \cos 60^0 = 0{,}5$, mithin

$$H = \frac{0{,}4534\,(R^2 - r^2)\,r - 0{,}166\,(R^3 - r^3)}{R - 0{,}5\,r}$$ Quadr.-Met. . . . 43.

Wäre nun die Scheitelſtärke d des Gewölbes bekannt, ſo würde ſich die Gröſse von H zahlenmäſsig feſtſtellen laſſen, da bei gegebenem r der Wert $R = r + d$ wird. Andererſeits würde dann auch bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit, z. B. $= 1^{\,m}$, die Fläche der gedachten Scheitelfuge gleich d Quadr.-Met. ſein, und endlich würde, wenn die Gröſse H noch mit 1 multipliziert wird, dieſelbe auch ſofort als H Kub.-Met. ausgedrückt werden können. Denkt man ſich dieſe H Kub.-Met. als eine Steinſäule 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 Steinſäule, ſo iſt

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

als mittlerer Druck für die Flächeneinheit der gedachten Scheitelfuge anzuſehen.

Der Wert $\frac{H}{d}$ iſt, wie zahlreiche Berechnungen an vielen ausgeführten Gewölben, namentlich bei Brückengewölben, ergeben haben, durchaus nicht konſtant; im Gegenteil iſt derſelbe, wie *Scheffler* nachgewieſen hat, ſehr veränderlich. Er nimmt mit dem Wachſen des Gewölbſchubes zu, aber derart, daſs $\frac{H}{d}$ bei feſtem Wölbmaterial bei kleinen Gewölben dem Gewichte einer Steinſäule von etwa $3^{\,m}$ Höhe, bei den gröſsten Gewölben dem Gewichte einer Steinſäule von etwa $60^{\,m}$ Höhe entſpricht.

Iſt z. B. für ein ſehr groſses Gewölbe $H = 90$ gefunden, ſo müſste, um die Höhe $60^{\,m}$ der entſprechenden Steinſäule nicht zu überſchreiten,

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

werden. Alsdann iſt, wenn $1^{\,cbm}$ dieſer Steinſäule $2200^{\,kg}$ wiegt, die mittlere Preſſung $\frac{90 \cdot 2200}{1{,}5 \cdot 1} = 132\,000^{\,kg}$ für $1^{\,qm}$ oder $13{,}2^{\,kg}$ für $1^{\,qcm}$, während bei einem kleineren Gewölbe, für welches $H = 2$ und $d = 0{,}3$ ſich ergeben hat, die mittlere Preſſung $= \frac{2 \cdot 2200}{0{,}3 \cdot 1} = 11\,333^{\,kg}$ für $1^{\,qm}$ oder nur $1{,}1333^{\,kg}$ für $1^{\,qcm}$ wird.

Im letzteren Falle wäre die Höhe x der Steinſäule 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 ſenkrecht gerichteten Gewölbdrucke N treten in Rückſicht auf den Wert $\frac{N}{d_1}$ ähnliche Zuſtände auf. Aber *Scheffler* hat ermittelt, daſs der mittlere Druck $\frac{N}{d_1}$ für die Flächeneinheit der Widerlagsfuge

meiſtens weit gröſser iſt als der Wert $\frac{H}{d}$, 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 Feſtigkeitskoeffizienten für Druck auf die Flächeneinheit nicht ſtatthaft erſcheint, ſowie der fernere Umſtand, daſs auch eine gleichförmige Verteilung des Druckes in den Fugenflächen nicht ſtattfindet, wie die klaffenden Fugen bei einem etwas mangelhaft konſtruierten 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 Steinſäule 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 Steinſäule von $3 . 60 = 180$ 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 wenngleich dieſelben, wie ſchon oben bemerkt, vorzugsweiſe für Brückengewölbe ermittelt ſind, ſo laſſen ſich doch bei den übereinſtimmenden Eigenſchaften, welche Gewölbe, gleichgültig, welchen Zwecken ſie dienen ſollen, immer aufweiſen, die ſorgfältig erzielten Ergebniſſe auch füglich für die Gewölbe des Hochbauweſens verwerten.

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 Werte 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 Kurve, welche ſich mit gröſster Wahrſcheinlichkeit jener krummen Linie nähert, ſo findet man, daſs die Gleichung der geſuchten Kurve mit der Scheitelgleichung einer Ellipſe übereinſtimmt, deren halbe groſse Achſe der Zahl 90, deren halbe kleine Achſe der Zahl 1,5, d. h. jenen oben erwähnten Grenzwerten $\frac{H}{d} = \frac{90}{1{,}5} = 60$ m entſpricht.

Da die Scheitelgleichung einer Ellipſe mit den Halbachſen 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,

$$d = \frac{1{,}5}{90} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 44.$$

oder

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 45.$$

Nach dem vorhin bezeichneten Grenzwerte der Höhe des Steinprismas zu

60 m ist in Gleichung 45 für H höchstens 90 in Rechnung zu bringen. Für $H > 90$ müsste

$$d = \frac{H}{60} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 46.$$

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 ratsam, für Backsteingewölbe den Wert

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

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

Da H die Grösse 90 beibehält, so ergiebt 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 Werte für $d = 1{,}8$ und dem zugehörigen $H = 90$ erhält man entsprechend der Gleichung 44 nun für Backsteinmaterial

$$d = \frac{1{,}8}{90} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 47.$$

oder

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 48.$$

Würde im besonderen Falle H grösser als 90, so müsste

$$d = \frac{H}{50} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 49.$$

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 gleich $3 \cdot 60 \text{ m} = 180 \text{ m}$ werden soll.

Man erhält ähnlich wie in Gleichung 44, sobald in der Ellipsengleichung $3a$ statt a gesetzt wird,

$$d_1 = \frac{1{,}8}{3 \cdot 90} \sqrt{(2 \cdot 3 \cdot 90 - N)\, N}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 50.$$

d. h.

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - N)\, N} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 51.$$

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 Wert nach Ausweis derartiger ausgeführter Gewölbe für N nahezu gleich 114 eintritt, ſo ergiebt ſich

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

und gleichzeitig für N ein Grenzwert bei der Anwendung von Gleichung 51.

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

$$d_1 = \frac{1}{86} N \quad \ldots \ldots \ldots \quad 52.$$

zu nehmen, während für kleinere Werte von N die Stärke d_1 nach Gleichung 51 ermittelt werden kann.

Bei Backſteingewölben iſt es aus denſelben Gründen, wie ſolche vorhin bei dieſen Baukörpern angegeben ſind, zweckmäſsig, den Faktor $\frac{1}{180}$ in Gleichung 51 herabzumindern, wie ſolches in Gleichung 48 für d geſchehen iſt, und denſelben auf $\frac{1}{3 \cdot 50} = \frac{1}{150}$ zu bringen. Danach wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - N) N} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 53.$$

worin N höchſtens bis 114 eintreten ſoll.

Für $N \leqq 114$ wird ſachgemäſs $\frac{N}{d_1}$ nicht mehr gleich 86, ſondern geringer genommen, ſo daſs $\frac{N}{d_1} = 72$ m geſetzt wird.

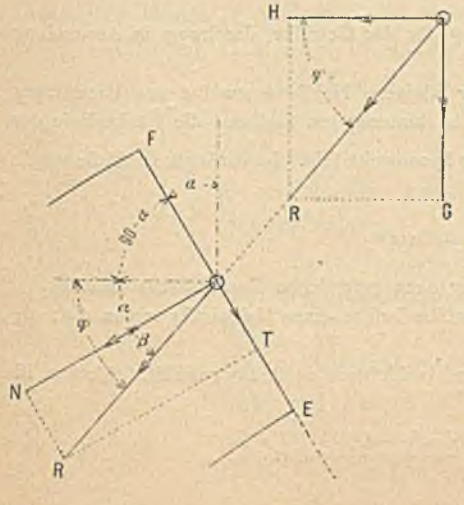
Hiernach wird bei dem Grenzwerte $N = 114$

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

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

$$d_1 = \frac{1}{72} N \quad \ldots \ldots \ldots \quad 54.$$

Fig. 52.



Wenn im Hochbauweſen bei Tonnengewölben die Gleichung 54 wohl nicht in Anwendung kommt, ſo iſt doch bei gröſseren Kuppelgewölben ihre Benutzung nach Ermittelung 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 Werte als der Gewölbſchub H, ſo iſt der für H gefundene Wert d durchweg für das ganze Gewölbe beizubehalten. Entſteht

dagegen für N bei irgend einer Wölbfuge eine gröfsere Stärke d_1 als die für H gefundene Dicke d, fo ift d_1 zu nehmen. Hierdurch wird oft eine vom Gewölbfcheitel bis zur Widerlagsfuge ftetig von d bis d_1 wachfende Verftärkung des Gewölbes bedingt.

Die Gröfse des Normaldruckes N ergibt fich nach Fig. 52 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

$$N = H \cos \alpha + G \sin \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 55.$$

Für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad ift

$$N = 0{,}5\, H + 0{,}866\, G \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 56.$$

Beifpiele: 1) Ein unbelaftetes, aus Backfteinen auszuführendes Halbkreisgewölbe von 2^m Halbmeffer fei bis zur Bruchfuge (Bruchwinkel α gleich 60 Grad angenommen) in wagrechten Schichten aufgeführt. Für das verbleibende Gewölbftück ift die Stärke zu berechnen.

Die unbekannte Gewölbdicke im Scheitel möge zunächft gleich $\frac{1}{2}$ Backfteinlänge, alfo gleich $0{,}12^m$ gefetzt werden. Da $r = 2^m$ und $d = 0{,}12^m$ ift, fo ift $R = 2{,}12^m$, und nach Gleichung 43 wird

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

Hiernach erhält man unter Benutzung von Gleichung 48

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

Die urfprünglich für d gewählte Abmeffung $0{,}12^m$ weicht von der berechneten Gröfse nur ganz wenig ab. Da aufserdem aus praktifchen Gründen die Stärke unter einer halben Backfteinlänge nicht ohne Verhauen der Steine herzuftellen ift, fo kann die geführte Rechnung für d abgefchloffen und danach die Gewölbftärke zu $0{,}12^m$ beibehalten werden.

Die Gröfse des Normaldruckes N wird nach Gleichung 56

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

oder, da fich nach Gleichung 39, worin für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad nun $\alpha = 1{,}0472$ zu fetzen ift,

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

ergiebt,

$$N = 0{,}31.$$

Unter Einführung diefes Wertes in Gleichung 53 wird

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

Da d_1 kleiner ift als d, fo ift die Stärke $d = 0{,}12^m$ für das Gewölbe durchweg in Anwendung zu bringen.

Nach einer empirifchen Regel, welche *Rondelet* für kleinere Halbkreisgewölbe aus Backfteinen aufgeftellt hat, foll, wenn die Gewölbe bis zur halben Höhe hintermauert find und die Rückenlinie der Wölblinie konzentrifch ift, die Gewölbftärke gleich $\frac{1}{36}$ der Spannweite fein. Im vorliegenden Falle würde hiernach

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

werden, mithin fich in recht guter Uebereinftimmung mit der oben gefundenen Gewölbftärke befinden.

2) Das in gleicher Weife auszuführende Halbkreisgewölbe befitze einen Halbmeffer r von 4^m; die Gewölbftärke foll ermittelt werden.

Die noch unbekannte Gewölbftärke fei vorläufig und willkürlich zu $0{,}12^m$ gewählt. Alsdann ift $R = r + 0{,}12 = 4{,}12$ und ferner nach Gleichung 43

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

Bringt man diefen Wert in Gleichung 48, fo ift

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

womit ein erfter Näherungswert für d berechnet ift. Unter Benutzung desfelben wird weiter nach Gleichung 43

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

Für diefen Gewölbfchub liefert Gleichung 48 die Gewölbftärke $d = 0{,}19^{\,\mathrm{m}}$.

Da die Unterfuchung zeigt, dafs die Gewölbftärke d einen gröfseren Wert als $d = 0{,}12^{\,\mathrm{m}}$ beanfprucht, fo möge jetzt $d = 0{,}20^{\,\mathrm{m}}$ genommen werden. Hierdurch erhält man nach Gleichung 43 den Gewölbfchub $H = 0{,}59$ und dann nach Gleichung 48 die Gewölbftärke $d = 0{,}206^{\,\mathrm{m}}$, welche nur noch wenig von $d = 0{,}20^{\,\mathrm{m}}$ abweicht, fo dafs hiermit die Rechnung ihren Abfchlufs findet.

Hätte man d ftatt $0{,}20^{\,\mathrm{m}}$ zu $0{,}25^{\,\mathrm{m}}$ eingeführt, fo hätte man durch das Ausrechnen für d nur nahezu $0{,}23^{\,\mathrm{m}}$ und damit die Anzeige erhalten, dafs die Gewölbftärke kleiner als $0{,}25^{\,\mathrm{m}}$ zu nehmen wäre.

Für den Normaldruck N ergiebt fich nach Gleichung 56, da $H = 0{,}59$ ift,

$$N = 0{,}5\,.\,0{,}59 + 0{,}866\,G,$$

worin nunmehr

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

wird, fo dafs man

$$N = 1{,}04$$

erhält. Mit Benutzung von Gleichung 53 ergiebt fich weiter

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

Da nun auch in diefem Beifpiele d_1 kleiner als d wird, fo ift wiederum das Gewölbe in gleicher Stärke auszuführen. Da man aber ftatt $d = 0{,}20^{\,\mathrm{m}}$ in der Praxis d entfprechend der Backfteinlänge zu $0{,}25$ nimmt, fo ergiebt fich hierdurch von felbft noch eine etwas erhöhte Gewölbftärke.

Nach der von *Rondelet* herrührenden empirifchen Regel würde fich $d = \frac{2\,.\,4}{36} = 0{,}22^{\,\mathrm{m}}$ ergeben haben.

18. Gewölbeanfänger.

Ein ohne Hintermauerung und nicht mit wagrecht vorgemauerten Anfängern verfehenes, frei im Widerlager aufftehendes, unbelaftetes Halbkreisgewölbe mit einem Halbmeffer $r = 4^{\,\mathrm{m}}$ müfste, fo lange noch nicht auf eine kräftige Verkittung der Wölbfteine durch den Fugenmörtel gerechnet werden darf, nach den früher gemachten Angaben mindeftens $\frac{2r}{17{,}544} = \frac{2\,.\,4}{17{,}544} = 0{,}456^{\,\mathrm{m}}$ ftark werden, um bei diefer Stärke fich im Grenzzuftande des Gleichgewichtes gegen Drehung und Gleiten zu befinden. Statt der Dicke d von $0{,}456^{\,\mathrm{m}}$ würde man felbftverftändlich die Stärke von zwei Backfteinlängen, d. h. einfchliefslich der Fuge $0{,}51^{\,\mathrm{m}}$ zur Ausführung bringen.

Fig. 53.

Aus dem Vergleiche diefer Gewölbftärke mit der im zweiten Beifpiele geführten Rechnung ift wiederum deutlich der Vorteil zu erkennen, welcher fich für den Gewölbkörper mit den bis zur Bruchfuge in wagrechten Schichten ausgeführten Gewölbanfängern herausftellt.

Eine folche in wagrechten Schichten aufgemauerte Konftruktion des Gewölbanfängers ift auch bei Tonnengewölben aus Quadern nach Fig. 53 in jeder Beziehung anzuraten. Hierbei treten zur Vermeidung von fpitzen Winkeln kurze, fenkrecht zur Wölblinie ftehende Fugen a auf, welche an ihren vorderen Kanten eine geringe Abfchrägung, den fog. Druckfchlag, erhalten. Diefer Druckfchlag verhindert in vielen Fällen das Abfprengen der Steinkanten

durch diejenigen Preſſungen, welche unter Umſtänden beſtrebt ſind, ſich im Gewölbkörper der Wölblinie zu nähern.

Fig. 54.

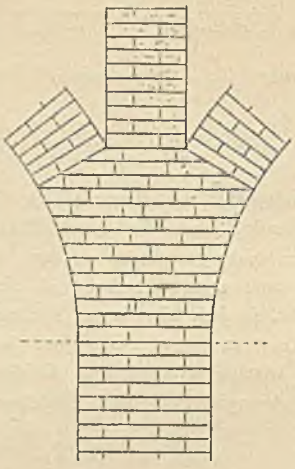
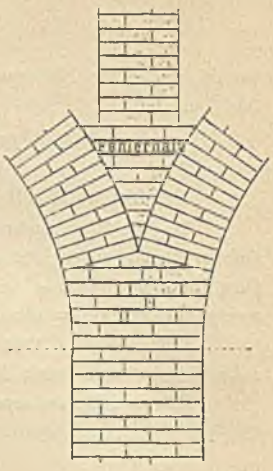


Fig. 55.



Treten zwei Tonnengewölbe gegen eine gemeinſchaftliche Widerlagsmauer, ſo iſt der Gewölbanfänger, gleichgültig, welches Material zum Gewölbe benutzt wird, nach Fig. 54 für beide Baukörper gemeinſam in wagrechten Schichten bis zu den Bruchfugen auszuführen. Eine Anordnung nach Fig. 55 iſt in hohem Grade zu tadeln, da der im Gewölbzwickel auftretende Mauerkörper als ein durch die obere Belaſtung ſtark eingefügter Keil auftritt, welcher nachteilig auf das Bauſyſtem einzuwirken vermag.

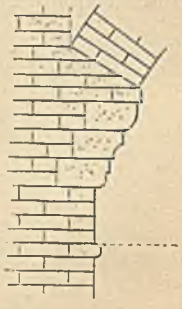
Bei Backſteinmaterial iſt das Verhauen der Steine im Anfänger an der Laibungsfläche (Fig. 56) unnötig, da, falls ein Verputzen des Gewölbes im Inneren vorgenommen werden ſoll, der Putz ſich, wie bei *a*, in die ſog. Ueberkragungen der Steine legt. Für derartige Gewölbe, deren Laibungsflächen keinen Putz erhalten ſollen, iſt die Anwendung von Formſteinen nach Fig. 57 empfehlenswert.

Fig. 56.

19. Stärke belaſteter halbkreisförmiger Tonnengewölbe.

Tonnengewölbe, wie Gewölbe überhaupt, welche nur als ſog. 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. Ausfullung der Gewölbzwickel, durch vollſtändige Uebermauerung, durch darüber liegende Fuſsbodenkonſtruktionen, durch Aufſchüttungen und durch ab und zu auftretende veränderliche Belaſtungen, welche häufig ein bedeutendes Gewicht ergeben.

Fig. 57.

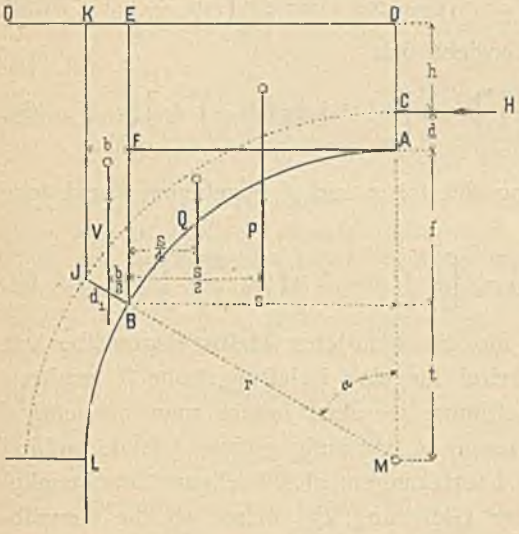


Denkt man ſich die geſamte in Frage kommende fernere Belaſtung des Gewölbes erſetzt durch einen Steinkörper von gleichem Material, woraus das Gewölbe beſteht, ſo erſcheint der Querſchnitt des Gewölbes mit ſeiner Belaſtung unten und oben begrenzt durch die innere Wölblinie und die obere Belaſtungslinie,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

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

Nach Fig. 58 ſei AL die innere halbkreisförmige Wölblinie eines Tonnengewölbes mit dem Halbmeſſer r, DO die vorhin gekennzeichnete, hier wagrecht gelegte Belaſtungslinie und BF eine beliebige, unter einem Winkel α von der Scheitellotrechten MA abweichende Gewölbfuge; alsdann kann man bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit die Gröſse der Belaſtungsfläche $ADKFB$, welche bis zur Fuge BF in Betracht kommt, ſofort auch an die Stelle des Gewichtes ſetzen, welches vom Gewölbe ſamt ſeiner Belaſtung herrührt und auf der Fugenfläche von BF ruht. Die Länge dieſer Fuge möge gleich d_1 ſein.

Fig. 58.



Zerlegt man die ganze Belaſtungsfläche in die Einzelflächen $ADEF$, AFB und $BEKF$, 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. 58

$$P = (d + h)\, s, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 57.$$

$$Q = \frac{1}{3} f s \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 58.$$

und genau genug

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

oder, da $b = \frac{d_1 s}{r}$ iſt,

$$V = (d + h + f)\, d_1 \frac{s}{r}; \quad \ldots \ldots \ldots \quad 59.$$

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

$$G = s \left[d + h + \frac{f}{3} + (d + h + f) \frac{d_1}{r} \right]. \quad \ldots \ldots \quad 60.$$

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

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

oder, unter Benutzung der Gleichungen 57 bis 59, auch

$$\mathfrak{M} = \frac{s^2}{12 r^2} \left\{ r^2 [6 (d + h) + f] - 6 (d + h + f)\, d_1^2 \right\} \quad \ldots \quad 61.$$

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, daſs, wie ſpäter noch beſprochen werden wird, dieſer

Angriffspunkt von H sowohl, 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 Werte $\mathfrak{M}$ in Gleichung 61 gleich zu setzen und erhält danach

$$H = \frac{s^2}{12\,(d+f)\,r^2}\left\{ r^2\,[6\,(d+h)+f] - 6\,(d+h+f)\,d_1{}^2 \right\}. \quad . \quad . \quad 62.$$

Nun ist $s = r\,.\,\sin\alpha$ und $f = r - t = r\,(1-\cos\alpha) = 2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2$. Führt man diese Werte in Gleichung 62 ein, so ergiebt sich

$$H = \frac{\sin\alpha^2}{6\left[d+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]}\left\{ r^2\left[3\,(d+h)+r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right] - 3\left[d+h+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 d_1{}^2\right]\right\}, \quad . \quad 63.$$

und aufserdem erhält man unter Benutzung der für s und f gegebenen Ausdrücke nach Gleichung 60

$$G = r\sin\alpha\left\{ d+h+\frac{2}{3}\,r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left[d+h+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]\frac{d_1}{r}\right\}. \quad . \quad 64.$$

Mit Hilfe der Gleichung 63 kann für ein belastetes Halbkreisgewölbe mit wagrechter Belastungslinie, welche im Scheitel für eine Belastungshöhe h ermittelt und festgelegt ist, der Gewölbschub H bestimmt werden, indem man zunächst d 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 45, bezw. 48 die Gewölbstärke berechnet. Den Normaldruck N findet man, sobald G und H bestimmt sind, nach Gleichung 55, bezw. 56 und hiernach die Stärke d_1 unter Benutzung der Gleichung 51, bezw. 53.

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 verteilten Ueberlast von 480 kg für 1^{qm} Grundrissfläche. 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 63, da $\sin\alpha = \sin 60^{0} = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}866$ und $\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 30^{0} = \frac{1}{2}$ ist,

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

mithin nach Gleichung 48

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

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 48

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

ergiebt.

Diefes Ergebnis zeigt, dafs die zu $0{,}38^{m}$ angenommene Scheitelftärke des Gewölbes etwas zu grofs fein würde. Da jedoch ohne unnützes Verhauen der Backfteine die Herabminderung der Stärke nicht fachgemäfs eintreten kann, fo wird die Dicke von $0{,}38^{m}$ für die Ausführung des Gewölbes genommen.

Nachdem H genau genug zu 1,49 beftimmt und d zu $0{,}38^{m}$ bekannt geworden ift, läfst fich der Normaldruck N für die Bruchfuge mit dem Winkel $\alpha = 60$ Grad nach Gleichung 56 als

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

finden.

Nach Gleichung 64 wird unter Einführung der bekannten Gröfsen und bei der Annahme $d = d_1$ nunmehr

$$G = 3 \cdot 0{,}866 \left[0{,}38 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0{,}38 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{4}\right) \frac{0{,}38}{3}\right] = 3{,}788$$

und fomit

$$N = 0{,}745 + 3{,}272 = \backsim 4\,;$$

folglich wird nach Gleichung 53

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

Da diefe Gröfse den Wert von $0{,}38^{m}$ für d nicht erreicht, fo ift eine Vermehrung der Gewölbftärke nach der Bruchfuge zu nicht erforderlich.

Wird das in Frage ftehende Tonnengewölbe in feinen Anfängern bis zur Bruchfuge nicht in wagrechten Schichten aufgemauert, fo ift noch zu prüfen, ob der Normaldruck, welcher die wagrechte Widerlagsfuge trifft, nicht eine gröfsere Gewölbftärke verlangt, als die bis jetzt feftgefetzte ift. Da für diefe Fuge Winkel $\alpha = 90$ Grad wird, fo erhält man nach Gleichung 55 fofort $N = G$ und weiter nach Gleichung 64, da $\sin \alpha = \sin 90 = 1$ und $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 45 \text{ Grad} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, alfo $(\sin 45)^2 = \left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$ ift,

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

Bringt man $G = N = 6{,}44$ in Gleichung 53, fo folgt

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

Diefe Stärke weicht nur um 1^{cm} von der früher erhaltenen Stärke ab, fo dafs d füglich durchweg beibehalten werden könnte. Die Unterfuchung lehrt aber, dafs für Halbkreisgewölbe bei der Beftimmung der Gewölbftärke mit Vorficht verfahren werden mufs, dafs wiederum wagrecht aufgemauerte Anfänger ratfam erfcheinen oder dafs bei gröfseren Tonnengewölben das Verlaffen der als Halbkreis auftretenden Erzeugenden und Erfetzen derfelben durch einen Parabelbogen, deffen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ift, fich als erwünfcht und als rätlich zeigt.

20. Stärke anders geformter Gewölbe.

Ift bei halbkreisförmigen Tonnengewölben in der angegebenen Weife die Gewölbftärke zu berechnen, fo kann dasfelbe Verfahren der Unterfuchung auch bei Tonnengewölben, deren Erzeugende elliptifche Bogen, Korbbogen, Parabelbogen oder Spitzbogen find, und ferner auch bei flachbogigen, fowie bei einhüftigen Gewölben zur Anwendung kommen. Da hierbei die Beftimmung des Gewölbfchubes H Hand in Hand geht mit dem Feftlegen der Form der Wölblinie, der Gewölbftärke und gleichzeitig beeinflufst wird durch die in der Belaftungsfläche ausgedrückte Ueberlaft des Gewölbes, fo wird zur Vermeidung vielfacher oder umftändlicher Rechnungen die erfte Ermittelung von H am einfachften auf graphifchem Wege vorgenommen[6]).

21. *Rondelet*'s Formeln für die Gewölbeftärke.

Allerdings ift auch hierbei vorweg eine Gewölbftärke fchätzungsweife anzunehmen. Um diefe Schätzung zu erleichtern, bedient man fich wohl der empirifchen Formeln, welche aber, wie ausdrücklich hier betont werden mag, ein weiteres genaueres Feftlegen der Gewölbftärke in jedem einzelnen Falle durchaus nicht ausfchliefsen dürfen. Von derartigen empirifchen Regeln fpielen in der Litteratur des Bauwefens immer noch die von *Rondelet* aufgeftellten Formeln eine Rolle, wovon die folgenden hier angeführt werden mögen.

[6]) Siehe Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte diefes »Handbuches«, Art. 483, S. 453 (2. Aufl.: Art. 274, S. 26c). — 3. Aufl.: Art. 280, S. 293.)

Für Gewölbe mit halbkreisförmiger und auch mit elliptiſcher Wölblinie und Quadern als Wölbmaterial, ſowie unter der Vorausſetzung, daſs dieſe Gewölbe im Widerlager doppelt ſo ſtark ſind wie im Scheitel, ſoll, wenn d die Schlufsſteinſtärke 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 unterſuchte, 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 Scheitelſtärke $d = 0{,}02 \cdot 6 + 0{,}16 = 0{,}28^m$ erhalten.

Nach Gleichung 45, welche für Quadergewölbe zu benutzen iſt, würde, da H in dem erwähnten Beiſpiele zu $1{,}49$ gefunden worden iſt, welcher Wert auch hier beibehalten werden kann,

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

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

Für die Stärke am Widerlager würde nach der *Rondelet*'ſchen Regel die Abmeſſung d_1 ſich zu $2d = 0{,}56^m$ feſtſtellen, welche als reichlich grofs anzuſehen iſt. Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge würde nach Gleichung 55 ſich $N = G$ ergeben. Bei einer gleichmäfsigen Stärke $d = 0{,}28^m$ wird nach Gleichung 64, worin $\sphericalangle\ \alpha = 90$ 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 51 erhält man

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

als Näherungswert, 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.

22. Mittellinie des Druckes.

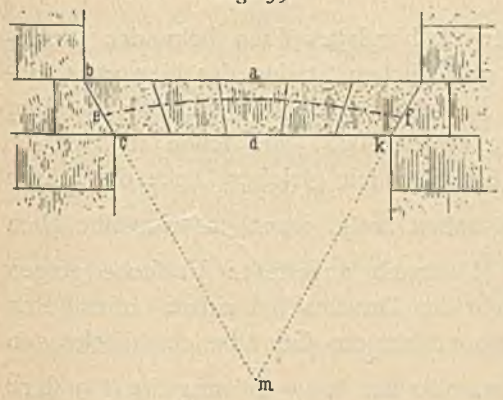
Wie nun aber auch die Gewölbſtärke für ein auszuführendes Gewölbe beſtimmt ſein mag, immer iſt es zur Gewinnung der Ueberzeugung von der Sicherheit und Haltbarkeit desſelben anzuraten, durch Konſtruktion der Mittellinie des Druckes das Gewölbe auf ſeine Standfähigkeit einer Prüfung zu unterziehen, um 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 nötigen Verfahren ſollen noch weiter behandelt werden.

Bei den oben angeſtellten Unterſuchungen iſt zur Berechnung des möglich kleinſten Gewölbſchubes H der Angriffspunkt desſelben im höchſten Punkt der gedachten Scheitelfuge angenommen, und ebenſo iſt auch der in der Wölblinie gelegene vordere Punkt der Bruchfuge, bezw. der Widerlagsfuge als ein Angriffspunkt der Mittelkraft, welche aus dem Gewölbſchube und aus dem von der gedachten Scheitelfuge bis zur Bruchfuge entſtehenden Geſamtgewicht 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 Gröfse auf eine Linie, alſo auf eine Fläche von unendlich kleiner Gröfse kommen, d. h. der Druck für eine Flächeneinheit würde an den angenommenen Angriffsſtellen einen unendlich grofsen Wert 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 Elaſtizität 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 ſog. 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 aneinander preſſen. Ebenſolche Erſcheinungen treten an den Bruchfugen ein, wobei die Steine vorn an der Fugenkante in der inneren Wölblinie ſich ſcharf preſſen 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 möglich kleinſten Gewölbſchub ermittelt iſt, gefundene Preſſungspunkt der inneren oder der äuſseren Wölblinie am nächſten liegt, die Preſſungen zwiſchen den Steinen in der nächſt gelegenen Wölblinie, die Haarriſſe in den Fugen nach der entgegengeſetzten Richtung ſich kundgeben. 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 ſagt[7]), 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 Teil der Gewölbſtärke in den vorhin gekennzeichneten Fugen zurückgedrängt werden könne und wenn ferner die Gewölblinie, ſowie die Stärke des Gewölbes ſo genommen werden, daſs nach Abzug eines inneren und eines äuſseren Streifens, von denen jeder den vierten Teil 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 möglich 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 Wölblinie, der Gewölbſtärke oder gleichzeitige Aenderung beider Stücke zweckmäſsige Vorkehrungen für die Stabilität des Gewölbes getroffen werden können.

Fig. 59.



Von vielen wird verlangt, daſs ein Gewölbe eine ſolche Form der Wölblinie 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 zurückbleibt[8]). Ob aber in Wirklichkeit die nach dieſen Annahmen gezeichnete Mittellinie des Druckes auch nach der Ausführung und Ausrüſtung ſonſt ſtabiler und nicht mit unnötiger Stärke verſehener Gewölbe eine ſolche Lage beibehält, iſt in hohem Grade ungewiſs und unter Umſtänden unmöglich.

Betrachtet man z. B. ein ſcheitrechtes Gewölbe (Fig. 59), welches als unbelaſteter Sturz für eine Oeffnung von nur 1,50 m Weite aus Quadermaterial in einer Scheitelſtärke von 0,30 m ausgeführt und wobei

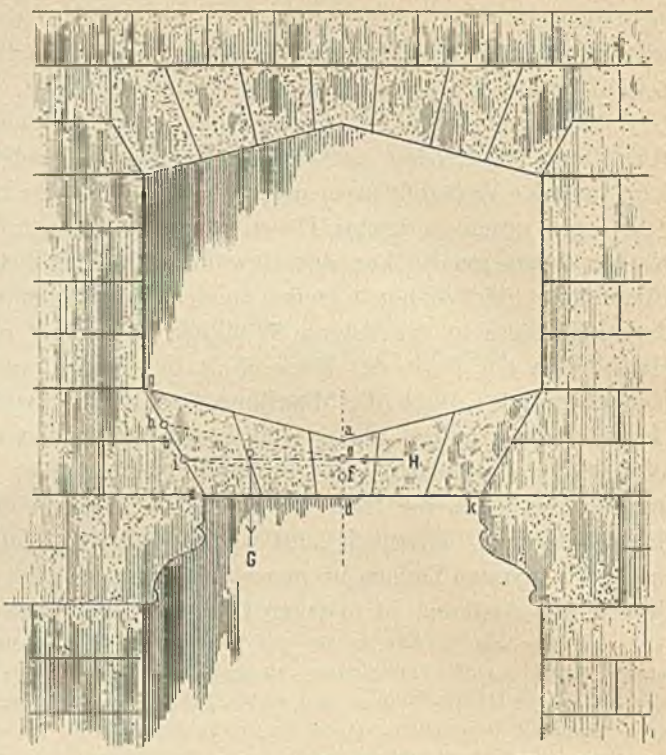
[7]) In ſeiner »Theorie der Gewölbe« etc. Braunſchweig 1857. S. 69.

[8]) Siehe Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte dieſes »Handbuches«, Art. 479, S. 448 (2. Aufl.: Art. 272, S. 257. — 3. Aufl. Art. 278, S. 291.)

$cm = ck$ genommen ist, so bekundet die Untersuchung dieses Sturzes seine Stabilität. Für denselben ist auch eine Mittellinie des Druckes ef im inneren Drittel möglich.

Benutzte man einen solchen Sturz nach Fig. 60 als unteren Abschluss einer Lichtöffnung in der Weise, dass jetzt, unter Beibehaltung der Scheitelstärke $ad = 0{,}30$ 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 ebenso 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 Gewölbschub 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 Wert und im vorliegenden Falle sogar einen solchen von ziemlich geringer Grösse annehmen mufs.

Fig. 60.



Versuche mit Modellen von unbelasteten Halbkreisgewölben bekunden gleichfalls eine nahezu an den Kanten der sog. gefährlichen Stellen des Gewölbes eintretende Lage der Mittellinie des Druckes. Bei der mittels des möglich kleinsten Gewölbschubes gezeichneten derartigen Lage ergiebt sich, wie schon in Art. 17 (S. 42) angeführt, dass bei einem solchen Gewölbe mit gleicher Dicke die Stärke eine Abmessung von $\frac{1}{17{,}544}$ der Spannweite haben mufs, wenn das Gewölbe eben noch im Gleichgewichtszustande sein soll. Hiernach angestellte Versuche zeigen dasselbe Ergebnis. Sollte nun eine Mittellinie des Druckes bei einem unbelasteten Halbkreisgewölbe im inneren Drittel liegen, so müfste 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 Ergebnis, welches den bei stabilen Halbkreisgewölben in der Praxis gewonnenen Erfahrungen vollständig widerspricht und demnach als gänzlich unzulässig gelten mufs.

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 Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 444[9]) dieses »Handbuches« näher erörtert, und es wird hierauf verwiesen; die Bemerkung möge jedoch noch gemacht werden, dass, wenn für Gewölbebauten im Hochbau-

[9]) 2. Aufl.: Art. 265, S. 250.

weſen nur ſehr preſsbares Material, welches allerdings bei der Ausführung von einigermaſsen gröſseren und belaſteten Deckengewölben, wenn irgend thunlich, nicht benutzt werden ſollte, zur Anwendung gelangt, die Gewölblinie 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 Achſe dieſer Fläche ſich ganz oder nahezu deckt. Eine ſolche Mittellinie des Druckes beſitzt jedoch ſehr groſse Aehnlichkeit mit einer Parabel, deren Achſe mit der Scheitellotrechten des Gewölbes zuſammenfällt, ſo daſs auch in einem ſolchen Falle die Parabel als Bogenlinie vorteilhaft auftritt.

23. Widerlagsſtärke.

Verhältnismäſsig 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 Aufſtand- 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 Gewölbſchub H bei der Ermittelung der Widerlagerſtärke einen Wert zu erhalten, welcher thunlichſt vorteilhaft noch gleichſam mit einem Sicherheitskoeffizienten 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.

24. Beiſpiel.

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 Gebäudeachſen entſprechend, 6,00 m betragen muſs, hat von der feſten Bauſohle ab nach aufsen freiſtehende 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 verteilt als Brennſtoff zu verwendende Koke in

einer Schütthöhe von $1{,}50^{\,m}$. Das Gewölbe ist in den Zwickeln ausgemauert, sonst mit Sandschüttung und Fussbodenpflaster versehen, so dass die Oberfläche des letzteren $0{,}20^{\,m}$ über dem höchsten Rückenpunkte des Gewölbes liegt.

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

Da die Dichtigkeit der Koke gleich $0{,}42$ und jene des Backsteinmauerwerkes gleich $1{,}6$ ist, so beträgt das Gewicht der geschütteten Koke $420^{\,kg}$ 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 48 u. 63 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 die Dichtigkeit nahezu gleich derjenigen des Backsteinmauerwerkes angenommen werden kann, so ergiebt sich für diese Teile zunächst eine Belastungshöhe von $0{,}20^{\,m}$ über dem Gewölbrücken im Scheitellot und hierdurch eine erste wagrechte Belastungslinie.

Die Kokeschüttung ist in $1{,}50^{\,m}$ 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 festgelegten ersten Belastungslinie ergiebt sich offenbar durch den Ausdruck

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

als

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

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

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

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 $r = 3{,}00^{\,m}$, sofort nach Gleichung 63

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

und folglich nach Gleichung 48

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

Hiernach ist d zu $0{,}38^{\,m}$ festzusetzen.

Für die Berechnung der Stärke d_1 der Widerlagsfuge ergiebt sich vorweg nach Gleichung 64

$$G = 3 \cdot 0{,}806\left[0{,}38 + 0{,}6 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0{,}38 + 0{,}6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4}\right)\frac{0{,}38}{3}\right] = 4{,}88,$$

sodann nach Gleichung 56

$$N = 0{,}5 \cdot 1{,}97 + 0{,}806 \cdot 4{,}88 = 5{,}2$$

und endlich nach Gleichung 53

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

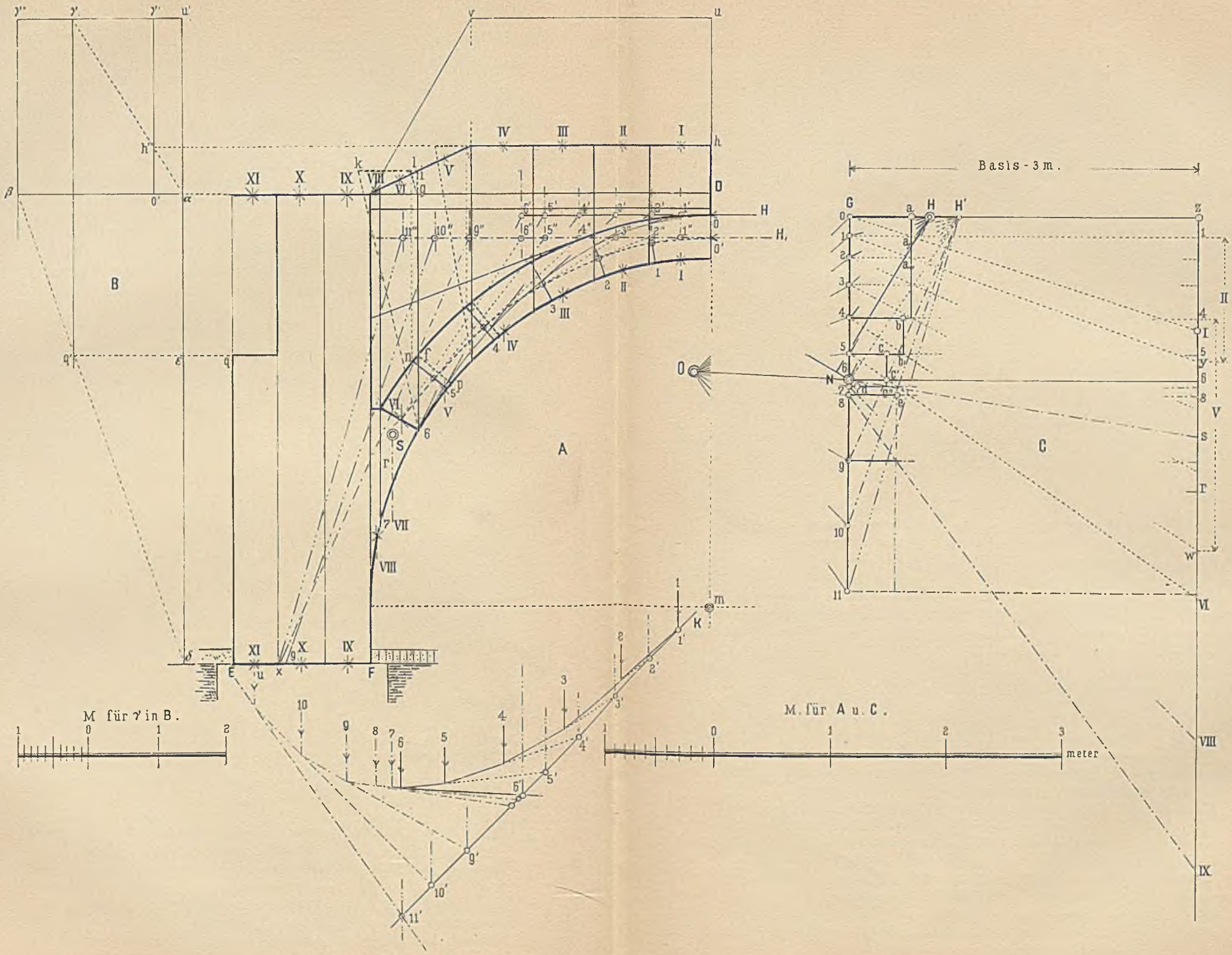
also kleiner als d, so dass $d_1 = d$ angenommen und das Gewölbe in gleicher Stärke ausgeführt werden kann.

Die Stärke des Gewölbwiderlagers soll einstweilen noch unbestimmt bleiben.

Nach diesen vorläufigen Ermittelungen ist auf der nebenstehenden Tafel im Plane A das Gewölbe samt 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 Konstruktion des über dem Gewölbe befindlichen Schuppens ruhe.

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

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



Stabilitätsunterſuchung eines ſymmetriſchen Tonnengewölbes und ſeines Widerlagers.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwice

Soll nun G gleich G_1 werden, fo folgt

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

d. h.

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

wonach x als die fog. reduzierte oder erfetzte Belaftungshöhe leicht zu konftruieren ift.

Nimmt man im Plane B die Länge $u_1\,\gamma$ nach einem beliebigen Mafsftabe gleich der Mafszahl γ, hier gleich 1,6, und ebenfo $u_1\,\gamma_1$ nach demfelben Mafsftabe gleich der Mafszahl γ_1, hier gleich 0,42, fo wird, fobald auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege $u_1\,\alpha$ gleich der Schüttthöhe $D\,u$ des Planes A abgetragen und die gerade Linie $\alpha\,\gamma$ gezogen ift, in der Länge $o_1\,h_1$ der durch γ_1 zu $u_1\,\alpha$ geführten Parallelen $\gamma_1\,o_1$ die reduzierte Belaftungshöhe erhalten; denn es ift

$$\frac{o_1\,h_1}{\alpha\,u_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma}.$$

Diefe reduzierte Belaftungshöhe ift, da $n\,v$ wagrecht liegt, bis zu einer durch v im Plane A geführten Lotrechten beizubehalten, während von hier ab bis zur inneren Kante des Widerlagers die Belaftungslinie zufolge der Böfchung der Kokefchüttung geneigt in gerader Linie abfällt. Ift die obere Begrenzungslinie der gegebenen Belaftung von irgend welcher Geftalt, welche verfchiedene Höhen bedingt, die nach und nach zu reduzieren find, fo bleibt für jede einzelne Höhe das angegebene Verfahren dasfelbe. Die Verbindung der Endpunkte der reduzierten Höhen liefert die gefuchte Belaftungslinie.

Die Fläche des Gewölbquerfchnittes nebft der reduzierten Belaftungsfläche, wobei die Zwickelausmauerung und der Fufsbodenbelag mit Bettung einer weiteren Reduktion, wie vorhin angegeben, nicht bedurften, ift vermöge der vom Scheitellote aus fymmetrifch auftretenden Form und Belaftung des Gewölbes nur zur Hälfte dargeftellt. Durch lotrechte Teillinien ift diefelbe in Einzelftreifen oder Lamellen zerlegt, wobei eine Teillinie mit der durch v ziehenden Lotrechten zufammenfallend angenommen ift. Links von derfelben find noch 3 Teilftreifen von verfchiedener Breite eingefügt, von denen die eine mittlere durch Lotrechte begrenzt wird, welche durch die Grenzpunkte der Widerlagsfuge geführt find, eine Anordnung, welche in den meiften Fällen für diefe Fuge zweckmäfsig ift. Rechts von der durch v laufenden Teillinie find bis zum Scheitellote $k\,m$ noch beliebig viele Teilftreifen, hier vier derfelben, von gleicher Breite genommen.

Die von den Teillinien begrenzten Teilftreifen können in ihren Flächen, da im allgemeinen verhältnismäfsig fchmale Stücke in der Zeichnung auftreten, für die praktifche Unterfuchung mit genügender Genauigkeit als Rechtecksflächen behandelt werden. Vielfach, und namentlich bei flachen Bogen, können auch die Strecken diefer Teillinien, welche innerhalb der Gewölbflächen liegen und hier von der inneren Wölblinie und der Rückenlinie abgefchnitten erfcheinen, fchon als Fugenlinien infofern gelten, als in denfelben die der Mittellinie des Druckes zukommenden Punkte in der Gewölbfläche aufgefucht werden. Bei den im Hochbauwefen auftretenden Tonnengewölben jedoch oder auch bei den Flachbogengewölben felbft, welche ab und an nur eine geringe oder faft gar keine Ueberlaft aufzunehmen haben, ift diefe Behandlung der Abfchnitte der Teillinien als Stücke, in welchen die Punkte der zu zeichnenden Mittellinie des Druckes aufgefucht werden, weniger angezeigt. Ebenfo ift es in den erwähnten Fällen auch nicht ganz ratfam, die Fugen, in welchen die Punkte der Drucklinie ermittelt werden follen, geradezu von den Schnittpunkten der Teillinien mit der Rückenlinie, z. B. als Fuge $f\,p$, auslaufen zu laffen, zumal mit Leichtigkeit in jedem Falle eine Gewölbfuge ermittelt werden kann, welche von der auf ihr ruhenden Belaftung in möglichft richtiger Weife getroffen und in welcher dann ebenfalls in möglichft zutreffendem Grade der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes zu beftimmen ift.

Sollte z. B. (Fig. 61) eine Fuge $k\,l$ für eine beliebige Teillinie $f\,e$ fo gefunden werden, dafs die Gewölbfläche mit der Belaftungsfläche von der Gröfse $b\,a\,f\,e$ das auf diefe Fuge $k\,l$ kommende Gewicht möglichft genau wiedergiebt, fo kann die folgende Ueberlegung Platz greifen. Es fei $k\,l$ die richtige Fuge. Alsdann ruht auf derfelben ein Gewicht entfprechend der Fläche $a\,p\,k\,l\,b$. Diefe Fläche müfste der bei der Beftimmung der Mittellinie des Druckes in Rechnung oder hier im Sinne der graphifchen Statik in Behandlung genommenen Fläche $b\,a\,f\,c\,e$ gleich fein. Damit dies der Fall ift, müfste die Fläche $l\,e\,q$ gleich Fläche $q\,f\,p\,k$ fein. Dann würde auch Fläche $l\,e\,q$ + Fläche $e\,q\,k\,n$ = Fläche $q\,f\,p\,k$ + Fläche $e\,q\,k\,n$ fein müffen, oder was dasfelbe ift, das als rechtwinkelige Dreiecksfläche anzufehende Stück $l\,n\,k$ würde gleich fein müffen dem als fchmales Paralleltrapez zu behandelnden Streifen $e\,f\,p\,n$, welcher auch genügend genau als Rechtecksfläche von der Breite $f\,i$ gelten darf. Danach ift

$$\frac{n\,l\,.\,k\,l}{2} = e\,f\,.\,f\,i;$$

mithin ist auch

$$\frac{n\,l}{e\,f} = \frac{f\,i}{\frac{1}{2}\,k\,l}.$$

Hierin ist $k\,l$ die normale Dicke des Gewölbes in l, aber, streng genommen, wie auch $n\,l$ noch unbekannt. Zieht man jedoch durch den Schnittpunkt e der Teillinie $e\,f$ mit der Rückenlinie des Gewölbes eine Hilfsfuge $c\,d$, so ist ohne nennenswerte Abweichung auch $c\,d = k\,l$ und $e\,d = n\,l$ zu nehmen, so dass nun weiter

$$\frac{e\,d}{e\,f} = \frac{f\,i}{\frac{1}{2}\,e\,d}$$

wird. Nach diesem Ausdrucke lässt sich $f\,i$ und dann die Lage der Fuge $k\,l$, welche der Teillinie $e\,f$ zugehört, einfach durch Zeichnung ermitteln. Zieht man durch den gemeinschaftlichen Punkt f der Teil-

Fig. 61.

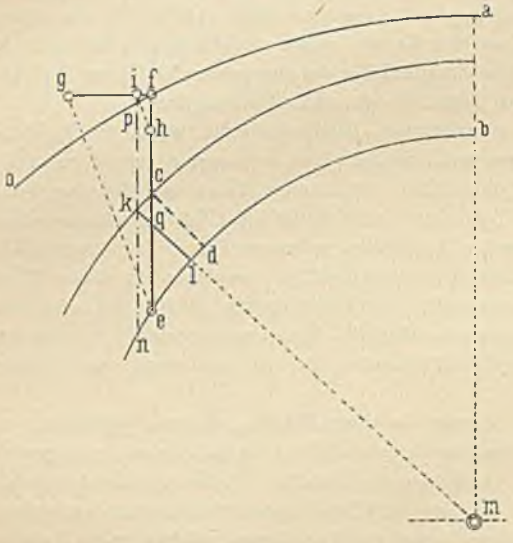
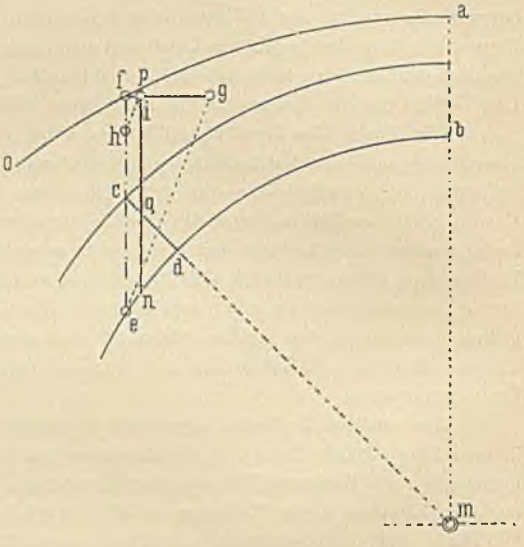


Fig. 62.



linie $e\,f$ und der Belastungslinie die Gerade $f\,g$ von der Länge gleich $e\,d$, trägt man auf der Teillinie $e\,f$ die Strecke $f\,h = \frac{1}{2}\,e\,d$ ab, zieht man $e\,g$ und hierzu durch h die Parallele $h\,i$, so wird $f\,i$ die gesuchte Breite des vorhin erwähnten Streifens $e\,f\,p\,n$. Zieht man zuletzt durch i die Parallele $i\,n$ zu $e\,f$, so trifft dieselbe den Gewölbrücken im Punkte k, durch welchen die gesuchte Fuge $k\,l$ senkrecht zur inneren Wölblinie zu führen ist.

Ist umgekehrt eine Fuge $c\,d$ (Fig. 62) gegeben, so wird auf Grund der gegebenen Ausführungen zunächst durch den Punkt c eine lotrechte Hilfsteillinie $e\,f$ gelegt, $f\,g = e\,d$ und $f\,h = \frac{1}{2}\,c\,d$ abgetragen, nunmehr $e\,g$ und die hierzu parallele Linie $h\,i$ gezogen, um zuletzt in der durch i geführten Lotrechten $p\,n$ die gesuchte Teillinie zu erhalten. Nach diesen Angaben sind auf der umstehenden Tafel im Plane A die Fugen 1 bis 5 des Gewölbes eingetragen.

Zur graphischen Ermittelung der Flächenwerte der einzelnen im allgemeinen als Paralleltrapeze erscheinenden Teilstreifen sind die mittleren Höhen II, III u. s. f. derselben bestimmt, und hierauf ist die Verwandelung der Teilflächen in Rechtecksflächen mit einer beliebigen Basis $o\,z$, hier zu 3^{m} gewählt, im Plane C vorgenommen.

Diese Verwandelung oder die sog. Reduktion der Teilstreifen auf eine bestimmte Basis hat den Zweck, ihre durch Linien darzustellenden Flächen-, bezw. Gewichtswerte in einer für die weitere zeichnerische Behandlung geeigneten Länge zu erhalten.

So ist im Plane C auf der senkrechten z-Linie die Strecke $z\,l$ gleich der mittleren Höhe II des ersten Teilstreifens, dessen Gewicht für die Gewölbfuge 1 in Betracht kommt, abgesetzt; auf der wagrechten Linie $o\,z$ ist die Länge $o\,a$ gleich der Breite dieses ersten Teilstreifens abgeschnitten, durch a

die Parallele zu $z\,1$ gelegt und hierauf die Linie $o\,1$ gezogen, welche auf der Linie a die Strecke $a\,a_1$ als reduzierte Höhe des erften Teilftreifens abfchneidet.

Die durch a_1 parallel zu $o\,z$ gezogene Linie liefert auf der Gewichtslinie G die Strecke $o\,1$, welche nach dem für die Zeichnung der Pläne A und C benutzten Mafsftabe zu meffen und mit der Bafiszahl, hier 3 m, zu multiplizieren ift, um fofort den Flächeninhalt des erften Teilftreifens in Quadr.-Met., oder auch, da die Gewölbtiefe zu 1 m angenommen war, den körperlichen Inhalt diefes Teilftreifens in Kub.-Met. zu liefern.

Denn mit Bezugnahme auf die Zeichnung ift

$$\frac{a\,a_1}{o\,a} = \frac{z\,1}{o\,z},$$

d. h.

$$a\,a_1 \,.\, o\,z = o\,a \,.\, z\,1$$

oder

$$a\,a_1 \,.\, 3\,\text{qm} = o\,a \,.\, z\,1 \text{ Quadr.-Met.},$$

gleich der Fläche des erften Streifens.

Die Zeichnung liefert $a\,a_1 = o\,1$ zu $0{,}17$ m; daher befitzt der erfte Teilftreifen einen Flächeninhalt von $0{,}17 \,.\, 3 = 0{,}51$ qm und bei der Tiefe von 1 m auch $0{,}51$ cbm.

Da 1 cbm Backfteinmauerwerk 1600 kg wiegt und alle Abmeffungen für die in Rechnung zu bringenden Gewölbe- und Belaftungsflächen auf Backfteinmauerwerk zurückgeführt find, fo würde der Körper des erften Teilftreifens ein Gewicht von $0{,}51 \,.\, 1600 = 861$ kg befitzen.

In gleicher Weife ift auch der zweite Streifen auf die gewählte Bafis reduziert; die mittlere Höhe III ift auf der z-Linie nun von 1 bis $y = II$ abgetragen, der Reduktionsftrahl von der G-Linie aus als $1\,y$ geführt, und da die Breite des zweiten Streifens ebenfalls $= o\,a = 1\,a_1$ ift, die reduzierte Höhe $a_1 a_{11} = 1\,2$ fofort abgefchnitten. Beim fünften Streifen ift eine Aenderung der Breite zu bemerken. Für diefen Streifen ift die mittlere Höhe $V\,V$ von 4 bis w auf der z-Linie abgetragen, die Breite $4\,b$ auf der wagrechten Linie $4\,4$ abgefchnitten und vermittels des Reduktionsftrahles $4\,w$ die reduzierte Höhe $b\,b_1 = 4\,5$ beftimmt.

Für die eigentliche Gewölbfläche kommen im ganzen fechs Teilftreifen in Frage. Die Summe aller zugehörigen reduzierten Höhen ift gleich der Strecke $o\,6$ im Plane C. Die Strecke $o\,6$ mifst $1{,}10$ m; mithin wird $1{,}1 \,.\, 3 = 4{,}2$ qm als gefamter Flächeninhalt der Gewölbfläche mit Belaftung gefunden.

Bei der vorläufigen Berechnung von G, welche Gröfse an die Stelle des gefamten Flächeninhaltes zu treten hatte, wurde hierfür ohne Rückficht auf die Seitenböfchung der Schüttung $4{,}38$ qm ermittelt.

Nach dem Feftlegen der Gewichte der einzelnen Teilftreifen, welche in den zugehörigen Schwerpunkten derfelben angreifen, ift weiter eine Mittellinie des Druckes für das Gewölbe konftruiert, welche vorweg dem möglich kleinften Gewölbfchub entfpricht. Hierbei ift das folgende Verfahren beobachtet.

Bei der an und für fich geringen Breite der Streifen kann die trapezartige Fläche derfelben ohne wefentlichen Fehler als Rechteck angefehen werden, fo dafs der Schwerpunkt diefer Flächen in der Mittellinie derfelben liegt.

Zeichnet man nun für die in $I\,I$, $II\,II$ u. f. f. wirkenden Gewichte, bezw. für die Linienftrecken, welche diefelben als $o\,1$, $1\,2$ u. f. f. im Plane C darftellen, unterhalb des Planes A ein Hilfsfeilpolygon mit Benutzung des an fich willkürlich aufserhalb der G-Linie gewählten Poles O, fo erhält man auf dem äufserften Seilftrahle K' in $2'$ einen Punkt, durch welchen das refultierende Gewicht aus 1 und 2, in $3'$ einen Punkt, durch welchen das refultierende Gewicht aus 1, 2 und 3 u. f. f., im Punkte $6'$ einen Punkt, durch welchen das refultierende Gewicht aller Einzelgewichte von 1 bis 6 in lotrechter Richtung wirken mufs.

Für den möglich kleinften Gewölbfchub H, welcher im vorliegenden Falle wagrecht gerichtet ift, weil das Gewölbe in Bezug auf das Scheitellot fymmetrifch geformt und fymmetrifch belaftet ift, und welcher bei näherer Unterfuchung eine mögliche Mittellinie des Druckes liefert, ift der höchfte Punkt o der gedachten Scheitelfuge als Angriffspunkt genommen, während gleichzeitig als Durchgangspunkt der aus dem Schube H und dem Gefamtgewichte G entftehenden refultierenden Preffung der tiefifte Punkt der Widerlagsfuge 6 angenommen ift. Um die Gröfse von H unter diefen Annahmen zu ermitteln, ift durch o die wagrechte, durch 6_1 der Linie K' die lotrechte Linie geführt, welche fich auf der erfteren im entfprechenden Punkte $6'$ fchneiden. Zieht man im Plane A von der Vorderkante 6 der Widerlagsfuge aus den Strahl $6\,6'$, fo ift hiermit die Lage der Mittelkraft aus H und G beftimmt.

Führt man hierauf im Plane C durch den Punkt 6 der Linie G die Parallele zu jenem Strahle $6\,6'$, fo ergiebt fich im Abfchnitte $H\,o$ auf der durch o geführten Wagrechten $o\,z$ der gefuchte Gewölbfchub H. Nach dem Mafsftabe beftimmt, ift die Strecke $H\,o = 0{,}67$ m, folglich $H\,o$ felbft gleich $0{,}67$ mal Bafiszahl, alfo $H\,o = 0{,}67 \,.\, 3 = 2{,}01$ qm, bezw. $2{,}01$ 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 $1 =$ Strecke $o\,1$ im Plane C. Der Punkt $1'$ auf der Linie Ho im Plane A entspricht der Richtungslinie des Gewichtes $o\,1$. 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 $o\,1 + 1\,2$ in Betracht; das aus beiden resultierende Gewicht wirkt in der Lotrechten $2'2'$; mithin geht die resultierende Pressung, 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 $o\,6$ verbleibt der Zeichnung zufolge ganz in der Gewölbfläche, so dass Gleichgewicht gegen Drehung vorhanden ist.

Da die auf die einzelnen Fugen kommenden Pressungen 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 Untersuchung ist in der Zeichnung nicht besonders mitgeteilt, auch für die Ausführung hier weniger von Bedeutung, weil die Gefahr, dass ein Gewölbe infolge des Gleitens der Wölbsteine nicht standfähig ist, selten vorhanden ist, aufserdem aber auch leicht durch entsprechende Anordnung des Fugenschnittes, z. B. senkrecht zur Mittellinie des Druckes, beseitigt werden könnte.

Das untersuchte Gewölbe wird also als stabil gelten, vorausgesetzt, dass 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 48 würde nunmehr

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

oder abgerundet $d = 0{,}38^{\,m}$ werden, also mit dem angenommenen Werte 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 Lot 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 Kokeschüttung N zu $5{,}2^{\,qm}$, also gröfser gefunden wurde und für diesen Wert die Stärke d_1 schon unter $0{,}38^{\,m}$ blieb, so ist auch nach der neuen Untersuchung 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 48, bezw. Gleichung 53 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 $\frac{1}{2}$ bis $2\frac{1}{2}$ Steinstärke zusammengestellt.

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

Aus dieser Tabelle ergiebt sich für das untersuchte Gewölbe, welches einem Gewölbschube von $2{,}01^{\,qm}$ ausgesetzt ist, dass im Falle einer gröfseren Belastung für das Gewölbe, wie solche durch die Kokeschüttung gegeben war, der für $0{,}38^{\,m}$ Stärke eintretende Grenzwert 2,03 für H überschritten würde und dass 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 $H_1 o_1$ find alsdann die den Punkten $1'$, $2'$ u. f. f. der Linie $H o$, bezw. der Linie K entfprechenden Punkte $1''$, $2''$ u. f. f. bis $6''$ feftgelegt. Der Gewölbfchub $H' o$, welcher für die Mittellinie des Druckes $o_1 VI$ mafsgebend wird, ift beftimmt, fobald im Plane A der Strahl $6'' V_I$ und hierzu parallel im Plane C der Strahl $6 H_1$ gezogen wird. Derfelbe beträgt $0{,}95 \cdot 3 = 2{,}85$ qm, ift alfo um das $\frac{2{,}85}{2{,}01}$-fache oder etwa $1{,}4$fache gröfser, als der Gewölbfchub $H o$.

Die Konftruktion der Mittellinie des Druckes erfolgt in gleicher Weife, wie früher, nur dafs jetzt die durch $1''$ geführte Preffungslinie der Fuge 1 parallel mit $H_1 1$, die durch $2''$ geführte Preffungslinie der Fuge 2 parallel mit $H_1 2$ läuft u. f. f.

Die hiernach gezeichnete Mittellinie des Druckes geht nahezu durch die Fugenmitten, fo dafs nunmehr die Prüfung der Stabilität des Gewölbes abgefchloffen werden kann.

Zur Auffindung der Stärke des Widerlagers ift vorweg angenommen, dafs die Grundfläche desfelben in der Ebene $E F$ als feft gilt und dafs der Endpunkt x einer im Widerlager von einem Gewölbfchube $H_1 o$ abhängigen Mittellinie des Druckes die Widerlagerfuge in einem Abftande $E x = \frac{1}{3} E F$ von der äufserften durch E gehenden Drehkante trifft. Selbftredend ift die Tiefe des Widerlagers wie beim Gewölbe gleich der Längeneinheit. Die Höhe desfelben ift durch die mit D zufammenfallende wagrechte Ebene gegeben.

Bei Ausführung des bis zur Bruchfuge wagrecht vorgemauerten Kämpferftückes ift diefes nebft dem darüber liegenden fchmalen Streifen mit zum Widerlager zu rechnen. Ueber $6\,7$ im Plane A liegt eine als Dreiecksfläche aufzufaffende Teilfläche, deren Schwerpunkt S leicht zu beftimmen, deren Grundlinie gleich r und deren Höhe gleich der Breite des Streifens VI ift, welche im Plane C als $6 c_1$ eingetragen war. Der Flächeninhalt diefes Dreieckes ift alfo $\frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$. Da diefe Fläche auf die gewählte Bafis zu reduzieren ift, d. h. in ein Rechteck verwandelt werden mufs mit der beftimmten Bafis $o z$ und einer noch unbekannten Höhe η, fo mufs $\eta \cdot o z = \frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$ oder

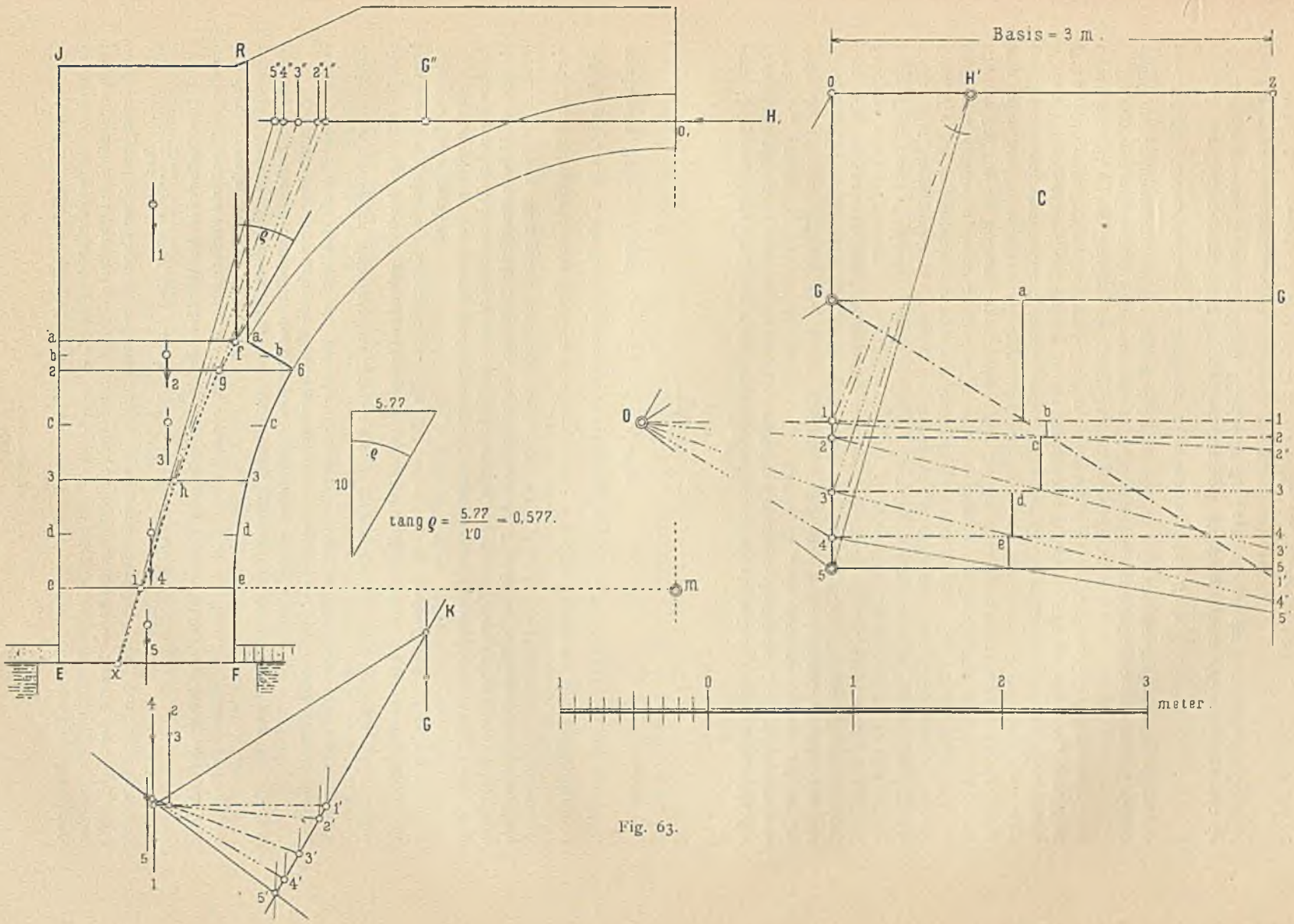
$$\frac{\eta}{\frac{1}{2} r} = \frac{6 c_1}{o z}$$

fein. Trägt man daher die Länge r als Strecke $6 r$ auf der z-Linie ab, halbiert diefelbe in s, zieht den Reduktionsftrahl $6 s$, fo wird auf der durch c_1 geführten Lotrechten die Strecke $c_1 c_{11}$ abgefchnitten und $6\,7 = c_1 c_{11}$ ergiebt das Gewicht des Stückes VII. Endlich ift auch noch die Strecke $7 S$ als Gewicht des fchmalen Streifens VIII in der genügend angegebenen Weife beftimmt. Seitlich von der durch F geführten Lotrechten beginnt der Widerlagskörper. Zunächft ift ein Streifen IX von beliebiger, aber nicht übertriebener Breite angenommen und das Gewicht im Plane C als Strecke $S 9$ ermittelt. Setzt man nun die Zeichnung des Hilfsfeilpolygons für die Gewichte 7, S und 9 fort, fo wird auf der Linie K der Punkt $9'$ erhalten. Durch $9'$ zieht die Lotrechte, welche der Lage des refultierenden Gewichtes aller Einzelgewichte von o bis 9 der Gewichtslinie G entfpricht. Der Schnittpunkt $9''$ auf der Linie $H_1 o_1$ ift Angriffspunkt der refultierenden Preffung. Zieht man im Plane C den Strahl $H_1 9$, fo erhält man diefelbe in diefem Strahle. Führt man im Plane A die Gerade $9'' 9$ parallel zu $H_1 9$, fo fällt der Punkt 9 der Richtung jener Preffung über die Grenzlinie des Streifens hinaus; folglich würde beim erften Streifen noch kein Gleichgewicht gegen Drehen auf der Ebene $E F$ vorhanden fein. Fügt man deshalb noch einen zweiten Streifen X, deffen Breite hier gleich der Streifenbreite von IX genommen ift, dem Widerlager hinzu und verfährt in der angegebenen Weife, fo trifft die durch 10_{11} parallel zu $H' 10$ refultierende Preffung die Fuge $E F$ nahezu an der Grenzlinie des Streifens X, fo dafs nunmehr beim Gewölbfchub $H_1 o$ eben Gleichgewicht gegen Drehung eintreten würde.

Fügt man endlich noch einen oder mehrere Teilftreifen hinzu und ftellt dem gegebenen Verfahren gemäfs die Schnittpunkte x auf der Fuge $E F$ der zugehörigen refultierenden Preffungen feft, fo gelangt man fchliefslich dahin, die Lage des Punktes x fo zu erhalten, dafs $E x = \frac{1}{3} E F$ wird.

In der Zeichnung trat diefer Fall ein, nachdem noch der dritte Streifen XI hinzugefügt war, fo dafs $E F$ die gefuchte Widerlagsftärke ift. Diefelbe beträgt $1{,}20$ m, alfo bei der Spannweite des Gewölbes von 6 m genau $\frac{1}{5}$ diefer Weite.

Sollte die Aufsenfeite des Widerlagers in der Stärke von durchfchnittlich $0{,}40$ m, entfprechend der



Basis = 3 m.
J
R
G''
H,
O,
5" 4" 3" 2" 1"
ϱ
a
b
c
d
e
f
g
h
i
E
X
F
5.77
10
tang ϱ = 5.77/10 = 0,577.
O
m
K
G
H'
C
meter.

Fig. 63.

Breite des letzten Teilſtreifens, aus Sandſteinquadern mit der Dichtigkeit $\gamma_{,,} = 2{,}4$ ausgeführt werden, ſo würde, wenn weder die Gröſse des Geſamtgewichtes o bis 11, noch die Lage des Punktes x verändert werden dürfte, die Höhe Eq 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 lotrechte Linie γ im Punkte q_1; die durch q_1 parallel zu $\alpha\beta$ geführte Linie giebt auf der Lotrechten $\delta n'$ den Schnittpunkt ε, und man erhält alsdann in $\delta\varepsilon$ die geſuchte Höhe Eq der Quaderverkleidung. Das Gewicht dieſes Quaderſtückes iſt gleich dem Gewichte des aus Backſteinmauerwerk beſtehend gedachten Teilſtreifens XI; denn es iſt bei gleicher Grundfläche der beiden Körper

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

wie es ſein ſoll. Oberhalb q entſtände ein Sockelabſatz von der Breite des Teilſtreifens 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 ſolcher Anordnung die Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper geſtaltet.

In Fig. 63 iſt für das bereits ſeiner 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 1 wirkt in der Schwerlinie 1. Ferner kommt für dieſe Fuge das Gewicht G der Gewölbhälfte mit ſeiner Belaſtung und der Gewölbſchub $H_1 o$ in Betracht, welche ſofort von der Tafel bei S. 58 entnommen ſind, ſo daſs, unter Beibehaltung derſelben Verwandlungsbaſis $oz = 3^m$, nun auch oG der Strecke $o6$, $H_1 o$ der Strecke $H_1 o$ entſprechend wieder benutzt ſind. Die Gewichtsſtrecke $G1$ des bezeichneten Teilſtückes iſt im Plane C in bekannter Weiſe ermittelt. Nach der Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons mit Benutzung des beliebigen Poles O ergiebt ſich auf dem Strahle K der Punkt $1'$, durch welchen die Mittelkraft aus oG und $G1$ zieht. Die Zuſammenſetzung derſelben mit dem durch den Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge gerichteten wagrechten Gewölbſchube $H_1 o$ erfolgt im Punkte $1''$. Der Strahl $1''f$ parallel zu $H_1 1$ des Planes C geführt, giebt in f einen Punkt der Mittellinie des Druckes im Widerlager.

Ueber der Fuge 26 geſellt ſich dem Gewichte von $aaR\mathcal{J}$ noch das Gewicht des Teilſtreifens $26aa$ mit der mittleren Breite bb hinzu. Der Schwerpunkt desſelben iſt leicht zu beſtimmen. Im Plane C iſt für die Reduktion dieſer Breite gemäſs $1b = bb$ genommen, $12'$ auf der Linie z gleich der Höhe $2a$ des Streifens abgetragen und durch den Reduktionsſtrahl $12'$ die Gewichtsſtrecke $bc = 12$ erhalten. Im Seilpolygon iſt die weitere Zuſammenſetzung der Gewichte oG, $G1$ und 12 zu einer durch $2'$ der Linie K gehenden Mittelkraft bewirkt und dieſe in $2''$ mit dem Gewölbſchube $H_1 o$ vereinigt. Die dann ſich ergebende reſultierende Preſſung iſt für die Fuge 26 gleich und parallel $H_1 2$ des Planes C. Zieht man $2''g$ dementſprechend parallel $H_1 2$, ſo erhält man in g einen Punkt der Mittellinie des Druckes für die Fuge $2b$.

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, daſs die Lage des Punktes x auf der Fuge EF der Grundfläche mit derjenigen auf der Tafel bei S. 58 übereinſtimmen, daſs ferner die Strecke $G\mathcal{J}$ wieder gleich der Strecke $61\,1$ jener Figur gefunden werden muſs, weil an der Geſamtheit des Querſchnittes vom Gewölbe und vom Widerlager keine Aenderung eingetreten iſt.

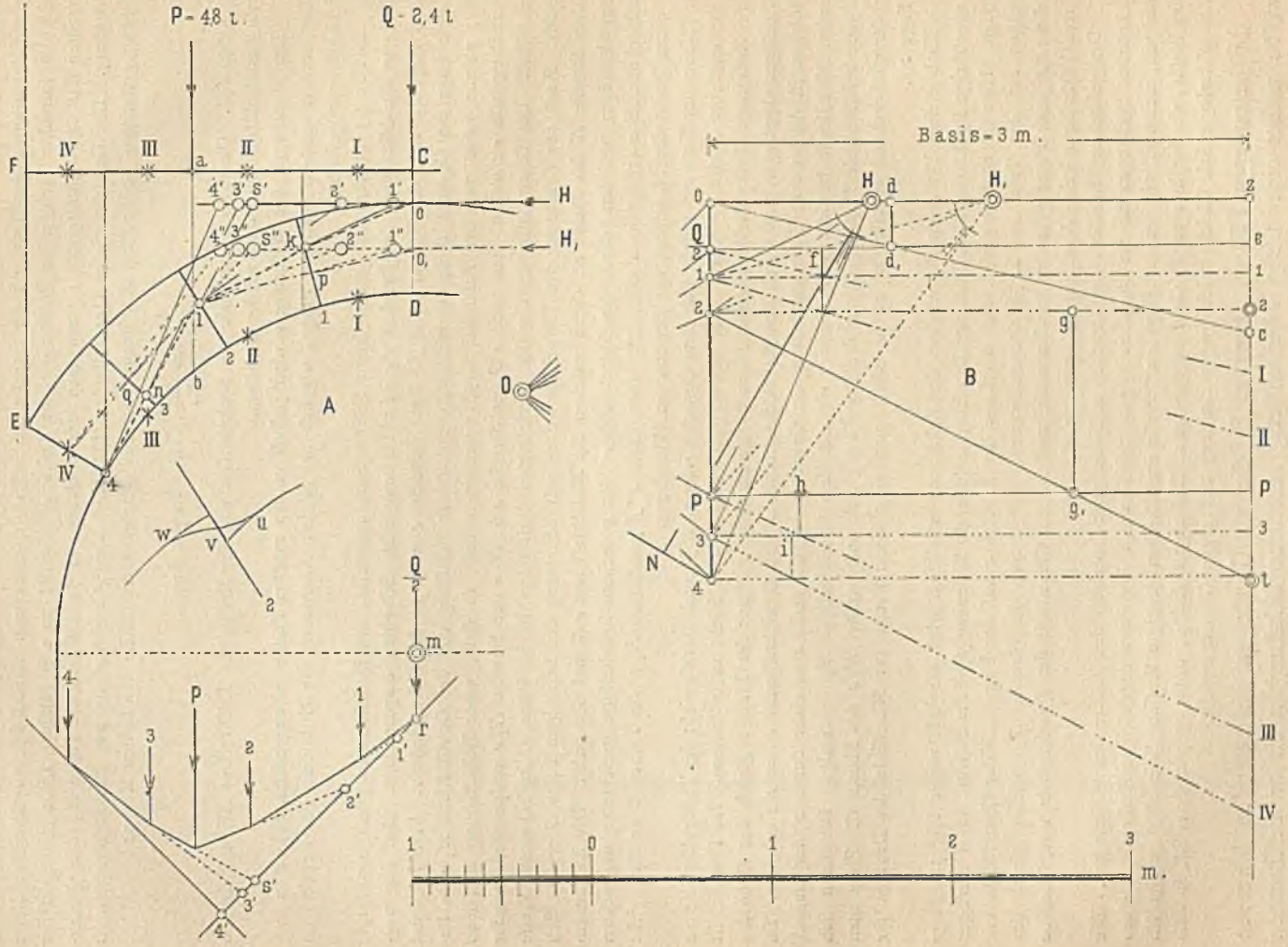
Die gefundene Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Fläche des Widerlagers. Die reſultierenden Preſſungen für die einzelnen Fugen ſchlieſsen mit den ihnen zugehörigen Senkrechten einen Winkel ein, welcher, wie bei der Fuge aa für die am ſtärkſten geneigte Preſſungslinie $1''f$ gezeigt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

25. Einzellaſten.

In beſonderen Fällen, wenn z. B. die als Gurtbogen auftretenden kürzeren Gewölbe auſser einer ſtetig oder unſtetig verteilten Belaſtung noch an beſtimmten Stellen gröſsere Einzelgewichte als Belaſtung aufzunehmen haben, iſt ſtets eine ſorgfältige Prüfung der Stabilität dieſer Gewölbe erforderlich und immer die Ermittelung der Mittellinie des Druckes für das Gewölbe nebſt Widerlager angezeigt.

Eine derartige Unterſuchung iſt in Fig. 64 ausgeführt.

Fig. 64.



Das aus Backſtein auszuführende Gewölbe iſt 4^{m} weit geſpannt und trägt auſser der durch CF begrenzten Ueberlaſt noch im Scheitel eine Einzellaſt von $Q = 2{,}4$ Tonnen, rechts und links von dem Scheitellote noch je eine Laſt $P = 4{,}8$ Tonnen, ſo daſs dieſes Gewölbe ſymmetriſch geformt und ſymmetriſch belaſtet iſt. Die Gewölbſtärke ſei zu 2 Steinſtärken $= 0{,}51^{m}$ angenommen. Die Unterſuchung iſt wieder unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit geführt. Da die Einzellaſten durch das gleiche Gewicht einer Steinſäule von quadratiſcher Grundfläche, deren Seitenlänge beliebig genommen 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

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

und für die Laſt P danach

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

Die Lage von Q und P darf nicht geändert werden, und aus dieſem Grunde wird am zweckmäſsigſten eine zugehörige Teillinie C, bezw. a durch den Angriffspunkt der Einzellaſten gelegt und dieſen Teillinien entſprechend auch die zugehörige Gewölbfuge, 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 Einzellaſt Q kann hier nur die Hälfte, alſo $\frac{1{,}5}{2} = 0{,}75^{m}$, oder, da die Grundfläche der gedachten Steinſäule 1^{m} als vordere Seitenlänge beſitzen ſoll, $0{,}75^{qm}$, bezw. $0{,}75^{cbm}$ in Betracht genommen werden, weil der ſymmetriſchen Anordnung halber nur eine Gewölbhälfte zur Unterſuchung zu kommen braucht.

Sind dieſe Punkte feſtgeſetzt, ſo erfolgt das weitere Zerlegen der Gewölbe- und Belaſtungsfläche $D4EFC$ in beliebig viele, auch beliebig breite Teilſtreifen nebſt Angabe der ihren Teillinien zukommenden Gewölbfugen, gleichgiltig, ob dieſe Fugen mit jenen ſpäter bei der Ausführung des Gewölbkörpers zuſammenfallen werden oder nicht, und hierauf, ganz wie im vorhergehenden erörtert, auch die Reduktion ihrer Flächen auf eine gewählte Baſis. Hierbei iſt nur zu beachten, daſs auch die Gewichte der Einzellaſten in richtiger Reihenfolge vor dem antretenden Teilſtreifen eingefügt und gleichzeitig auf jene Baſis reduziert werden. So iſt das Gewicht $\frac{Q}{2}$ entſprechend $0{,}75^{qm}$ als erſter Beſtandteil in folgender Weiſe reduziert.

Auf der z-Linie des Planes B iſt $zc = 0{,}75^{m}$, auf der Linie oz dagegen $od = 1^{m}$ abgetragen. Der Reduktionsſtrahl oc liefert die Gewichtsſtrecke dd_1 gleich der Strecke o bis $\frac{Q}{2}$. Hierauf ſind die Gewichtsſtrecken für die Teilſtreifen I und II von $\frac{Q}{2}$ bis 1 und von 1 bis 2 beſtimmt, und ſodann iſt die Reduktion der Einzellaſt $P = 3^{qm}$ 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 $2t$ auf der z-Linie gleich $\frac{3}{n}$, hier $= \frac{3}{2} = 1{,}5^{m}$ und auf der Linie 22 eine Breite 2 bis $g = n \cdot 1$ Met., alſo hier, da $n = 2$ gewählt iſt, gleich 2^{m} abgeſchnitten. Der Reduktionsſtrahl $2t$ liefert nun ebenfalls die richtige Gewichtsſtrecke $gg_1 = 2P$ für die Einzellaſt P. Endlich ſind noch die Teilſtreifen III und IV reduziert, und es iſt in o bis 4 im Plane B die geſamte Gewichtsſtrecke feſtgelegt.

Wie für die Tafel bei S. 58 beſchrieben, iſt nunmehr die Konſtruktion einer Mittellinie des Druckes $oklm4$ für den möglich kleinſten, in o angreifend genommenen Gewölbſchub Ho und ferner eine ſolche o_1pqVI für einen Gewölbſchub H_1o ausgeführt, wobei die Endpunkte dieſer Mittellinie des Druckes die Halbierungspunkte der Scheitelfuge Do und der Widerlagsfuge $4E$ bilden. In Fig. 64 treffen die von $2'$ und S' nach der Fuge 2 laufenden Richtungen der Preſſungen, abgeſehen davon, daſs auch die von o_1 ausgehende Mittellinie des Druckes durch dieſen Punkt zieht, ganz nahe im Punkte l 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 2 den im Plane A unterhalb der Fuge 2 angegebenen Verlauf uvw nehmen. Für die Unterſuchung des Widerlagers dieſes Gewölbes möge auf die Tafel bei S. 58 u. auf Fig. 63 verwieſen werden.

Noch erübrigt die Prüfung der Gewölbſtärke. Der Gewölbſchub Ho wird nach der Zeichnung gefunden als $Ho = 0{,}9 \cdot 3 = 2{,}7^{qm}$, während der Normaldruck für die Widerlagsfuge $4E$

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

wird. Nach der Tabelle auf S. 62 mufs alfo das Gewölbe durchgängig 2 Stein ftark genommen werden, da bei $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke H nur $2{,}03$ qm, N nur $6{,}09$ qm ift. Da die Mittellinie des Druckes für Ho ganz in der Gewölbfläche verbleibt, auch in den Fugen der Reibungswinkel nicht überfchritten wird, fo ift das entworfene und unterfuchte Gewölbe ftabil.

26. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

Damit für die Widerlagsftärke von vornherein ein ungefährer Wert Berückfichtigung finden kann, benutzt man wohl einige empirifche Regeln, und zwar nimmt man bei Tonnengewölben, wobei die Oberkante der Widerlager in einer durch den höchften Punkt des Gewölbrückens gelegten wagrechten Ebene begrenzt ift, die Stärke der Widerlager:

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

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

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

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

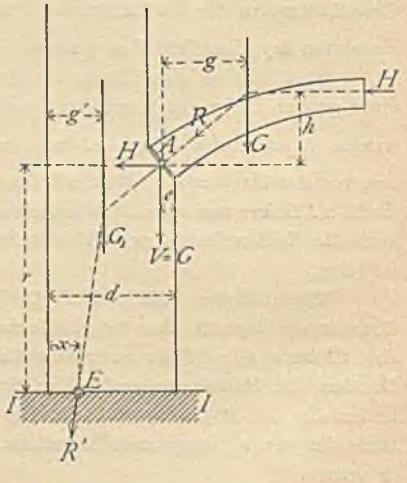
Ift dabei aber die Höhe der Widerlager von ihrer Auffiandfläche bis zu der erwähnten Ebene gröfser als $2{,}5$ m, fo werden die angegebenen Abmeffungen etwa $1\frac{1}{6}$- bis $1\frac{1}{8}$-mal fo ftark genommen.

Die gegebenen Werte follen aber nur als Näherungswerte angefehen werden; fie fchliefsen alfo die bezeichnete Stabilitätsunterfuchung des Widerlagskörpers nicht aus.

Bei der Prüfung der Stabilität des Widerlagers durch Rechnung ift im oben gedachten Halbbande (2. Aufl.: Art. 277, S. 261; 3. Aufl.: Art. 283, S. 296) diefes »Handbuches« das Erforderliche gegeben, und es ift mit Bezug auf die in Fig. 65 eingeführten Bezeichnungen der Abftand x des Angriffspunktes E der Mittelkraft aus dem Gewölbfchube H, dem Gewichte G des Gewölbes nebft feiner Belaftung und dem Gewichte G_1 des Widerlagskörpers von der äufseren Kante am Fufse der Widerlagsmauer berechnet zu

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

Fig. 65.



Ift demnach zuvor die Stärke d gewählt, fo läfst fich G_1 als abhängig von d ermitteln, und da dann auch bei berechnetem g_1, H und G, fowie bei den gegebenen Werten von e und r die Gröfse x zu finden ift, fo kann man prüfen, ob die gewählte Stärke d einen Wert für $x = \frac{1}{3} d$ liefert, oder ob ein neuer Wert von d, welcher nach der erften Rechnung fich jedoch unfchwer angeben läfst, eingeführt werden mufs oder nicht.

27. Einhüftige Gewölbe.

Eine befondere Betrachtung erfordern noch die fog. einhüftigen Gewölbe. Ein einhüftiges Gewölbe ift, in feinem Stirnfchnitte genommen, ein fog. unfymmetrifches Gewölbe, da dasfelbe in Bezug auf fein Scheitelpunktslot zwei voneinander verfchiedene, nicht kongruente Stücke der ganzen Stirnfläche befitzt. Diefe beiden

Stücke erhalten auch meiſtens voneinander verſchieden groſse Belaſtungen, ſo daſs neben den unſymmetriſchen Gewölbebogen noch unſymmetriſche Belaſtung vorhanden iſt. Da vielfach auſser den eigentlichen einhüftigen Gewölben, welche z. B. zur Unterſtützung von Treppenläufen dienen, derartige Gewölbe von geringer Achſenlänge als ſog. Strebebogen zur Sicherung des Widerlagers anderer Gewölbe, namentlich der gotiſchen Kreuzgewölbe, benutzt werden, ſo iſt die Stabilitätsunterſuchung der einhüftigen Gewölbe, bezw. der Strebebogen von Bedeutung. In einigen Punkten weicht, wie aus dem in Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 446[10]) Geſagten zu entnehmen iſt, dieſe Unterſuchung von derjenigen des geraden Tonnengewölbes ab, und es ſoll deshalb eine graphoſtatiſche Stabilitätsunterſuchung eines einhüftigen Gewölbes gegeben werden.

Als Beiſpiel iſt ein einhüftiges, aus Backſteinmaterial herzuſtellendes Gewölbe gewählt, welches zum Tragen eines Treppenarmes dient. Dasſelbe iſt in Fig. 66 dargeſtellt. Die Wölblinie iſt ein um m beſchriebener Kreisbogen $a\,b$; die Gewölbſtärke iſt gleichmäſsig zu $0{,}38^{\,m}$ angenommen. Der Treppenlauf iſt eingetragen, und gleichzeitig iſt unter Berückſichtigung der zufälligen Belaſtung und unter Zurückführen des Stufenmaterials und der erwähnten Belaſtung auf die Dichtigkeit des Wölbmaterials die Belaſtungslinie $C\,D$ eingezeichnet.

Streng genommen würde dieſe Linie ſtaffelförmig auftreten, wenn für jede Stufe eine gleichförmig verteilte 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 $a\,b\,C\,D$ iſt in ſieben Teilſtreifen 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 Teillinien entſprechend ſind die Fugenlinien x, z, y u. ſ. f. in der eigentlichen Gewölbfläche gezogen.

In bekannter Weiſe (vergl. Art. 24, S. 61) iſt zur Ermittelung der Flächen, bezw. der Gewichte der Teile eine Reduktion der Flächen derſelben auf eine Baſis gleich $2^{\,m}$ ausgeführt, ſo daſs im Gewichtsplane die Strecken $o\,1$, $1\,2$ u. ſ. f. die Gröſsen der zugehörigen Flächen ergeben, ſobald die ihnen zukommende Maſszahl mit der Maſszahl 2 der Baſis multipliziert wird. Die Strecke $o\,7$ miſst $2{,}8^{\,m}$; folglich beſitzt die Belaſtungsfläche $2{,}8 \cdot 2 = 5{,}6^{\,qm}$, 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, $5{,}6 \cdot 1 \cdot 1600 = 8960^{\,kg}$. Dieſer Wert entſpricht der Mittelkraft R.

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

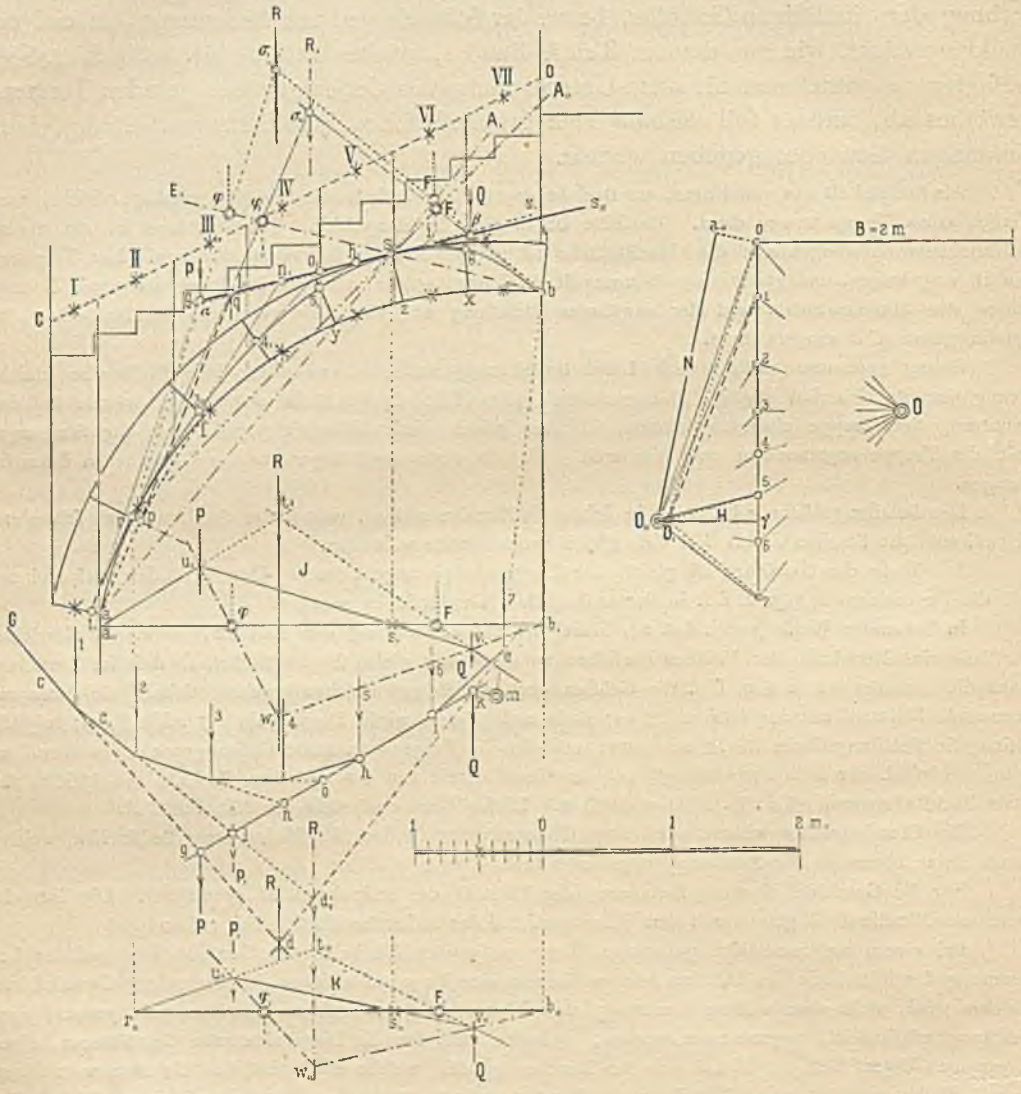
Für die Gewichte iſt unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon G gezeichnet. Die lotrecht gerichtete Mittelkraft R geht durch den Schnittpunkt d der äuſserſten Seilſtrahlen $c\,d$ und $e\,d$.

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 ſolches bei ſymmetriſchen Gewölben mit ſymmetriſcher Belaſtung möglich iſt, angenommen werden; vielmehr muſs für die hier auftretende Gewölbform, einer allgemeinen Eigenſchaft der Mittellinien des Druckes gemäſs, welche einem möglich 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 Gewölblinien 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 aufserdem unter Anwendung der Verfahren der graphiſchen Statik ziemlich einfach ſind.

[10]) 2. Aufl.: Art. 267, S. 253; 3. Aufl.: Art. 273, S. 283.

Um eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, welche durch die gewählten 3 Punkte a, s, b geht, die zugleich den im Gewölbeſchnitte für die Teillinien eingezeichneten Fugenlinien angehören, hat man zu beachten, daſs von der Fuge $s\,z$, bezw. von der ihr zukommenden Teillinie aus für den Gewölbkörper von s bis a die Gewichtsſumme gleich der Strecke $o\,5$, von s bis b die Gewichtsſumme gleich der Strecke $5\,7$ des Gewichtsplanes in Frage kommt. Die Lage dieſer reſultierenden Gewichte iſt im

Fig. 66.



Seilpolygon G zu ermitteln, indem für die durch die Fuge $s\,z$ voneinander geſchiedenen Gewichte durch Erweitern des gemeinſchaftlichen Seilſtrahles $h\,i$ die Schnittpunkte g und k mit den äuſserſten Seilſtrahlen c und e beſtimmt werden. Durch g zieht die lotrechte Reſultierende $P = o\,5$, während durch k die Lotrechte $Q = 5\,7$ 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, α, a mit den äuſserſten Strahlen $b\,\mathfrak{z}_1$ und $a\,\mathfrak{z}_1$ im Gewölbeplane feſtlegen, welches durch die 3 Punkte a, s, b geht, und worin die in $\beta\,\alpha$, bezw. $\alpha\,\beta$ wirkenden Seilſpannungen als in s thätige Gewölbſchübe auftreten. Zur Ermittelung dieſes Seilpolygons iſt ein bekannter Satz der graphiſchen Statik benutzt, welcher ſagt:

Wenn ſich die drei Ecken α, $\mathfrak{z}_1$, β, welche einem Seilpolygon $a\,\alpha\,\beta\,b$ mit den fortgeführten beiden äuſserſten Strahlen $\alpha\,\mathfrak{z}_1$ und $\beta\,\mathfrak{z}_1$ 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. Polarachſe liegt. Zur Beſtimmung jenes Fixpunktes F und auch des zur weiteren genauen Durchführung der Zeichnung zu benutzenden zweiten Fixpunktes φ einer zweiten Polarachse E_1, braucht man nur, um die zeichneriſchen Darſtellungen dafür im Gewölbeplane ganz zu vermeiden, bei der lotrechten Richtung von P, R und Q aus leicht erſichtlichen Gründen die Projektionen der Fixpunkte F und φ zu ermitteln und dieſe auf die Polarachſe A_1 (Gerade durch a und s) für F, bezw. auf die Polarachſe E_1 (Gerade durch b und s) für φ unmittelbar zu übertragen. Solches iſt im Hilfsplane $\mathcal{J}$ geſchehen. Auf der beliebig, hier wagrecht gezogenen Geraden $a_1\,b_1$ ſind gemäſs der lotrechten Richtung von P, R und Q durch lotrechtes Projizieren die den Punkten a, s, b entſprechenden Punkte a_1, s_1, b_1 feſtgelegt. Die Gerade $a_1\,b_1$ iſt die Projektion der Polarachſe A_1, und ebenſo iſt $b_1\,a_1$ die Projektion der Polarachſe 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 beſtimmt, eine Gerade feſt, welche die Linie Q in v_1 ſchneidet, und fügt man zuletzt den Strahl $v_1\,t_1$ ein, ſo iſt der Schnittpunkt F derſelben mit $a_1\,b_1$ die Projektion von dem auf der Polarachſe 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 $\mathcal{J}$ vorhandenen Strahlen die Gerade $b_1\,v_1$ bis w_1 auf R ziehen, die Gerade $v_1\,u_1$ unberührt laſſen und w_1 mit u_1 verbinden, um im Schnittpunkte φ dieſes Strahles mit der Geraden $b_1\,a_1$ die Projektion des Fixpunktes der Polarachſe E zu ermitteln.

Ueberträgt 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 $b\,F$ die Richtungen der äuſserſten Strahlen des durch $a\,s$ 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 notwendig auch durch s gehen muſs, iſt die dritte Seilſeite des nunmehr beſtimmten Seilpolygons für die Punkte a, s, b. Als Probe für die Richtigkeit dient noch der Umſtand, daſs 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 Gewölbeteil $z\,a$ in der Richtung $s\,\alpha$, für den Gewölbeteil $z\,b$ in der Richtung $s\,\beta$. Die Gröſse desſelben erhält man im Gewichtsplane ſofort, wenn man durch den Punkt o eine Parallele $o\,O_1$ zu $a\,\varphi$ und durch den Punkt 7 eine Parallele $7\,O_1$ zu $b\,F$ zieht; beide treffen ſich im Punkte O_1, und die Länge des Strahles $O_1\,5$ liefert, da 5 der Endpunkt der Gewichtsſtrecke P und der Anfangspunkt der Gewichtsſtrecke Q iſt, die geſuchte Gröſse des Gewölbſchubes. Zur Prüfung der Zeichnung dient, daſs $O_1\,5$ parallel mit der Geraden $\alpha\,\beta$ ſein muſs.

Um nun für dieſen Gewölbeſchub eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, verfährt man in folgender Weiſe. Das Gewicht 5, 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 $O_1\,4$ und hierzu eine Parallele durch h_1, bis die Fuge y getroffen wird, ſo ergiebt ſich hier ein Punkt jener Drucklinie. So wirken bis zur Fuge r die Gewichte 2, 3, 4 und 5. Die Lage des reſultierenden Gewichtes P_1 gleich der Strecke $1\,5$ ergiebt ſich durch den Schnittpunkt l der Seilſtrahlen c_1 und $k\,i$ des Seilpolygones G; bringt man den Angriffspunkt von P_1 entſprechend l nach q auf s_1, zieht man $O_1\,1$ und hierzu eine Parallele $q\,p$, ſo iſt p ein Punkt der geſuchten Probelinie. Führt man die Zeichnung derſelben nach dieſen Angaben für das ganze Gewölbe durch, was in Fig. 66 nicht weiter kenntlich gemacht iſt, ſo findet man, daſs dieſe Probelinie in der Gewölbfläche $s\,z\,b$ verbleibt, die Gewölbfläche $s\,z\,a$ jedoch in dem Stücke $f\,p\,a$ verläſst, daſs mithin dieſe Drucklinie noch nicht für die Stabilitätsunterſuchung 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, daſs das reſultierende Gewicht P_1 des Stückes von s bis zur Fuge r gleich $1\,5$ iſt und ſenkrecht durch l zieht, daſs ferner das reſultierende Gewicht des Stückes von s bis zur Fuge b wiederum gleich $Q = 5\,7$ iſt und ſenkrecht durch k zieht und daſs endlich für das bezeichnete Seilpolygon die durch r und s geführte Gerade A_{11} eine Polarachſe wird, während die zweite Polarachſe 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 Projektionen der Fixpunkte F_1 und φ_1 und überträgt man dieſelben nach F_1 auf die

Polarachſe $A_{,,}$ bezw. nach φ_1 für die Polarachſe F_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 $F_1 = 15$ und $Q = 57$ iſt, durch 1 im Gewichtsplane eine Linie $1O_{,,}$ parallel zu $r\varphi_1$ und ferner hier durch 7 einen Strahl $7O_{,,}$ parallel zu bF_1, ſo ergiebt ſich der gemeinſchaftliche Schnittpunkt $O_{,,}$ dieſer Linien. Zieht man $O_{,,}5$, ſo ergiebt dieſer Strahl die Größe des neuen Gewölbſchubes und zugleich die Neigung desſelben zur Lotrechten an. Führt man durch s im Gewölbeplane eine Gerade $s_{,,}$ parallel zu $O_{,,}5$, ſo iſt hiermit die Lage des Gewölbſchubes gegeben. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung dient, daß der Punkt l_1, als Schnittpunkt der Lotrechten 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 Reſultierenden K_1 von P_1 und Q in einem gemeinſchaftlichen Punkte $\sigma_{,,}$ ſchneiden.

In der Geraden $s_{,,}$ wirkt in der Richtung sg_1 der Gewölbſchub $5O_{,,}$, in der Richtung sk_1 der Gewölbſchub $O_{,,}5$. Setzt man den Gewölbſchub für die beiden Teile links und rechts von der Fuge sz unter Benutzung der aus dem Seilpolygon auf $s_{,,}$ übertragenen Angriffspunkte k entſprechend k_1, o für o_1 u. ſ. f. mit den bis auf die einzelnen Fugen kommenden reſultierenden Gewichten zuſammen, ſo erhält man, wenn z. B. $k_1 5_1$ parallel $O_{,,}4$, $o_1 4_1$ parallel $O_{,,}3$ u. ſ. f. des Gewichtsplanes gezogen wird, in 5_1, 4_1 u. ſ. f. Punkte der Mittellinie des Druckes in der Fläche szu und ebenſo, wenn i_1 durch i, k_1 durch k auf $s_{,,}$ übertragen iſt, durch Ziehen der Strahlen $i_1 6_1$ parallel $O_{,,}6$, $k_1 b$ parallel $O_{,,}7$ in 6_1, b Punkte der Drucklinie in der Fläche szb.

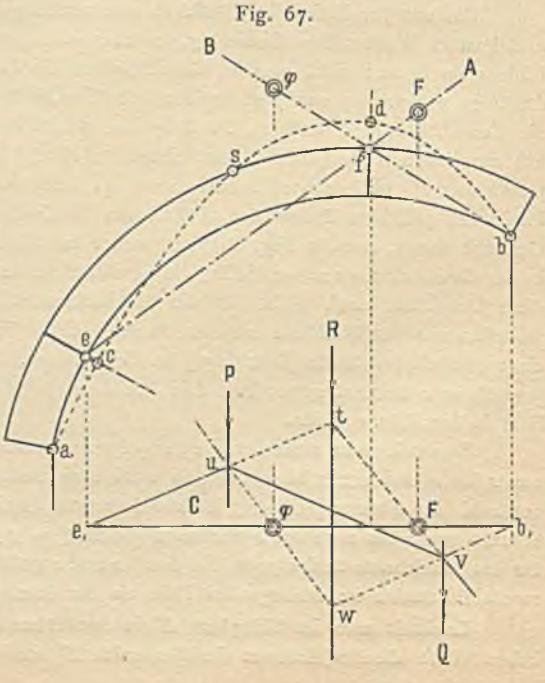
Die gezeichnete Mittellinie des Druckes $r_1 r 3_1 4_1 5_1 s 6_1 b$ bleibt vollſtändig in der Gewölbfläche, hat mit der inneren Wölblinie nur die beiden Punkte r und b und mit der Rückenlinie nur den einen Punkt s gemein, iſt alſo eine Drucklinie mit dem möglich kleinſten Horizontalſchube. Derſelbe iſt gleich der wagrechten Seitenkraft von $o_{,,}5$, d. h. gleich $H = O_{,,}7$ im Gewichtsplane.

Der Wert von $H\gamma$ beſtimmt ſich durch Meſſung zu $0{,}8$ m. Da die Baſiszahl $B = 2$ m iſt, ſo wird $H = 0{,}8 \cdot 2 = 1{,}6$ qm, bezw. auch $= 1{,}6$ cbm. Dieſer Wert liegt nach der Tabelle auf S. 62 zwiſchen der Gewölbſtärke $d = 1$ Stein und $d = 1\frac{1}{2}$ Stein, ſo daß für die Ausführung des unterſuchten Gewölbes die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zu nehmen iſt. Der größte Fugendruck entſteht 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 $2{,}28$ m; mithin iſt der größte Normaldruck durch die Zahl $2{,}28 \cdot 2 = 4{,}56$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. beſtimmt. Nach derſelben Tabelle würde d auch hierfür die Stärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweiſen ſein, ſo daß die Gewölbſtärke überall gleich ſtark bleiben kann.

In vielen Fällen zeigt ſich bei der Stabilitätsunterſuchung einhüftiger Gewölbe, daß ſich für die drei zuerſt gewählten Punkte a, s, b eine Probelinie herausſtellt, welche, wie in Fig. 67 angegeben, die Gewölbfläche mehrfach, häufig einmal unterhalb, ein zweites Mal oberhalb dieſer Fläche verläßt. Dann werden durch die am weiteſten abſtehenden 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 Polarachſen werden die durch e und f, ſowie durch b und f geführten Strahlen A, bezw. B.

Die dieſen Polarachſen angehörigen Fixpunkte F und φ werden in der Hilfsfigur C nach dem mitgeteilten Verfahren unter Anwendung der Gewichte P für den Teil fe, und Q für den

Fig. 67.



Teil $f6$ nebſt ihrer Mittelkraft R aufgeſucht, 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 einhüftigen Gewölbes kein Kreisbogen, ſondern irgend eine der in Art. 16 (S. 35) angegebenen Kurven, ſo erfährt die Stabilitätsunterſuchung in ihren Grundlagen keine Aenderung.

Noch möge bemerkt werden, daſs auch bei geraden Tonnengewölben mit unſymmetriſcher Belaſtung das Verfahren der Ermittelung der Mittellinie des Druckes genau der eben behandelten Unterſuchungsart eines einhüftigen Gewölbes entſpricht. Selbſt wenn einhüftige Gewölbe auſser Gewichten noch durch zur Wagrechten geneigt gerichtete Kräfte, z. B. durch Winddruck, beanſprucht werden, wie bei Strebebogen der Kreuzgewölbe der Fall iſt und wovon ſpäter noch das Nötige geſagt werden wird, bleibt das Weſen des Verfahrens dasſelbe.

28. Tonnengewölbe von verſchiedenen Spannweiten.

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 reſultierenden Kämpferdrücke beanſpruchen, welche nach Lage, Gröſse und Richtung voneinander verſchieden ſind. Es handelt ſich deshalb hier noch um die ſtatiſche Unterſuchung derartiger Gewölbanlagen, beſonders des Widerlagers, wofür Fig. 68 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 Scheitellote L, bezw. L_1 gleichmäſsig 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 Scheitellot bildet, ſo wirkt in einer gedachten Scheitelfuge jedes Gewölbkörpers G, bezw. G_1 ein wagrecht gerichteter Gewölbſchub. Aus dieſem Grunde wurde nur je eine Hälfte der Gewölbe, wofür die Tiefe gleich der Längeneinheit iſt, dargeſtellt.

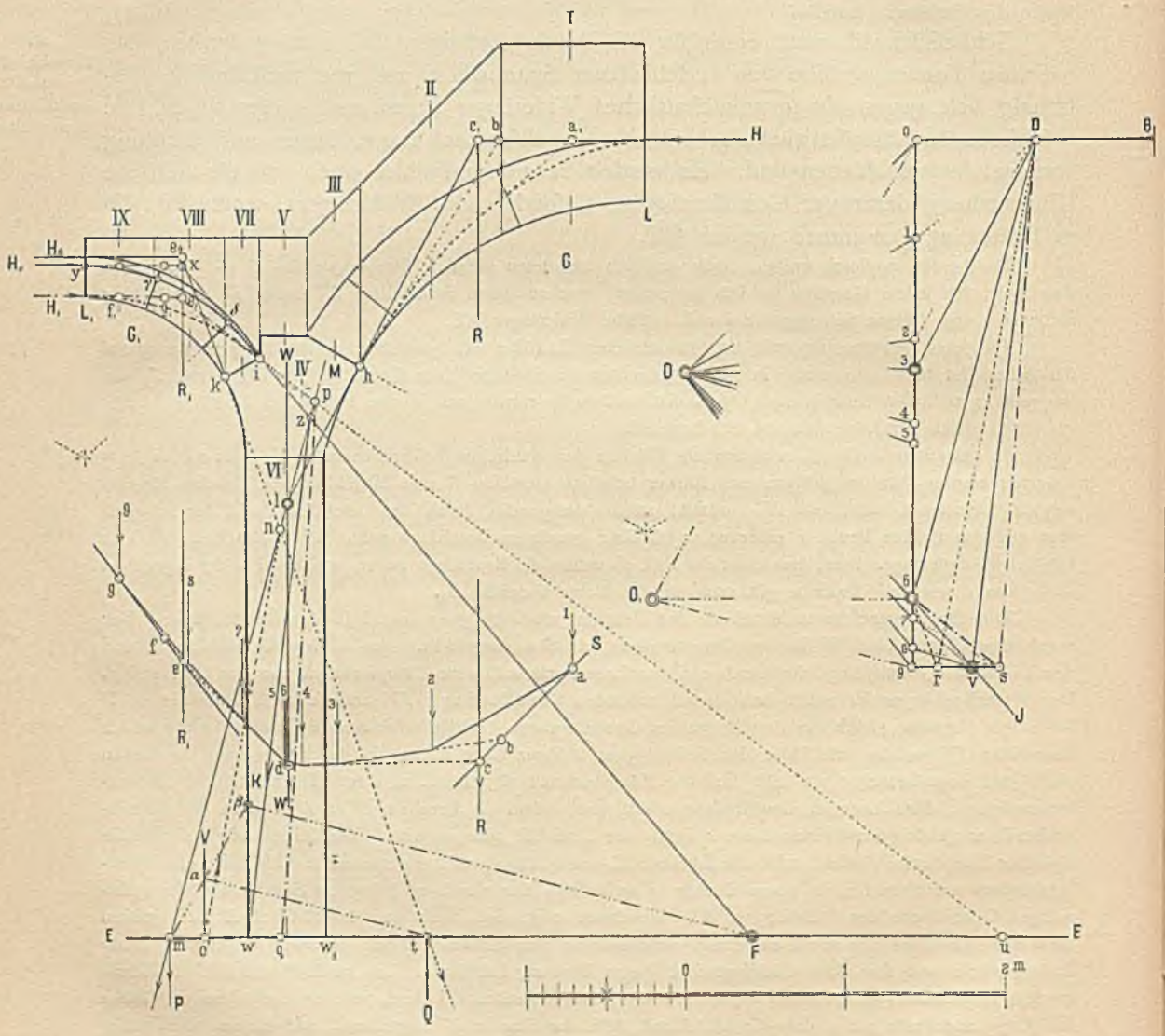
In bekannter Weiſe iſt, nachdem die Flächen der ſämtlichen Teilſtreifen auf eine Baſis $o B = 1{,}5$ m reduziert wurden, für das gröſsere und ſtärker belaſtete Gewölbe G eine Mittellinie des Druckes für den möglich kleinſten Gewölbſchub H ermittelt, welche demgemäſs durch den höchſten Punkt der Scheitelfuge 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. 67 angegeben iſt, beſtimmt werden. Dasſelbe gilt auch für das kleine Gewölbe G_1.

Die für G gezeichnete Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Gewölbfläche. Der zugehörige Gewölbſchub H iſt im Gewichtsplane als $D o$ dargeſtellt. Aus dieſem Gewölbſchube und dem Gewölbe $o 3$ entſpringt der durch $c_1 h$ der Lage nach beſtimmte Kämpferdruck von der Gröſse $D 3$. Der Widerlagskörper VI nebſt dem darauf ruhenden Gewölbanfänger IV und ſeiner Uebermauerung V beſitzt ein Gewicht gleich der Strecke $3 6$ im Gewichtsplane. Dieſes reſultierende Gewicht wirkt in der Lotrechten W, welche mit Hilfe des Seilpolygons S ihrer Lage nach, als durch d gehend, gefunden wird. Mit dem Gewichte $3 6$ läſst ſich der Kämpferdruck $D 3$ ſofort zu einer Hauptmittelkraft $D 6$ zuſammenſetzen. Ihre Lage im Gewölbplane erhält man, indem die Parallele M zu $D 6$ durch den Schnittpunkt l der gehörig erweiterten Linie $c_1 h$ mit der Linie W gezogen wird. Die Mittelkraft $D 6$, welche in dieſer Hauptlinie M wirkt, trifft die Ebene $E E$, worin die als feſt angenommene Fuſsfläche des Widerlagskörpers enthalten iſt, in einem Punkte m auſserhalb der durch w gehenden Seitenkante der rechteckigen Grundfläche des Stützkörpers VI. Hierdurch zeigt ſich, daſs der Gewölbſchub H des groſsen 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 Gröſse und Lage annehmen muſs, daſs die Mittelkraft $D 6$, im Strahle M angreifend, mit dieſem noch völlig unbekannten 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 $D 6$ und jenem unbekannten Gegendrucke im Widerlagskörper abhängige Mittellinie des Druckes ganz in der lotrechten 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 zu beachten, daſs, wenn dieſes Gewölbe für ſich allein beſtände, der Kämpferdruck desſelben einem mög-

lich kleinen Gewölbſchube H_0 angehört. Derſelbe Schub H_0 erzeugt alsdann eine ſog. Minimaldrucklinie, welche durch den höchſten Punkt der Rückenlinie im Scheitellote L_1 und den tiefſten Punkt k der Kämpfer-, hier zugleich Bruchfuge zu führen iſt. Dieſer hier auch wagrechte Gewölbſchub iſt nach bekannter Methode als $H_0 = q\,r$ im Gewichtsplane gefunden. Die Gröſse des Kämpferdruckes ergiebt ſich als $6\,r$. Derſelbe wirkt in der durch $e_0\,k$ gezogenen Geraden. Setzt man dieſen Kämpferdruck mit der bekannten, in der Hauptlinie M wirkenden Mittelkraft $D\,6$ zuſammen, ſo entſteht die Mittelkraft $D\,r$. Sie geht im Gewölbplane durch den in M enthaltenen Schnittpunkt n mit dem fortgeführten Strahle $e_0\,k$

Fig. 68.



des Kämpferdruckes $6\,r$. Zieht man $n\,o$ parallel $D\,r$, ſo iſt die Lage dieſer Schlufsmittelkraft gefunden. Auch dieſe trifft die Ebene $E\,E$ der Fufsfläche des Widerlagers in einem Punkte o, welcher noch aufserhalb der Drehkante w derſelben liegt.

Hieraus folgt, dafs der Widerlagskörper unter dem hier eingeführten möglich kleinſten Gegendrucke des Gewölbes G_1 nicht fähig iſt, dem Schube des gröſseren Gewölbes G genügenden Widerſtand zu leiſten, und dafs der Schub des gröſseren Gewölbes zur Herſtellung des Gleichgewichtes des ganzen Syſtems gegen Drehung einen gröſseren Gegendruck des kleineren Gewölbes, als ſolcher infolge des mög-

lich kleinſten Gewölbſchubes H_0 ſich darbot, wachrufen wird, daſs alſo ſtatt $H_0 = 6r$ 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 notwendig 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 möglich gröſsten Gewölbſchube angehört und welche man mit dem Namen Maximaldrucklinie 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 reſultierende 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 Gewichtsplane $6s$ parallel zu $e_1 i$, ſo erhält man $9s$ als Horizontalſchub H_1 und $6s$ als Kämpferdruck. Die Maximaldrucklinie für H_1 iſt in bekannter Weiſe im Gewölbplane eingezeichnet; dieſelbe verbleibt innerhalb der Gewölbfläche, ſo daſs hiernach für H_1 keine weitere Unterſuchung nötig wird. Vereinigt man nun wiederum den Druck $D6$ mit dem Kämpferdruck $6s$ zu der Mittelkraft Ds, zieht man $e_1 i$ im Gewölbplane bis zum Schnitte p mit der Hauptlinie M, führt man ferner durch p einen Strahl pq parallel zu Ds, ſo zeigt ſich, daſs dieſer Strahl, welcher nunmehr die Mittelkraft aus dem Drucke $D6$ und dem neuen gröſseren Kämpferdrucke $6s$ 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 Maximaldrucklinie bedingte Gegendruck, ſobald ſolcher in dieſem Maſse im kleinen Gewölbe durch das groſse Gewölbe wachgerufen würde, im ſtande iſt, die Standfähigkeit des ganzen Syſtems herbeizuführen. Dieſer hier eingetretene, der Maximaldrucklinie 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 Gewölbſtärke ebenſo 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 bedurfte, um die Standfähigkeit des Syſtems herzuſtellen.

Würde in einem anderen Falle aber der Punkt q noch innerhalb der Strecke mw vor der Drehkante w gefunden, ſo iſt auch der Gegendruck, welcher der Maximaldrucklinie des Gewölbes G_1 zukommt, nicht fähig, dem Schube des groſsen Gewölbes G den nötigen Widerſtand zu leiſten, und ein ſolcher Fall würde dann bekunden, daſs das gegebene Syſtem nicht ſtandfähig wäre.

Aus der hier mitgeteilten Unterſuchung ergiebt 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 Werte des Horizontalſchubes 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 aus dieſen Drücken und des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D6$ mit der Ebene EE zu finden ſein.

Um nun den Gewölbſchub H_n des kleinen Gewölbes zu finden, welcher eine jedoch in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes liefert, die einem ſolchen Kämpferdrucke zukommt, der im ſtande iſt, mit dem Schube $D6$ 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 $D6$ nach m in EE verlegt, ebenſo z. B. den Angriffspunkt des Kämpferdruckes $6r$ der Minimaldrucklinie durch Fortführen der Geraden $e_0 k$ nach t in EE gebracht, ſo kann man den Schub $D6$ hier zerlegen in eine lotrechte Seitenkraft P, deren Gröſse offenbar gleich der Strecke $o6$ im Gewichtsplane iſt, und in eine wagrechte Seitenkraft, deren Gröſse gleich Do ebendaſelbſt erhalten war; gleichfalls kann man in t den Kämpferdruck $6r$ in ſeine lotrechte Seitenkraft Q gleich der Strecke $6q$ und in ſeine wagrechte Seitenkraft von der Gröſse $H_0 = 9r$ zerlegen. Die Mittelkraft Dr aus $D6$ und $6r$ hat in o ihren Angriffspunkt auf EE; dieſe kann in eine lotrechte Seitenkraft V und in eine wagrechte Seitenkraft zerlegt werden. Da nun für den Gleichgewichtszuſtand das Kräftepolygon $o6rD$ 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 lotrechte Seitenkraft iſt alſo $V = 9o$.

Die algebraiſche Summe aller in E liegenden wagrechten Seitenkräfte muſs gleich Null ſein, wie

auch die algebraifche Summe der lotrechten Seitenkräfte gleich Null ift. Das für die drei lotrechten Seitenkräfte P, Q und die diefe beiden verzehrende Kraft V mit einer wagrechten Schlufsfeite $m t$ verfehene Seilpolygon mufs äufserfte Strahlen αm und αt befitzen, welche fich auf V in einem beliebigen Punkte α fchneiden, und aufserdem für den Gleichgewichtszuftand gefchloffen fein.

Da die Gröfsen $P = o 6$, $Q = 6 9$ und $V = 9 o$ bekannt find, fo wird, wenn man im Gewichtsplane $o O_1$ parallel zur Seilfeite $m \alpha$ und $6 O_1$ parallel zu $m t$ zieht, in O_1 der Pol des Seilpolygons $m \alpha t$ erhalten; die Gerade $O_1 9$ wird der zu αt gehörige Polftrahl, alfo parallel mit αt.

Soll nun eine Gleichgewichtslage für das ganze Syftem herbeigeführt werden, wobei für irgend einen möglichen, zwifchen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 auftretenden Kämpferdruck und dem Schube $D 6$ des Gewölbes G eine Mittelkraft entftehen foll, welche durch einen gegebenen Punkt w geht, fo läfst fich der Schnittpunkt F der Richtungslinie eines folchen Kämpferdruckes mit $E E$ überhaupt folgendermafsen feftlegen.

Die durch den Punkt 9 im Gewichtsplane geführte wagrechte Linie $9 s$ enthält ftets den Endpunkt des von D nach diefer Linie zu ziehenden Kämpferdruckes, weil $o 6 = P$ und $6 9 = Q$ unveränderlich bleiben; ebenfo können $D o$ und die wagrechte Lage der Linie $9 s$ keine Aenderung erfahren.

Aus diefem Grunde bleibt auch $o 9$ ftets unverändert gleich V. Endlich ift auch der Punkt m der Hauptlinie M in $E E$ unverrückbar, wie auch der Pol O_1 nebft den Polftrahlen $o O_1$, $o_1 6$, $o_1 9$ nicht veränderlich wird.

Geht nun die Lotrechte V durch einen beliebigen Punkt auf $E E$, z. B. durch w, fo trifft der äufserfte Seilftrahl, welcher nach wie vor parallel $O_1 o$ ift, diefe Lage von V in β. Durch diefen Punkt zieht auch, wie früher bemerkt, notwendig die zu $O_1 9$ parallele zweite äufserfte Seilpolygonfeite. Legt man alfo durch β einen Strahl βF parallel $O_1 9$, fo wird die wagrechte Schlufsfeite des Seilpolygons $m \beta F$ im feften Punkte F gefchnitten. Durch diefen Punkt F mufs der mit der lotrechten Seitenkraft Q behaftete mögliche Kämpferdruck gehen, welcher die durch w gehende, vorhin bezeichnete Mittelkraft bedingt. Von den zahllofen Linien, welche durch F, zwifchen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 liegend, gezogen werden können und welche fämtlich zwifchen diefen Grenzen i und k einen Kämpferdruck enthalten können, welcher der geftellten Forderung entfpricht, ift eine vorhanden, welche den jetzt möglich kleinften Kämpferdruck für G_1 enthält.

Zieht man zur Beftimmung diefer Linie durch F und den höchften Punkt i der Bruchfuge einen Strahl, fo fchliefst derfelbe den gröfsten Winkel mit der Wagrechten ein, der in Bezug auf die Punkte i und k möglich wird, fteht alfo am fteilften und wird deshalb, innerhalb des Dreieckes $6 r s$ zur Führung einer durch 6 gezogenen Parallelen benutzt, einen kleineren Abfchnitt auf der Wagrechten $9 s$ hervorrufen, als jeder andere von F nach der Fuge $i k$ gezogene Strahl, d. h. einen möglich kleinften Gewölbfchub für G_1 veranlaffen.

Zieht man im Gewichtsplane $6 \mathcal{F}$ parallel zu $F i$, fo ift $6 v$ der gefuchte Kämpferdruck und $9 v$ der zugehörige Horizontalfchub des Gewölbes G_1. Verlängert man den Strahl $F i$ bis zum Schnitte x mit der Lotrechten R_1 und legt man durch x eine Wagrechte, fo trifft diefe die Lotrechte L_1 der Scheitelfuge in y. Diefer Punkt wird Angriffspunkt für den Horizontalfchub $H_{,,}$. Zeichnet man für diefen Schub eine Mittellinie des Druckes $y \gamma \delta i$, fo bleibt diefelbe ganz innerhalb der Gewölbfläche. Der Strahl $F i$ fchneidet die Hauptlinie M im Punkte z. Die Mittelkraft aus $D 6$ und dem zuletzt ermittelten Kämpferdrucke $6 v$ ift $D v$. Führt man durch z eine Parallele zu $D v$, fo trifft diefelbe in der That und, wie es fein foll, den Punkt w auf $E E$.

Hiernach ift der in $x i$ durch F ziehende Kämpferdruck $6 v$ ein folcher, welcher, von dem hierfür möglich kleinften in der Wagrechten $x y$ wirkenden Gewölbfchube $H_{,,} = 9 v$ mitbedingt, fähig ift, den Grenzzuftand des Gleichgewichtes des ganzen Syftems gegen Drehung um die Kante w der Fufsfläche des Widerlagers VI hervorzurufen.

Soll bei einer derartigen Stabilitätsunterfuchung die Prefsbarkeit des Materials berückfichtigt werden, fo ift beim Gewölbe G der Angriffspunkt von H etwas tiefer, der Punkt k in der Bruchfuge etwas nach innen zu rücken. Ebenfo wäre beim kleinen Gewölbe der Angriffspunkt von H_0 etwas tiefer, von H_1 etwas höher zu legen; auch wären die Punkte i und k ebenfalls je etwas in das Innere auf der Bruchfuge $k i$ zu verrücken. Der Punkt w kann gleichfalls nach q zu verlegt werden. Am eigentlichen Verfahren der Stabilitätsunterfuchung wird hierdurch keine Aenderung herbeigeführt.

Nach den an der Zeichnung ausgeführten Meffungen ergiebt fich für das Gewölbe G der Wert H zu $0{,}75 \cdot 1{,}5 = 1{,}125$ qm, welchem für Backfteinmaterial nach der Tabelle auf S. 62 eine Gewölbftärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweifen ift. Für das kleine Gewölbe G_1 wird der hier zu berückfichtigende Horizontalfchub $H_{,,} = 0{,}4 \cdot 1{,}5 = 0{,}6$ qm, wonach die Gewölbftärke zu 1 Stein feftzufetzen ift.

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

Die Fufsfläche des Pfeilers erleidet einen Druck, deffen lotrechte Seitenkraft $oq = 3{,}3 \cdot 1{,}5 \cdot 1 \cdot 1600$ kg ift. Beim Angriffspunkte q, welcher nahezu mit dem Schwerpunkte der Fufsfläche von 0,5 m Breite und 1 m Tiefe zufammenfällt, ergiebt fich die Beanfpruchung der Steine an der Grundfläche zu $\frac{4{,}95 \cdot 1600}{100 \cdot 50}$ $= 1{,}58$ kg für 1 qcm.

Liegt der Angriffspunkt der Gefamtrefultierenden aller Drücke des Syftems in der Kräfteebene in einer Hauptachfe der Grundfläche des Widerlagers im Abftande ξ vom Schwerpunkte diefer Grundfläche, fo ift für einen Punkt C im Abftande z von diefem Schwerpunkte die Spannung N nach der Gleichung [11])

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

zu beftimmen. Hierin bezeichnen P die gegebene lotrechte Kraft, F die Querfchnittsfläche und $\mathfrak{J}$ das Trägheitsmoment, bezogen auf eine Schwerpunktsachfe, welche rechtwinkelig zur Hauptachfe fteht, worin der Angriffspunkt o von P liegt.

Sind hier b die Breite des Pfeilers mit rechteckiger Grundfläche und t die Tiefe desfelben, fo ift $\mathfrak{J} = \frac{1}{12} t b^3$ für die zu der Seite t parallel genommene Schwerpunktsachfe. Alsdann ift $F = b t$, und man erhält

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

Nach der Zeichnung ift $b = 50$ cm und $t = 100$ cm; P ergiebt fich zu $4{,}95 \cdot 1600 = 7920$ kg. Liegt der bezeichnete Angriffspunkt von P im Abftande $\xi = \frac{b}{2}$, alfo in w und ift dann für die Kantenpreffung N der Abftand z ebenfalls gleich $\frac{b}{2}$, fo wird

$$N = \frac{7920}{100 \cdot 50}\left(1 + \frac{12 \cdot 25 \cdot 15}{25 \cdot 25}\right) = \infty 20{,}6 \text{ kg für } 1 \text{ qcm}.$$

Diefe Beanfpruchung ift für Backfteinmaterial viel zu grofs, und es müfste diefserhalb für das Widerlager eine gröfsere Breite oder feftcres Material angenommen werden. In jedem Falle ift es zweckmäfsig, die Breite des Widerlagers zu vergröfsern, damit fchon für dasfelbe eine Mittellinie des Druckes eintreten kann, welche für den Gewölbfchub des grofsen Gewölbes thunlichft nur abhängig gemacht wird von einem Kämpferdrucke des kleinen Gewölbes, welcher durch die Minimaldrucklinie für H_0 bedingt ift und wobei alsdann die Drucklinie im Widerlager im inneren Drittel feiner lotrechten Fläche bleibt.

c) Ausführung der Tonnengewölbe.

29. Allgemeines.

Zur Ausführung der Tonnengewölbe werden im allgemeinen wefentlich Backftein, Bruchftein und, wenn auch in weniger häufigen Fällen, Quader (Werkftücke, Haufteine) als Hauptbauftoffe benutzt, je nachdem in den einzelnen Gegenden diefes oder jenes von den genannten Materialien als vorherrfchendes zur Verfügung fteht und je nachdem die Durchbildung der als Tonnengewölbe ausgeführten Decke eines Raumes in architektonifcher Beziehung mehr oder weniger reich, mehr oder weniger gegliedert in die Erfcheinung treten foll. Waren in früheftcr Zeit die Tonnengewölbe bei der Deckenkonftruktion über gröfseren Räumen von hohem Werte und in ihrer Ausführung oft fo kühn behandelt, dafs die Refte derfelben noch heute die Bewunderung der Kunft- und Sachverftändigen, ja jedes gebildeten Menfchen wachrufen, fo ift nach weiterer Entwickelung des Gewölbbaues überhaupt doch die Anwendung des Tonnengewölbes zur Ueberdeckung gröfserer Räume, um als wichtiger

[11]) Siehe: Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte (Gleichung 50 auf S. 273: 2. Aufl.: Gleichung 69 auf S. 86; 3. Aufl.: Gleichung 102 auf S. 112) diefes »Handbuches«.

Faktor bei monumentalen Bauwerken aufzutreten, mehr und mehr in den Hintergrund getreten, so dass heute, mit wenigen, ja vereinzelt dastehenden Ausnahmen, Tonnengewölbe bei Werken des Hochbaues nur zur Ueberdeckung von Kellerräumen, Treppenhäusern, Durchfahrten und, wenn es höher kommt, von Eingangshallen Verwendung finden.

30. Mauerung der Tonnengewölbe.

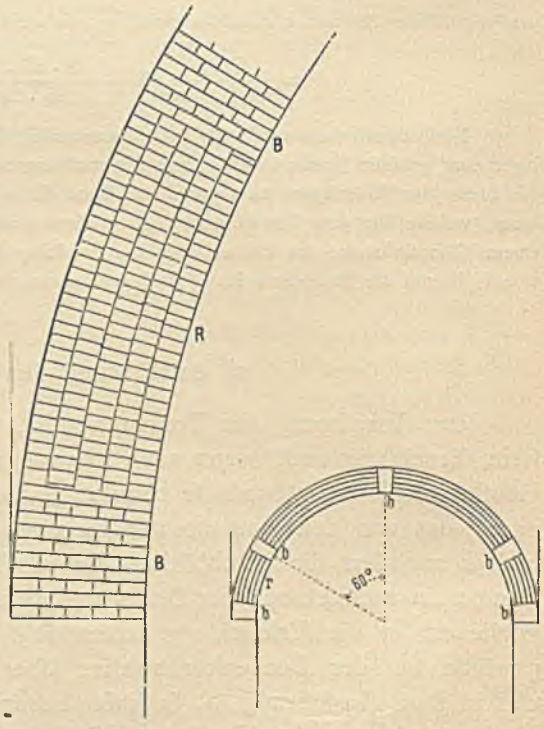
Bei der Mauerung der Tonnengewölbe gelten, ganz abgesehen davon, ob als Wölbmaterial Backstein, Quader oder Bruchstein in Anwendung kommt, zuvor die Sätze:

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

2) die Stossfugenflächen zwischen den Wölbsteinen sollen in Ebenen liegen, welche senkrecht zur Laibungsfläche und senkrecht zur Gewölbachse gerichtet sind, doch so, dass dabei die Stossfugen der benachbarten Wölbschichten oder Wölbscharen auf Verband angeordnet sind, und

3) bei Gewölben von derartiger Stärke, wobei für jede Schicht ein einziger Stein nicht mehr ununterbrochen von der inneren Laibung bis zur Rückenlinie durchtreten kann, sollen die einzelnen Wölbscharen in jedem senkrecht zur Gewölbachse genommenen Gewölbschnitte (Stirnschnitt) einen regelrechten Mauerverband aufweisen.

Fig. 69.



Werden aus besonderen Veranlassungen bei grösseren Gewölben mit erheblicher Gewölbstärke bei Verwendung von Backsteinen oder kleineren Bruchsteinen mehrere übereinander liegende Gewölberinge, sog. Rollschichten, zur Erzielung der erforderlichen Gewölbstärke in Ausführung genommen, so ist es dringend erforderlich, die Gewölbstärke jedes einzelnen Ringes so zu bestimmen, dass bei n Ringen jeder Ring $\frac{1}{n}$ der Gesamtbelastung zu tragen vermag und dass nach Fig. 69 an den gefährlichen Stellen b, bezw. B des Gewölbes, also im Scheitel, in den Bruchfugen oder in ihrer Nähe und am Kämpfer durchgehende, in regelrechtem Verbande ausgeführte Schichten eingefügt werden, zwischen welchen die Ringe r, bezw. R für sich ausgemauert werden.

31. Mörtel.

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

jedem befonderen Falle ftabil und tragfähig fein foll, ohne dafs von vornherein der von der Wirkung des die Steine mehr oder weniger gut verkittenden Bindemittels, des Mörtels, abhängige Faktor mit in Rechnung geftellt wird, fo ift doch bei der praktifchen Ausführung der Tonnengewölbe, wie der Gewölbe überhaupt, auf eine zweckmäfsige 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, Zement für fich oder endlich, und zwar mit grofsem Vorteil benutzbar, der fog. verlängerte Zementmörtel, d. i. ein Gemifch aus Zementmörtel und Kalkmörtel, zur Verwendung. Für Gewölbe, welche durchgängig aus Schnittfteinen oder Quadern hergerichtet werden, tritt die Verbindung der Steine durch Mörtel mehr in den Hintergrund, während die richtige Formgeftaltung, Lagerung und Verbandanordnung der Wölbfteine 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 Beftreichen der Lagerfugenflächen 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 Vergiefsen 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 Verbande und bei Backftein- oder Bruchfteinmauerwerk am zweckmäfsigften mit Verwendung von verlängertem Zementmörtel ausgeführt werden. Zu diefem Mörtel benutzt man vorteilhaft das Gemifch von 1 Raumteil Kalkmörtel, im Mifchungsverhältnis 1 Teil gelöfchten Kalk, 3 Teile reinen fcharfkörnigen Mauerfand und 1 Raumteil Zementmörtel, im Mifchungsverhältnis von 1 Teil Zement und 3 Teilen reinen Flufsfandes, bezw. Mauerfandes, oder auch ein Gemifch von 2 Raumteilen des bezeichneten Kalkmörtels und 1 Raumteil des angegebenen Zementmörtels. Ein inniges Mengen beider Mörtelarten ift vorzunehmen.

Es ift ratfam, Gewölbe von gröfserer Spannweite oder ftark zu belaftende Gewölbe, welche aus Backfteinmaterial (volle Backfteine oder Lochfteine) oder aus Bruchftein ausgeführt werden, immer mit verlängertem Zementmörtel, unter Umftänden auch mit Zementmörtel allein herzuftellen.

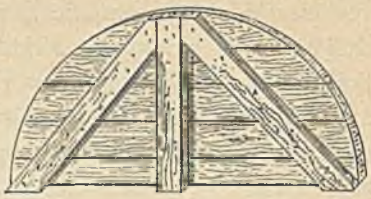
32. Zeit der Ausführung.

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

Erheifchen befondere Umftände eine frühere Herftellung der Gewölbe, fo find diefelben nach ihrer Vollendung mit einer genügend ftarken Sandfchüttung zu überwerfen und hierauf noch mit einer aus Dachpappe oder dergl. beftehenden Schutzdecke zu verfehen, damit etwa auf das Gewölbe herabfallende Bauteile dasfelbe nicht durchfchlagen und damit ferner das auf das Gewölbe kommende Regenwaffer nicht nachteilig wirken kann. Damit das letztere in geeigneter Weife abflielsen und fchliefslich fachgemäfs fortgeleitet werden kann, find unter Berückfichtigung von Gefälle in den Gewölbzwickeln an einem Punkte oder bei langen Gewölben an mehreren Stellen Abflufsöffnungen von etwa 12 cm Länge und Breite, bezw. 25 cm

Länge und 12 cm Breite anzulegen, durch welche einſtweilig Abflufsröhren geführt werden.

Fig. 70.



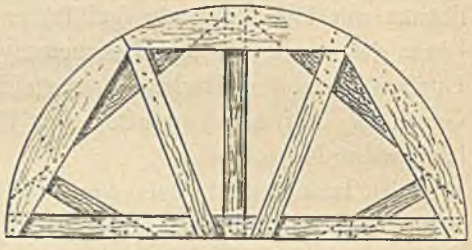
33. Rüſtungen.

Die Einwölbung der Tonnengewölbe erfolgt, gleichgültig 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 Rüſtungen.

Von der geſamten Rüſtung ſind die Rippen oder Rüſtbogen die weſentlichſten Beſtandteile. Für kleinere Gewölbe werden zu dieſen Rippen einfache Wölbſcheiben oder auch einfache Lehrbogen benutzt, während hierfür bei gröſseren Gewölben trägerartige, aus entſprechend ſtarken Hölzern abgebundene Zimmerwerke, die ſog. Lehrgerüſte, zur Anwendung kommen.

Die einfachen Wölbſcheiben beſtehen nach Fig. 70 aus zuſammengefügten Brettern von 30 bis 35 mm Stärke, welche oben nach der Wölblinie geſchnitten, ſonſt nur durch ſeitlich aufgenagelte Leiſten von 15 bis 20 cm Breite und 30 bis 50 mm Stärke miteinander verbunden ſind.

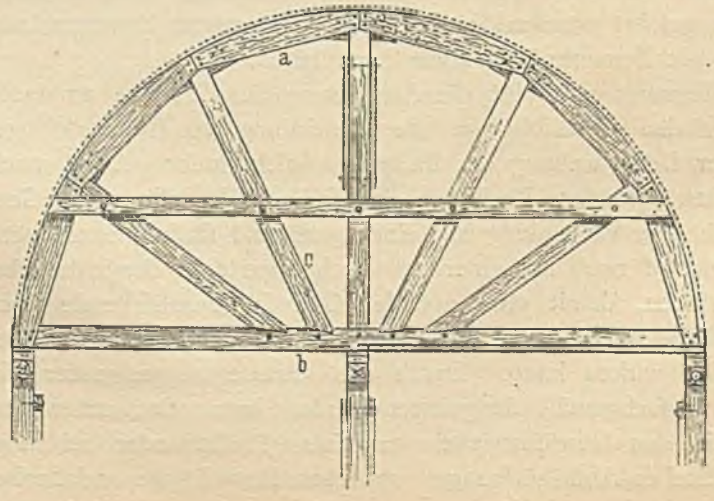
Fig. 71.



Bei den einfachen Lehrbogen (Fig. 71) ſind bei ſtärkerer Ausführung zwei nebeneinander liegende Brettſtücke von 30 bis 35 mm Stärke zu einem der Wölblinie angepaſsten Wölbkranze vereinigt. Dieſer Wölbkranz erfährt weiter durch Leiſten oder Bretter, welche ſtrahlenförmig von einem wagrechten Grundbrett ausgehen, eine Abſteifung und Befeſtigung.

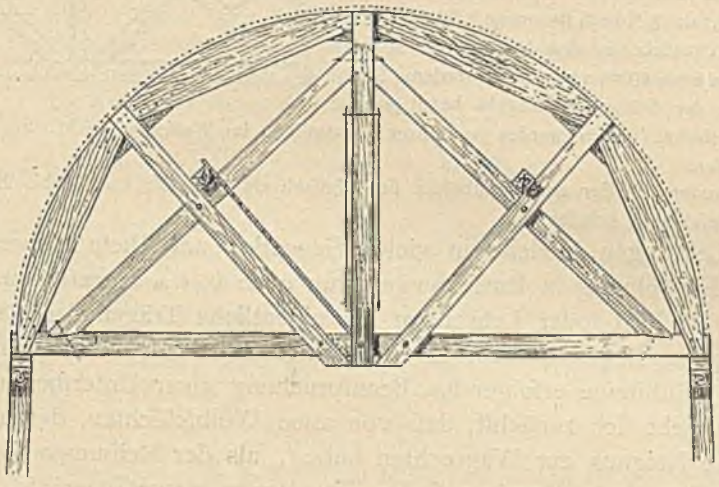
Einen einfachen Lehrbogen, welcher jedoch ſchon den Uebergang zu den Gerüſtbogen eines Lehrgerüſtes bildet, zeigt Fig. 72. Hierbei iſt der aus etwa 5 cm ſtarken, 1,50 m bis höchſtens 3,00 m langen Bohlen angefertigte Wölbkranz *a* mit der Schwelle *b* durch einzelne Pfoſten *c* in kräftige Verbindung gebracht.

Fig. 72.



Bei gröfseren Lehrgerüften ift das Holzwerk der Rippen fo zu ordnen, dafs möglichft unverfchiebbare Dreiecksverbindungen entftehen. Zwifchen die Berührungsflächen derjenigen Verknüpfungspunkte, bei welchen durch die Belaftung der Rüft-

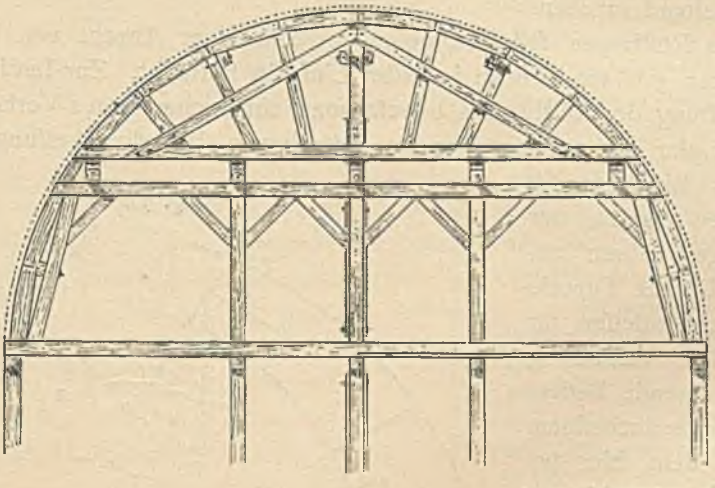
Fig. 73.



bogen die Hölzer fich leicht ineinander preffen können, find zweckmäfsig dünne Streifen aus Weifs-, Zink- oder Kupferblech zu legen.

Meiftens werden derartige Rüftbogen als Häng- und Sprengwerke mit durchgehender wagrechter Schwelle konftruiert. Seltener find im Hochbauwefen die ge-

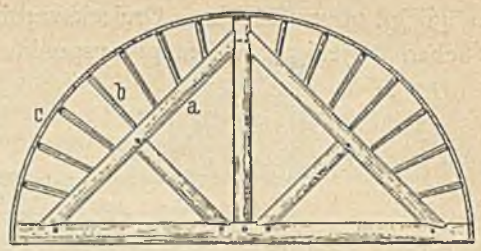
Fig. 74.



fprengten Gerüfte, deren Streben unmittelbar nach dem Widerlager, bezw. nach dem Fufsboden des zu überwölbenden Raumes geführt werden. In Fig. 73 u. 74 find Rippen mit durchgehender Schwelle und darüber befindlichem Streben- nebft Hängefäulenfyftem dargeftellt. In Fig. 75 ift eine Rüftbogenkonftruktion 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.

Fig. 75.



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 geſteckt, 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 im Waſſer geweicht, um dadurch leichter biegſam zu werden.

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

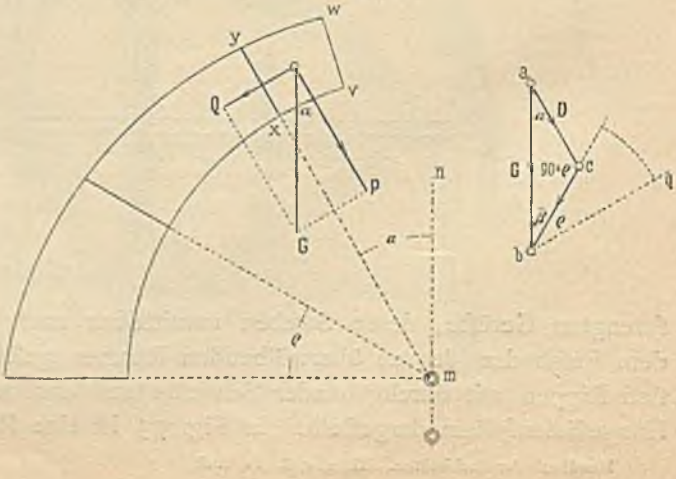
Dieſe Lehrbogen, welche in vielen Gegenden am Rhein Anwendung finden, ſind für die Einwölbung in Entfernungen von etwa 0,60 m aufzuſtellen.

Sollen die Rüſt- oder Lehrbogen als eigentliche Träger der nach und nach von den Bogenanfängen aufgebrachten Wölbſchichten hinſichtlich ihrer durch das Gewicht der Wölbſteine erfolgenden Beanſpruchung einer Unterſuchung unterzogen werden, ſo ergiebt ſich zunächſt, daſs von allen Wölbſchichten, deren Lagerflächen eine geringere Neigung zur Wagrechten haben, als der Reibungswinkel des Wölbmaterials beträgt, kein Druck auf den Tragbogen ausgeübt wird. Sodann aber ergiebt ſich weiter, daſs eine Wölbſchicht, deren Lagerfläche in ihrer Neigung dieſen Reibungswinkel überſchreitet, abgleiten würde und nur durch ihre vom Rüſtbogen getragene Unterlagerung hieran verhindert wird. Dieſe Wölbſchicht erzeugt alſo einen Druck für den Rüſtbogen. Verfolgt man jede weitere Wölbſchicht bis zur Scheitelſchicht, ſo ergiebt ſich ein fortwährendes Steigen der Gröſse der einzelnen Drücke der Wölbſchichten, 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.

34. Druck auf die Rüſtbogen.

Für den Rüſtbogen ſelbſt kommen die von einer Anzahl von Wölbſchichten hervorgerufenen gröſsten Drücke in erſter Linie in Betracht. Zur Beſtimmung dieſer gröſsten Belaſtung des Rüſtbogens benutzt man ein zeichneriſches Verfahren, welches jedoch unter der nicht ganz ſtrengen Annahme, daſs 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 Ermittelung des an irgend einer Stelle auftretenden gröſsten Druckes dient.

Fig. 76.



In Fig. 76 sei $x\,y\,v\,w$ ein Wölbstein von sehr geringer Breite $x\,v = b$, 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 $x\,y$ und die Breite b für das schmale Stück beibehalten werden können, bestimmt als

$$G = b\,.\,h\,.\,1\,.\,v \quad \ldots\ldots\ldots\

fämtlich parallel zu $m\,o$ geführt werden, durch einen Linienzug, fo begrenzt derfelbe gemeinfchaftlich mit der inneren Wölblinie die Fläche $o\,d\,e\,f\,g\,h$ der gröfsten, rechtwinkelig zum Rüftbogen wirkenden Drücke. Soll mit Hilfe diefer Zeichnung der gröfste auf die Fläche $E\,F$ kommende Druck D ermittelt werden, fo ergiebt fich für die Tiefe gleich der Längeneinheit nach Gleichung 67: $D = z\,b\,v$, d. h., da $z\,b$ die Fläche $E\,F\,G\,H$ darftellt, die Regel: man beftimme die Mafszahl des Flächeninhaltes des Stückes $E\,F\,G\,H$ der Druckfläche und multipliziere diefelbe mit der Mafszahl des Gewichtes der Körpereinheit des Wölbmaterials, um den Wert des für die Länge $E\,F$ in Frage kommenden Druckes zu erhalten.

Aus der Druckfläche ergiebt fich die Zunahme der rechtwinkelig zum Rüftbogen gerichteten Preffungen vom Punkte o gleich Null bis zum gröfsten Drucke $g\,h$ im Punkte h des Gewölbefcheitels. Für die Konftruktion des Rüftbogens folgt hieraus, dafs bis zum Punkte o keine Unterftützung der Wölbfteine durch diefen Bogen notwendig wird, dafs alfo bis zu diefem Punkte vom Kämpfer aus, wie Fig. 74 (S. 81) zeigt, die Anordnung der Rippe fich auf einfachere verbindende Teile, vom Punkte o ab bis zum Scheitel jedoch aufser verbindenden Teilen noch auf kräftigere, ftützende Konftruktionsglieder zu erftrecken hat.

35. Unterlagerung.

Die einzelnen Rippen werden parallel zur Stirnebene des Gewölbes in Entfernungen von 1 m bis höchftens 2 m hintereinander aufgeftellt. Hierzu bedürfen diefelben einer kräftigen Unterlagerung, welche als weiteres Zubehör des Lehrgerüftes auftritt. Diefe Unterlagerung mufs fo hergeftellt fein, dafs die einzelnen Rippen während der Ausführung des Gewölbes fich nicht in merkbarem Grade fenken, fich nicht verfchieben oder verdrehen können. Zweckmäfsig ift eine Unterftützung, welche möglichft aus lotrecht oder aus fchwach geneigten Pfoften befteht, welche dann rechtwinkelig zu den Rippen ziehende Rahmhölzer oder Holme erhalten, alfo in ihrem Wefen ähnlich der Anordnung einer feften Fachwerkwand erfcheint. Hänge- und Sprengwerkskonftruktionen zu folchen Unterftützungen zu wählen, ift deshalb weniger vorteilhaft, weil bei diefen leichter das Zufammendrücken der verfchiedenen Verbandhölzer und damit leichter das unbeabfichtigte Senken der Rüftbogen eintreten kann. Im Hochbauwefen laffen fich bei gröfseren Gewölben derartige Hänge- und Sprengwerksunterftützungen dann nicht gut vermeiden, wenn der Raum unter der Deckenbildung während der Bauzeit möglichft frei zu laffen ift. In folchen Fällen mufs in jeder Beziehung für eine kräftige Durchbildung diefer Unterftützungen geforgt werden. Wie auch die Art der Unterftützungen fein mag, ftehend oder liegend, immer müffen diefelben unter fich noch durch Längshölzer, Kreuzftreben u. f. w. abgefteift werden, um als unverfchiebbares Gerippe aufzutreten.

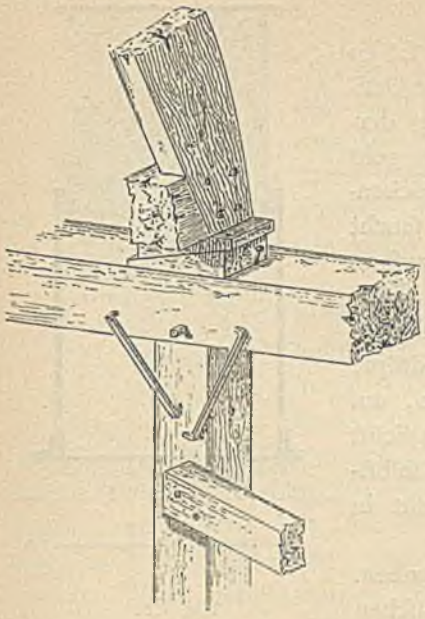
36. Ausrüftungsvorrichtungen.

Von Bedeutung ift die Auflagerung der Rippen auf der darunter befindlichen Stützkonftruktion.

Da die Rippen auf ihrer oberen Begrenzung eine weitere Bekleidung, die fog. Schalung, wovon gleich die Rede fein wird, aufzunehmen haben, welche in ihrer oberen Mantelfläche der Laibungsfläche des Gewölbes zu entfprechen hat, fo mufs von vornherein ein genaues Aufftellen der Rüftbogen vorgenommen werden; da aber auch andererfeits die Löfung der Rüftbogen nach gefchehener Einwölbung leicht, allmählich, fanft und nicht ftofsweife erfolgen mufs, damit nach dem veranlafsten Senken der Rippen das etwaige Setzen des Gewölbes ohne Nachteil für dasfelbe ftattfinden kann, fo find diefen Bedingungen gemäfs die Lagerungen der Rüftbogen auszubilden.

Zu diefen Lagerungen benutzt man in vielen Fällen aus hartem Eichen-, Weifsbuchen-, Efchenholze u. f. w. angefertigte Doppelkeile mit mäfsiger Schärfe von 10 bis 15 cm Breite, 20 bis 30 cm Länge und 6 bis 10 cm Dicke (Fig. 79), welche zwifchen den Holm der Unterftützung und die Sohle der Rippe gelegt werden. Durch ein geringes Antreiben oder andererfeits durch ein fanftes Löfen diefer Keile,

Fig. 79.

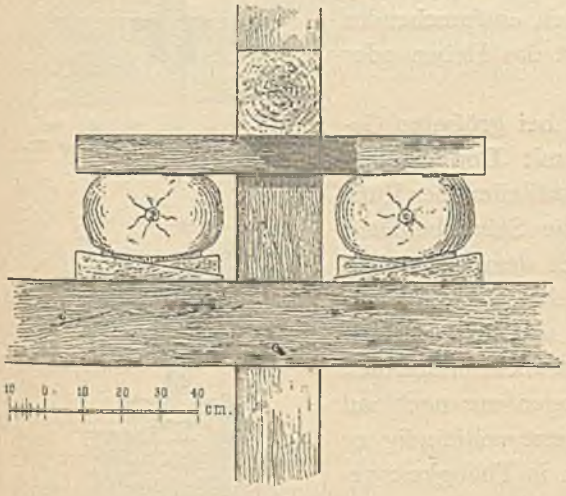


welche ab und an auch zur Verminderung der Reibung mit ſchwarzer Seife dünn beſtrichen werden, iſt ein leichtes Heben oder Senken der Rüſtbogen möglich.

Auſser ſolcher Keillagerung kommen bei gröſseren Gewölben auch Sandſäcke, beſſer Sandbüchſen oder Sandtöpfe, und unter Umſtänden auch Schraubenſätze zur Verwendung.

Die Sandſäcke 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 Sandſäcken (Fig. 80), 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 Sandſäcke. 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 Ausfliefsen des Sandes noch durch Anrühren desſelben mit Hilfe eines Eiſendrahtes oder Holzpflockes.

Fig. 80.



Die Sandbüchſen oder Sandtöpfe (Fig. 81) ſind cylindriſche, aus Guſs- oder Schmiedeeiſen angefertigte Gefäſse mit Boden. In den Seitenwandungen derſelben ſind in geringer Entfernung über dem Boden kleine Oeffnungen angebracht, welche durch einen dünnen Holzpflock geſchloſſen werden. Zur Büchſe gehört weiter ein cylindriſcher Stempel, welcher aus Guſseiſen oder aus einem oben und unten mit Eiſenringen beſchlagenen Holzkörper beſteht. 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 das

richtige und genaue Aufſtellen der Rüſtbogen möglich macht.

Nach der Ausführung des Gewölbes wird das Löſen der Rüſtbogen durch Ausziehen der Verſchlüſſe 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 notwendig, 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 trockenen Zuſtand zu ſetzen. Offenes Feuer darf ſelbſtverſtändlich zum Trocknen des Büchſenſandes nicht in Anwendung kommen.

Die Schraubenſätze ſind einfache Hebeſchrauben. Die in Fig. 82 gegebene Hebeſchraube ſteht zwiſchen dem Holme des Untergerüſtes und der Schwelle des Rüſtbogens, während bei der in Fig. 83 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 das 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 mäſsig angedreht, um die Rüſtbogen in geringem Maſse zu heben und dadurch die Keile etwas zu lüften. Nach dem nunmehr müheloſen Entfernen der Keile ruhen die Rüſtbogen nur noch auf den Schraubenſätzen, 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 ſog. Kranzhölzern *k* (Fig. 84) von etwa 2 m Länge und genügender Stärke angefertigt, welche in Ausſchnitten (Scheren) ihrer Stützen liegen und durch Doppelkeile, wie Fig. 84 zeigt, unterlagert ſind.

Fig. 81.

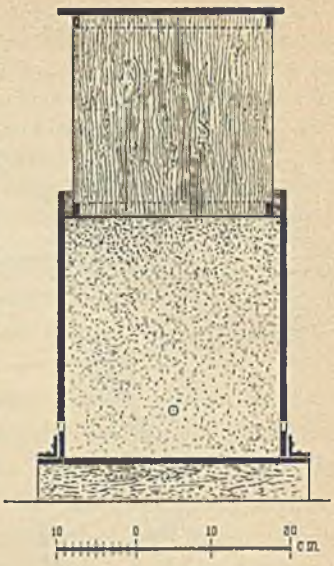


Fig. 82.

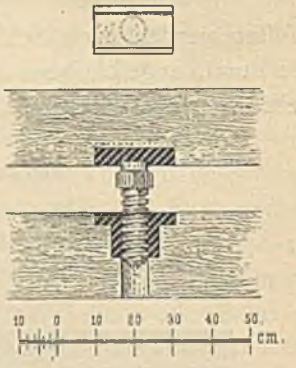


Fig. 83.

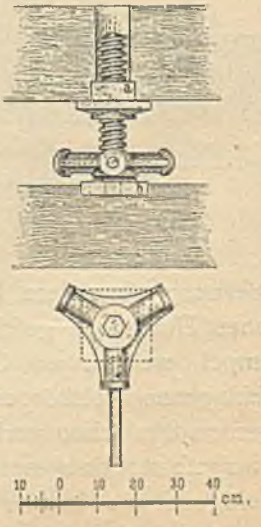
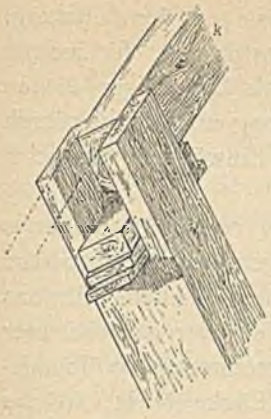


Fig. 84.



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

37. Schalung.

Den oberen Abſchluſs der Rüſtbogen 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 nebeneinander gelegt, während die Latten mehr oder weniger breite Fugen zwiſchen ſich laſſen.

Die Rüſtbogen ſind die Träger der Schalung, welche rechtwinkelig über dieſe Bogen hinwegzieht. Die Bohlen erhalten im allgemeinen keine weitere ausgiebige Befeſtigung mit den Rüſtbogen. Dieſelben werden meiſtens nur an ihren Enden mit dünnen Drahtſtiften geheftet. Die Scheitelbohle wird unter Umſtänden mehrfach geheftet, da hierdurch ſchon das ſeitliche Verſchieben der Rüſtbogen gegeneinander mit vermieden wird. Die Latten werden jedoch zweckmäſsig mit Drahtſtiften aufgenagelt. Alle dieſe Befeſtigungen müſſen aber nach dem Ausrüſten, alſo nach dem Senken der Rüſtbogen, mühelos in einfachſter 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 Abſtande der Rüſtbogen voneinander erhalten die 20 bis 25 cm breiten Bohlen eine Stärke von 3 bis 5 cm. Die Gewölbelatten beſitzen in der Regel einen quadratiſchen Querſchnitt, deſſen Seitenlänge zwiſchen 5 bis 15 cm ſchwankt.

Backſtein- und Bruchſteingewölbe, ſowie auch ſchiefe Gewölbe erhalten meiſtens und auch zweckmäſsig eine geſchloſſene Bohlenverſchalung. Quadergewölbe jedoch werden fachgemäſs auf einer Lattenſchalung ausgeführt. Hierbei unterſcheidet man die Schalung mit ſog. halben Latten (Fig. 85) und Schalung mit ſog. ganzen Gewölbelatten (Fig. 86). Bei der erſteren liegt eine Schallatte mitten unter jeder Lagerfuge von zwei zuſammentretenden Wölbſteinen. Dieſe Anordnung iſt beim Verſetzen der Steine vorteilhaft, geſtattet aber das Beobachten der Lagerfugen von unten aus nicht, und daher iſt die zweite Art der Lagerung der Schallatten mitten unter jedem Wölbſtein, wonach das genaue Verfolgen der geraden Richtung der Lagerfugenkanten von unten aus möglich wird, bei Quadergewölben vorzuziehen.

Fig. 85.

Fig. 86.

38. Einwölbung.

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

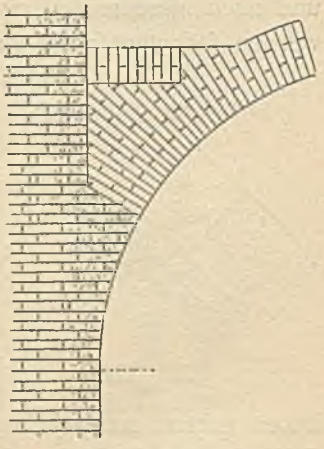
Die Einwölbung ſelbſt beginnt unter Beobachtung eines ſorgfältigen Annäſſens der Wölbſteine gleichzeitig vom Widerlager aus und geht regelmäſsig und in Bezug

zur Scheitellinie ſymmetriſch weiter bis zur letzten Schicht, der Schluſsſteinſchicht. Durch zweckmäſsiges Verteilen des zu benutzenden Wölbmaterials auf der Schalung, bezw. auf beſonderen an den Rüſtbogen 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 Gerüſtkonſtruktion während des Einwölbens thunlichſt zu beſeitigen.

Beim Einſetzen der Schluſsſteinſchicht 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 das Zerſpringen der Mörtelbänder oder gar einzelner Steine herbeigeführt wird. Bei guter und aufmerkſam vorgenommener Wölbungsarbeit bleibt für die Schluſsſteinſchicht die genau bemeſſene Lücke übrig, welche alsdann voll und regelrecht durch die zugehörigen Wölbſteine gefüllt werden kann. Häufig wird die Schluſsſteinſchicht erſt trocken vermauert, bezw. verſetzt und dann in den engen Fugen mit einem Zementmörtel 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 ſtets 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 Zementmörtel, welcher mit Hilfe eines Reiſigbeſens in einer dünnen Schicht ausgebreitet wird. Hierdurch werden etwa in den Fugen noch vorhandene Lücken gleichzeitig mit ausgefüllt. Nachdem dies geſchehen, iſt die Ausmauerung der Gewölbezwickel, bezw. das Ausfüllen derſelben mit Grobmörtel (Beton) vorzunehmen. Letztere Ausfüllung erſetzt jedoch die Ausmauerung nicht vollſtändig und ſollte deshalb nur bei kleinen Gewölben in Anwendung kommen.

Fig. 87.



Zum Teile kann die Hintermauerung der Zwickel auch nach Fig. 87 gleich bei der Ausführung des Gewölbes im Wölbverbande mit hergeſtellt werden.

39. Zeit der Ausrüſtung.

Von jeher hat die Frage, wann die Ausrüſtung des geſchloſſenen Gewölbes, d. h. die Senkung der Rüſtbogen, bezw. 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 aneinander und bewirken, namentlich in der Nähe der Bruchfugen, das 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 wünſchenswerte Eigenſchaft, daſs der in ſeinen Wölbſteinen durch Mörtel verbundene Wölbkörper ſich thunlichſt einem elaſtiſchen Bogen mit geſchloſſener Wand

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 Zementmörtel oder reinem Zementmörtel. 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 möglich 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 Sprengſtoffe 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 Ergebnis, daſs eine ſofortige Ausrüſtung derjenigen Gewölbe, bei welchen, wie bei Backſtein- oder Bruchſteingewölben, die Mörteleinfügung immer eine Bedeutung annimmt, weniger ratſam 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. ſ. 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 unausgerüſtet. 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 das ſofortige 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 Gerüstteile 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.

40. Senkung.

Die Angaben über das mutmafsliche Senken der Gewölbe sind von vornherein im höchsten Mafse ungenau, so dafs dieselben besser unterbleiben.

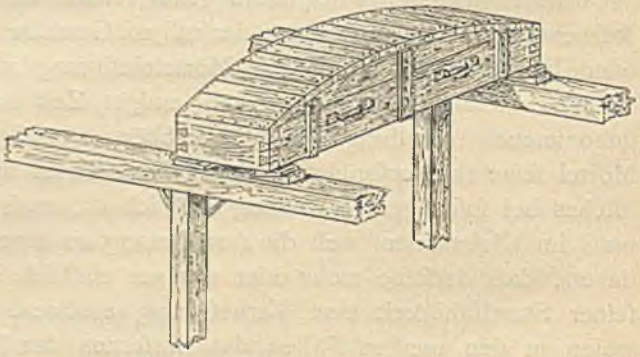
Das über die Rüstung bei Tonnengewölben Gesagte findet im wesentlichen bei allen solchen Gewölben oder besonderen Gewölbteilen Anwendung, die nicht eine sog. Einwölbung aus freier Hand zulassen. Letzteres ist bei Gewölben mit sphärischen oder sphäroidischen Laibungsflächen der Fall. Bei diesen tritt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

41. Rutschbogen.

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

Unter einem Rutschbogen (Fig. 88) versteht man einen kurzen, seitlich lotrecht, oben nach der Wölbungsform geschlossenen, unten aber offenen, hölzernen Kasten, welcher auf den stützenden Rahmen oder Holmen des Unterstützungsgerüstes 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. 88.



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 gröfserer Länge desselben die Ausführung der Wölbung für die vor dem Rutschbogen stehenden Maurer und auch das Vorrücken des Rutschbogens unbequem wird.

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

42. Ausführung nebeneinander gelegener Gewölbe.

Liegen zwei oder mehrere Tonnengewölbe, bezw. Gewölbe überhaupt mit gemeinschaftlichen Widerlagern, mögen dieselben als Mauerwerkskörper, als Bogenstellungen oder als besondere eiserne Träger konstruiert sein, in Reihen oder sog. Jochen mit ihren Achsen nebeneinander, so ist zu beachten, dafs 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 Zwiſchenkonſtruktionen und zur Verhinderung des damit leicht eingeleiteten Einſturzes der Gewölbe iſt es immer am zweckmäſsigſten, die ſämtlichen Gewölbejoche mit den nötigen Wölbegerüſten vollſtändig zu verſehen und die Einwölbung in allen Jochen gleichzeitig, gleichliegend 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 notwendigen 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 die gründliche und kräftige Abſteifung der Zwiſchenwiderlager der nicht mit Lehrgerüſten verſehenen Joche oder Abteilungen derſelben unbedingt erforderlich, da bei Vernachläſſigung dieſer Forderung leicht die Gefahr des Einſtürzens der fertigen Gewölbteile eintreten kann.

43. Tonnengewölbe aus Backſteinen.

Die Ausführung der geraden Tonnengewölbe aus Backſtein erfordert in erſter Linie die Berückſichtigung eines richtigen Mauerverbandes in den einzelnen Schichten und eine beſtimmte Einteilung der Wölbſchichten im Stirnſchnitte des Gewölbes, wonach ſtets eine ungerade Anzahl gleich groſser Abſtände für die einzelnen Wölbſcharen entſtehen ſoll. Jede Wölbſchicht erſcheint keilförmig; die Lagerfugen ſtehen ſenkrecht zur Wölblinie, ſelten rechtwinkelig zu einer beſtimmten Bedingungen gemäſs konſtruierten Mittellinie des Druckes.

Für den Mauerverband der Wölbſchichten gelten die für den Steinverband der Backſteinpfeiler mit rechteckiger Grundfläche gegebenen allgemeinen Regeln, wonach meiſtens zwei verſchieden angeordnete, nebeneinander liegende Wölbſchichten im Verbandwechſel auftreten. In Fig. 89 ſind für ein Stück eines $1\frac{1}{2}$ Stein ſtarken

Fig. 89.

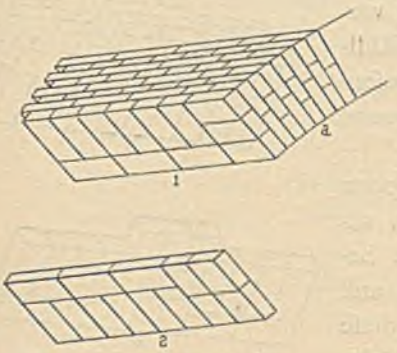
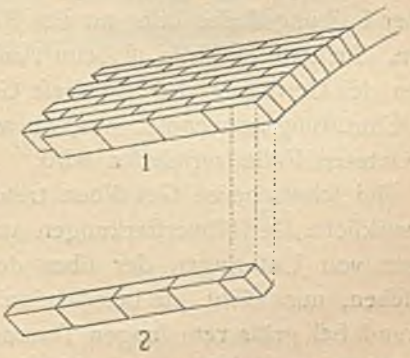


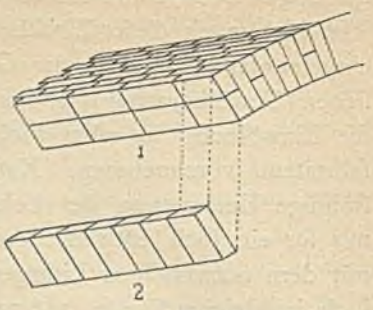
Fig. 90.



Tonnengewölbes die Verbände in den Schichten *1* und *2* dargeſtellt, wobei namentlich der Anfang der Wölbſchichten an der Stirnmauer des Gewölbes durch regelrechtes Einfügen von Dreiviertelſteinen zu beachten iſt. Die Stoſsfugen in Schnitten parallel zur Stirn ſind innerhalb des Gewölbkörpers *a* im Verbandwechſel ſtehende, konzentriſch zur Wölblinie 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 Wölbſcharen Läuferſchichten, deren Stoſsfugen gegenſeitig um $\frac{1}{2}$ Steinlänge im Verbandwechſel ſtehen

(Fig. 90), während bei *1* ſtarken Tonnengewölben die nebeneinander liegenden Wölbſchichten nach Fig. 91 angeordnet werden.

Fig. 91.

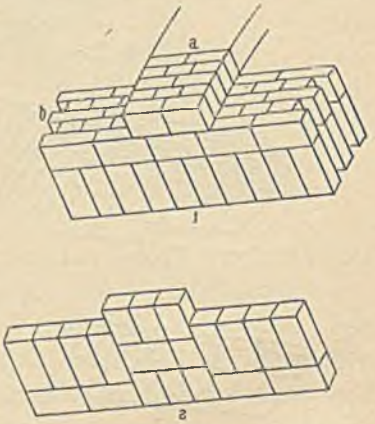


Bei Tonnengewölben, deren Stärke über $^1/_2$ Steinlänge beträgt, wird zur Erzielung keilförmiger Wölbſcharen in den meiſten Fällen das Zuhauen der Backſteine erforderlich. Hierbei iſt auf der Rückenlinie des Gewölbes die Stärke der Wölbſchicht der Backſteindicke gleich zu laſſen, ſo daſs die Zuſchärfung der Steine nach der Laibungsfläche gerichtet iſt. Wollte man ſog. Lochſteine zum Einwölben verwenden, ſo iſt das 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 das Zuhauen der Wölbſteine zu umgehen. Am beſten iſt die Verwendung fertig gebrannter keilförmiger Backſteine, deren Geſtaltung von vornherein dem auszuführenden Tonnengewölbe entſprechend gebildet wurde.

Bei ſehr ſtarken Tonnengewölben iſt die in Art. 30 (S. 78) erwähnte und näher beſprochene Einwölbung, beſtehend aus einzelnen Schalen oder Ringen, geeignet, um das Zuhauen der Steine aller Wölbſchichten zu vermeiden.

Für weniger ſtarke oder auch für ſehr lange, ſonſt ſelbſt ſtärker bemeſſene Tonnengewölbe aus Backſtein iſt das Anbringen von Verſtärkungsrippen oder Gurten *a* (Fig. 92), welche bei kleineren ſchwächeren Gewölben in Abſtänden von 1,50 bis 2,00 m, bei ſtärkeren Gewölben in Weiten von 3,00 bis 4,00 m wiederkehren und mit dem Gewölbkörper *b* nach der Anordnung der Schichten *1* und *2* im Verbande 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 notwendig, was, als weniger bequem, im letzteren Falle vermieden wird.

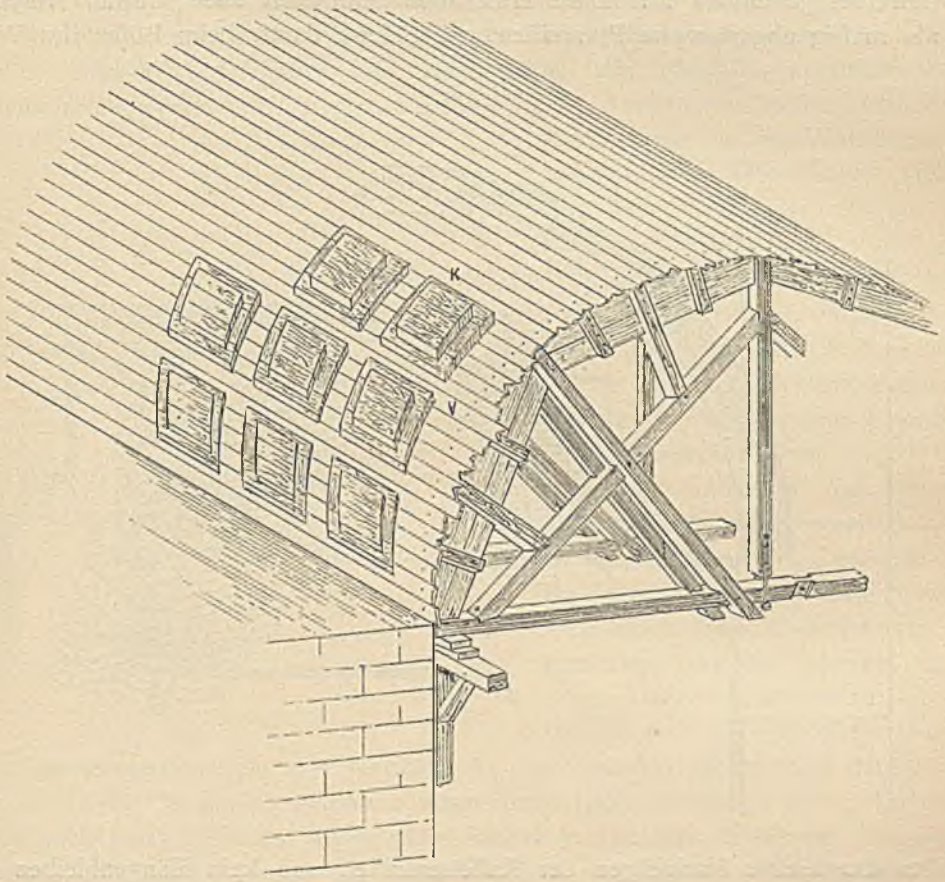
Fig. 92.



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 geſenkt 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 $^1/_2$ Stein Stärke, bei gröſserer Spannweite Verſtärkungsrippen von 1 Stein Breite und Höhe in Entfernungen von 1,50 bis 2,00, bezw. 2,50 m und erſt bei 6 m Spannweite 1 Stein Stärke nebſt Verſtärkungsrippen von $1^1/_2$ Stein Höhe und Breite erhalten ſollen,

mit gröfster Vorficht zu betrachten ift. Bei derart fchwach ausgeführten Tonnengewölben müffen neben ausgezeichneter Arbeit vorzügliches Steinmaterial und vortrefflichfter Mörtel zur Geltung kommen, und dennoch treten in diefen Tonnengewölben fchon bei 4 m Spannweite leicht Verdrückungen, felbft bei guter Ausmauerung der Zwickel, auf. Die Weite von 4 m wird beffer auf höchftens 3 m befchränkt. Auch ift zu berückfichtigen, dafs, wenn überhaupt über dem Gewölbe ein Fufsboden hergerichtet ift, derfelbe unter Umftänden mit weit ftärkerer Belaftung verfehen wird, als folche bei der Bezeichnung »Belaftung gewöhnlicher

Fig. 93.



Wohnräume« urfprünglich angenommen war. Die Deckenkonftruktion foll aber in jedem Falle bei der möglichft ungünftigften Beanfpruchung ftandfähig fein, und hiernach ift, wie früher gezeigt, die ftatifche Unterfuchung zu führen und die Gewölbftärke fowohl für die Gurte, wie für das Gewölbe felbft zu beftimmen.

Wird ein Backfteingewölbe nach der Widerlagsfuge hin verftärkt, fo foll diefe Verftärkung vom Scheitel bis zum Gewölbfufse ftetig und ohne fchroffe Abfätze erfolgen, felbft wenn hierbei ein mäfsiges Verhauen und Kürzen der Wölbfteine an der Rückenfläche des Gewölbes vorzunehmen ift; denn hierdurch wird ein günftigerer Verlauf der Mittellinie des Druckes erzielt.

Dem Einwölben mit Backftein »auf Kuf« fteht die allerdings mehr bei flach-

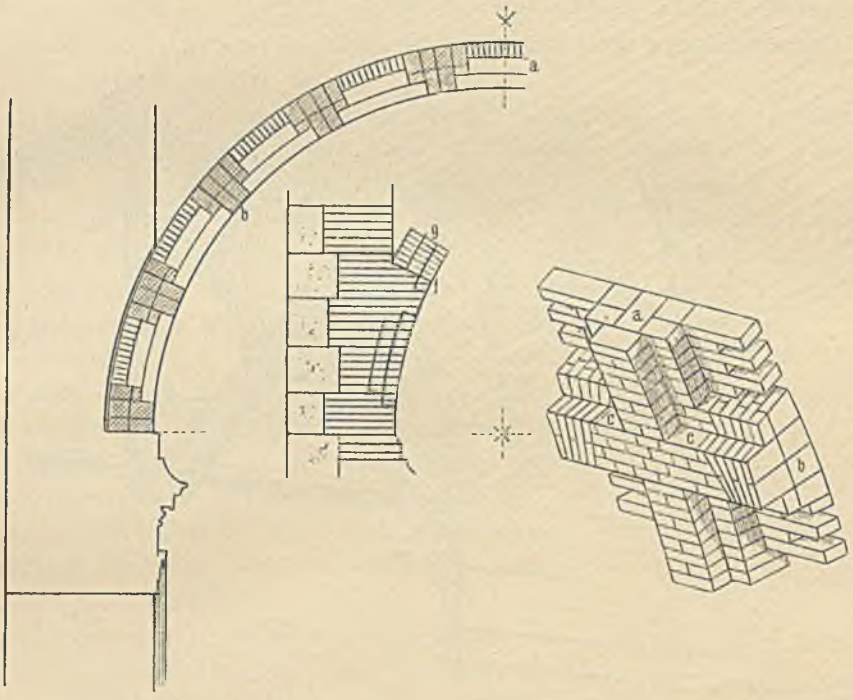
bogigen Gewölben angewandte Verbandart »auf Schwalbenfchwanz« oder »auf Stich« gegenüber. Diefe foll bei den Kappengewölben näher befprochen werden.

44. Kaffettierte Tonnengewölbe.

Um die Laibungsfläche eines Tonnengewölbes, abgefehen von einem Schmuck durch Bemalung, fchon in der Konftruktion felbft architektonifch zu gliedern und reicher zu geftalten, verfieht man das Gewölbe mit künftlerifch geformten und regelrecht geordneten, durch ftaffelartig angelegte Umrahmungen begrenzte Füllungen, Vertiefungen oder mit fog. Kaffetten.

Bei der Ausführung derartiger kaffettierter Tonnengewölbe werden nach Fig. 93 auf der vollftändigen Verfchalung *V* der Wölbbogen, der Kaffettenanordnung entfprechend, Holzkaften *K* befeftigt, fo dafs hierdurch die Grundlage für die Mauerung des Gewölbes gefchaffen ift. Diefe Holzkaften find nach oben fchwach verjüngt, alfo als mäfsig abgeftumpfte Pyramiden, zu bilden, damit beim Löfen des Wölb-

Fig. 94.



gerüftes das leichte Nachfolgen der Kaffettenkaften und kein Hängenbleiben derfelben im Gewölbe ftattfinden kann. In fehr zweckmäfsiger Weife können nach einem von *Moller* angegebenen Verfahren nach Fig. 94 die Querrippen *a* der Kaffetten als Stücke von Tonnengewölben, die Längsrippen *b* als Beftandteile des Gewölbes in der Anordnung eines die Querrippen verfpannenden fcheitrechten Bogens ausgeführt werden, wobei das Zwifchenftück *c* ordnungsmäfsige Widerlagsflächen zu bieten hat. Der obere Abfchlufs der Kaffetten kann dabei in der Anordnung entweder derjenigen eines $^1/_2$ Stein ftarken Tonnengewölbes oder eines $^1/_2$ Stein ftarken fcheitrechten Gewölbes entfprechen. In Fig. 94 ift die erfte Einwölbungsart beibehalten.

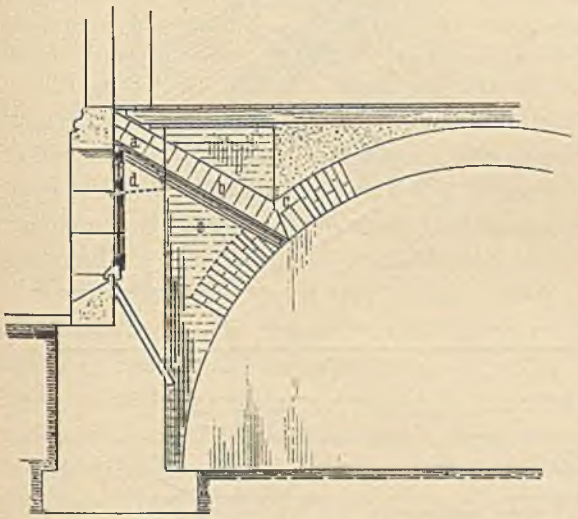
Soll ein kaffettiertes Tonnengewölbe bis zu einer um etwa 60 Grad zum Scheitellote geneigten Fuge *f*, welche dann zweckmäfsig mit der unteren Fugen-

richtung der Kaſſette *g* zuſammenfällt, ein wagrecht vorgemauertes Widerlager erhalten, ſo iſt, wie Fig. 94 zeigt, auch die tiefſte Kaſſette in wagrechter Schichtenmauerung auszuführen.

45. Tonnengewölbe mit Stichkappen.

Da bei Tonnengewölben an und für ſich die Pfeilhöhe ein beträchtliches Maſs erreicht, alſo die Konſtruktionshöhe, 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 Konſtruktionshöhe 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 ausgeſchnitten werden. Nach der Annahme dieſes Ausſchnittes würde aber für die Weite desſelben ein Widerlager des angrenzenden Gewölbteiles fehlen. Für dieſes Widerlager iſt ein ſelbſtändiger Gewölbteil, der ſog. Kranz *c* (Fig. 95), in das Hauptgewölbe einzufügen, und ferner iſt zum oberen Abſchluſs der zwiſchen dem Gewölbekranze 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 lotrecht aufgeführte, auf dem Hauptgewölbe ruhende, $\frac{1}{2}$ bis 1 Stein ſtarke Wangenmauern *e* erzielt. Gröſstenteils 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. 95 angenommen, auch der Mauerbogen *a* der inneren Laibung der Lichtöffnung geneigt anzulegen, ſo folgt derſelbe in ſeiner Neigung meiſtens der Neigung der Stichkappe *b*.

Fig. 95.



Schon in Art. 14 (S. 21) 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, voneinander zu unterſcheiden hat. Vorzugsweiſe werden die cylindriſchen oder kegelförmigen, ſeltener die kugelförmigen Stichkappen in Anwendung gebracht. Bei den erſten beiden kann die Achſe der zugehörigen Cylinder- oder Kegelflächen eine wagrechte oder geneigte, nach unten oder nach oben gerichtete gerade Linie ſein. Bei kugelförmigen, bezw. Kugelſtichkappen liegt der gröſste Kreis der Kappenfläche

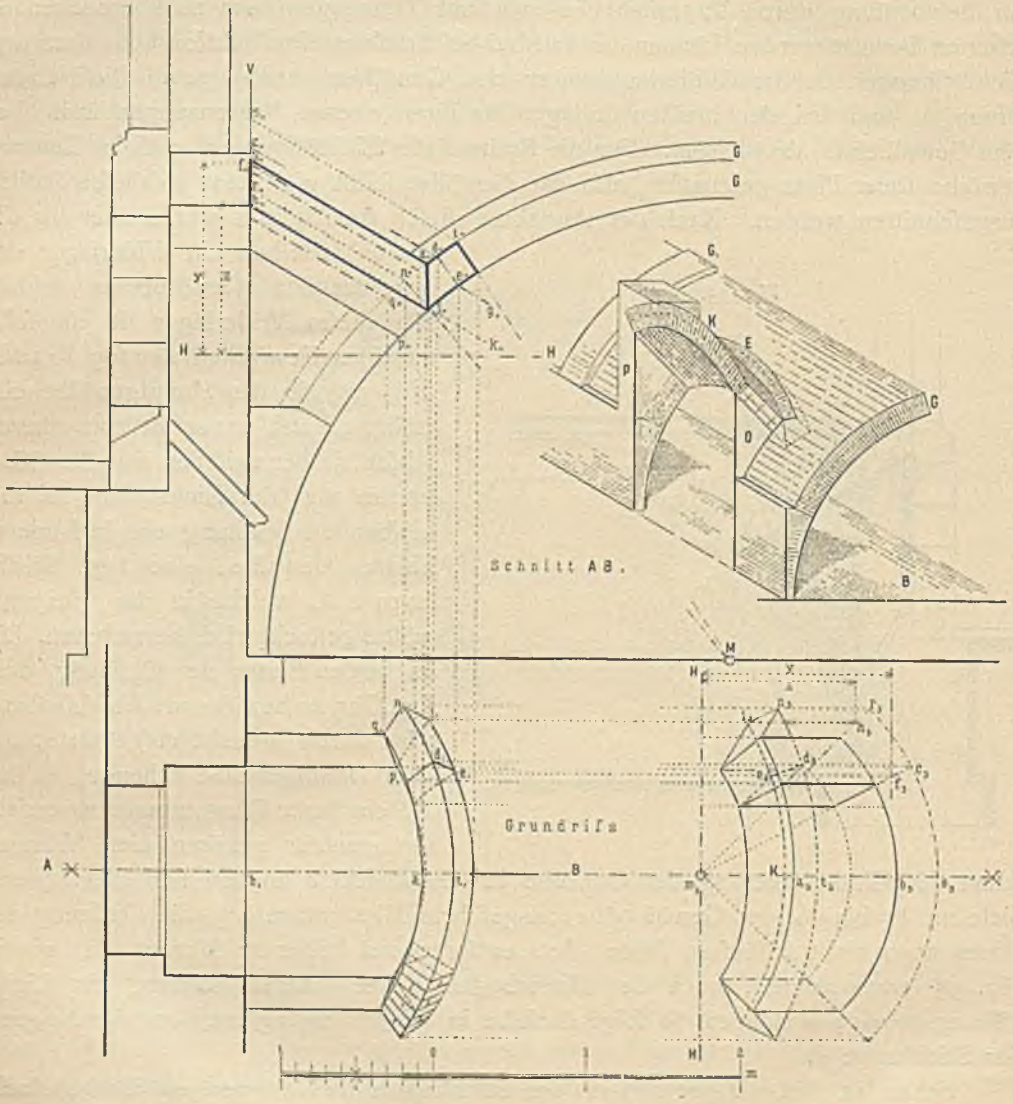
meiſtens und auch zweckmäſsig tiefer, als der tiefſte Punkt der inneren Kranzlinie an der Laibung des Hauptgewölbes.

46. Cylindriſche Stichkappen.

In Fig. 96 iſt die Ausmittelung einer cylindriſchen Stichkappe mit geneigter Achſe nebſt dem Gewölbekranze, ſowie 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. 96.



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 $H\,H$ und der lotrechten Ebene V liegt. Derſelbe iſt in der Hilfsfigur K mit dem Halbmeſſer $m_3\,d_3 = z$ geſchlagen. Die Rückenlinie iſt der mit dem Halbmeſſer $m_3\,b_3 = y$ beſchriebene, durch b_3 gehende konzentriſche Kreisbogen. Die Neigung der Cylinderachſe der Stichkappe iſt durch die dieſer Achſe parallele Erzeugende $h_{,,}\,i_{,,}$ gegeben.

Setzt man im Schnitte $A\,B$, 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

desſelben etwa 1 Stein, bei kleineren Gewölben $^1/_2$ Stein beträgt, oder umgekehrt, daſs bei ſtark nach unten gerichteter Stichkappe $a_{,,} t_{,,}$ ſelbſt gleich dieſen Abmeſſungen genommen wird, ſo iſt durch die von $t_{,,}$ nach M geführte Gerade und durch die Linien $t'' a''$ und $a'' i''$, ſowie ein Stück der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes, gleich der unteren Stärke des Kranzes, begrenzte Figur der in der ſenkrechten Ebene $A B$ liegende Querſchnitt des Kranzes.

Legt man durch t'' eine Erzeugende $t'' s''$ parallel zur Cylinderachſe, 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 III liegt, wie die Lage von $s_{,,}$ im Schnitte $A B$ über $H H$ ergeben hat.

Sind ſomit für die Stichkappe und für den Kranz die nötigen Cylinderflächen beſtimmt, ſo laſſen ſich mit Hilfe der darſtellenden Geometrie auf leichte Weiſe auf dem aus der Zeichnung erſichtlichen Wege die ſämtlichen Begrenzungslinien des Kranzes, welche als Durchſchnittslinien der einzelnen cylindriſchen Flächen mit den unteren und oberen Flächen des Tonnengewölbes auftreten, in den drei hier gewählten Projektionen beſtimmen. Die von $p_{,}$ und $i_{,}$ auslaufenden Kurven gehören der inneren Wölbfläche, die von $q_{,}$ und $n_{,}$ fortziehenden Begrenzungslinien gehören der Rückenfläche des Hauptgewölbes an.

Ebenſo läſst ſich mittels der Projektion der Erzeugenden, welche durch $f_{,,}$ bezw. f_3 und $e_{,,}$ bezw. e_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 a_3 auf der durch n_3 gehenden Durchdringungslinie der Rückenlinie der Stichkappe 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 Lagerfugenflächen des Kranzes gehören lotrechten Ebenen an, wofür Spuren in der Hilfsfigur als $m_3 r_3$, $m_3 e_3$ angegeben ſind.

Der Kranz an ſich wird aus Backſtein unter Wahrung der ſo beſtimmten Lagerfugenflächen 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 Stichkappen und danach die Stichkappen ſelbſt können nach Vollendung des Hauptgewölbes oder gleichzeitig mit demſelben hergerichtet werden.

Für die Stichkappen 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 Stichkappe 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 Stichkappe benutzt.

47. Kegelförmige Stichkappen.

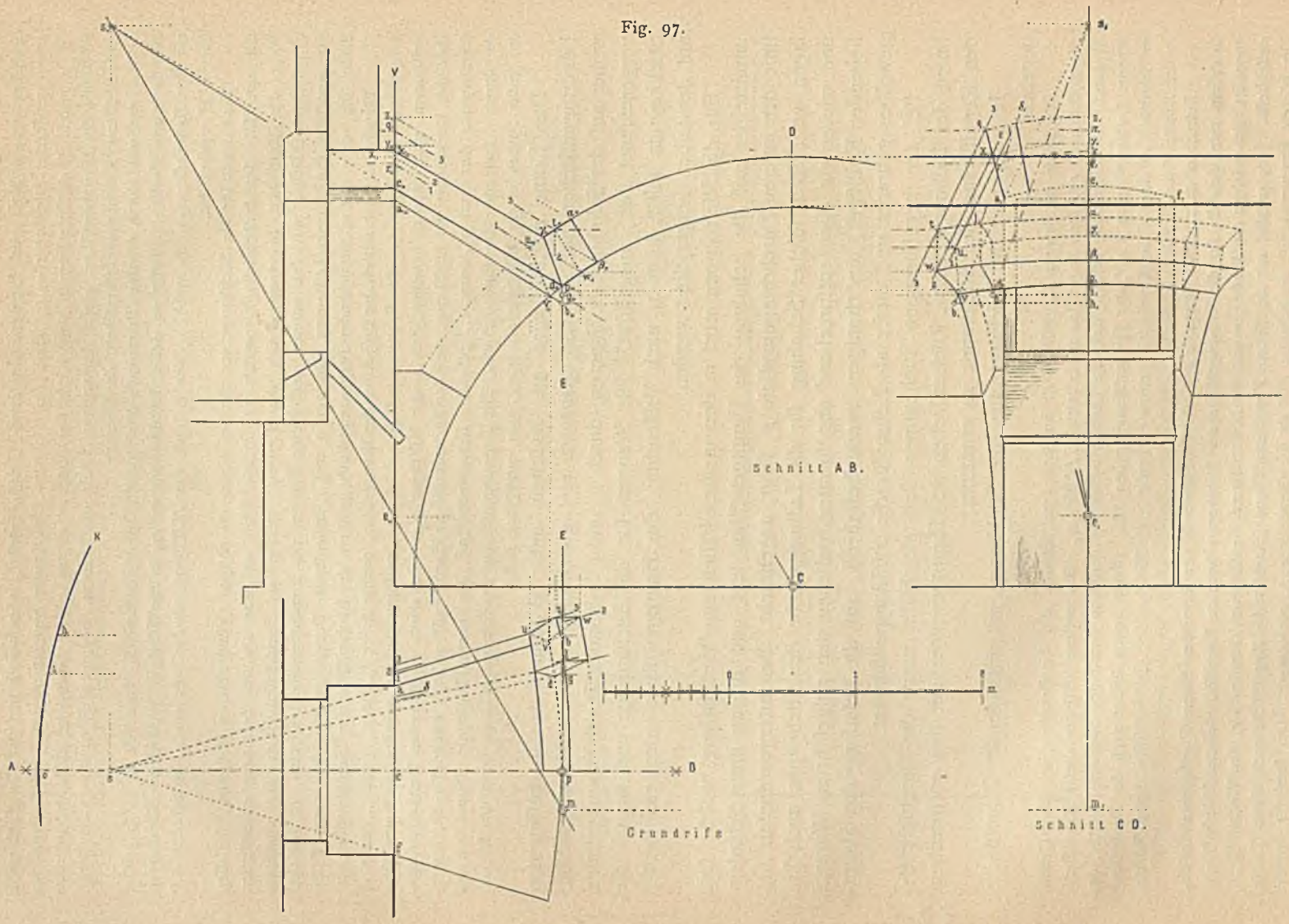
Bei den kegelförmigen Stichkappen ſind gleichfalls zuerſt die Durchſchnittslinien der Laibungs-, bezw. Rückenflächen des Hauptgewölbes mit den entſprechenden Kegelflächen der Stichkappe zu ermitteln.

In Fig. 97 iſt die Zeichnung für eine Stichkappe mit anſteigender Kegelfläche gegeben.

Die Achſe der inneren Kegelfläche iſt im lotrechten Schnitte $A B$ die Gerade $s_{,,} m$. Ihre Grundriſsprojektion iſt $s p$; ihre Projektion im Schnitte $C D$ 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 $a_{,} e_{,} f_{,}$ der Fenſteröffnung gehen ſoll. Dieſer Bogen beſitzt nach der Darſtellung im Schnitte $C D$ den auf der Kegelachſe gelegenen Punkt $e_{,}$ als Mittelpunkt; die Projektion dieſes Punktes in der Ebene V des Schnittes $A B$ iſt $e_{,,}$.

Betrachtet man dieſen Bogen $a_{,} e_{,} f_{,}$ als Teil eines in der lotrechten Ebene V gelegenen Kreiſes, ſo erſieht man, daſs die für die Laibungsfläche der Stichkappe benutzte Kegelfläche einem ſchiefen Kegel angehört, bei welchem die Achſe $s_{,,} m$ 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 $A B$ als die Gerade $s_{,,} e_{,,} p_{,,}$ eingetragen. Der Punkt $p_{,,}$ gehört der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes an, iſt alſo ein gemeinſchaftlicher Punkt des Hauptgewölbes und der inneren Laibungsfläche der Stichkappe.

Fig. 97.



Eine durch $p_{,,}$ geführte lotrechte Ebene E liefert als Kegelfchnitt einen Kreis mit dem Halbmeffer $m p_{,,}$. Ein Stück diefes Kreifes ift im Grundrifs AB als Bogen K niedergelegt. Der Mittelpunkt desfelben ift die wagrechte Projektion des Punktes m, alfo der Punkt p, und hiernach ift $po = p_{,,} m$ zu nehmen. Die für die Stichkappe in Frage kommende tiefffte Seitenlinie des Kegels ift als Strahl sb im Grundrifs gekennzeichnet. Derfelbe mufs durch den tiefften Punkt a, der Bogenlinie $a, c, f_{,,}$ der Fenfteröffnung, gehen. Da der Punkt a im Grundrifs diefem tiefften Punkte a, zukommt, fo ift die Lage der bezeichneten tiefften Erzeugenden in ihrem Beginne durch sa beftimmt. Diefe Erzeugende trifft, gehörig erweitert, den in der Ebene EE gelegenen Kegelkreis im Punkte b. Die Ordinate diefes Punktes ift mit Hilfe des Kreifes K als bh auszumeffen. Trägt man diefe Länge bh von m als $mb_{,,}$ in der Lotrechten EE ab, fo ift $s_{,,} b_{,,}$ die Aufrifsprojektion der gefuchten Erzeugenden. Diefelbe durchftöfst die Laibungsfläche des Tonnengewölbes in einem Punkte, deffen Projektionen $v_{,,}$ und v auf den entfprechenden Kegelerzeugenden, deren Projektionen in $s_{,,} b_{,,}$ und sb find, nunmehr leicht gefunden werden können. Durch $v_{,,} p_{,,}$ und vp zieht die innere tiefffte Durchdringungslinie der Kegelfläche der Stichkappe mit der cylindrifchen Fläche des Hauptgewölbes.

Um noch irgend einen Punkt diefer Durchdringungslinie in feinen Projektionen zu erhalten, ift im Grundrifs die beliebig genommene Kegelerzeugende sg gezogen, die Ordinate gi des Endpunktes diefer Seitenlinie im Kreife K von m nach $g_{,,}$ im Schnitte AB abgetragen und die Gerade $s_{,,} g_{,,}$ geführt. Diefelbe liefert den Durchftofspunkt $d_{,,}$ im Aufrifs, wonach d im Grundrifs auf sg und d, im Schnitte CD beftimmt werden kann.

Die Rückenfläche der Stichkappe gehört gleichfalls einem fchiefen Kegel an, deffen Achfe mit der Achfe des Kegels der inneren Laibungsfläche zufammenfällt und deffen Leitlinie ein in der Ebene V gelegener Kreis ift, welcher dem Grundkreife des erften Kreifes konzentrifch ift. Nimmt man die rechtwinkelig auf $c_{,,} p_{,,}$ abzufetzende Stärke der Stichkappe als Abftand der beiden parallelen Geraden $c_{,,} p_{,,}$ und $k_{,,} \gamma_{,,}$ im Schnitte AB z. B. gleich 1 Steinlänge an, fo ift $e_{,,} k_{,,}$ der Halbmeffer des Grundkreifes für den Kegel der Rückenfläche der Stichkappe. Im Schnitte CD ift der mit dem Halbmeffer $e, k, = e_{,,} k_{,,}$ um e, befchriebene Bogen k, r, ein Stück diefes Grundkreifes. Dasfelbe ift durch eine den Punkt a, und die Kegelachfe enthaltene Ebene begrenzt, welche die Ebene V in einer Geraden fchneidet, die im Punkte a, fenkrecht zum Bogen a, c, f, fteht. Der Punkt r, ift ein Grenzpunkt. Jede durch die beiden Kegelflächen gemeinfchaftlich angehörende Achfe geführte Ebene fchneidet diefelben in Seitenlinien, welche vermöge der konzentrifchen Grundkreife und der Annahme des Parallelismus der höchften Erzeugenden $c_{,,} p_{,,}$ und $k_{,,} \gamma_{,,}$ untereinander gleichfalls parallel find.

Verbindet man im Schnitte AB die Punkte $\gamma_{,,}$ und $p_{,,}$ durch eine gerade Linie, nimmt man $p_{,,} \beta_{,,}$ oder, bei ftark geneigten Stichkappen, $\gamma_{,,} \alpha_{,,}$ gleich der zu wählenden Breite des Kranzes, z. B. bei Backfteingewölben je nach der gröfseren oder kleineren Spannweite der zufammentretenden Gewölbe zu 1, bezw. ½ Steinlänge an, zieht man darauf $\beta_{,,} \alpha_{,,}$ bezw. $\alpha_{,,} \beta_{,,}$ fenkrecht zur Wölblinie des Hauptgewölbes, fo ift $\alpha_{,,} \beta_{,,} p_{,,} \gamma_{,,}$ im Schnitte AB der lotrechte Schnitt des Kranzes.

Die Punkte $\beta_{,,}$ und $\alpha_{,,}$ find wiederum als Punkte weiterer Kegelflächen anzufehen, deren Achfen mit der urfprünglichen Kegelachfe zufammenfallen und welche ebenfo beftimmt werden können, wie folches bei der Kegelfläche des Rückens der Stichkappe gezeigt ift. Zieht man $\beta_{,,} y_{,,}$ bezw. $\alpha_{,,} z_{,,}$ parallel zu $c_{,,} p_{,,}$, fo find $e_{,,} y_{,,}$ bezw. $e_{,,} z_{,,}$ die Halbmesser der zugehörigen Grundkreife. Diefelben find, foweit die erweiterte Normale ar im Schnitte CD folches bedingt, ftückweife als $y, x_{,}$ bezw. z, q, gezeichnet. Nach diefen Ermittelungen läfst fich nun die Anfchlufsfläche des Kranzes im Hauptgewölbe näher angeben.

Die Projektionen diefer Fläche find im Grundrifs als $uvwt$, im Schnitte AB als $u_{,,} v_{,,} w_{,,} t_{,,}$ und im Schnitte CD als u, vw, t, dargeftellt. Von diefen Eckpunkten der Fläche find bereits v, $v_{,,}$ früher beftimmt.

Um die Punkte u, $u_{,,}$, $u_{,}$ zu erhalten, ift 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 11 an, welche, wie oben bemerkt, zur Seitenlinie s, a, des urfprünglichen Kegels der Laibungsfläche der Stichkappe parallel fein mufs. Im Schnitte AB entfpricht dem Punkte r, der Punkt $r_{,,}$. Zieht man $r_{,,} u_{,,}$ parallel zu $s_{,,} a_{,,}$, fo ift $u_{,,}$ auf der Rückenlinie des Hauptgewölbes gefunden; führt man im Schnitte CD die Gerade 11 parallel zu $s, a_{,}$, fo liegt $u_{,}$, entfprechend $u_{,,}$, auf diefer Geraden. Die rechtwinkelige Entfernung des Punktes r, vom Lote m, e, ift gleich $\rho, r_{,}$. Trägt man im Grundrifs die Strecke $c1 = \rho, r$, ab und zieht man hier durch 1 parallel zu sa eine Gerade, fo ift auf diefer der Punkt u, entfprechend $u_{,,}$, zu finden. In gleicher Weife ift für die übrigen Punkte zu verfahren. Die Punkte $t_{,,} t_{,,,} t$ gehören den Erzeugenden 22 an, für welche zunächft der Punkt x, im Schnitte CD mafsgebend wird. Die Punkte $w_{,,} w_{,,,} w$ kommen den Erzeugenden 33 zu, für welche alsdann der Punkt q, im Schnitte CD grundlegend wird. Da alle Punkte der zu beftimmenden Fläche in der durch die Kegelachfe gehenden

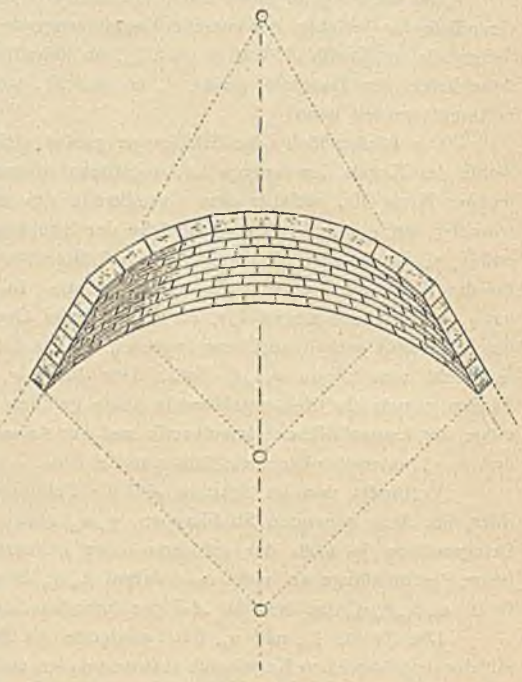
Ebene, welche die Gerade $a,r,$ enthält, liegen müſſen, ſo ſind die Erzeugenden $2\,2$, bezw. $3\,3$ parallel den zugehörigen Seitenlinien $s,a_,$ bezw. $s_{,,}a_{,,}$ bezw. $s\,a$.

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 Kegelachſe, 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 δ_1 parallel zur Geraden $s,g,$. Für die übrigen Punkte der Lagerfugenfläche iſt die Zeichnung nicht weiter durchgeführt, da das Nötige bei der Anſatzfläche des Kranzes mitgeteilt 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. 98), wobei die Lagerfugen in Ebenen parallel zur Stirn der Stichkappe liegen, weil bei der Einwölbung auf Kuf durch das Divergieren der Lagerfugenflächen in den meiſten Fällen ein zu ſtarkes Verhauen der Backſteine durch das Zuſpitzen der Wölbſteine vom Kranze nach der Fenſteröffnung hin eintreten müſste.

Fig. 98.



48. Kugelſtichkappen.

Bei den Kugelſtichkappen gehört die Laibungsfläche einem beſtimmten Teile einer Kugelfläche an. Fig. 99 giebt die Anlage einer Kugelſtichkappe 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. Dies gilt auch für derartige cylindriſche oder kegelförmige Stichkappen. Würde bei dieſen Anlagen der Kranz ſein Widerlager im Hauptgewölbe entfernt von der Schildmauer erhalten, ſo wären mehrere Schichten desſelben ohne Widerlager; auch könnten die verbleibenden Seitenöffnungen der Stichkappe nicht durch Wagenmauern, welche auf den widerlagsloſen Schichten ruhen müſsten, geſchloſſen werden. Unſchön und nicht empfehlenswert iſt ferner das allmähliche Emporziehen der Wölbſcharen nach der Abſchluſslinie einer in der Stirnmauer befindlichen Licht- oder Thüröffnung.

Bei der in Fig. 99 gegebenen Kugelſtichkappe 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 lotrechte Projektion 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 Projektion dieſes Durchſtoſspunktes iſt $f_,$, und die lotrechte Projektion desſelben im Schnitte MM iſt f_3.

Nimmt man im Aufriſs $o_{,,}p_{,,}$ gleich der Stärke der Kugelſtichkappe, ſo iſt dieſe in der Meridianebene VV gelegen, bezeichnet alſo die normale Stärke dieſer Kappe. Der mit $m_{,,}p_{,,}$ und $m_{,,}$ geſchlagene Kreis trifft die Rückenlinie des Hauptgewölbes in $g_{,,}$, wonach weiter $g_{,}$ im Grundriſs und g_3 im Schnitte

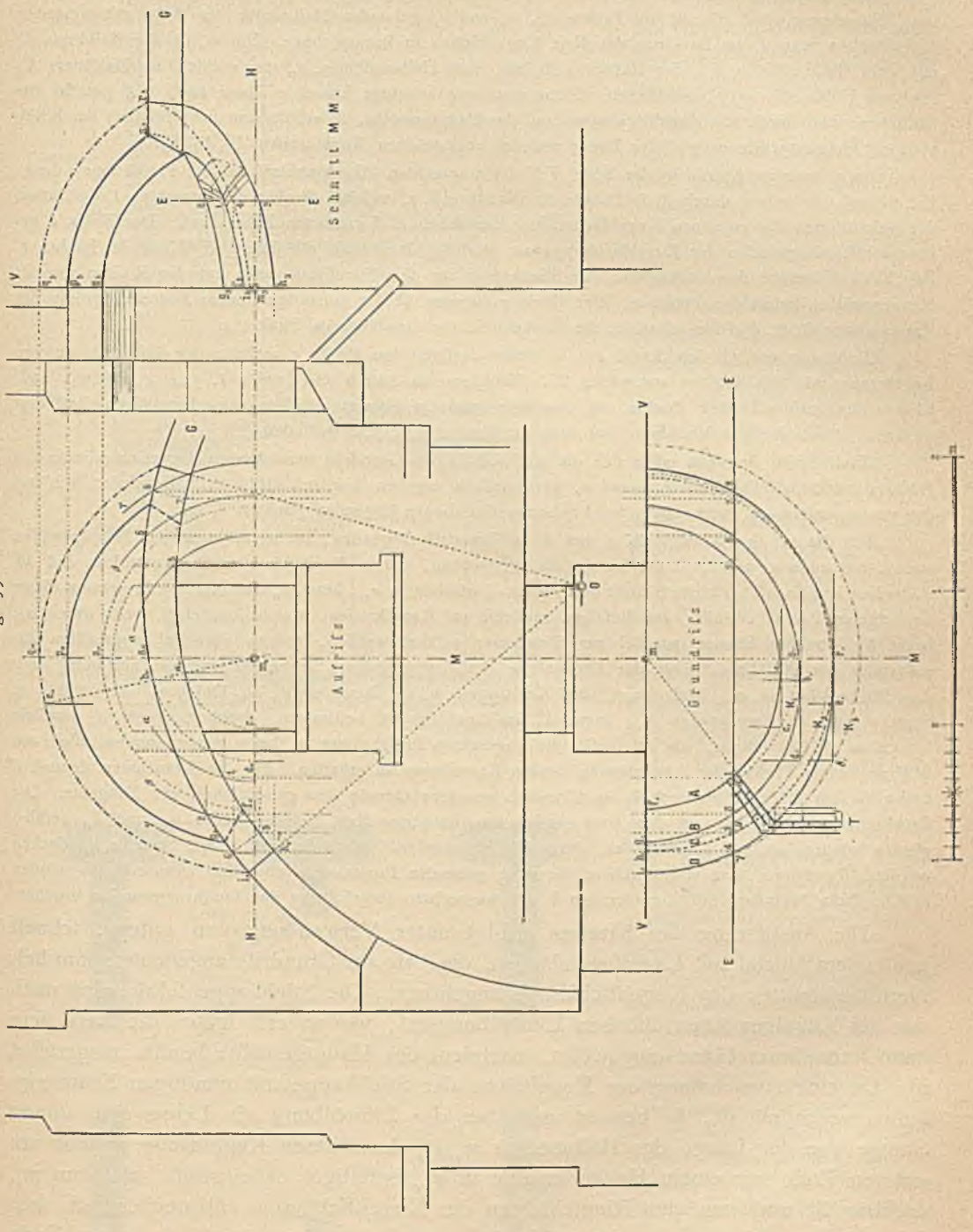


Fig. 99.

MM beſtimmt werden können. Aufserdem ergeben die geraden Linien $f_{,}g_{,}$, $f_{,,}g_{,,}$, f_3g_3 eine Begrenzungslinie vom Anſatze des Kranzes.

Setzt man im Aufriſs $g_{,,}i_{,,}$ oder $f_{,,}h_{,,}$ als Stärke des Kranzes feſt und zieht man $i_{,,}h_{,,}$ normal zur Wölblinie, hier alſo radial durch O, ſo ergiebt ſich in $f_{,,}g_{,,}i_{,,}h_{,,}$ die lotrechte Projektion der An-

fatzfläche des Kranzes. Die Projektionen derfelben im Grundrifs und im Schnitt MM find danach leicht zu ermitteln.

In ganz gleicher Weife ift die zweite Anfatzfläche bei G zu zeichnen.

Um für die Kranzlinie weitere Punkte, welche in Fig. 99 durchweg mit $1, 2, 3, 4$ bezeichnet find, feftzulegen, find die für die Punkte $o_{,,}$, $p_{,,}$ und $q_{,,}$ geltenden Halbmeffer der ihnen zukommenden Kugelflächen benutzt, um im Grundrifs diefe Kugelflächen zu kennzeichnen. Um $m_{,}$ ift der Halbkreis $K_{,}$ mit dem Halbmeffer $m_{,,}o_{,,}$ der Halbkreis K_2 mit dem Halbmeffer $m_{,,}p_{,,}$ und endlich der Halbkreis K_3 mit dem Halbmeffer $m_{,,}q_{,,}$ gefchlagen. Führt man eine beliebige lotrechte Ebene nach EE parallel zur Stirnebene VV durch die Kugelftichkappe und das Hauptgewölbe, fo erhält man im Grundrifs der Reihe nach die Schnittpunkte $\alpha\beta\gamma$ diefer Ebene mit den angegebenen Kugelkreifen K_1, K_2, K_3.

Sucht man im Aufrifs in der Spur HH der wagrechten Mittelpunktsebene die Projektionen diefer Punkte auf, fo gehen durch diefe Punkte die Kreife α, β, γ, welche offenbar die lotrechten Projektionen der Schnittlinien der einzelnen Kugelflächen mit der durch EE geführten Ebene find. Der Kreis α gehört der Laibungsfläche der Kugelftichkappe an; derfelbe durchftöfst die innere Wölblinie im Punkte 1. Der Kreis β kommt der Rückenlinie der Stichkappe zu; fein Durchftofspunkt mit der Rückenlinie des Hauptgewölbes liefert den Punkt 2. Der Kreis γ dagegen ift der äufserften oberen Begrenzungslinie des Kranzes angehörig; derfelbe fchneidet die Rückenlinie des Gewölbes im Punkte 4.

Zieht man endlich den Strahl $4O$, fo liefert derfelbe den Punkt 3, welcher der äufserften unteren Begrenzungslinie des Kranzes zuzuweifen ift. Nachdem im Aufrifs die Punkte $1, 2, 3, 4$ ermittelt find, können die entfprechenden Punkte im Grundrifs und im Schnitt MM in einfacher Weife beftimmt werden. Durch dasfelbe Verfahren find auch die Punkte $5, 6, 7, 8$ gefunden.

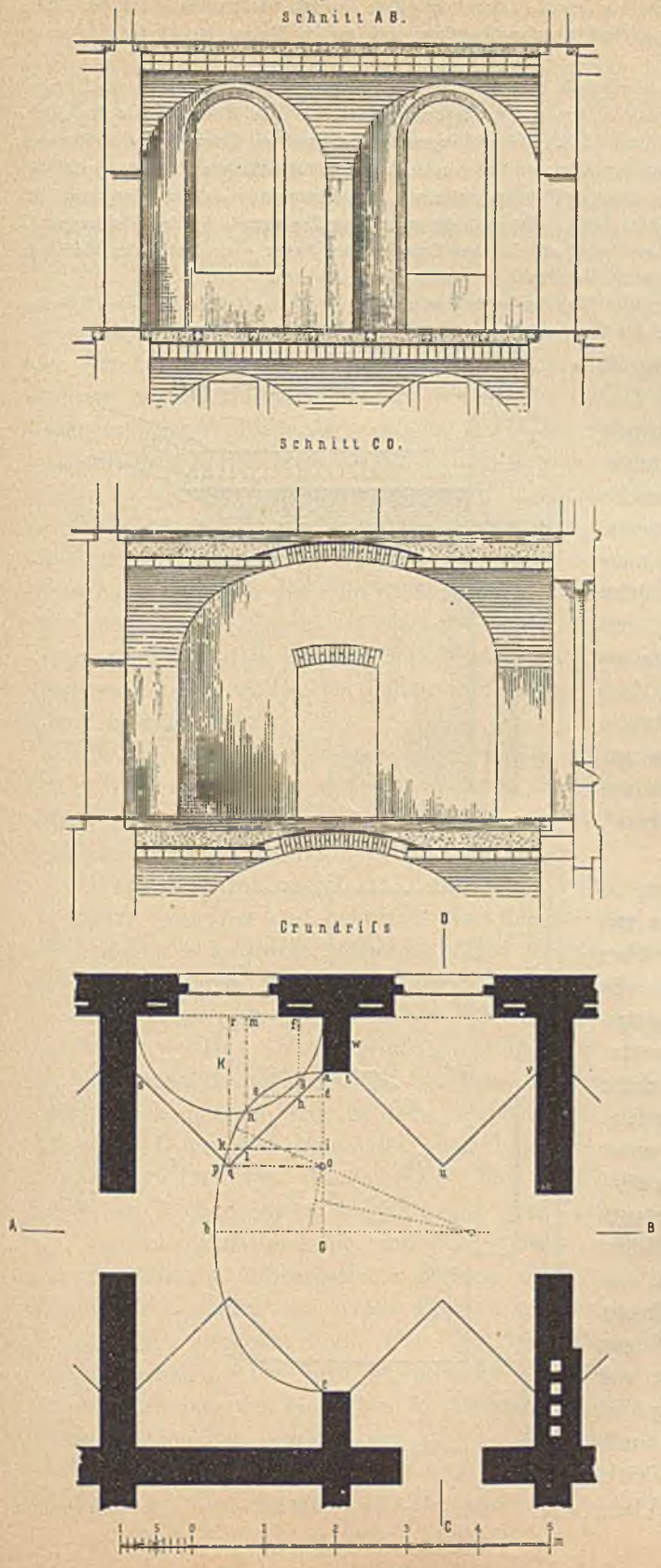
Nach diefen Angaben laffen fich die mit $ABCD$ im Grundrifs bezeichneten Begrenzungslinien des Kranzes ermitteln. Die Punkte $s_{,}$ und $r_{,}$ im Grundrifs ergeben fich mit Hilfe der im Schnitt MM auf den um m_3 mit m_3p_3, bezw. m_3q_3 befchriebenen Kreisbogen liegenden Punkten s_3 und r_3.

Für die auf den Kranzlinien A und B im Grundrifs liegenden, am weiteften in das Hauptgewölbe tretenden Punkte $a_{,}$ und $b_{,}$ ift der im Aufrifs angegebene, durch die Achfe des Hauptgewölbes und die wagrechte Kugelachfe geführte Schnitt $Om_{,,}$ benutzt, welcher in $a_{,,}$, bezw. $b_{,,}$ die lotrechte Projektion diefer betrachteten Punkte ergiebt. Da diefelben zunächft auf Kugelkreifen, welche entftehen, wenn durch $a_{,,}$, bezw. $b_{,,}$ lotrechte Ebenen parallel zur Stirnmauer geführt werden, fodann aber auf wagrechten Erzeugenden der Wölblinie, bezw. der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegen, fo hat man nur nötig, mit den Halbmeffern $m_{,,}a_{,,}$, bezw. $m_{,,}b_{,,}$ die Kreisbogen $m_{,,}c_{,,}$, bezw. $m_{,,}d_{,,}$ zu fchlagen, die Punkte $c_{,,}$, bezw. $d_{,}$ auf den Kugelkreifen $K_{,}$, bezw. $K_{,,}$ im Grundrifs zu beftimmen, durch $c_{,}$, bezw. $d_{,}$ parallele Linien zu VV zu führen, um auf diefen die wagrechten Projektionen $a_{,,}$, bezw. $b_{,}$ der am weiteften 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 Grundrifs gezogene Gerade eine gemeinfchaftliche Tangente. Die Berührungspunkte liegen auf den Erzeugenden des Hauptgewölbes, welche durch $a_{,,}$ und $b_{,,}$ geführt werden können, und auf Kugelkreifen, deren Projektionen im Aufrifs fich mit $b_{,,}d_{,,}$, bezw. $a_{,,}c_{,,}$ decken würden. Erweiterte man die durch $a_{,}$, bezw. $b_{,}$ gehenden Projektionsftrahlen im Grundrifs, fo würden fich in ihren Schnitten mit der Geraden δ_1 die wagrechten Projektionen der Berührungspunkte ergeben.

Die Ausführung des Kranzes erfolgt unter Verwendung von gutem, fchnell bindendem Mörtel mit Lagerfugenflächen, die, wie im Grundrifs angedeutet, fämtlich Meridianfchnitten der Kugelftichkappe angehören. Die Stichkappe felbft wird nach der bei Kugelgewölben üblichen Einwölbungsart, wovon erft fpäter die Rede fein kann, aus freier Hand eingewölbt, nachdem das Hauptgewölbe bereits ausgerüftet ift. Da eine Ausfchalung der Kugelfläche der Stichkappe mit unnötigen Schwierigkeiten verknüpft ift, fo benutzt man bei der Einwölbung als Lehre eine dünne Stange von der Länge des Halbmeffers $m_{,,}o_{,,}$ der inneren Kugelfläche, welche am unteren Ende mit einem Haken in eine in $m_{,,}$ befeftigte Oefe greift, alfo um $m_{,,}$ drehbar ift und nun den Ringfchichten der Kugelftichkappe entfprechend als fog. Leier umhergeführt werden kann, fo dafs mit Leichtigkeit durch das obere Ende der Leier die richtige Stellung und Anordnung der Lager- und Stofsfugen für die Wölbfteine der Stichkappe zu treffen ift.

Soll die Kugelftichkappe gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe ausgeführt werden,

Fig. 100.



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 konzentriſch lagernden Ringſchichten mit radialen Lager- und Stoſsfugen vermauert werden.

49. Auflöſung der Widerlager in Pfeiler und Blenden.

Die Anordnung von Stichkappen bei Tonnengewölben bietet im Hochbauweſen, abgeſehen von der dadurch bewirkten ſachgemäſsen Anlage von Licht- und Thüröffnungen, mannigfache Vorteile. So iſt durch dieſelben eine Auflöſung 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 Auflöſung der Widerlager in Pfeiler und Blenden zeigt Fig. 100 für ein Tonnengewölbe, deſſen Wölblinie ein aus drei Mittelpunkten beſchriebener Korbbogen *abc* iſt.

Das eigentliche Widerlager dieſes Gewölbes ſind die bei *a* und *c* verhältnismäſsig ſchmal, aber entſprechend lang angelegten Pfeiler. Zwiſchen dieſen und den Querſcheidemauern, welche übrigens auch als ebenſolche Pfeiler behandelt 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

wagrechten Projektion von vornherein als gerade Linien feſtgelegt, welche im Punkte q auf der Achſe der Stichkappen unter einem rechten Winkel zuſammentreten und an den Ecken der Pfeiler, ſowie an den Scheidemauern endigen.

Durch dieſe beſtimmte Annahme wird die Wölblinie der Stichkappen von der Wölblinie des Tonnengewölbes abhängig gemacht, wie bereits in Art. 14 (S. 23) erwähnt wurde. Die Wölbungslinie der Stichkappe K ergiebt 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 $a\,q$, bezw. $q\,s$ zuſammentreten. Die Erzeugende $d\,e$ des Hauptgewölbes ergiebt auf $a\,q$ den Punkt h; durch dieſen Punkt zieht auch die zugehörige Erzeugende $h\,f$ der Stichkappe K.

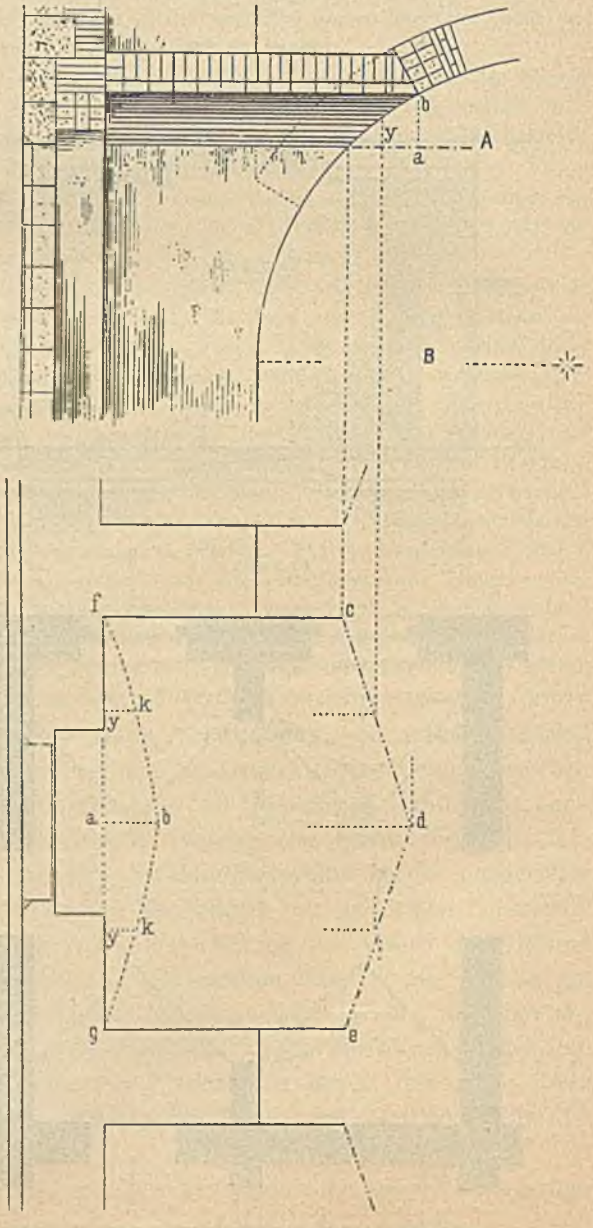
Nimmt man $d\,e = f\,g$, ſo iſt aus leicht erſichtlichen Gründen der Punkt g ein Punkt der Wölblinie der Stichkappe K. In gleicher Weiſe iſt der Punkt n, wobei $m\,n = i\,k$ wird, ermittelt.

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

Die Art der Einwölbung iſt aus den Schnitten $A\,B$ und $C\,D$ erſichtlich. Hätten die Stichkappen nach den vorderen Begrenzungsmauern der Blenden, die nunmehr als Schildmauern für dieſe Kappen auftreten und infolge hiervon meiſtens nur einer mäſsigen Stärke bedürfen, aufſteigen ſollen, ſo ändert dieſe Anordnung nichts an der Lage der Punkte g, n u. ſ. 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. 101), und ſollen dennoch die Durchdringungslinien der Laibungsflächen der beiden zuſammentretenden Gewölbe in ihrer wagrechten Projektion zwei gerade Linien ſein, ſo werden der Winkel $c\,d\,e$, unter welchem dieſelben zuſammenſtoſsen, und die Lage ihrer Ausgangspunkte c und e von der gewählten Pfeilhöhe $a\,b$ der Stichkappe und der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes abhängig. Das Feſtlegen der Leitlinie der Stichkappe mit den beiden Zweigen $f\,b$ und $g\,b$ iſt z. B. für irgend einen Punkt k mittels der Ordinate y aus der Zeichnung ohne weiteres zu erſehen.

Fig. 101.



50. Tonnengewölbe aus Bruchſteinen.

Wird zur Ausführung der Tonnengewölbe ausſchliefslich Bruchſteinmaterial benutzt, ſo iſt vor allen Dingen auf ein möglichſt feſtes, lagerhaftes, alſo plattenartiges Material zu ſehen. Damit dasſelbe den für ein Gewölbe vorgeſchriebenen konſtruktionellen Anforderungen entſpricht, iſt für die einzelnen Steine ein mechaniſches Zurichten geboten, wodurch die einer und derſelben Wölbſchar zuzuweiſenden Steine thunlichſt gleiche Dicke und gleiche keilförmige Form bekommen, da nur hierdurch die Lagerfugenkanten nach dem Vermauern der Steine eine parallele Richtung mit der Gewölbachſe und die Mörtelbänder der Lagerfugen eine möglichſt gleiche Stärke erhalten.

Ebenfalls ſind Steine von einer Längen- und Breitenabmeſſung unter 20 cm, wenn nicht eine beſondere, dem Gufsmauerwerk ähnliche Ausführung ſtattfinden ſoll, von der Verwendung zur Gewölbemauerung auszuſchliefsen. Die Art der Einwölbung mit Bruchſteinen hat ſich hinſichtlich der Verbandanordnung der einzelnen Steine und der Wölbſchichten möglichſt den für Backſteingewölbe gegebenen Regeln anzupaſſen. Die einzelnen Wölbſteine ſollen thunlichſt durch die ganze Gewölbſtärke reichen, die Steine ſelbſt winkelrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes ſtehen und die Stofsfugen rechtwinkelig zu den Lagerfugen gerichtet ſein. Für die Verbindung der Steine iſt ein guter verlängerter Zementmörtel, bezw. reiner Zementmörtel 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 darauf zu ſehen, dafs 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 zweckmäfsig nicht unter 30 cm Stärke ausgeführt. Bei gröfseren Gewölben mufs 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 gröfsere 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. 45 u. 46 mitgeteilten Gleichungen 45 u. 48 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 mufs.

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 Gewölbeſtück begrenzt ſind. Die Gewölbe beſtehen alsdann aus übereinander gelagerten Schalen. Die erſte Steinſchicht wird unter Benutzung von Zementmörtel auf der Schalung des Gewölbes ſo gebildet, dafs 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 Zementmörtel übergoſſen.

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

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

51. Tonnengewölbe aus Quadern.

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

Bei der Ausführung von Gewölben aus Quadern, auch Hauſteine, Schnittſteine, Werkſtücke genannt, iſt im allgemeinen für die Verbandanordnung der Lager- und Stofsfugenkanten das bei Backſteingewölben Geſagte maſsgebend. Die einzelnen Quader der Wölbſcharen greifen durch die ganze Gewölbſtärke. Nichts ſteht einer reicheren Ausſchmückung der in der Laibung des Gewölbes auftretenden unteren Flächen der Wölbquader durch Ornamente, Kaſſettierung u. ſ. w. entgegen, und bei ſorgſamer, einem gut und regelrecht gewählten Fugenſchnitte entſprechender Bearbeitung der einzelnen Steine erſcheint ein Quadergewölbe als eine beachtenswerte Konſtruktion.

Beim Verſetzen der Quader auf der Schalung des Gewölbes bedient man ſich derſelben Werkzeuge und Hilfsmittel, welche beim Quadermauerwerk überhaupt Verwendung finden. Die Einteilung der Schichten und das Vorzeichnen der Lager- und Stofsfugenkanten auf der Schalung der Lehrbogen bietet für das richtige Verſetzen der Quader den nötigen Anhalt. Für die Mörtelgabe bei Quadergewölben iſt bereits in Art. 31 (S. 78) das Nähere angegeben.

52. Schneckengewölbe.

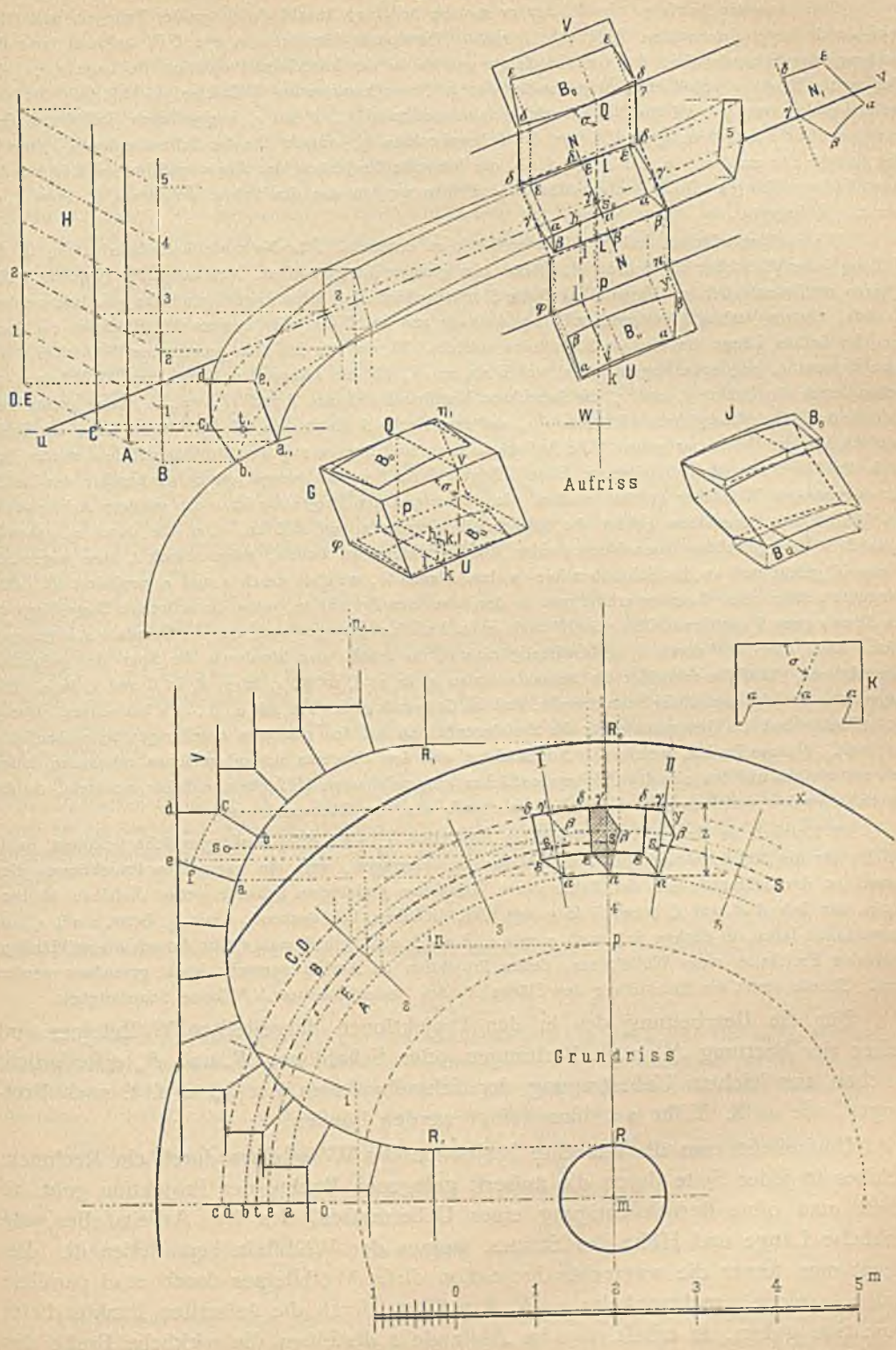
Geſtaltet ſich der Fugenſchnitt bei einem geraden Quadertonnengewölbe im allgemeinen in einfacher Weiſe, ſo ſind doch für die in Art. 12 (S. 20) bereits erwähnten, ſchraubenförmig ſteigenden Tonnengewölbe oder Schneckengewölbe und für die in Art. 15 (S. 24) angeführten ſchiefen Gewölbe hinſichtlich des Steinfugenſchnittes und der Formen der als Wölbſteine zu bearbeitenden Werkſtücke beſondere Ausmittelungen erforderlich, welche zur Beſtimmung der Brettungen oder Schablonen dienen, wonach die Zurichtung der Steine vorgenommen werden mufs.

Unter Bezugnahme auf Fig. 29 (S. 21), in welcher die Anordnung der Lager- und Stofsfugenkanten der Wölbſteine für ein Schneckengewölbe nur angedeutet wurde, iſt in Fig. 102 die Ausmittelung eines Werkſtückes für ein derartig ſchraubenförmig anſteigendes Gewölbe vorgenommen.

Die Erzeugende des Schneckengewölbes ſei der in der lotrechten, durch den Mittelpunkt m der vollen Spindel (Mönch, Mäkler) geführten Ebene $R R_0$ gelegene, hier im Grundriſs niedergeklappte Halbkreis R, R_1 mit dem Mittelpunkte n. Die wagrechte Projektion der als Schraubenlinie auftretenden Gewölbachſe iſt der um m mit dem Halbmeſſer $m p$ beſchriebene Kreis, während die wagrechten Projektionen der ſchraubenförmigen Kämpferlinien die mit den Halbmeſſern $m R_0$, bezw. $m R$ beſchriebenen Kreiſe ſind. Unter Berückſichtigung der Steigung, welche der Schraubenlinie der Gewölbachſe gegeben werden ſoll, liegen für jede durch m tretende lotrechte Ebene die Punkte R_1, n, R_1 in einer wagrechten Linie.

Beſtimmt man im lotrechten Mittelpunktsſchnitte V die Gewölbeteilung, ſo möge $a b c d e$ die lotrechte Stirnfläche irgend eines Wölbſteines ſein. Betrachtet man den Punkt s_0, welcher hier der Schwerpunkt des Flächenſtückes $a b c f$ iſt, als einen Punkt der ſchraubenförmigen Achſe desjenigen Wölbkörpers, dem die ſämtlichen Steine mit gleichen lotrechten Stirnſchnitten angehören, ſo iſt die wagrechte Projektion der Achſe dieſer Wölbſchar der um m beſchriebene Kreis $S s t$. Mit Hilfe der Projektion der Fläche $a b c d e$,

Fig. 102.



bezogen auf die Ebene $R R_0$, kann die gesamte wagrechte Projektion der bezeichneten Wölbschar vervollständigt werden, wie solches durch die um m beschriebenen Kreise A, B, C, D, E geschehen ist.

Teilt man die Achse $t S$ der Wölbschar in eine beliebige Anzahl gleich grosser Teile ein und führt man durch die entsprechenden Teilpunkte lotrechte Mittelpunktsschnitte $o, 1, 2$ u. s. f., bestimmt man der Steigung der Schraubenlinie der Gewölbachse p gemäss in der lotrechten Projektion die Lage a, b, c, d, e, des in der Ebene o befindlichen Stirnschnittes der in Frage kommenden Wölbschar, so läfst sich mit Verwendung des im Plane H für die einzelnen Schraubenlinien a_1, b_1 bis e_1 angegebenen Steigungsmafses, wobei z. B. $B1 = 12 = 23$ u. s. f. für die Schraubenlinie b_1, ebenso für die Schraubenlinien d_1 und e_1 die Strecke $D1 = B1$, $12 = 12$ u. s. f. ist, die lotrechte Projektion des schraubenförmigen Körpers der Gewölbschar festlegen. Die Lagerfugenflächen derselben werden von den Schraubenlinien a, e_1, bezw. b, c_1, bezw. c, d_1 begrenzt.

Die Stofsfugenflächen sind in folgender Weise zu ermitteln. Für die vorteilhafte Bearbeitung ist die Teilung jeder Wölbschar für sich in Wölbsteine von gleicher Länge ratsam. Nebeneinander liegende Wölbscharen müssen natürlich auf Verband mit Mitte Stofsfugenfläche auf Mitte Lagerfugenfläche geordnet werden, so dafs, diesem Verbande entsprechend, am Anfange und am Ende jeder zweiten Wechselschar ein Stein von der halben Länge der übrigen Scharsteine entsteht. Ist nun für die hier genommene Wölbschar S die durch s_1 und s_{11} gegebene Bogenstrecke, wobei $s s_1 = s s_{11}$ ist, die Länge der Achse eines Wölbsteines, so gehen durch die Punkte s_1 und s_{11} die lotrechten Mittelpunktsschnitte I und II, welche, nach rechts und links unter Beibehaltung ihres Abstandes $s_1 s_{11}$ auf dem Kreise S übertragen, die allgemeine Lage der Stofsfugenflächen der Wölbschar geben. Die besondere Lage und Begrenzung der Stofsfugenflächen richtet sich nach der Vorschrift, dafs dieselben in Ebenen liegen sollen, welche normal zur Schraubenlinie der Achse der zugehörigen Wölbschar geführt werden. In der wagrechten Projektion ist s der mittlere Achsenpunkt des Wölbsteines; demselben gehört die lotrechte Projektion s_0 auf $L L$ an. Um die durch s_0 gehende Spur $N N$ der gesuchten Normalebene einer Stofsfugenfläche zu finden, möge durch t, eine wagrechte Ebene W gelegt und an die Schraubenlinie in dem Elemente, welches durch s und s_0 projiziert ist, eine Tangente geführt sein. Letztere erhält man in der lotrechten Projektion, wenn die erstreckte Bogenlänge $s t$ des Kreisbogens S des Grundrisses von W nach u im Aufrifs abgetragen und nun die Gerade $u s_0 v$ gezogen wird. Zieht man $N N$ durch s_0 rechtwinkelig zu $u v$, so erhält man hierdurch die Spur der gesuchten Normalebene. Dieselbe schneidet die Schraubenlinien a_1 in α, b_1 in β_1, c_1 in γ, d_1 in δ und e_1 in ε. Die wagrechten Projektionen dieser Schnittpunkte sind im Grundrifs gleichfalls mit $\alpha, \beta \ldots \varepsilon$ bezeichnet. Durch diese Punkte sind die Grenzpunkte für die Stofsfugenflächen 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 Hilfsschraubenlinien ermitteln, da die Durchstofspunkte derselben mit $N N$ sich dann ebenso wie jene Grenzpunkte ergeben.

Ist hiernach im Grundrifs die wagrechte Projektion $\alpha \beta \gamma \delta \varepsilon$ einer Stofsfugenfläche bestimmt, so ist dieselbe für die Mittelpunktsschnitte I und II nur zu übertragen, weil die wagrechten Projektionen aller normal zu der Schraubenlinie der Achse einer Wölbschar gerichteten Schnitte genau dieselben bleiben. Denkt man sich $R R_0$ auf I, bezw. II so gelegt, dafs dieselben, sich deckend, s mit s_1, bezw. s mit s_{11} zusammenfallen lassen, so decken sich auch α mit α, β mit β u. s. f., und man erhält danach die vollständige wagrechte Projektion eines Wölbsteines, dessen Projektion im Aufrifs nunmehr leicht gezeichnet werden kann. Ebenso bietet die Ermittelung der Fläche N_1 des Normalschnittes $N N$ keine Schwierigkeit.

Für die Bearbeitung des in den Projektionen dargestellten Wölbsteines sind aufser der Brettung N_1 noch Brettungen oder Schablonen B_o und B_u erforderlich, welchen zur leichten Uebertragung der Schraubenlinien $\alpha\alpha$, $\beta\beta$ u. s. f. noch Brettungen, wie z. B. K für $\alpha\alpha$, hinzugefügt werden können.

Umschliefst man die lotrechte Projektion des Wölbsteines durch ein Rechteck, welches in jeder Seite durch die äufserst gelegenen Punkte der Projektion geht, so erhält man ohne Berücksichtigung eines Uebermafses, des sog. Arbeitszolles, die wirkliche Länge und Höhe des Steines, woraus der Wölbstein herzustellen ist. Begrenzt man ferner die wagrechte Projektion dieses Wölbsteines durch zwei parallele Linien, welche, rechtwinkelig zu $R_o R$ geführt, durch die äufsersten Punkte dieser Projektion gehen, so erhält man im Abstande z derselben die wirkliche Breite des Werkstückes.

Hätte man die Abmeſſungen unter Beifügung eines Arbeitszolles entſprechend vergröſsert, ſo würde im Grundgedanken an der Ausmittelung 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 Lotrechte $\beta\pi$, errichte in π zur Linie P das Lot y, entnehme aus dem Grundriſs die Ordinate y der wagrechten Projektion 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_o, wie aus der Zeichnung erſichtlich iſt, die erforderliche Zahl von Punkten für die Brettungen aus den bekannten Projektionen der oberen und unteren Flächen des Wölbſteines ermittelt. Die Brettungen ſind alſo Projektionen 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 lotrechten Linie LL liegen. In der Darſtellung G iſt das Anlegen der Brettungen B_o und B_u beim Werkſtücke angegeben. Hierbei iſt $Q\eta_1 = Q7$ der Schablonenfläche V und $P\varphi_1 = P\varphi$ der Schablonenfläche U. Reifst man die Geraden vU, bezw. QP am Steine vor, ſo entſprechen dieſelben der Lotrechten 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 nötigen Punkte der am Steine auftretenden Schraubenlinien leicht feſtgelegt 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 vorzureifsen, alsdann durch k, dem Schmiegewinkel σ entſprechend, die Linie kk, parallel Uv zu ziehen und endlich kk, gleich der Länge ih in der lotrechten Projektion des Wölbſteines zu nehmen. Würde nun ih, gleich und parallel kk, gearbeitet, ſo iſt h, ein Punkt der Schraubenlinie α am 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 Vorreifsen der Projektionen der Schraubenlinien geſtatten.

Sind die einzelnen Stücke des Wölbſteines bis zu den betreffenden Schraubenlinien abgearbeitet und die Flächen für die ebenen Stofsfugenflächen vermöge der zugehörigen Begrenzungslinien $\alpha\beta$, bezw. $\delta\varepsilon$ hergerichtet, ſo ſind die Schablonen N, der Stofsfugenflächen anzulegen, wonach alsdann die Steinſtücke oder Boſſen an den Laibungs- und Rückenflächen zwiſchen den bereits erhaltenen Schraubenlinien ſorgfältig fortgenommen werden können. Bei der Darſtellung J ſind dieſe Stücke beſeitigt, während oben und unten die den Brettungen B_o und B_u entſprechenden Boſſen 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 31 (S. 34) für das Feſtlegen der Kurven $\alpha\alpha$ und $\beta\beta$ der Brettung B_u und ebenſo für die Kurven $\delta\delta$ und $\varepsilon\varepsilon$ der Brettung B_o je ein Kreisbogenſtück mit einem beſtimmten Krümmungshalbmeſſer genommen werden. Iſt z. B. ρ_a der geſuchte Halbmeſſer für die Kurve $\alpha\alpha$ der Brettung B_u, ſo wird

$$\rho_a = \frac{r_a}{\sin\sigma^2}.$$

Ebenſo wird, wenn ρ_δ der geſuchte Halbmeſſer für die Kurve $\delta\delta$ der Brettung iſt,

$$\rho_\delta = \frac{r_\delta}{\sin\sigma^2} \text{ u. ſ. f.}$$

In dieſen Ausdrücken iſt r_a gleich dem Halbmeſſer $m\alpha$, r_δ gleich dem Halbmeſſer $m\delta$ der im Grundriſs feſtgelegten Kreisbogen A, bezw. D, während σ den Winkel bezeichnet, welchen die untere, bezw. obere Rechteckſeite des die lotrechte Projektion des Wölbſteines umſchlieſsenden Rechteckes mit dem Lote LL bildet. Dieſe Rechteckſeiten ſind in der Zeichnung parallel mit uv gelegt.

Nach den Abmeſſungen in der Zeichnung iſt $\sin\sigma = \frac{W_H}{u\,s_0} = \frac{6{,}9}{7{,}14}$; ferner iſt

$$r_a = m\alpha = 4\,\text{m} \quad \text{und} \quad r_\delta = m\delta = 4{,}85\,\text{m}.$$

Hiernach iſt

$$\rho_a = \frac{4}{\left(\frac{6{,}9}{7{,}14}\right)^2} = 4{,}60\,\text{m} \quad \text{und} \quad \rho_\delta = \frac{4{,}85}{\left(\frac{6{,}9}{7{,}14}\right)^2} = 5{,}58\,\text{m}.$$

Auf gleichem Wege laſſen ſich die Krümmungshalbmeſſer für $\beta\beta$ an B_u, bezw. 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 Gröſse aufzeichnen.

Für die Ausführung der Schneckengewölbe in Backſtein- oder Bruchſteinmaterial iſt hinſichtlich der Stellung und des Verbandes der Wölbſcharen mit Sorgfalt zu verfahren.

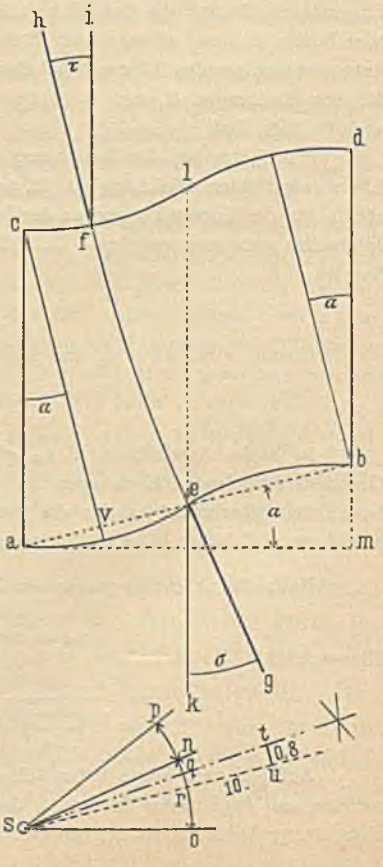
Das Aufſtellen der Lehrbogen hat, der ſchraubenförmig aufſteigenden Gewölbachſe entſprechend, in gleichen wagrechten, nicht zu groſs zu nehmenden Entfernungen der mittleren Lotlinien der Bogen ſo zu geſchehen, daſs jeder lotrecht geſtellte Lehrbogen gleichſam in einem Mittelpunktsſchnitte ſteht und jeder folgende Lehrbogen um die Steighöhe, welche den wagrechten Entfernungen ihrer mittleren Lotlinien 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 übereinander 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 demgemäſs die einzelnen Leiſten in ihren Kanten etwas nachzuarbeiten.

53. Schiefe Tonnengewölbe.

Ueber die allgemeine Geſtaltung der ſchiefen Tonnengewölbe iſt bereits in Art. 15 (S. 24) das Nötigſte 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 konſtante Fugenwinkel für die Richtung der Lagerkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche des Gewölbes maſsgebend wird. Die Gröſse dieſes Winkels bedingt die Steigung der Schraubenlinien der Lagerkanten und damit die mehr oder weniger ſtark von Stirn zu Stirn, bezw. vom Kämpfer zur Stirn anſteigenden Schraubenflächen der Lager- und weiter der Stoſsflächen der Wölbſteine. Iſt jener Winkel zu groſs, ſo kann das Gleiten der Steine auf den Lagerflächen und hiernach das Ausbauchen an der Gewölbſtirn eintreten. Um dieſen Uebelſtand zu vermeiden, läſst man für den konſtanten Fugenwinkel einen Grenzwert gelten, welcher wie folgt feſtgeſetzt wird.

Fig. 103.



Iſt in Fig. 103 $abcd$ die abgewickelte Laibungsfläche eines ſchiefen Gewölbes, aeb die Verbindungsſehne der abgewickelten Stirnlinie, cv ein Lot auf der Geraden ab, ſo giebt nach dem in Art. 15 (S. 31) Geſagten der $\sphericalangle acv = \sphericalangle bam = \sphericalangle \alpha$ den konſtanten Fugenwinkel. Beſtimmt man nach den an der angezogenen Stelle gemachten Mitteilungen die Scheiteltrajektorie ef, ſo weicht die im Elemente e dieſer Kurve gezogene Tangente eg um $\sphericalangle gek = \sphericalangle \sigma$ und die im Ele-

mente f der Trajektorie geführte Tangente fh um $\sphericalangle hfi = \sphericalangle \tau$ von der Richtung der Scheitellinie Iek, bezw. 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 Werten der Winkelgröfsen σ und τ den Durchfchnitt, fo foll erfahrungsmäfsig, um den vorhin erwähnten Uebelftand nicht herbeizulaffen, der Unterfchied zwifchen der Gröfse diefes Durchfchnittswinkels und dem Winkel α die Gröfse von 8 Grad nicht überfchreiten.

In der Zeichnung find die beiden Winkel $\sigma = osn$ und $\tau = nsp$ zum Winkel osp zufammengetragen; der Winkel osp ift durch den Strahl sq halbiert und hierdurch der Durchfchnittswert von $\sigma + \tau$ als Winkelgröfse qso erhalten. Sodann ift $\sphericalangle \alpha = osr$ eingetragen, fo dafs jetzt im $\sphericalangle qsr$ der Unterfchied zwifchen qso und α beftimmt ift. Im rechtwinkeligen Dreiecke snt ift die Kathete su gleich 10 Einheiten eines beliebigen Mafsftabes genommen; die Beftimmung der Länge tu der zweiten Kathete nach demfelben Mafsftabe ergiebt die Gröfse von 0,8 Einheiten. Mithin ift $\operatorname{tg} tsu = \frac{0{,}8}{10} = 0{,}08$. Diefe Zahl entfpricht einem Winkel von $\backsim 4^0\,34'$. Derfelbe ift alfo von dem Grenzwerte $= 8$ Grad noch weit entfernt, und dieferhalb kann das in der Zeichnung behandelte Gewölbe unter Benutzung des konftanten Fugenwinkels zur Ausführung kommen. Würde der bezeichnete Unterfchied die Gröfse von 8 Grad übertreffen, fo wäre, wenn fonft eine Aenderung der ganzen Gewölbeanlage unftatthaft ift, der ftrenge oder fog. franzöfifche Fugenfchnitt in Anwendung zu bringen.

Für die praktische Ausführung wird unter Anwendung des konftanten Fugenwinkels der Normalfchnitt des fchiefen Gewölbes als Kreisbogen genommen, fo dafs der Stirnbogen ein elliptifcher Bogen wird. Die Teilung für die Wölbfteine erfolgt nach den in Art. 15 (S. 33) gegebenen Erörterungen. Da hiernach alle Wölbfteine mit Ausnahme der Steine mit befonders abgeftumpften Ecken in den Bogenanfängen und an den Stirnen des Gewölbes nach den gleichen Brettungen bearbeitet werden können, fo ift hierdurch eine weit gröfsere Erleichterung für die Herftellung der Wölbfteine gefchaffen, als wenn umgekehrt der Stirnbogen des fchiefen Gewölbes ein Kreisbogen und der Normalfchnitt ein elliptifcher Bogen ift. In diefem Falle können mit geringen Ausnahmen die einzelnen Wölbfteine ebenfowenig, wie beim franzöfifchen Fugenfchnitte, nach denfelben Schablonen bearbeitet werden.

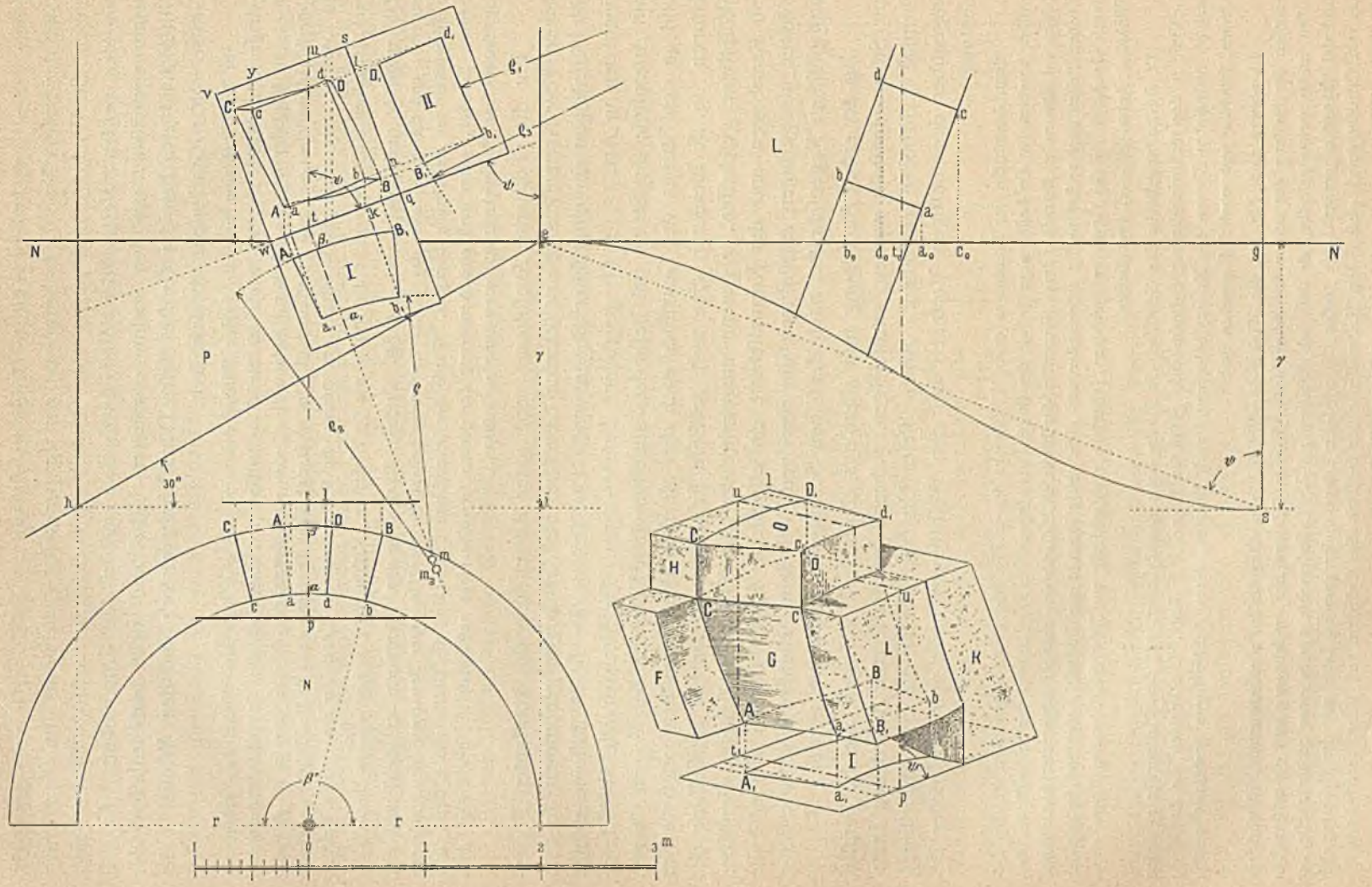
Bei der erften Anordnung find allerdings elliptifche Lehrbogen, welche parallel zur Stirn aufgeftellt werden, anzufertigen, während bei der letzten Anordnung kreisförmige Lehrbogen entftehen. Allein diefer Umftand ift für die erfte Anordnung gegenüber den fonftigen Vorteilen bei den Wölbfteinen nicht von erheblicher Bedeutung.

Beim Ausmitteln der Brettungen eines Wölbfteines des in Fig. 104 näher behandelten fchiefen Gewölbes kommen für die keilförmige Geftalt des Steines vorwiegend die Projektionen der Seitenflächen desfelben auf Ebenen in Betracht, deren Spuren in der Bildtafel P durch wq und qs angedeutet find. Beide Ebenen ftehen hier rechtwinkelig aufeinander und gleichzeitig lotrecht zur Bildtafel, während fie mit der durch die Achfe tu des Gewölbes geführten, ebenfalls rechtwinkelig zur Bildtafel ftehenden Ebene einen Winkel ψ, bezw. $90 - \psi$ einfchliefsen.

Ift die Laibungsfläche des Gewölbes die Fläche eines Kreiscylinders mit dem Halbmeffer r, deffen Leitlinie in der rechtwinkelig zur Cylinderachfe geführten Ebene NN liegt, fo fchneiden die durch wq und qs beftimmten Ebenen den Kreiscylindermantel nach Ellipfen, deren Achfenlängen berechnet werden können, fobald r und Winkel ψ gegeben find.

Ift vorweg nach Fig. 105 der Winkel ψ willkürlich von einer Gröfse σ angenommen, ift übrigens aber an der Stellung der beiden fich fchneidenden Ebenen CD und EF, welche wq und qs entfprechen follen, nichts weiter geändert, als dafs fich diefelben auf der Cylinderachfe zm in einer rechtwinkelig zur Bildtafel ftehenden geraden Linie treffen; fo wird die Länge diefer geraden Linie von der Cylinderachfe bis zum Cylindermantel gleich dem Halbmeffer r der Leitlinie des Cylinders und fofort auch gleich der Länge der Halbachfen b, bezw. b_1 der erwähnten Ellipfen.

Fig. 104.



Für die Cylinderfläche *1* mit einem Kreiſe vom Halbmeſſer *r* als Leitlinie liefert die ſchneidende Ebene *C D* eine Ellipſe mit den Halbachſen *a* und *b*.

Unter Bezugnahme auf Fig. 105 iſt

$$a = \frac{r}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad b = r \; . \; . \; .

Bezeichnet ρ den Krümmungshalbmeſſer im Endpunkte der Halbachſe b der für CD in Frage kommenden Ellipſe der Cylinderfläche I, ſo iſt

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

d. h. nach Gleichung 68

$$\rho = \frac{\left(\frac{r}{\sin \sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\sin \sigma^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 72.$$

Iſt ferner ρ_1 der Krümmungshalbmeſſer im Endpunkte der Halbachſe b_1 der für EF geltenden Ellipſe der Cylinderfläche I, ſo wird

$$\rho_1 = \frac{a_1^2}{b_1}$$

oder nach Gleichung 69

$$\rho_1 = \frac{\left(\frac{r}{\cos \sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\cos \sigma^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 73.$$

In gleicher Weiſe erhält man für die Ellipſen der Cylinderfläche 2 bei der Ebene CD

$$\rho_2 = \frac{r + d}{\sin \sigma^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 74.$$

und bei der Ebene EF

$$\rho_3 = \frac{r + d}{\cos \sigma^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 75.$$

Iſt α der Winkel der Schiefe und β der Centriwinkel eines Kreisbogens ef mit dem Halbmeſſer r, welcher als Normalſchnitt eines ſchiefen Gewölbes feſtgeſetzt iſt, ſo iſt $gi = k_1 h_1 = \gamma$, gleich dem in der Richtung der Gewölbachſe gemeſſenen Abſtande 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 $\frac{\frac{s}{2}}{r} = \sin \frac{\beta}{2}$, alſo $s = 2r \cdot \sin \frac{\beta}{2}$ iſt; auch

$$\gamma = 2r \cdot \sin \frac{\beta}{2} \operatorname{tg} \alpha \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 76.$$

Die abgewickelte Bogenlänge von $ef = g_1 k_1$ iſt gleich $\frac{\pi r}{180^0} \beta^0$. Betrachtet man das in der Abwickelung der Laibungsfläche des ſchiefen Gewölbes aus $g_1 k_1$ der Länge γ und der Sehne $g_1 h_1$ der abgewickelten Stirnlinie gebildete rechtwinkelige Dreieck $g_1 k_1 h_1$, ſo iſt in demſelben

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{g_1 k_1}{\gamma} = \frac{\pi r \beta^0}{180^0 \gamma}, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 77.$$

worin γ nicht weiter durch den Wert aus Gleichung 76 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 72

$$\rho = \frac{r}{\sin \psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{\operatorname{tg} \psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg} \psi^2}}\right)^2} = \frac{r (1 + \operatorname{tg} \psi^2)}{\operatorname{tg} \psi^2} = r + \frac{r}{\operatorname{tg} \psi^2}$$

oder unter Benutzung der Gleichung 77

$$\rho = r + r \left(\frac{180^0 \cdot \gamma}{\pi r \beta}\right)^2 = r + \left(\frac{180^0 \cdot \gamma}{\pi \beta^0}\right)^2 \frac{1}{r} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 78.$$

und ferner nach Gleichung 73

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos \psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg} \psi^2}}\right)^2} = r (1 + \operatorname{tg} \psi^2),$$

d. h. unter Verwertung von Gleichung 77

$$\rho_1 = r \left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0 \cdot \gamma}\right)^2\right] = r + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0 \cdot \gamma}\right)^2 r. \quad \ldots \ldots \ldots \quad 79.$$

Die beiden Gleichungen 78 u. 79 ſtimmen mit den früher gefundenen Ausdrücken für die Krümmungshalbmeſſer der Schraubenlinien der Gleichungen 30 u. 33 (S. 34), wie vorauszuſehen war, vollſtändig überein.

Für die Ellipſen der Cylinderfläche ε, alſo der Rückenfläche des ſchiefen Gewölbes, ergiebt ſich unter der Beſtimmung $\sigma = \psi$ und bei der Benutzung von Gleichung 74 nach Gleichung 78

$$\rho_2 = (r + d)\left[1 + \left(\frac{180^0 \gamma}{\pi r \beta^0}\right)^2\right], \quad \ldots \quad 80.$$

ſowie nach der Gleichung 79

$$\rho_3 = (r + d)\left[1 + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0 \gamma}\right)^2\right] \quad \ldots \quad 81.$$

Da die Abmeſſungen der einzelnen Wölbſteine im Verhältnis zu den Halbmeſſern der Leitlinien der Cylinderflächen immer noch als klein anzuſehen ſind, ſo können, wie ſchon in Art. 15 (S. 33) 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 Achſen dieſer Ellipſen ergeben ſich nach den Gleichungen 68 bis 71.

Beiſpiel. Für ein ſchiefes Gewölbe (Fig. 104) ſei der Normalſchnitt N ein Halbkreis mit dem Halbmeſſer $r = 2^{\text{m}}$; die Dicke d des Gewölbes betrage $0{,}6^{\text{m}}$; der Winkel α der Schiefe ſei 30 Grad, und der Centriwinkel β iſt 180 Grad.

Man erhält nach Gleichung 76

$$\gamma = 2 \cdot 2 \cdot \sin 90 \cdot \operatorname{tg} 30 = 4 \operatorname{tg} 30 = 4 \cdot 0{,}5774 = \infty\, 2{,}31^{\text{m}}.$$

Alsdann iſt nach Gleichung 78

$$\rho = 2 + \left(\frac{180 \cdot 2{,}31}{3{,}1416 \cdot 180}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 2{,}27^{\text{m}}.$$

Ferner wird nach Gleichung 79

$$\rho_1 = 2 + \left(\frac{3{,}1416 \cdot 2 \cdot 180}{180 \cdot 2{,}31}\right)^2 2 = 16{,}86^{\text{m}}.$$

Endlich liefern die Gleichungen 80 u. 81

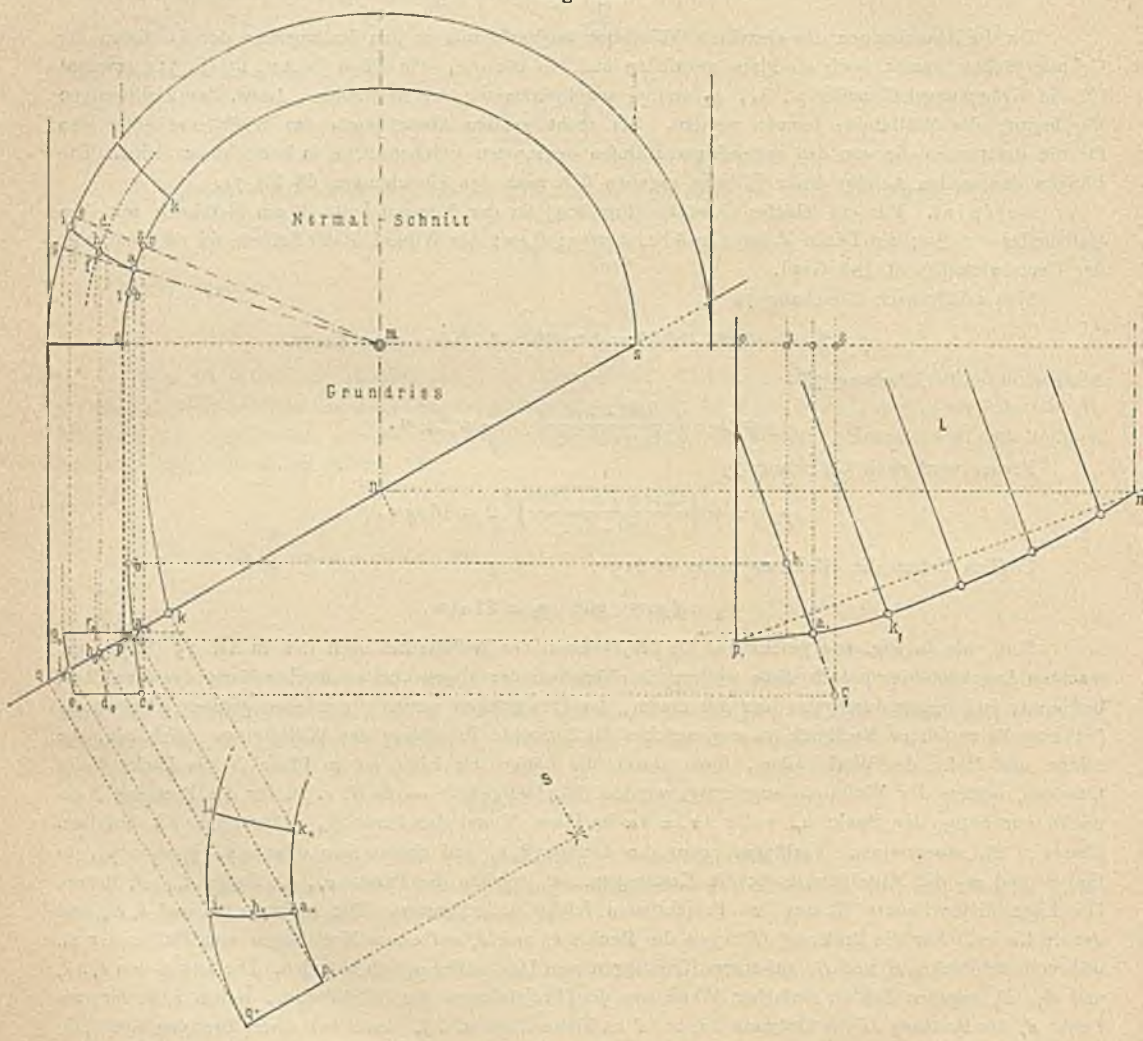
$$\rho_2 = 2{,}95^{\text{m}} \quad \text{und} \quad \rho_3 = 21{,}84^{\text{m}}.$$

Sind, wie in Fig. 104 geſchehen, die Projektionen des Wölbſteines nach den in Art. 15 (S. 31) 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) verſehene Rechteck $q\,s\,v\,w$, welches die lotrechte Projektion des Wölbſteines umſchlieſst, die Länge und Höhe des Werkſtückes, ſowie durch die Länge der Linie $p\,t$ im Plane N die Dicke dieſes Quaders, woraus der Wölbſtein angefertigt werden ſoll, feſtgeſetzt — ſo iſt z. B. für die Brettung I zunächſt nur nötig, den Punkt $\alpha_{,}$, wofür $t\,\alpha_{,} = t\,\alpha$ im Plane N und den Punkt $\beta_{,}$, wofür $t\,\beta_{,} = t\,\beta$ desſelben Planes N iſt, einzutragen. Verlängert man die Gerade $\beta_{,}\,\alpha_{,}$ und nimmt man $\alpha_{,}\,m = \rho$, $\beta_{,}\,m_3 = \rho_2$, ſo ſind m und m_3 die Mittelpunkte für die Kreisbogen, auf welchen die Punkte $a_{,}$, $b_{,}$, ſowie $A_{,}$, $B_{,}$ liegen. Die Lage dieſer Punkte iſt aus den Projektionen 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_1, 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 Projektionen des Wölbſteines, indem z. B. für den Punkt $d,$ der Brettung II die Ordinate $l\,d_{,} = l\,d$ im Plane N iſt u. ſ. 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 $a\,b$, $b\,d$ u. ſ. f. der lotrechten Projektion des Wölbſteines angefertigten Schablonen, gilt weſentlich das in Art. 52 (S. 108) beim Schneckengewölbe angegebene Verfahren. Hier iſt nur zu bemerken, daſs 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. 104 im Bilde gegebene Stein zeigt wohl genügend die unter Beobachtung der Geraden $u\,t$, 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 Beſeitigung der Boſſen 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 konvexen Kurven, ſo daſs für jeden rechts und links ſymmetriſch vom Schluſsſtein liegenden Wölbſtein eine beſondere Stirnſchablone nötig wird. In Fig. 106 iſt für einen Stein eine Stirnbrettung $a_{,,}\ i_{,,}\ k_{,,}\ l_{,,}$ ermittelt.

Fig. 106.



Der Normalſchnitt des ſchiefen Gewölbes iſt als Halbkreis angenommen und in L ein Stück der Abwickelung der Laibungsfläche des Gewölbes gezeichnet.

Auf der Fläche L ſind die durch $a, k,$ u. ſ. f. rechtwinkelig 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 2, wofür die Länge $o\,2$ gleich der Bogenlänge $o\,2$ im Normalſchnitte iſt. Da die Lagerfugenflächen dadurch erzeugt werden, daſs in jedem Punkte der ſchraubenförmigen Lagerkante eines Wölbſteines eine gerade Linie vorhanden ſein ſoll, welche normal zur inneren Gewölbfläche ſteht, ſo giebt der im Normalſchnitte durch m und 2 geführte Halbmeſſer $m\,e$ dieſe gerade Linie in der Strecke $c\,e$ an. Der Punkt e iſt der Durchſtoſspunkt derſelben mit der Rückenlinie des Gewölbes; die wagrechte Projektion der Geraden $c\,e$ ergiebt ſich auf der Spur der durch $c,$ parallel zum Normalſchnitt geführten Ebene

als $c_0 e_0$. Wird zwifchen den Punkten c und e des Normalfchnittes noch irgend ein durch d geführter Kreis gelegt, welcher als Leitlinie einer Cylinderfläche angefehen werden kann, fo würde auch d ein Durchftofspunkt von $c e$ mit diefer Cylinderfläche fein. Die wagrechte Projektion desfelben ift d_0.

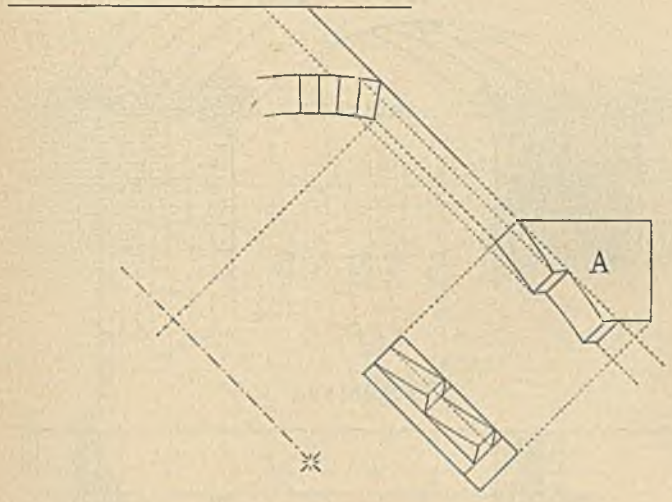
Verfährt man in gleicher Weife mit der Geraden $a g$, fo erhält man die wagrechten Projektionen der Durchftofspunkte a, f, g in a_0, f_0, g_0. Setzt man diefe Darftellungen fort, fo ergeben fich offenbar in $c_0 a_0$, $d_0 f_0$ und $e_0 g_0$ die wagrechten Projektionen von Schraubenlinien, welche auf den durch c, bezw. a gehenden Lagerfugenflächen liegen.

Diefe Schraubenlinien durchfchneiden die Stirnebene $q s$ des fchiefen Gewölbes in den Punkten a_0, h_0 und i_0. Die lotrechten Projektionen befinden fich bezw. auf den durch a, d und e gehenden Kreifen des Normalfchnittes, find alfo in a, h und i beftimmt. Die Verbindungslinie $a h i$ diefer Punkte ift die lotrechte Projektion der Schnittlinie der Schraubenfläche, welche der durch a gehenden Lagerkante zukommt, mit der Ebene der Gewölbftirn.

Projiciert man diefe Schnittlinie in die Stirnebene S auf bekanntem Wege, fo erhält man die wirkliche Geftalt $a_{,,} h_{,,} i_{,,}$ derfelben.

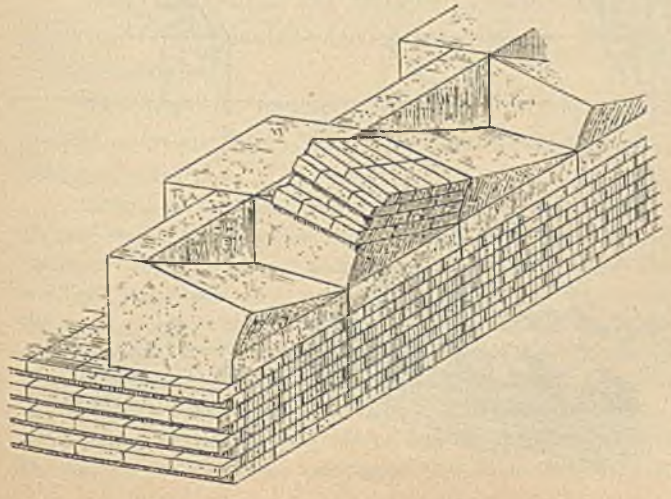
Wendet man das angegebene zeichnerifche Verfahren auch für die durch k gehende Lagerkante an, fo erhält man in $k_{,,} l_{,,}$ die zugehörige Schnittlinie und in dem ebenen Flächenftücke $a_{,,} h_{,,} i_{,,} l_{,,} k_{,,}$ die nötige vordere Brettung für den hier gewählten Stirnftein.

Fig. 107.



Die Beftimmung der Brettungen für die Kämpferfteine wird, nachdem die Projektionen derfelben ermittelt find, foweit dabei die Anfätze für die Wölbfteine in Frage kommen, nach den für diefe Steine gegebenen Vorfchriften bewirkt. Die übrigen Begrenzungsflächen ergeben fich als Ebenen, welche unmittelbar nach den Projektionen derfelben feftgelegt werden können. Bei nicht fehr breiten Wölbfteinen läfst man zweckmäfsig zwei Wölbfcharen gegen einen Kämpferftein A treten, welcher alsdann, wie Fig. 107 zeigt, eine dementfprechende Länge erhält.

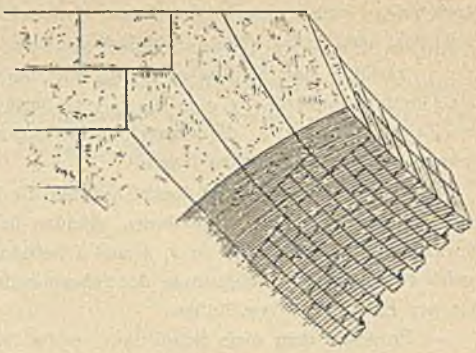
Fig. 108.



Schiefe Gewölbe, welche vollftändig aus Haufteinen hergeftellt werden follen, find infolge der erheblicheren, durch die befondere Geftalt der Wölbfteine entfpringenden Steinhauerarbeiten nicht billig. Um die Koften für fchiefe Gewölbe zu vermindern, können diefelben auch aus Backfteinmaterial ausgeführt werden, wobei jedoch unter fonftiger Beobachtung

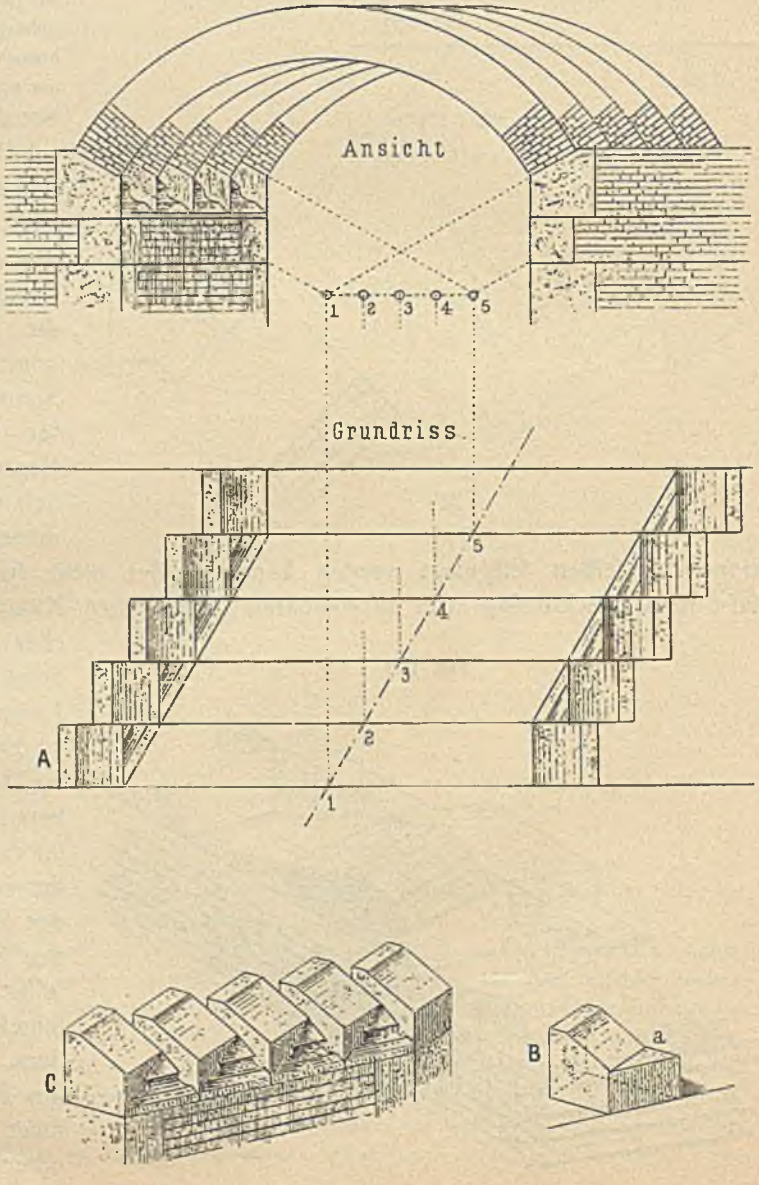
des englifchen oder auch des franzöfifchen Fugenfchnittes, zur Vermeidung des häfslichen und unzweckmäfsigen Verhauens der Backfteine an den Kämpfern und den Häuptern, fowohl die Kämpferfteine als auch die Stirnfteine am ratfamften aus Quadern, wie in Fig. 108 u. 109 angegeben, angefertigt werden. Zwifchen den zufammengehörigen Kämpfer- und Stirnfteinen find alsdann die aus Backftein beftehenden Wölbfcharen in regelrechtem Verbande in gewöhnlicher Wölbweife einzubringen.

Fig. 109.



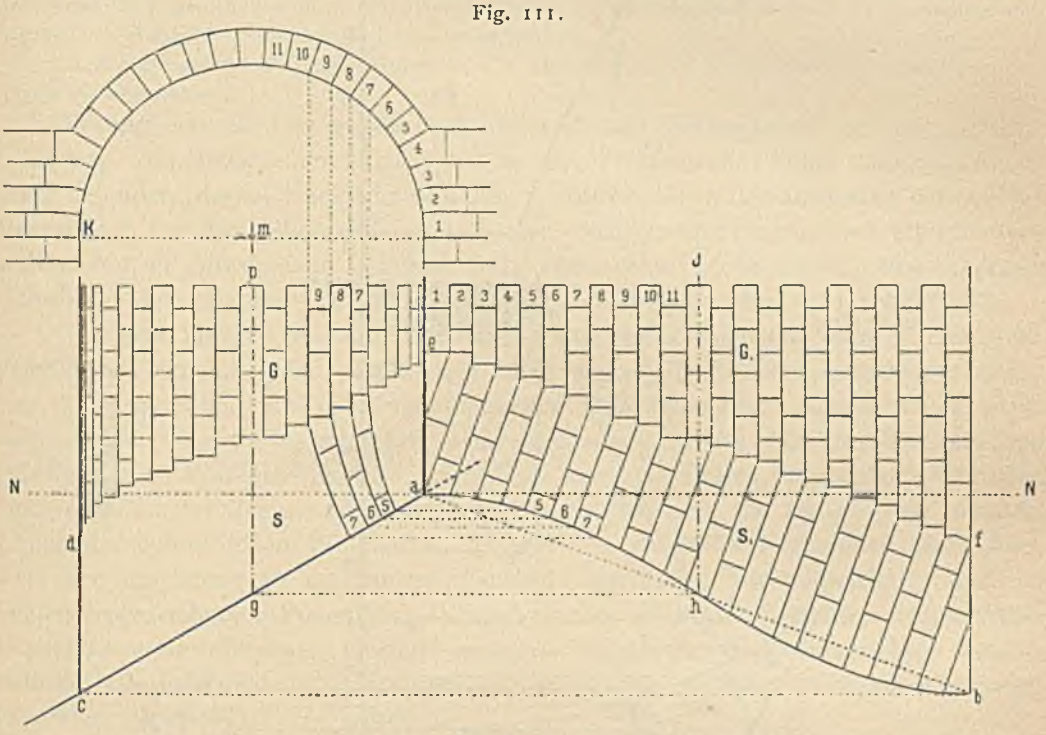
Um die Schwierigkeiten, welche bei der Ausführung von fchiefen Gewölben in gewiffem Grade immer entftehen, zu befeitigen, können verfchiedene mehr oder weniger gute Aenderungen in der Gewölbebildung derfelben vorgenommen werden. Die einfachfte Anordnung zum Umgehen des regelrechten Wölbens fchiefer Gewölbe befteht nach Fig. 110 darin, dafs man einzelne parallel zur Stirn geftellte Gurtbogen *1, 2* u. f. f. als kurze gerade Tonnengewölbe nebeneinander ausführt, welche unter fich eine Verbindung durch eiferne Anker erhalten. Die gefamte Laibungsfläche diefer Gewölbebildung zeigt alsdann fichelartige lotrechte Flächen neben den cylindrifchen Flächen der Gurte, wodurch kein befonders fchönes Ausfehen entfpringt. Zweckmäfsig werden die Kämpfer-

Fig. 110.



ſteine *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 vorteilhaft bei Quadermaterial, wie Fig. 111 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 Ausmittelung 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. 111.

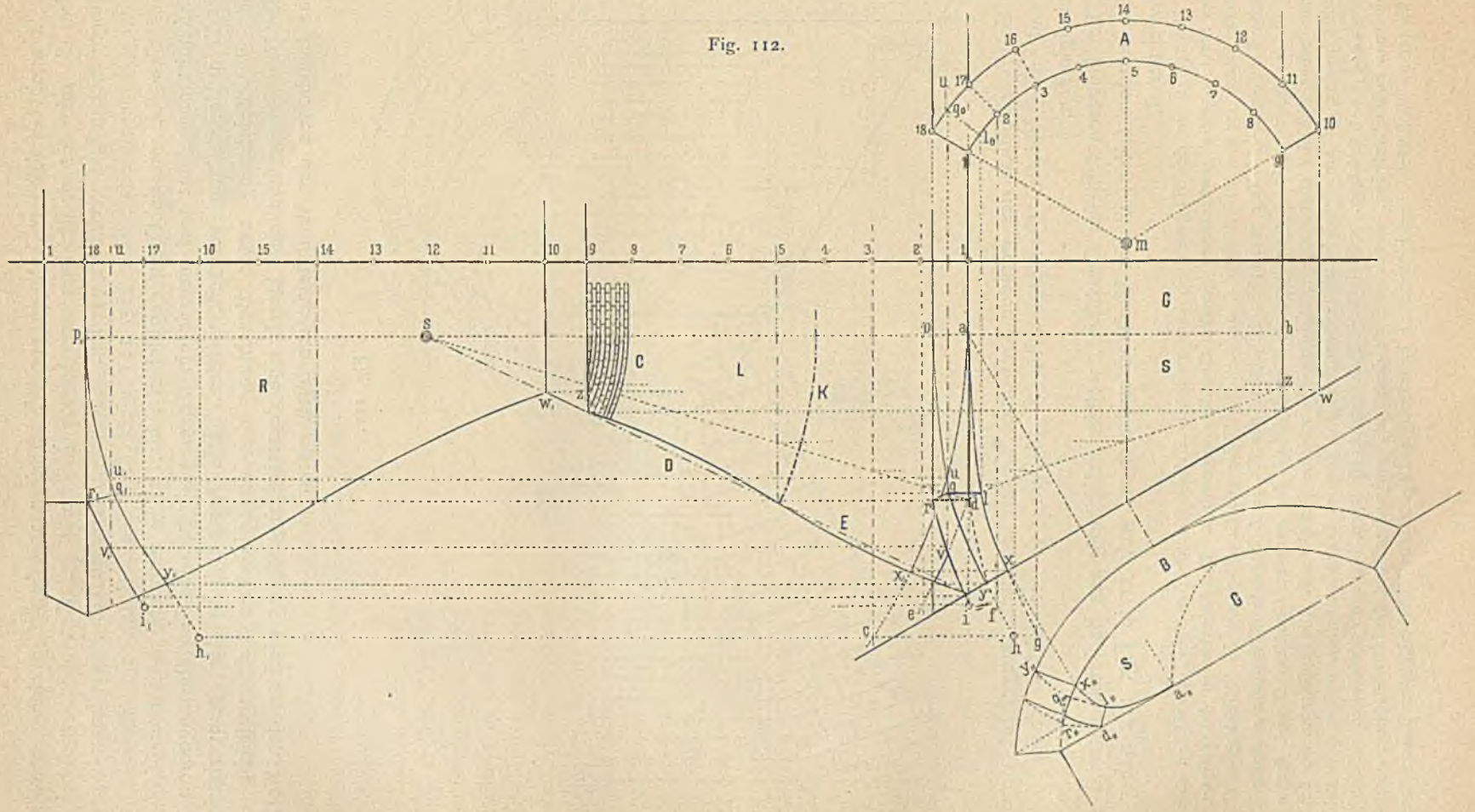


Soll das Stück des geraden Gewölbes *G* aus Backſtein ausgeführt werden, während die ſchiefen Quadergewölbe *S* bleiben, ſo erwachſen dabei keine Schwierigkeiten.

Bei längeren ſchiefen Gewölben, welche vollſtändig aus Backſteinmaterial ausgeführt werden ſollen, iſt ein Verband anzuordnen, welcher in Fig. 112 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 Gewölbeteile bilden in der Abwickelung *L* der Laibungsfläche des Gewölbes mit dem Kreisbogen *K* konzentriſche Kreisbogen *C*. Der gemeinſchaftliche, auf der Fläche *L* liegende Mittelpunkt *s* dieſer Kreisbogen iſt der Schnittpunkt der verlängerten Grenzlinie *a b* des geraden Gewölbes *G* und der weiter geführten Sehne *D E* der abgewickelten Stirnlinie des ſchiefen Gewölbes *S*. Die Stoſskanten der ſchiefen Gewölbſtücke ſind auf der abgewickelten Laibungsfläche in geraden Linien enthalten, welche einer radialen Richtung *s a*, *s d* u. ſ. f. folgen. Auf die Wölbfläche zurückgeſchlagen, liegen die Stoſskanten auf durchweg verſchiedenen Schraubenlinien, wovon eine *d z* derſelben, entſprechend *d z*, der Abwickelung, gezeichnet iſt. Die auf die Wölbfläche zurückgebrachten kreisförmigen Lagerkanten bilden beſondere Kurven, welche

Fig. 112.



wie $a\,g$, entſprechend dem Kreisbogen $a\,c$ der Abwickelung, oder wie $d\,f$, entſprechend dem Kreisbogen $d\,e$, mit Hilfe der Cylindererzeugenden $1, 2, 3$, 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 lotrechte Projektion l_0 iſt, die Gerade $l_0\,q_0$, welche nach dem Mittelpunkte m des Normalſchnittes des Gewölbes gerichtet wird, eine ſolche Erzeugende. Da dieſelbe in einer rechtwinkelig zur Gewölbachſe ſtehenden Ebene liegt, ſo erhält man ihre wagrechte Projektion in $l\,q$ und hierdurch die Projektion einer etwa hier vorhandenen Stoſsflächenkante eines Backſteines. In gleicher Weiſe iſt $d\,r$ beſtimmt. Ermittelt man auf dem ſchon früher in Fig. 35 angegebenen Wege die den Lagerkanten $a\,g$, $d\,f$ zugehörigen Rückenlinien $p\,q\,y\,h$, bezw. $r\,v\,i$, ſo iſt die wagrechte Projektion 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, 18* der Cylinderfläche leicht geſchehen kann, ſo ergiebt ſich die allgemeine Anordnung des Fugenſchnittes im ſchiefen Gewölbe S, wobei die Stoſsfugenkanten $d\,l$, $q\,r$, Schraubenlinien folgend, ſich ebenfalls in einfacher Weiſe ermitteln laſſen.

In der Stirnanſicht B ſind die Kurven $a_{,,}\,l_{,,}\,x_{,,}$ und $q_{,,}\,y_{,,}$, den Kantenlinien $a\,l\,x$, bezw. $q\,y$ 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 Gewölbeanordnung für eine Quaderausführung in den ſchiefen Gewölbeteilen in Anwendung kommen ſoll, zumal eine ſolche Löſung eine ſchönere Geſtaltung des geſamten Gewölbes zuläſst, als ſolche nach Fig. 111 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 nebeneinander liegenden Wölbſcharen aufgeriſſen.

54. Einhüftige Gewölbe.

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, gleichgültig welches Material auch zur Einwölbung benutzt wird, weſentlich der gewöhnliche Verband auf Kuf in Anwendung.

12. Kapitel.

Kappengewölbe.

(Preufsifche Kappen.)

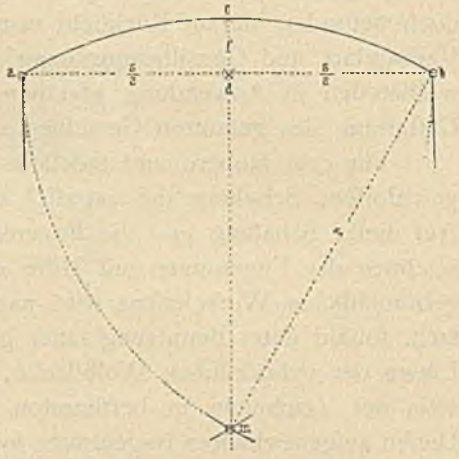
a) Geftaltung der Kappengewölbe.

55. Geftalt.

Das Kappengewölbe oder die preufsifche Kappe ift im allgemeinen der obere Abfchnitt eines geraden Tonnengewölbes. Seine Laibungsfläche ift demnach ein Teil der halben Oberfläche eines geraden Kreiscylinders, fo dafs die Wölblinie ein flacher Kreisbogen wird. Das Pfeilverhältnis diefer Wölblinie ift ftets gering, fo dafs danach diefes Gewölbe als ein fog. flachbogiges auftritt. Für diefes Pfeilverhältnis ift im Hochbauwefen $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{7}$ in Anwendung gekommen.

Zweckmäfsig wird aber die Wölblinie fo genommen, dafs die Pfeilhöhe derfelben $\frac{1}{8}$ der Spannweite beträgt oder, was nahezu dasfelbe ift, wenn die Wölblinie als Kreisbogen befchrieben wird, deffen Halbmeffer nach Fig. 113 gleich der Spannweite des zu bildenden Kappengewölbes ift.

Fig. 113.



Die Rückenlinie der meiftens nur ½ bis 1 Backftein ftarken Kappengewölbe, die kurz auch nur »gerade Kappen« oder »Kappen« genannt werden, ift in der Regel ein mit der inneren Wölblinie konzentrifch befchriebener Kreisbogen.

Von anderen gefetzmäfsig gebildeten krummen Linien macht man für die Wölblinien der Kappengewölbe keinen Gebrauch. Auch die Spannweite derartiger Gewölbe, welche von vornherein in das Bauwefen eingeführt find, um bei den für Hochbauten damit zu fchaffenden Decken eine möglichft geringe Konftruktionshöhe zu erzielen, ift auf geringe Abmeffungen bis höchftens auf etwa 5 m zu befchränken.

Hieraus ergiebt fich, dafs die Geftaltung des Kappengewölbes, welches, weil es vielfach in Preufsen ftatt des Tonnengewölbes zur Deckenbildung für Kellerräume, Gänge, Gefchäftszimmer u. dergl. in Anwendung gekommen ift und noch benutzt wird, auch »preufsifche Kappe« genannt wird, eine äufserft einfache ift.

56. Ueberwölbung gröfserer Räume.

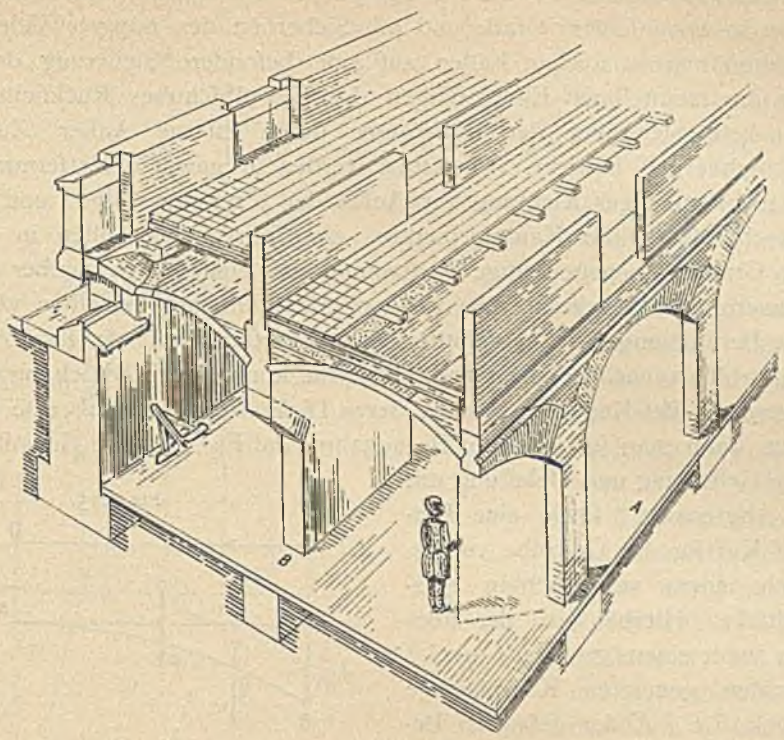
Soll ein gröfserer Raum mit Kappengewölben überdeckt werden, fo find bei der verhältnismäfsig eng begrenzten Spannweite derfelben mehrere Gewölbjoche zu bilden (Fig. 114), welche fich gegen befonders herzurichtende, den Raum, bezw. die Decke trennende Tragkonftruktion A, B und fchliefslich in den beiden äufserften Jochen oder Feldern gegen die Umfangsmauern des Raumes legen.

Diefe eingefügten, wiederum als Widerlager der einzelnen nebeneinander liegenden Kappengewölbe auftretenden Zwifchenkonftruktionen können fein:

1) volle Mauern;

2) kleinere und fchmalere flachbogige oder tonnengewölbartige Bogenftellungen, fog. Gurtbogen, deren Achfen rechtwinkelig zu den Achfen der Kappengewölbe ftehen;

Fig. 114.



3) eiſerne Träger, welche parallel mit den Gewölbachſen laufen und nur an den Enden aufruhen oder auch noch zwiſchen den Endauflagern durch Säulen oder andere Freiſtützen, unter Umſtänden auch durch Unterzüge unterſtützt ſind (ſiehe auch unter A, Kap. 1, unter a u. b).

Dieſe Anordnungen geſtatten für die Geſamtgeſtaltung der Kappengewölbe über gröſseren Räumen dennoch eine möglichſt freie Benutzung derſelben und namentlich bei der geringen Konſtruktionshöhe ſolcher Gewölbzüge auch die Anlage entſprechend hoher Licht- bezw. Thüröffnungen in den Umfangsmauern des zu überdeckenden Raumes, nicht allein in den rechtwinkelig zu den Gewölbachſen ſtehenden Schildmauern, ſondern auch in den eigentlichen Widerlagsmauern. Hierdurch bietet in dieſer Beziehung das Kappengewölbe dem Tonnengewölbe gegenüber groſse Vorteile. Werden dennoch auch bei Kappengewölben für die Licht- oder Thüröffnungen unter Umſtänden Stichkappen erforderlich, ſo gilt für dieſe das ſchon beim Tonnengewölbe in Art. 14 (S. 21) Mitgeteilte. Von einer eigentlichen Gliederung der Kappengewölbe durch Stichkappen hat man nicht zu ſprechen.

b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

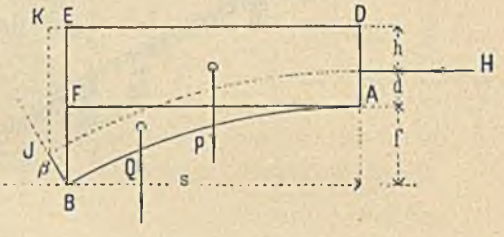
57. Prüfung der Gewölbſtärke.

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

wenn ihnen eine bedeutendere Höhe nicht gegeben werden kann, dem Gewölbſchube ohne weiteres in erwünſchtem Grade und mit Sicherheit den nötigen Widerſtand zu leiſten, ſo nimmt man in ſolchen Fällen auf eine beſondere Sicherung der Widerlager gegen die nachteiligen Einwirkungen des Gewölbſchubes Rückſicht. In der Regel wird dieſe Sicherung der Widerlager durch eiſerne Anker (Zugſtangen, Schlaudern, Schlieſsen) bewirkt. Dieſelben werden in gewiſſen Entfernungen voneinander in rechtwinkeliger Richtung zur Achſe der Kappengewölbe, und zwar am beſten wagrecht durch die Kämpferpunkte, eingeführt. Sie ſollen in möglichſt erreichbarem Grade eine gegenſeitige Verſpannung der einander gegenüber liegenden Widerlagsmauern und hierdurch eine gröſsere Standfähigkeit derſelben veranlaſſen.

Für die Beſtimmung des Querſchnittes der Ankerſtangen iſt der Horizontalſchub der Kappengewölbe zunächſt maſsgebend. Derſelbe könnte nach Gleichung 62 (S. 52) berechnet werden. Bei Kappengewölben, deren Dicke ſelten mehr als eine Backſteinlänge beträgt, kann man jedoch unter Bezugnahme auf Fig. 115 den Gewölbſchub H, ſymmetriſche Geſtaltung und Belaſtung mit wagrechter Abgrenzung, ſowie eine Einwölbung auf Kuf für das Gewölbe vorausgeſetzt, nach einem vereinfachten Ausdrucke ermitteln. Hierbei wird das über der meiſtens unter einem groſsen Winkel β zur Wagrechten geneigten Kämpferfuge ruhende Stück $BEFK$ der geſamten Belaſtungsfläche $ADKFB$ als verhältnismäſsig ſehr klein vernachläſſigt. Der hierdurch begangene Fehler iſt an ſich geringfügig; er veranlaſst, wie aus Gleichung 62 zu erſehen iſt, einen etwas vergröſserten Wert des Gewölbſchubes H, was im vorliegenden Falle bei der Stabilitätsbeſtimmung des Gewölbes und ſeiner Widerlager nur als günſtig zu bezeichnen iſt.

Fig. 115.



Den in Art. 41 (S. 50) für das Tonnengewölbe gegebenen Entwickelungen ganz entſprechend, erhält man alsdann für den Gewölbſchub bei Kappengewölben, bei einer Tiefe gleich der Längeneinheit, den einfacheren Ausdruck

$$H = \frac{s^2}{12\,(d+f)}\,[6\,(d+h)+f] \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.} \quad \ldots \quad 82.$$

Ebenſo ergiebt ſich bei der eingeführten Vereinfachung für die Belaſtungsfläche $ADEFB$ der Wert

$$G = s\left(d+h+\frac{f}{3}\right) \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.} \quad \ldots \quad 83.$$

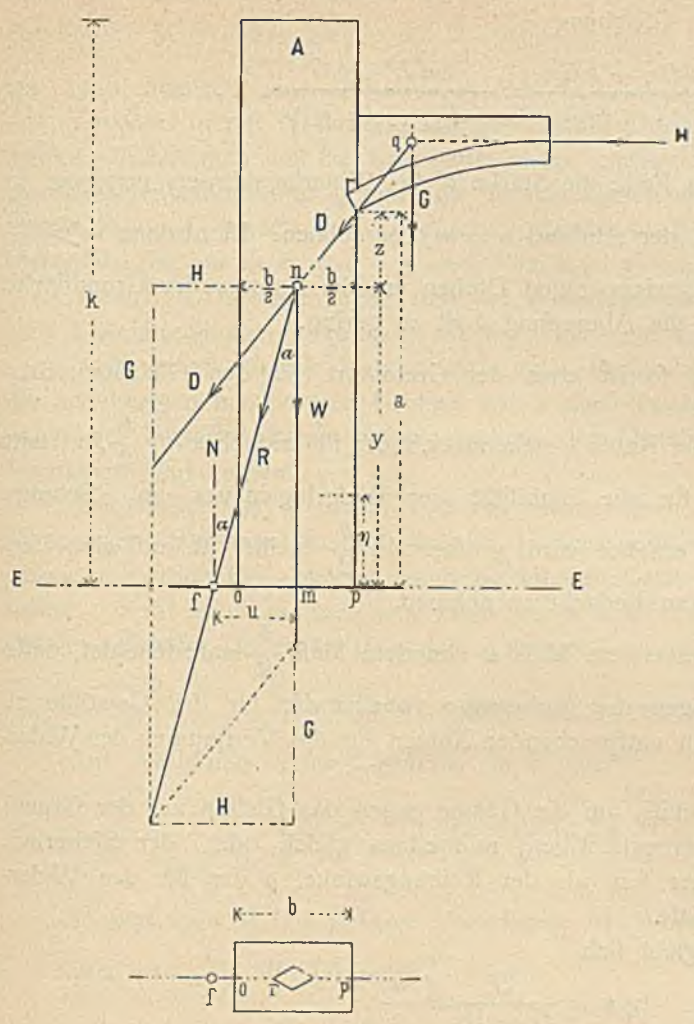
In dieſen beiden Gleichungen bedeuten s die halbe Spannweite, f die Pfeilhöhe, d die Scheitelſtärke und h die Höhe der Belaſtung über der Rückenlinie im Scheitellote des Gewölbes (in Met.).

58. Prüfung der Widerlagsſtärke.

Die Berechnung der Widerlagsſtärke würde nach der in Art. 26 (S. 68) gegebenen Gleichung erfolgen können. Da aber bei Kappengewölben die Beſtimmung der Widerlagsſtärke möglichſt ſchnell ſchon beim Entwurfe des Gewölbeplanes vorzunehmen iſt, ſo ſoll hier die dafür maſsgebende Ermittelung in einem anderen Gewande gegeben werden.

In Fig. 116 bezeichne A den Höhenſchnitt des Widerlagskörpers, deſſen Länge 1 m beträgt. Der Einfachheit halber und mit der praktiſchen Ausführung auch

Fig. 116.



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

Der Horizontalſchub H des Gewölbes und das Gewicht G der Gewölbhälfte fetzen ſich in q zu dem reſultierenden Gewölbdruck D zuſammen. Vereinigt man dieſen Druck in n mit dem Gewichte W des betrachteten Widerlagskörpers zur Mittelkraft R, ſo möge dieſelbe die Ebene EE der feſten und widerſtandsfähigen Grundfläche des Mauerkörpers in einem Punkte f treffen, deſſen Abſtand mf von der Mitte m der Grundfläche allgemein das Maſs u beſitzen möge. Der Neigungswinkel nfN, welchen die Mittelkraft R mit einer zu EE Lotrechten fN einſchliefst, ſei α. Wie aus der Zeichnung und aus einfachen geometriſchen Beziehungen erſichtlich, iſt ſofort $\frac{u}{y} = \frac{H}{G + W}$, alſo $u = \frac{H}{G + W} y$. Nun iſt $y = a - z$ und, da $\frac{\frac{z}{b}}{2} = \frac{G}{H}$, alſo $z = \frac{b\,G}{2\,H}$, auch $y = \frac{2\,a\,H - b\,G}{2\,H}$; ferner iſt bei dem rechtwinkeligen Querſchnitte des Mauerkörpers $W = b\,k$. Unter Benutzung dieſer Werte für y und M wird

$$u = \frac{2\,a\,H - b\,G}{2\,(G + b\,k)} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 84.$$

In dieſem Ausdrucke iſt a der lotrechte Abſtand der Kämpferlinie von der Ebene EE (in Met.).

Die Gleichung 84 hat aber nur Gültigkeit, wenn die Dichtigkeit des Wölbmaterials und die auf dasſelbe zurückgeführte Belaſtung des Gewölbes der Dichtigkeit des Mauerkörpers vom Widerlager gleich iſt.

Iſt dagegen eine derartige Uebereinſtimmung der Dichtigkeiten, wie recht oft der Fall, nicht vorhanden, ſo iſt, wenn γ die Dichtigkeit für das Wölbmaterial und die Belaſtung, γ_1 dagegen die Dichtigkeit des Materials der Widerlagsmauer be-

zeichnet, zu beachten, dafs H und G mit γ und W mit γ_1 multipliziert werden müffen. Hiernach wird nach Gleichung

$$u = \frac{2aH\gamma - bG\gamma}{2(G\gamma + bk\gamma_1)} = \frac{2aH - bG}{2\left(G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 85.$$

Ift in einem befonderen Falle die Stärke b des Widerlagskörpers gegeben, fo läfst fich nach Gleichung 85 der Abftand $u = mf$ berechnen. Ift alsdann $u > \frac{b}{2}$ gefunden, fo ift kein Gleichgewicht gegen Drehen um die Kante o der Grundfläche des Widerlagers vorhanden; die Abmeffung b ift zu gering.

Ift $u = \frac{b}{2}$ berechnet, fo ift eben der Grenzwert für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen um die Kante o gekennzeichnet; ift endlich $u < \frac{b}{2}$, fo tritt fchon ein Sicherheitsgrad für die Stabilität der Widerlagsmauer ein. Solange $u = \frac{b}{2}$ oder, wie fich bald ergeben wird, gröfser als $\frac{b}{2}$ bleibt, ift auf eine Verankerung der Widerlagsmauern Bedacht zu nehmen.

Je weniger fich das berechnete Mafs u von dem Mafs $\frac{b}{2}$ unterfcheidet, defto geringer find die Entfernungen der Ankerzüge voneinander für das Gewölbe zu wählen, wenn diefelben einen entfprechenden Nutzen für das Verfpannen der Widerlagsmauern gewähren follen.

Der Winkel α endlich mufs, um die Gefahr gegen das Gleiten auf der Grundfläche des Widerlagers zu berückfichtigen, mindeftens gleich oder, der Sicherheit gegen Gleiten halber, kleiner fein als der Reibungswinkel ρ des für das Widerlager benutzten Mauermaterials.

Aus der Zeichnung ergiebt fich

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

oder, unter Berückfichtigung der befonderen, vorhin angeführten Dichtigkeiten der Baufloffe und da $W = bk$, auch

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 86.$$

Soll $\sphericalangle\alpha < \sphericalangle\rho$, d. h. $\sphericalangle\rho > \sphericalangle\alpha$ fein, fo ift auch $\operatorname{tg}\rho > \operatorname{tg}\alpha$, d. h.

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

mithin $\operatorname{tg}\rho \,.\, G + \operatorname{tg}\rho\, k\frac{\gamma_1}{\gamma}\, b > H$; folglich mufs auch

$$b > \frac{H - \operatorname{tg}\rho \,.\, G}{\operatorname{tg}\rho \,.\, k\frac{\gamma_1}{\gamma}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 87.$$

fein. Fände diefe Beziehung bei einem gegebenen Werte von b nicht ftatt, fo

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

Will man für eine andere wagrechte Schnittfuge unterhalb der Kämpferlinie des Gewölbes in der Widerlagsmauer die Stabilität gegen Drehen und gegen Gleiten prüfen, ſo hat man nur die wagrechte Ebene entſprechend höher zu verlegen und dieſer Lagenveränderung gemäſs die in den Gleichungen 85 u. 87 vorkommenden Werte a und k danach zu verkleinern. Rückte z. B. die Ebene EE um η Met. höher, ſo ginge a in $a_1 = a - \eta$ und k in $k_1 = k - \eta$ über.

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

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

Die Gleichung 85 iſt aber weiter zu benutzen, wenn für eine Anlage von Kappengewölben eine Breite b der im Höhenſchnitt rechteckigen Widerlagsmauer gefunden werden ſoll, welche einen beſtimmten Grad von Stabilität gegen Drehen beſitzt. Setzt man in derſelben allgemein $u = n\,b$, unter n irgend einen echten Bruch verſtanden, ſo erhält man den Ausdruck

$$2\,n\,k\,\frac{\gamma_1}{\gamma}\,b^2 + (2\,n+1)\,G\,b = 2\,a\,H.$$

Die Auflöſung dieſer Gleichung für b liefert

$$b = \frac{1}{4\,n\,k\,\frac{\gamma_1}{\gamma}}\left[-(2\,n+1)\,G \mp \sqrt{16\,n\,k\,\frac{\gamma_1}{\gamma}\,a\,H + (2\,n+1)^2\,G^2}\right]. \quad . \quad 88.$$

In derſelben iſt das poſitive Vorzeichen der Wurzelgröſse zu verwenden.

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

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

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

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

$$b = \frac{1}{k\,\frac{\gamma_1}{\gamma}}\left(-2\,G + \sqrt{6\,k\,\frac{\gamma_1}{\gamma}\,a\,H + 4\,G^2}\right). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 89.$$

Bei dieſer Abmeſſung von b trifft die Mittelkraft die Achſe op des rechteckigen Querſchnittes der Fuſsfläche des Widerlagers den Grenzpunkt r des inneren Drittels, d. h. den Grenzpunkt des ſog. Kernes des Querſchnittes, ſo daſs nun bekanntlich die vorhandene Breite den ſtatiſchen Anforderungen entſpricht, vorausgeſetzt, daſs Gleichung 87 für das Gleichgewicht gegen Gleiten keine gröſsere Breite vorſchreibt.

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

59. Berechnung der Verankerungen.

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

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

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

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

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

und zu auch gerippt. Sind die Ankerplatten, wie in der Regel der Fall, aufsen vor der Widerlagsmauer in freier Lage anzubringen, fo ift die gerippte Ankerplatte weniger empfehlenswert, weil die vorfpringenden Rippen das Anfammeln von Feuchtigkeit oder das Auflagern von Schnee zulaffen, wodurch nach und nach die Platten gefchädigt werden. Am beften wird für die hier vorliegenden Zwecke der trapezförmige Querfchnitt gewählt. Die Enden der Ankerftangen werden durch eine in der Mitte der Platte angebrachte Oeffnung geführt und durch eine geeignete Keil- oder Schraubenverbindung mit den Platten verknüpft.

Eine weitere wefentliche Forderung für das Herbeiführen einer tüchtigen Verankerung der Widerlager geht dahin, dafs fowohl die Ankerfplinte wie auch die Ankerplatten eine thunlichft grofse Mauerfläche, bezw. möglichft viele Steinfchichten der Widerlagsmauer faffen, um hierdurch die Uebermittelung des Gewölbfchubes auf eine gröfsere Fläche und die Verfpannung eines gröfseren Mauerkörpers zu bewirken. Diefer Forderung wird, wie an fich klar, weit beffer durch Ankerplatten, als durch die hochkantig aufliegenden Ankerfplinte genügt, da erfteren felbft bei nicht fehr grofsen Seitenabmeffungen eine weit gröfsere Lagerfläche gegeben werden kann, als den letzteren, welchen etwa nur 40 bis 60 cm Länge zugewiefen werden.

Sollen Ankerfplinte zur Verwendung kommen, fo giebt man denfelben bei ftarker Beanfpruchung der Zugftangen zweckmäfsig eine von den Oefen diefer Stangen ausgehende äfteartige Ausbreitung in Form von Buchftaben, Zahlen oder fonft entfprechend gebildeten Ornamenten, wie in Teil III, Band 1 (Abt. 1, Abfchn. 3, Kap. 5) diefes »Handbuches« näher angegeben ift.

Werden die Zuganker an den Enden mit Schraubengewinden verfehen, fo find unter Berückfichtigung des Umftandes, dafs beim kräftigen Anziehen der Schraubenmutter leicht eine Beanfpruchung der Enden der Ankerftange auf Torfion entftehen kann, für die Berechnung der Zugftangen die an der eben bezeichneten Stelle diefes »Handbuches« entwickelten Gleichungen 116 u. 117 (S. 152[12]) zu benutzen. Bezeichnet d' den inneren, d den äufseren Gewindedurchmeffer und d'' den äufseren Durchmeffer der Zugftange (in Centim.), fo ift

$$d'' = (1{,}173\ d' + 0{,}128)\ \text{Centim.}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad 90.$$

$$d = (1{,}139\ d' + 0{,}103)\ \text{Centim.}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad 91.$$

und hierin

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046\ \sqrt{P} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 92.$$

zu nehmen.

In Gleichung 92 bezeichnet P die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerftange aufzunehmen hat.

Die Beanfpruchung der Ankerftange durch Biegung, hervorgerufen von ihrem Eigengewicht, ift hier als gering im Vergleich zur Beanfpruchung durch P ohne weiteres vernachläffigt.

Befitzen die Enden der runden Zuganker Oefen, welche die Ankerfplinte aufzunehmen haben, fo find die Oefen in ihren Abmeffungen, wie in Art. 231 (S. 159[13]) des gedachten Bandes diefes »Handbuches« angegeben ift, zu berechnen.

[12]) 2. Aufl.: Gleichungen 139 u. 140 (S. 161). — 3. Aufl.: Gleichungen 147 u. 148 (S. 164).

[13]) 2. Aufl.: Art. 234 (S. 171). — 3. Aufl.: Art. 234 (S. 175).

Unter Verwertung der hierfür entwickelten Gleichungen 135 [14]) ist

$$\delta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{P\pi}{s''}\cdot\frac{1}{1+\frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.;} \quad \ldots\ldots\ldots 93.$$

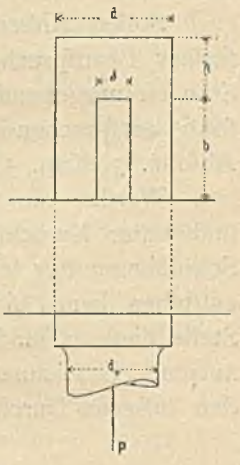
$$d = 2\sqrt{\frac{P}{\pi s''}\left(1+\frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.;} \quad \ldots\ldots\ldots 94.$$

$$b = \sqrt{\frac{P}{\pi t}\cdot\frac{s''}{t}\left(1+\frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.;} \quad \ldots\ldots\ldots 95.$$

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{P\pi}{t}\cdot\frac{s''}{t}\cdot\frac{1}{1+\frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.} \quad \ldots\ldots 96.$$

Hierin bezeichnet P wiederum die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerstange aufzunehmen hat; s' die zulässige Zugspannung in derselben, welche zu 800 kg für 1 qcm zu nehmen ist; s'' den sog. Lochlaibungsdruck hinter dem Keile, bezw. dem Ankersplinte gleich 1200 kg für 1 qcm, und t die zulässige Scherspannung in der Oese, bezw. im Keile oder im Ankersplinte, etwa gleich 640 kg für 1 qcm, während δ, d, b, h die aus Fig. 117 zu entnehmenden Bedeutungen für die Oese, bezw. für den Keil oder den Ankersplint haben.

Fig. 117.



Die Länge des Keiles ist gleich $2\,d$ (Gleichung 94) zu nehmen.

Die Oese wird durch Anstauchen der Enden der Ankerstange gebildet und diese demnach verstärkt. Diese durch d (Gleichung 94) bestimmte Verstärkung ist gröfser als der Durchmesser d_0 der eigentlichen Stange. Letzterer ist zu berechnen aus der Beziehung

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

so dafs

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi}\cdot\frac{P}{s'}} = \sim 1{,}13\sqrt{\frac{P}{s'}} \quad \ldots\ldots 97.$$

wird. Ankerstangen aus Flacheisen mit dem Querschnitte $\frac{P}{s'}$ sind bei der gewählten oder vorgeschriebenen Eisendicke δ' nach Gleichung 137 (S. 160 [15]) im angeführten Bande dieses »Handbuches« zu berechnen.

Hiernach sind die Abmessungen der Oese, bezw. des Keiles oder des Ankersplintes, mit Berücksichtigung der Bezeichnungen in Fig. 118, als

$$\delta = \frac{P}{s''\delta'};\quad b' = \frac{P}{\delta'}\cdot\frac{s'+s''}{s's''} \text{ Centim.;} \quad \ldots\ldots 98.$$

$$b = \frac{\delta'}{2}\,\frac{s''}{t};\quad h = \frac{P}{t\delta'} \text{ Centim.} \quad \ldots\ldots 99.$$

[14]) 2. Aufl.: Gleichungen 161. — 3. Aufl.: Gleichungen 170.
[15]) 2. Aufl.: Gleichung 163 (S. 172). — 3. Aufl.: Gleichung 172.

Fig. 118.

und

$$x = \frac{P}{\sigma' s'} \text{ Centim.} \quad \ldots \ldots \quad 100.$$

zu nehmen.

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

Für die Ankerplatten mit rechteckigem Querſchnitte und quadratiſcher oder kreisrunder Grundfläche können die für Grundplatten im bezeichneten Bande dieſes »Handbuches« (Art. 276, S. 182 [16]) angeführten Gleichungen 142 [17]) der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

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

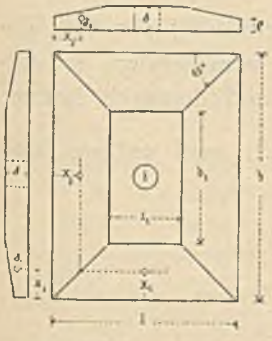
für gewöhnliches Backſteinmauerwerk . $F = \frac{P}{7}$ Quadr.-Centim.
» Klinkermauerwerk in Zementmörtel . $F = \frac{P}{12}$ » »
» Mauerwerk aus weniger feſten Quadern $F = \frac{P}{20}$ » »
» Mauerwerk aus ſehr feſten Quadern $F = \frac{P}{45}$ » » . . . 101.

Die Dicke δ in Centim. der Ankerplatten iſt

$$\left.\begin{aligned} \delta &= 0{,}055 \sqrt{P} \text{ für quadratiſche Platten} \\ \delta &= 0{,}05 \sqrt{P} \text{ für kreisrunde Platten} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \ldots \quad 102.$$

Für trapezförmige Ankerplatten wird unter Bezugnahme auf Fig. 119 die im angeführten Bande (2. Aufl.) dieſes »Handbuches« auf S. 223 gegebene Gleichung 194 [18]) füglich benutzt werden können. Hiernach wird

Fig. 119.



$$\left.\begin{aligned} \delta_1 &= 0{,}1\, x_1 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3l - 2x_1}{l - 2x_1}} \text{ Centim.} \\ \delta_2 &= 0{,}1\, x_2 \sqrt{\frac{\sigma_1}{3} \cdot \frac{3b - 2x_2}{b - 2x_2}} \text{ Centim.} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 103.$$

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

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

und bei quadratiſchem Auflager in der Seitenlänge

$$b = \sqrt{\frac{P}{\sigma_1} + i}. \quad \ldots \ldots \quad 104.$$

[16]) 2. Aufl.: Art. 282, S. 197. — 3. Aufl.: Art. 282, S. 202.
[17]) 2. Aufl.: Gleichungen 174. — 3. Aufl.: Gleichungen 184.
[18]) 3. Aufl.: Gleichungen 207, S. 231.

Bei diefen Platten ift $l = b$, fo dafs eine der Gleichungen 103 zur Berechnung von δ_1, bezw. $\delta_{,,}$ zu benutzen ift.

Die Randftärke ρ beträgt paffend 2 cm. Die Gröfse σ_1 bezeichnet die zuläffige Preffung auf das Mauerwerk, gegen welches fich die Platte legt (in Kilogr. für 1 qcm); der Wert hierfür geht aus Gleichung 101 hervor.

Für gerippte Platten, welche aus dem früher angegebenen Grunde hier weniger in Betracht kommen, mufs auf den Gang der Berechnung verwiefen werden, welcher im mehrfach erwähnten Bande diefes »Handbuches« in Art. 294 (S. 199[19]) ff. betreten ift.

60. Zugkraft und Zahl der Ankerftangen.

In den für die Verankerung auszuführenden Berechnungen fpielt die Gröfse P der Zugkraft eine Rolle. Diefelbe hängt vom Gewölbfchube und von der Verteilung desfelben auf das Gewölbwiderlager ab. Sieht man von peinlich angeftellten Unterfuchungen ab, deren Ergebniffe doch nur auf mehr oder weniger berechtigten Vorausfetzungen beruhen, fo kann man unter der Annahme eines für jede Längeneinheit der Widerlagsmauern gleichförmig und ftetig verteilten Gewölbfchubes die Gröfse von P leicht feftfetzen, welche für die Zuganker entfteht und für die Stabilität der Widerlagsmauern verwertet werden foll.

Ift L Met. die ganze Länge des Kappengewölbes zwifchen den Stirnmauern, H der Gewölbfchub für 1 m Länge nach Gleichung 82 (S. 124) und γ das Gewicht des Wölbmaterials in Kilogr. für 1 cbm, fo wird der gefamte Gewölbfchub

$$P = L H \gamma \text{ Kilogr.} \quad \ldots \quad 105.$$

Ift m die Zahl der in beftimmten Abftänden zwifchen den Stirnmauern einander parallel einzulegenden runden Zuganker, deren Durchmeffer je d_0 Centim. beträgt, fo ift, wenn s' wie früher die zuläffige Zugfpannung (in Kilogr. für 1 qcm) bezeichnet,

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

$$m = \frac{4 L H \gamma}{\pi d_0^2 s'} \quad \ldots \quad 106.$$

Ift d_0 von vornherein in einem praktifchen Mafse für die Zuganker feftgefetzt, fo ergiebt fich nach Gleichung 106 die erforderliche Anzahl derfelben. In der Regel ift bei gewöhnlichen Kappengewölben d_0 zu $2\frac{1}{2}$, 3 bis höchftens zu 5 cm zu nehmen.

Meiftens ift aber die Zahl m vorweg durch die Plangeftaltung der Gewölbanlage beftimmt. Liegen diefelben in gleichen Abftänden voneinander, fo entftehen bei m Zugftangen $m + 1$ Abteilungen der Länge L, und demnach kommt für jede Zugftange eine Kraft $\frac{L H \gamma}{m+1}$ in Rechnung. Hiernach wird entfprechend Gleichung 106 $\frac{\pi}{4} d_0^3 s' = \frac{L H \gamma}{m+1}$ oder

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{L H \gamma}{(m+1) s'}} = \sim 1{,}13 \sqrt{\frac{L H \gamma}{(m+1) s'}} \text{ Centim.} \quad \ldots \quad 107.$$

Liegen dagegen die Zuganker in Abftänden von ungleicher Weite, fo ift, wenn l Met. die gröfste überhaupt vorkommende Entfernung zwifchen zwei Ankerftangen bezeichnet,

$$d_0 = \sim 1{,}13 \sqrt{\frac{l H \gamma}{s'}} \text{ Centim.} \quad \ldots \quad 108.$$

[19]) 2. Aufl.: Art. 299 (S. 224). — 3. Aufl.: Art. 302 (S. 233).

zu nehmen. Hierbei ist zu bemerken, dafs derartige ungleich weite Abstände für die Zuganker dem ganzen System weniger zuträglich sind und daher thunlichst vermieden werden müssen. Sehr grofse Abweichungen zwischen den einzelnen Weiten dürfen überhaupt nicht zugelassen werden. Bei geringfügigen Unterschieden in diesen Abständen ist dann für alle Ankerstangen der nach Gleichung 108 für l Met. berechnete Durchmesser d_0 beizubehalten. Von Wichtigkeit ist bei der Verankerung der Kappengewölbe auch das Anbringen von Zugankern an jeder Stirnmauer, um hierdurch dem erfahrungsgemäfs leicht eintretenden Ausweichen, bezw. Abreifsen der Widerlagsmauern an den Ecken des Raumes möglichst vorzubeugen. Die Entfernungen der Zuganker voneinander sollen höchstens 4 m, unter Umständen weit weniger betragen, weil bei zu grofsen Abständen der Verankerungen die nicht ausreichend starken Widerlagsmauern zwischen den Ankerzügen sich leicht ausbauchen und Mauerrisse erhalten.

61. Beispiel.

Beispiel. Ein aus Backstein von der Dichtigkeit 1,6 ausgeführtes Kappengewölbe mit einem Kreisbogen als Leitlinie ist 14,5 m lang; die Spannweite $2s$ desselben beträgt 3 m, also $s = 1{,}50$ m, und die Pfeilhöhe $f = 0{,}40$ m, also etwas über $\frac{1}{8}$ der Spannweite. Das Gewölbe stützt sich gegen Widerlagsmauern, welche ordnungsmäfsig aus festem Kalkstein von der Dichtigkeit 2,6 ausgeführt sind; die Stärke b derselben beträgt 0,60 m und die Höhe $k = 8{,}20$ m; die Kämpferhöhe a des Gewölbes beträgt 3,00 m. Das Gewölbe ist 1 Stein $= 0{,}25$ m stark, in den Zwickeln mit Backstein ausgemauert und mit einem Bretterfufsboden überlagert. Die Nutzlast des Gewölbes ist zu 400 kg für 1 qm Grundfläche bestimmt. Dieser nicht ganz geringfügigen Nutzlast entsprechend, wird die als wagrecht abgeglichene Belastungsfläche, auf Backsteinmaterial zurückgeführt, zu einer Höhe $h = \frac{400}{1600} = 0{,}25$ m im Scheitellote des Gewölbes gefunden. Vom Zurückführen des Gewichtes des mit Sand unterlagerten Bretterfufsbodens ist hier abgesehen.

1) Prüfung der Gewölbstärke. Man erhält nach Gleichung 82

$$H = \frac{1{,}5^2}{12\,(0{,}25 + 0{,}14)}\left[6\,(0{,}25 + 0{,}25) + 0{,}14\right] = 0{,}97 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 62 überschreitet dieser Wert die für H berechnete Gröfse bei 1 Stein starken Gewölben um 0,1 qm, bleibt aber von H für 1½ Stein Stärke um 1,06 qm entfernt. Wird nun das Gewölbe auch etwas stärker gepresst, als Gleichung 48 angiebt, so kann diese etwas gröfsere Pressung bei kleineren Gewölben doch zugelassen und die Gewölbstärke d zu 1 Stein als genügend angesehen werden.

Nach Gleichung 83 wird

$$G = 1{,}5\left(0{,}25 + 0{,}25 + \frac{0{,}14}{3}\right) = 0{,}95 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Bei den gegebenen Abmessungen ist zum Bestimmen des Normaldruckes N in der Kämpferfuge zuvor $\sin\alpha = \frac{s}{r}$ und, da $\frac{f}{s} = \frac{s}{2r - f}$, also $r = \frac{f^2 + s^2}{2f}$ ist,

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

mithin nahezu und hier genau genug $\alpha = 30$ Grad. Hiernach ist zufolge Gleichung 55

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

Dieser Wert bleibt nach der Tabelle auf S. 62 weit unter der für den Normaldruck N bei einem 1 Stein starken Gewölbe berechneten Gröfse. Mithin ist auch in dieser Beziehung die ausgeführte Gewölbstärke hinreichend.

2) Prüfung der Widerlagsstärke. Das Gewicht des Wölbmaterials samt Belastung ist $\gamma = 1600$ kg für 1 cbm, während das Gewicht des Mauerwerkes vom Widerlager $\gamma_1 = 2600$ kg für 1 cbm beträgt. Unter Benutzung von Gleichung 85 wird

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

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

Dieſes Ergebnis bedingt eine kräftige Verankerung der Widerlagsmauern.

Für den Gleichgewichtszuſtand gegen Gleiten muſs bei der Annahme des Reibungswinkels ϱ für Kalkſteinmauerwerk als $\operatorname{tg}\varrho = 0{,}7$ nach Gleichung 87

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

d. h. $0{,}60 > 0{,}326$ ſein. Solches iſt hier der Fall, mithin iſt Sicherheit gegen Gleiten der Widerlagsmauer auf ihrer Grundfläche bekundet.

Für eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Fuge der Widerlagsmauer geht die Gröſse k der Gleichung 87 in $k_1 = k - \eta = 8{,}2 - 3 = 5{,}2\,\text{m}$ über, und nun muſs

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

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

3) Berechnung der Verankerung. Wird die Zahl m der in gleichen Entfernungen voneinander zwiſchen den Stirnmauern angebrachten Zuganker zu 4 genommen, ſo iſt die Entfernung derſelben $l = \dfrac{14{,}2}{4+1} = 2{,}90\,\text{m}$ und ſomit die Zugkraft P für dieſelbe gleich dem reſultierenden Gewölbſchube für dieſe Länge l, d. h. $P = 2{,}9 \cdot 0{,}97 \cdot 1600 = 4500{,}8\,\text{kg}$, wofür 4500 kg geſetzt werden ſollen.

Für dieſe Beanſpruchung würde nach Gleichung 97, worin s' unter Berückſichtigung der Torſion, welche die Ankerſtange erleiden kann, gleich 600 kg für 1 qcm geſetzt werden ſoll, der Durchmeſſer der Stange

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

Die Zuganker erhalten aber an ihren Enden Schraubengewinde, deren äuſserer Ring von etwa 1 mm Tiefe nicht als tragfähig gelten kann. Aus dieſem Grunde iſt zunächſt nach Gleichung 92, worin auch $s' = 600\,\text{kg}$ berückſichtigt iſt, der innere Durchmeſſer zu beſtimmen als

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

wofür 3,3 cm genommen werden ſollen.

Alsdann wird nach Gleichung 91 der äuſsere Gewindedurchmeſſer $d = (1{,}139 \cdot 3{,}3 + 0{,}103) = 3{,}86\,\text{cm}$ und endlich nach Gleichung 90 der Durchmeſſer der Zugſtange ſelbſt

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

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

Die Ankerſtangen an jeder Stirnmauer können, da der für ihre Spannung maſsgebende reſultierende Gewölbſchub zu $\dfrac{l}{2} H_1 = \dfrac{2{,}9}{2} \cdot 0{,}97 \cdot 1600 = 2250\,\text{kg}$ angenommen werden darf, einen geringeren Durchmeſſer als die Zwiſchenanker erhalten. Für den inneren Gewindedurchmeſſer würde nach Gleichung 92

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

und hiernach der Durchmeſſer der Stange nach Gleichung 90

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

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

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

Giebt man den runden Zugankern an ihren Enden Oeſen, welche Keile, bezw. Splinte aufnehmen, die dann zweckmäſsig auf Ankerplatten lagern, ſo ſind zur Berechnung derſelben die Gleichungen 93 bis 96 und die Gleichung 100 anzuwenden. Man erhält alsdann nach Gleichung 97 den Stangendurchmeſſer, da s' beim Nichteintreten einer Torſion bei derartigen Ankern gleich 800 kg für 1 qcm geſetzt werden kann,

$$d_0 = 1{,}13 \sqrt{\frac{5400}{800}} = 2{,}91 = \backsim 3\,\text{cm}$$

und nun der Reihe nach entſprechend den Gleichungen 93 bis 96

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

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

$$l = \sqrt{\frac{4500}{4{,}1416 \cdot 640} \cdot \frac{1200}{640}\left(1+\frac{1200}{800}\right)} = \infty\ 3{,}3\ \text{cm},$$

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3500 \cdot 3{,}1416}{640} \cdot \frac{1200}{640} \cdot \frac{1}{1+\frac{1200}{800}}} = \infty\ 2\ \text{cm}.$$

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

4) Berechnung der Ankerplatten. Sollen quadratiſche gufseiſerne Ankerplatten mit einfachem rechteckigen Querſchnitte Verwendung finden, ſo iſt bei der Beanſpruchung $P = 4500$ kg die Dicke derſelben nach Gleichung 102

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

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

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

Hiernach wird unter Benutzung von Gleichung 104

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

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

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

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

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

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

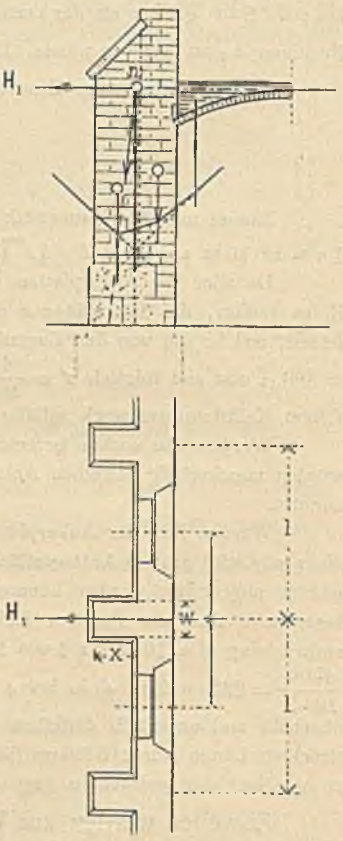
62. Strebepfeiler.

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

ſelben geſagt iſt, keine Vereinigung des Gewölbſchubes an einzelnen abgegrenzten Teilen der Widerlager vorhanden. Die Vorausſetzungen, welche hinſichtlich der Verteilung des Gewölbſchubes auf eine Widerlagsmauer mit Strebepfeilern zu Grunde gelegt werden, laſſen noch Zweifel zu. Obgleich dieſer Vorwurf auch die Verankerung treffen mufs, ſo iſt doch durch ſolche Anlagen erfahrungsgemäfs eine entſprechende Erhöhung der Standſicherheit der mit nicht ganz zureichender Stärke behafteten Widerlagsmauern in verhältnismäfsig einfacher Weiſe herbeizuführen. Die in der Höhe der Kämpferebene eingezogene Verankerung vermag eine beſſere Verſpannung der Widerlagsmauern und eine gröfsere Gegenwirkung für den Gewölbſchub auszuüben als die vorgelegten Strebepfeiler, welche etwa eine erhöhte Standfähigkeit der an ſich nicht ganz genügend ſtarken Widerlagsmauern der Kappengewölbe vermitteln ſollen.

Müſſen aus beſonderen Gründen ſtatt der Zuganker Strebepfeiler angeordnet werden, ſo iſt, unter Beachtung des in Art. 59 (S. 128) für die Unterſuchung der zwiſchen den Zugankern liegenden Mauerteile der Widerlager Geſagten, für die Strebepfeiler ſelbſt eine Entfernung von über 4 m von Mitte zu Mitte thunlichſt zu vermeiden. Die parallel zur Widerlagsmauer auftretende Breite der Strebepfeiler ſollte nicht unter 38, bezw. 40 cm betragen. Ihre rechtwinkelig zum Widerlager antretende Dicke iſt durch ſtatiſche Unterſuchung zu beſtimmen. Das bei dieſer Unterſuchung zu benutzende Verfahren entſpricht im Weſen ganz dem in Art. 24 (S. 57) über die Ermittelung der Stabilität eines Tonnengewölbes und ſeines Widerlagers Mitgeteilten. Im beſonderen iſt hier nur zu berückſichtigen, dafs unter Bezugnahme auf Fig. 120 der für den Körper des Strebepfeilers in Betracht kommende, im Punkte n angreifende reſultierende Horizontalſchub $H_1 = lH$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. bei der graphiſchen Unterſuchung oder als $H_1 = lH\gamma$ Kilogr. bei der rechneriſchen Ermittelung der Stabilität des Strebepfeilers einzuführen iſt. Die Gröfsen H und γ haben die früher angegebene Bedeutung; l iſt die Entfernung der Strebepfeiler von Mitte zu Mitte (in Met.).

Fig. 120.



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

Findet die Einwölbung der Kappengewölbe nicht auf »Kuf«, ſondern auf »Stich« oder »Schwalbenſchwanz« ſtatt, wovon unter c das Nähere mitgeteilt wird,

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

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

Iſt die Leitlinie des Kappengewölbes, wie eigentlich ſtets der Fall, ein flacher Kreisbogen, ſo iſt die Leitlinie jeder einzelnen Wölbſchar ein elliptiſcher Bogen, deſſen Kämpferpunkte in verſchieden hoch gelegenen wagrechten Ebenen auftreten. Im allgemeinen ſind demnach, ſtreng genommen, die einzelnen Wölbſcharen ſchmale einhüftige oder anſteigende Gewölbe, deren Gewölbſchub nach den in Art. 27 (S. 69) gemachten Angaben ermittelt werden kann, wenn dabei nur die Annahme gemacht wird, daſs etwas abweichend von der Wirklichkeit die ſeitlichen Begrenzungsflächen dieſer Wölbſcharen einander parallelen, lotrechten Ebenen angehören, während dieſelben, ſtreng genommen, in verſchieden zu einander geneigten Ebenen liegen, welche die Laibungsfläche des Gewölbes nach Ellipſenſtücken durchſchneiden, deren Grundriſsprojektionen ebenfalls gekrümmt ſind. Die Abweichung von der Wirklichkeit noch weiter zu treiben und auch Abſtand zu nehmen von der Eigenſchaft der Wölbſcharen, wonach dieſelben als einhüftige kleine Gewölbe erſcheinen, um dieſelben ohne weiteres als ſymmetriſch geformte und ſymmetriſch belaſtete Gewölbe anzuſehen, könnte füglich unterlaſſen werden, da die ſtatiſche Unterſuchung einhüftiger Gewölbe nebſt ihren Widerlagern keine erheblich zu nennende Schwierigkeiten verurſacht, ſofern überhaupt nicht ſehr hoch geſpannte theoretiſche Entwickelungen angeſtellt werden ſollen.

Eine in dem einfacheren Sinne geführte Unterſuchung eines auf »Schwalbenſchwanz« gewölbten Kappengewölbes iſt unter Benutzung des Verfahrens der graphiſchen Statik unter Beachtung einhüftig geformter Wölbſcharen in Fig. 121 vorgenommen. Sie ſoll dazu dienen, namentlich auch einen Einblick in die Einwirkung des Gewölbſchubes auf die Stirnmauern des überwölbten Raumes zu gewinnen; ſie ſoll aber auch durch ihren Gang die nötigen, beachtenswert erſcheinenden Anhaltspunkte gewähren, welche für die ſpäter zu berückſichtigende Stabilitätsermittelung der flachen Kloſtergewölbe, der Kreuzgewölbe u. ſ. f. weiter benutzt werden können, zumal der ſog. Verband auf »Stich« oder »Schwalbenſchwanz« in der Praxis des Gewölbebaues eine ſehr ausgedehnte Anwendung findet.

Es ſei $a\,b\,c\,d$ (Fig. 121) ein rechteckiger Raum von 4 m Breite und 8 m Länge. Derſelbe wird mit einem Kappengewölbe überdeckt, deſſen Leitlinie ein Kreisbogen iſt, der als ſog. Kreuzriſsbogen (Centriwinkel = 60 Grad) beſchrieben wurde. Das Pfeilverhältnis iſt demnach $\frac{1}{7{,}46}$, alſo etwas mehr als $\frac{1}{8}$.

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

Wird die Tiefe desſelben durch zwei parallele lotrechte Ebenen im Abſtande gleich der Längen-

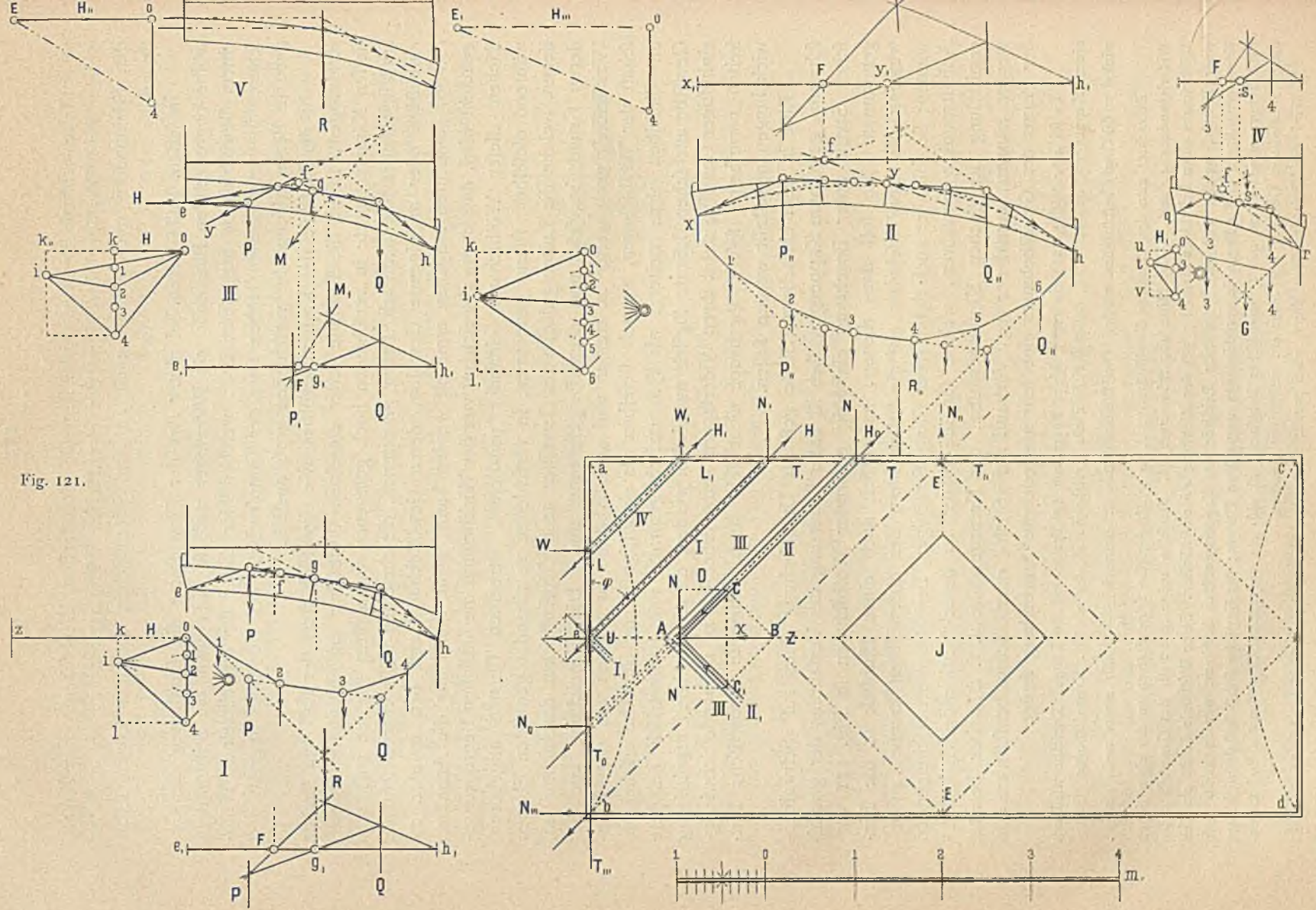


Fig. 121.

einheit begrenzt genommen, so kann bei gegebener oder gewählter Gewölbstärke und bei festgesetzter Belastung, zurückgeführt auf Wölbmaterial, die Stabilitätsuntersuchung des Gewölbstreifens ganz so vorgenommen werden, wie in Art. 27 (S. 69) mitgeteilt ist. Als Nutzlast sind 320 kg für 1 qm angenommen; die Gewölbstärke ist zu 1 Stein festgesetzt.

Für die Bestimmung der Mittellinie des Druckes $e g h$ wurde im Plane I die durch h und g gelegte Gerade als Polarachse benutzt. Der in g wirksame Gewölbschub ergiebt sich als $2i$, bezw. $i2$ im zugehörigen Kräftepolygon. Die in e und h auftretenden Drucke der Kämpferfugen bestimmen sich in demselben Polygon als oi, bezw. $i4$.

Der Druck H wird als wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes $2i$ der Größe nach gleich ok, bezw. ko. Denselben Wert besitzen auch die wagrechten Seitenkräfte der bezeichneten Kämpferdrücke, welche die Widerlagsmauer und die Stirnmauer treffen. Die lotrechten Seitenkräfte dieser Drücke sind ki, bezw. il.

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

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

Diesem Werte von H entspricht nach der auf S. 62 enthaltenen Tabelle eine Gewölbstärke von 1 Stein bis 1½ Stein. Da aber nach einer vorgenommenen Prüfung der größte Normaldruck N für die Kämpferfuge h nur $2 \cdot 0{,}88 = 1{,}76$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. beträgt, so wird hierfür nach der angeführten Tabelle eine Gewölbstärke von 1 Stein ausreichend. Bei Kappengewölben kann dieser Wert von N Berücksichtigung finden, und dieserhalb ist die Gewölbstärke mit 1 Stein gelassen. Dieselbe kann durchgängig beibehalten werden, weil innerhalb des Wölbgebietes $a E J U$ kein einziger mit I parallel laufender Wölbstreifen eine größere Spannweite als I selbst erhält. Dasselbe gilt auch für die übrigen Wölbgebiete, welche dieselbe Anordnung der Wölbstreifen erfahren, wie das bezeichnete Gebiet.

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

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

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

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

Für einen Streifen IV entsteht wiederum ein einhüftiges elliptisches Gewölbe, dessen Stabilitätsuntersuchung im Plane IV in bekannter Weise unter Benutzung der Polarachse $r s$ vorgenommen wurde. Der Horizontalschub H_1 ergab sich zu $0{,}31 \cdot 2 = 0{,}62$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met., mithin für die Dicke 0,065 m des Streifens zu

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

Dieser Schub trifft sowohl die Stirnmauer $a b$, als auch die Widerlagsmauer $a c$.

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

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

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

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

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

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

auftreten und folglich ein reſultierender Horizontalſchub allein für dieſe Schichten von $380 \cdot 226{,}24\,\text{kg} = \backsim 85\,972\,\text{kg}$ entſtehen, mithin ſich ein Ergebnis herausſtellen, welches als widerſinnig gelten muſs.

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

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

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

Die in den Kämpferpunkten e und h für ſich entſpringenden Kämpferdrücke ſind wieder $o\,i$, bezw. $i\,4$. Die wagrechten Seitenkräfte $II = o\,k$, bezw. $= l\,4$; die lotrechten Seitenkräfte $k\,i$, bezw. $i\,l$ ergeben ſich gleichfalls wie früher. Die von II und II_1 auf den Gewölbkörper, welcher bis III, bezw. III_1 reichte, übertragenen Horizontalſchübe ſetzen ſich zu einem in der Scheitellinie des Gewölbes wirkenden Horizontalſchub $X = 2\,D = 2\,H \sin\varphi$ zuſammen, während die winkelrecht zur Scheitellinie genommenen Seitenkräfte N der Horizontalſchübe H ſich im Gleichgewicht halten und die Endflächen der Streifen II und II_1 gegeneinander preſſen. Der noch übrig bleibende reſultierende Horizontalſchub X trifft zunächſt die angrenzenden Gewölbſtreifen III und III_1 im Punkte A und muſs ſelbſtverſtändlich durch ein entſprechendes Widerlager aufgehoben werden.

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

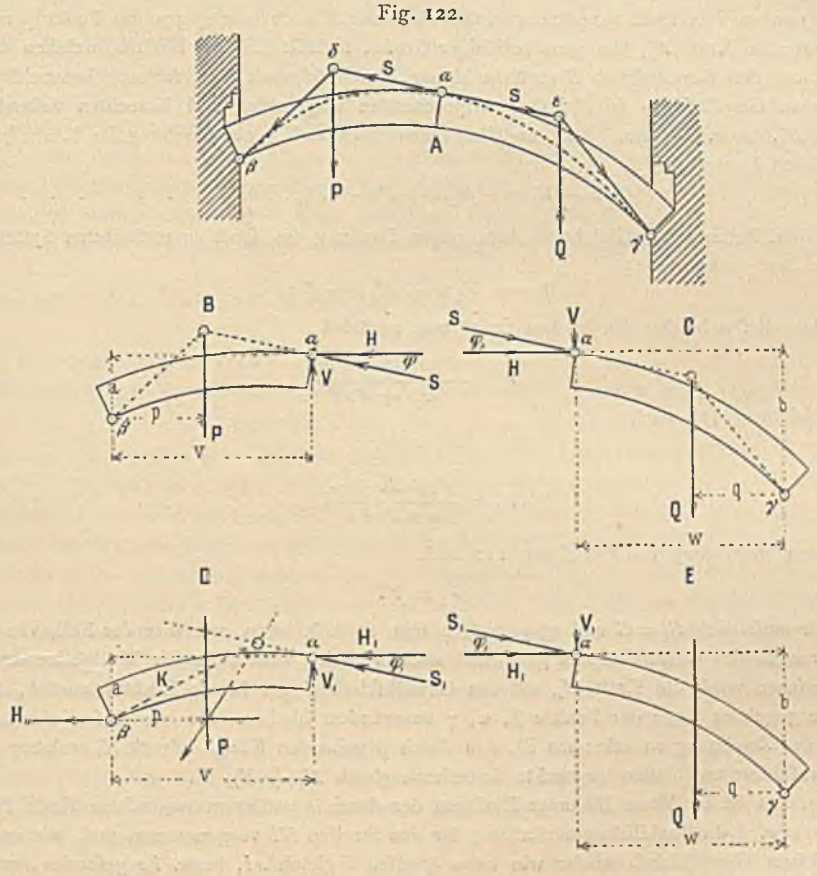
körper ſei in der Richtung der Scheitellinie durchſchnitten und lege ſich mit den voneinander getrennten Scheitelflächen ſeiner Streifen gegen eine unpreſsbare Strebe, deren Achſe in der Scheitellinie liegt, ſo daſs das eine Ende dieſer Strebe ſich gegen die Stirnmauer, das andere Ende derſelben gegen die ausſpringende Ecke der Streifen *III* und III_1 ſetzt, ſo würde dieſe Strebe den Horizontalſchub X allein aufnehmen und unmittelbar auf die Stirnmauer übertragen, ohne den übrigen Gewölbkörper in Mitleidenſchaft zu ziehen.

Würde man für jeden Streifen ſo verfahren, ſo käme allerdings die Summe aller Horizontalſchübe X der zahlreichen Wölbſtreifen von *I* bis *X* ohne weiteres auf die Stirnmauer, und zwar in der Richtung der Scheitellinie des Gewölbes. Eine derartige Anordnung einer Strebe findet aber nicht ſtatt; ein gewaltig groſser reſultierender Horizontalſchub für die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes kann gleichfalls bei ſehr langen Gewölben erfahrungsgemäſs nicht auftreten.

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

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

Fig. 122.



In Fig. 122 ſei für das einhüftige Gewölbſtück A der möglich kleinſte Gewölbſchub als S und die dazu gehörige, ganz in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes als $\beta\alpha\gamma$ gefunden. Um die Gröſse dieſes Gewölbſchubes durch Rechnung zu beſtimmen, iſt für die Gewölbteile B und C der Gewölbſchub S unter Berückſichtigung ſeiner Richtung gegen die beiden Gewölbteile in die beiden Seitenkräfte *H* und *V* zerlegt, wovon erſtere wagrecht, letztere lotrecht wirkend genommen ſind. Für den Gleichgewichtszuſtand gegen Drehung erhält man im Syſtem B, bezogen auf den Drehpunkt β, bei

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

$$0 = - Vv - Ha + Pp \quad \ldots \quad 109.$$

Für den Teil C mit dem Gewichte Q ergiebt fich in Bezug auf den Drehpunkt γ in entfprechender Weife

$$0 = - Vw + Hb - Qq \quad \ldots \quad 110.$$

Aus diefen beiden Gleichungen erhält man

$$H = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv} \quad \ldots \quad 111.$$

$$V = \frac{Ppb - Qqa}{aw + bv} \quad \ldots \quad 112.$$

und hiernach würde die Gröfse des Gewölbfchubes S aus der Gleichung

$$S = \sqrt{H^2 + V^2} \quad \ldots \quad 113.$$

zu beftimmen fein.

Der Neigungswinkel φ des Gewölbfchubes S zur Wagrechten wird ermittelt durch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V}{H} \quad \ldots \quad 114.$$

Wirkt nun an dem fonft unveränderten Gewölbftücke A noch eine gegen den Punkt β nach aufsen gerichtete wagrechte Kraft $H_{,,}$ von ganz beliebiger Gröfse, fo läfst fich der Einflufs, welchen diefe hinzugefügte Kraft auf den Gewölbfchub S ausüben könnte, durch folgende Unterfuchung kennzeichnen.

Der neue Gewölbfchub fei S_1; die entfprechenden wagrechten und lotrechten Seitenkräfte desfelben mögen H_1, bezw. V_1 fein. Für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung im Kräftefyftem D ift in Bezug auf den Drehpunkt β

$$0 = - V_1 v - H_1 a + Pp + H_{,,} . \text{Null}, \quad \ldots \quad 115.$$

während für den Zuftand des Gleichgewichtes gegen Drehung im fonft unveränderten Syftem E unter Annahme des Drehpunktes γ

$$0 = - V_1 w + H_1 b - Qq \quad \ldots \quad 116.$$

fein mufs. Aus diefen beiden Ausdrücken findet man zunächft

$$H_1 = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv} \quad \ldots \quad 117.$$

d. h. nach Gleichung 111 auch

$$H_1 = H$$

und fodann

$$V_1 = \frac{Ppb + Qqa}{aw + bv} \quad \ldots \quad 118.$$

oder unter Berückfichtigung von Gleichung 112 auch

$$V_1 = V.$$

Danach mufs auch $S_1 = S$ und $\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi$ fein, fo dafs, wenn, wie hier der Fall, von elaftifchen Formveränderungen des Gewölbkörpers ganz und auch von der Verkittung der Wölbfteine durch Mörtel vorläufig abgefehen wird, die Kraft $H_{,,}$ auf den Gewölbfchub S gar keinen Einflufs ausübt, fobald nur P, Q und die gegebene Lage der Punkte β, α, γ unverändert bleiben. Sie beeinflufst jedoch, wie ohne weiteres aus der Zeichnung zu erkennen ift, den durch β gehenden Kämpferdruck K, welcher aus $H_{,,}$, P und $S_1 = S$ refultiert und deffen wagrechte Seitenkraft gleich $H_1 + H_{,,}$ ift.

In Fig. 121 ift im Plane *III* unter Einfügen der durch e geführten wagrechten Kraft $H = ok$ des Streifens *II*, bezw. *I* die Stabilitätsunterfuchung für den Streifen *III* vorgenommen und, wie es fein mufs, der in g wirkfame Gewölbfchub wieder wie beim Streifen *I* gleich $2i$, bezw. $i2$ gefunden, während die wagrechte Seitenkraft $ok_{,,}$ des in e wirkenden Druckes $oi = 2H$ ift.

Da auf den Gewölbefchub der einzelnen Streifen durch Hinzufügen jener gekennzeichneten Kraft $H_{,,}$ kein Einflufs ausgeübt wird, da ferner eine unmittelbare Uebertragung der wagrechten Seitenkräfte der ftets gröfser werdenden Kämpferdrücke in den Scheitellinien der einzelnen Streifen von Z bis U auf die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes nicht als zuläffig erachtet werden kann, fo mufs die Beanfpruchung des zwifchen Z und U, bezw. zwifchen $\mathfrak{Z}$ und U befindlichen Gewölbkörpers, fowie auch der zwifchen a und dem Streifen I, bezw. zwifchen b und I_1 befindliche Streifen von der Befchaffenheit

des Streifens *IV* in anderer Weife erfolgen, als im Vorhergegangenen und hier und dort wohl auch irrtümlich bei der Stabilitätsunterfuchung von Kreuzgewölben, wenn deren Gewölbkappen gleichfalls auf Schwalbenfchwanzverband ausgeführt werden follen, angenommen wurde.

Hinfichtlich der Beanfpruchung der Stirnmauern durch den Gewölbfchub wird man der Wahrheit durch folgende Betrachtung näher kommen.

Der gefamte Gewölbkörper befteht im allgemeinen aus verhältnismäfsig kleinen Wölbfteinen, die, wenn auch entfprechend auf Schwalbenfchwanzverband geordnet, dennoch das Zerlegen in lauter nebeneinander liegende Zonen geftatten, welche fämtlich in ihren Achfen unter einem Winkel φ zur Stirnmauer gerichtet find und für die gröfste Länge des Gewölbes über die Scheitellinie desfelben mit hinweglaufen. Die Einwölbung nach einer folchen parallelen Zonenlage würde, wenn die Stützflächen derfelben gegen Gleiten gefichert find und auch fonft der Gleichgewichtszuftand der einzelnen Streifen bekundet ift, praktifch ohne Bedenken vorgenommen werden können. Für die theoretifche Unterfuchung hat diefe Zerlegung den Vorteil, dafs dadurch die möglicherweife eintretende ungünftigfte Beanfpruchung der Stirnmauer, bezw. Widerlagsmauer in Betracht gezogen wird.

Würden z. B. die Streifen *II* oder II_1 bis zur Stirnmauer *a b* erweitert gedacht, fo enthält diefe Zone einen Teil *II* oder II_1 als Hauptteil und den punktierten Teil als Nebenteil. Die gefamte Zone bildet alsdann ein einhüftiges Gewölbe, deffen Stabilität im Plane *II* unterfucht ift. Hiernach wird der in *x* angreifende Kämpferdruck für die Stirnmauer *a b* als $o i_1$ und der in *h* wirkfame Kämpferdruck für die Widerlagsmauer *a c* als $i_1 6$ gefunden. Diefelben fchliefsen mit den Normalen der zugehörigen Kämpferfugen einen Winkel ein, welcher hier weit kleiner bleibt als der Reibungswinkel des Materials, fo dafs die Gefahr des Abgleitens des Wölbftreifens, d. h. wie ausdrücklich bemerkt werden foll, nach dem Innenraume des Gewölbes zu, nicht vorhanden ift.

Zerlegt man die Kämpferdrücke in ihre wagrechten und lotrechten Seitenkräfte, fo kommen für die vorliegende Unterfuchung die wagrechten Seitenkräfte $o k_1$, bezw. $I_1 6$ hauptfächlich in Betracht. Beide find von gleicher Gröfse; fie meffen $1{,}20$ m. Bei einer Zonentiefe von 1 m und bei der zu Grunde gelegten Bafis $o z = 2$ m entfprechen diefelben einer Kraft von $1{,}20 \cdot 2 \cdot 1600 = 3840$ kg und fomit für den Streifen von $^1/_2$ Stein $= 0{,}065$ m einer Kraft von $0{,}065 \cdot 3840 = 249{,}6$ kg $= H_0$.

Diefe Kraft H_0 läfst fich am Widerlager *a c* zerlegen in eine Kraft

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

welche fenkrecht auf *a c* wirkt, und in eine Seitenkraft

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

welche in die Richtung von *a c* fällt.

Die entfprechend vorgenommene Zerlegung von *H* an der Stirnmauer *a b* ergiebt

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

Da hier der Winkel $\varphi = 45$ Grad genommen war, fo wird, weil $\sin 45^0 = \cos 45^0$ ift, auch $N = T = N_0 = T_0$, und zwar $= H_0 \cdot 0{,}7071 = 249{,}6 \cdot 0{,}7071 = \backsim 176{,}5$ kg.

Hierbei ift nun noch zu bemerken, dafs die Kräfte T und T_0 das Beftreben haben, den Gewölbftreifen längs der Widerlagsfläche zum Gleiten zu bringen. Um diefes Gleiten bei dem noch nicht vollendeten Gewölbe zu verhindern, könnten die Widerlagsflächen für jene Zone rechtwinkelig zur Zonenebene, alfo in der Gefamtheit fägeförmig ausgeführt werden. Eine folche Anordnung unterbleibt meiftens, und beim Einwölben ift alsdann ein gut und fchnell bindender Mörtel zu verwenden. Ift das Gewölbe in allen Schichten am Widerlager angefetzt, fo halten fich die in der Richtung von *a* nach *E* und die in entgegengefetzter Richtung von *c* nach *E* beim Schwalbenfchwanzverband entftehenden Kräfte T das Gleichgewicht.

Bei der Berückfichtigung der Prefsbarkeit des Wölbmaterials find, wie früher in Art. 22 (S. 54) fchon erwähnt, z. B. für den Streifen *II* die Punkte *x*, *y* und *h* mehr in das Innere der Stirnfläche zu verlegen. Hierdurch entfteht jedoch ein gröfserer Gewölbfchub, welcher nach den gemachten Angaben leicht beftimmt werden kann.

Wäre der Gewölbkörper in den Ecken von *a* und *b*, bezw. von *c* und *d* aus nur bis zu den von der Mitte *e* der Stirnmauer *a b* abzweigenden Streifen *I* und I_1 ausgeführt und dann nach befeitigter Unterrüftung fich felbft überlaffen, fo würde ein Einzelftreifen von der Befchaffenheit der Wölbfchicht *IV* nach der Unterfuchung im Plane *IV* nur einen wagrechten Schub $o u = 0{,}4 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0{,}065$ kg $= 83{,}2$ kg liefern. Die Seitenkräfte $W_1 = 83{,}2 \cdot \cos \varphi$ und $W = 83{,}2 \cdot \sin \varphi$, d. h. hier $W_1 = W = 83{,}2 \cdot 0{,}7071$ kg $= \backsim 59$ kg würden in folchem Falle, bei dem die Eckftücke des Gewölbkörpers durch das ganze übrige Gewölbe noch nicht in Mitleidenfchaft gekommen find, für die Widerlagsmauer, bezw. Stirnmauer in Rechnung zu ziehen fein. Sobald aber die Gewölbftreifen in der Richtung von *e* nach *y* zu weiter aus-

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

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

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

In der Mitte e der Stirnmauer wirkt als ungünstigster rechtwinkeliger Schub die auf S. 139 ermittelte Kraft $U = 226{,}24\,\text{kg}$. Setzt man in der angegebenen Weise, der Zonenteilung gemäss, die Untersuchung der einzelnen Wölbstreifen fort, so gelangt man in bE zu einem Wölbstreifen von grösster Spannweite. Derselbe tritt nun aber als symmetrisch geformtes und symmetrisch belastetes kleines Gewölbe mit elliptischer Wölblinie auf. Die statische Untersuchung dieses Streifens ist im Plane V vorgenommen. Man erhält hiernach den möglich kleinsten, jetzt wagrecht gerichteten Gewölbschub $E_0 = H_{,,}$ zu

$$1{,}35 \,.\, 2 \,.\, 1600 \,.\, 0{,}065\,\text{kg} = 322{,}4\,\text{kg}.$$

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

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

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

Für einen Hauptstreifen bE ist noch derjenige wagrechte Gewölbschub $E_1 o = H_{,,,}$ im Plane V ermittelt, welcher einer Mittellinie des Druckes angehört, die durch die Mittelpunkte der angenommenen Scheitelfuge und der Kämpferfuge geht.

Es ist selbstredend, dass für die sichere Standfähigkeit der Widerlagsmauern dieser grössere Gewölbschub, wie in Art. 23 (S. 57) für das Tonnengewölbe angegeben, Berücksichtigung finden soll.

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

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

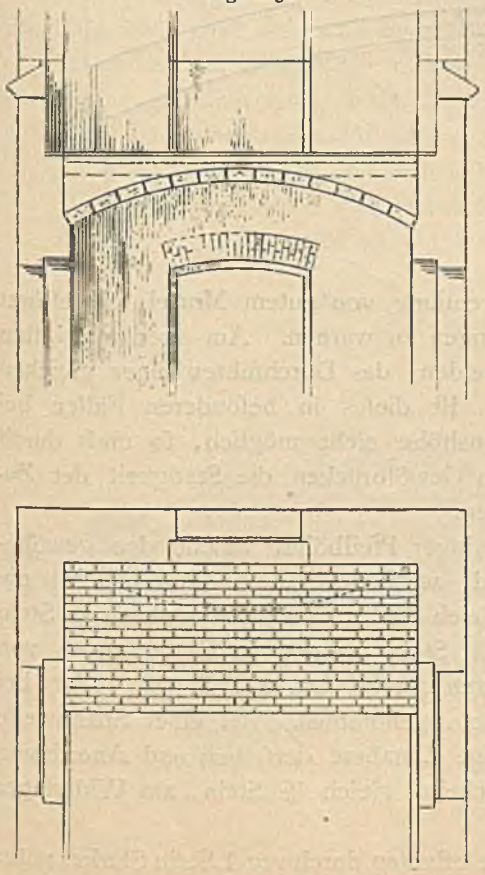
63. Kappengewölbe mit Stich.

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

Wohl aber ergeben ſich bei einer derartigen Anordnung einige Vorteile in Bezug auf die Abnahme der Gröſse der Gewölbſchübe. Durch das Höherlegen der Scheitellinie bis zum Mittelpunkte derſelben erhalten die einzelnen Wölbſtreifen nach und nach eine gröſsere Pfeilhöhe, und da die Gewichte der Streifen ſich in nennenswerter Weiſe nicht ändern, ſo wird der Wölbſchub im groſsen und ganzen kleiner als bei wagrechter Lage der Scheitellinie. Dadurch wird im allgemeinen eine geringere Stärke der Widerlagsmauern, bezw. der Stirnmauern des Gewölbes bedingt.

Sind die parallelen Seitenebenen der Wölbſtreifen nicht lotrecht, ſondern geneigt, ſo tritt die im vorhergegangenen erörterte Beeinfluſſung der Gewölbſtücke an den Ecken des Raumes erſt recht ein, ohne aber, da dieſe Neigung aus praktiſchen Gründen immer nur äuſserſt geringfügig genommen werden kann, die früher ermittelte Gröſse der einzelnen Gewölbſchübe weſentlich zu beeinträchtigen. Denn bei der Beſtimmung derſelben iſt, wie aus dem Plane *II* von Fig. 121 im beſonderen ſchon hervorgeht, bereits durch Anordnung geneigter Fugenrichtungen die Beſtimmung der Mittellinie des Druckes und des dazu gehörigen Gewölbſchubes berückſichtigt.

Fig. 123.



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

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

64. Kappengewölbe mit *Moller*'ſchem Verband.

Beim ſog. *Moller*'ſchen Verbande (Fig. 123) liegen ſämtliche Wölbzonen parallel mit der Stirnmauer. Die einzelnen Backſteine ſind auf die hohe Kante geſtellt, ſo daſs die Dicke derſelben parallel zur Gewölbachſe iſt. Jede Gewölbzone bildet ein kleines Kappengewölbe für ſich, welches

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

Fig. 124.

65. Kappengewölbe mit zunehmender Wölbdicke.

Soll ein Kappengewölbe nach dem Widerlager zu eine gröſsere Stärke als im Scheitel erhalten, ſo muſs, wie ſchon in Art. 5 (S. 7) bemerkt iſt, die Zunahme ſolcher Stärke ſtetig eintreten, wie in Fig. 125, und nicht, wie in Fig. 124, im plötzlich gebildeten Anſatze *b* erfolgen. Wie die ſtatiſche Unterſuchung (Fig. 126) zeigt, wird bei dieſer Anordnung für den ſchwächeren Teil in der Mitte des Gewölbes ein ungünſtiger Verlauf der Drucklinie herbeigeführt. Bei *k* zeigt ſich eine Bruchfuge; der mittlere Teil ſenkt ſich dann leicht und nimmt eine neue Lage *aik* an, womit eine Ausbauchung des Gewölbes in der Nähe von *fg*, bezw. *k* verknüpft iſt. Dieſe Erſcheinungen ſind thatſächlich bei derart ausgeführten Gewölben beobachtet, die zum

Fig. 125.

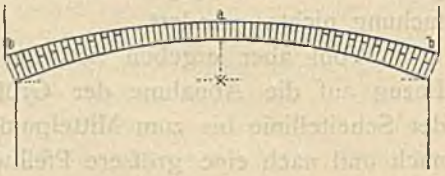
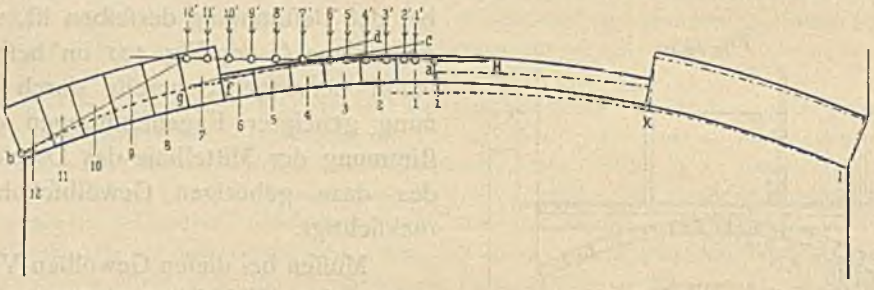


Fig. 126.



Teile nach ihrer Ausrüſtung, trotz der Verwendung von gutem Mörtel, eingeſtürzt ſind. Es iſt geboten, vor ſolchen Anordnungen zu warnen. Am zweckmäſsigſten iſt, um das Verhauen der Steine zu vermeiden, das Durchführen einer gleichen Stärke vom Scheitel bis zur Widerlagsfuge. Iſt dieſes in beſonderen Fällen bei einer im Scheitel beſchränkten Konſtruktionshöhe nicht möglich, ſo muſs durch entſprechendes Verhauen der Wölbſteine am Gewölbrücken die Stetigkeit der Zunahme der Gewölbſtärke herbeigeführt werden.

66. Empiriſche Regeln für die Wölb- und Widerlagsſtärke.

Bei Kappengewölben, mit nicht zu geringer Pfeilhöhe, welche den gewöhnlichen mittleren Belaſtungen ausgeſetzt ſind, wird bei gutem Wölbmaterial die Gewölbſtärke für Spannweiten bis zu 2,50 m gleich ½ Stein, bis 3,00 m gleich ½ Stein und behaftet mit 1 Stein ſtarken, 1 bis 1½ Stein breiten, in Entfernungen von 1,50 bis 2,50 m angebrachten Verſtärkungsgurten (vergl. Art. 43, S. 92), oder bei gröſseren Belaſtungen durchweg gleich 1 Stein genommen. Bei einer Spannweite von 4,00 m kann die Gewölbſtärke, eine ſtetige Zunahme derſelben und Anordnung von Verſtärkungsgurten vorausgeſetzt, im Scheitel gleich ½ Stein, am Widerlager gleich 1 Stein betragen.

Kappengewölbe bis zu 5,00 m Spannweite erhalten durchweg 1 Stein Stärke, unter

Umſtänden, namentlich bei ſehr langen Gewölbzügen, Verſtärkungsgurte oder auch 1 Stein Stärke im Scheitel und $1^1/_2$ Stein am Widerlager in ſtetiger Zunahme.

Sind die Widerlager der Kappengewölbe nicht beſonders zu verankern, iſt ihre Höhe nicht erheblich über der Rückenlinie des Gewölbes abgegrenzt, ſo nimmt man die Stärke derſelben zu $^1/_4$ bis $^1/_5$ der Spannweite an.

c) Ausführung der Kappengewölbe.

67. Allgemeines.

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

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

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

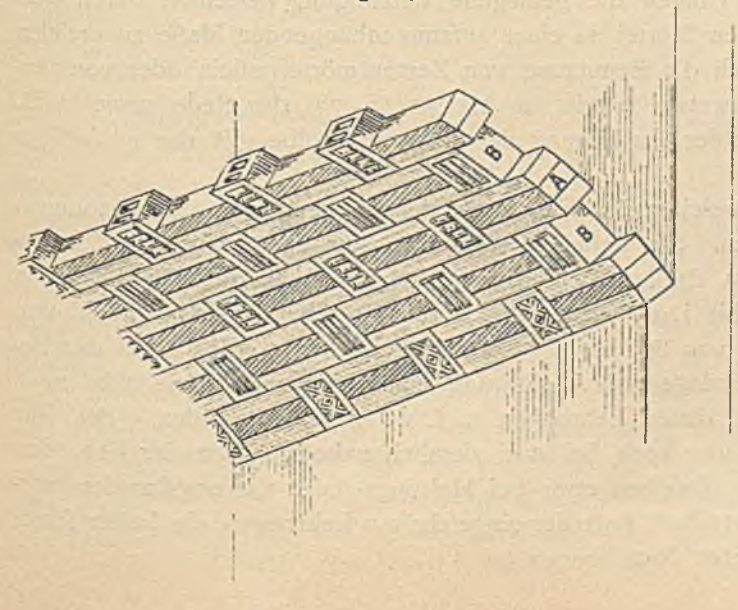
68. Mauerung der Kappengewölbe.

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

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

Bei den Kappengewölben auf Kuf gemauert gelten genau dieſelben Regeln, welche bezüglich der Mauerung der Tonnengewölbe in Art. 30 (S. 78) mitgeteilt ſind. Hier möge noch bemerkt werden, daſs die Ausführung von gewöhnlichen Kappengewölben in zwei oder mehr flach übereinander liegenden Ringſchichten weniger gebräuchlich iſt.

Fig. 127.



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

Backſteinmauerwerk gelaſſen werden, ſo kann, entſprechend dem Verbande auf Kuf, eine reicher geſtaltete, häufiger ausgeführte Anordnung nach Fig. 127 getroffen werden. Hierbei ſind gröſsere Wölbſteine *B* gleichſam als Binder eingefügt, zwiſchen denen die Läuferſchichten *A* auftreten.

Die Kappengewölbe mit Schwalbenſchwanzverband erhalten die bereits in Fig. 121 (S. 138) im allgemeinen angegebene Schichtenbildung, ſo daſs jede derſelben ein ſchmales Kappengewölbe bildet, welches in ſeinen Lagerfugenflächen ſo zu behandeln iſt, daſs dieſelben winkelrecht zur Wölblinie und winkelrecht zur Stirnfläche der zugehörigen Zone ſtehen.

Die beſondere Ausführungsweiſe dieſer Zonen wird noch weiter beſprochen werden.

Kappengewölbe mit *Moller*'ſchem Verbande beſtehen, wie vorher in Art. 64 (S. 145) bemerkt wurde, aus einer Schar parallel zur Stirnmauer und nebeneinander liegender ſelbſtändiger Wölbzonen, deren Tiefe gleich der Dicke eines Backſteines, deren Achſe mit der Gewölbachſe zuſammenfällt und deren Leitlinie ſich mit der Leitlinie des Kappengewölbes deckt. Die Lagerfugenflächen der ungeraden Anzahl ſymmetriſch zum Schluſsſteine der Zone geordneten Wölbſteine ſtehen winkelrecht zur Stirn und zur Laibungsfläche dieſes dünnen Wölbſtreifens.

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

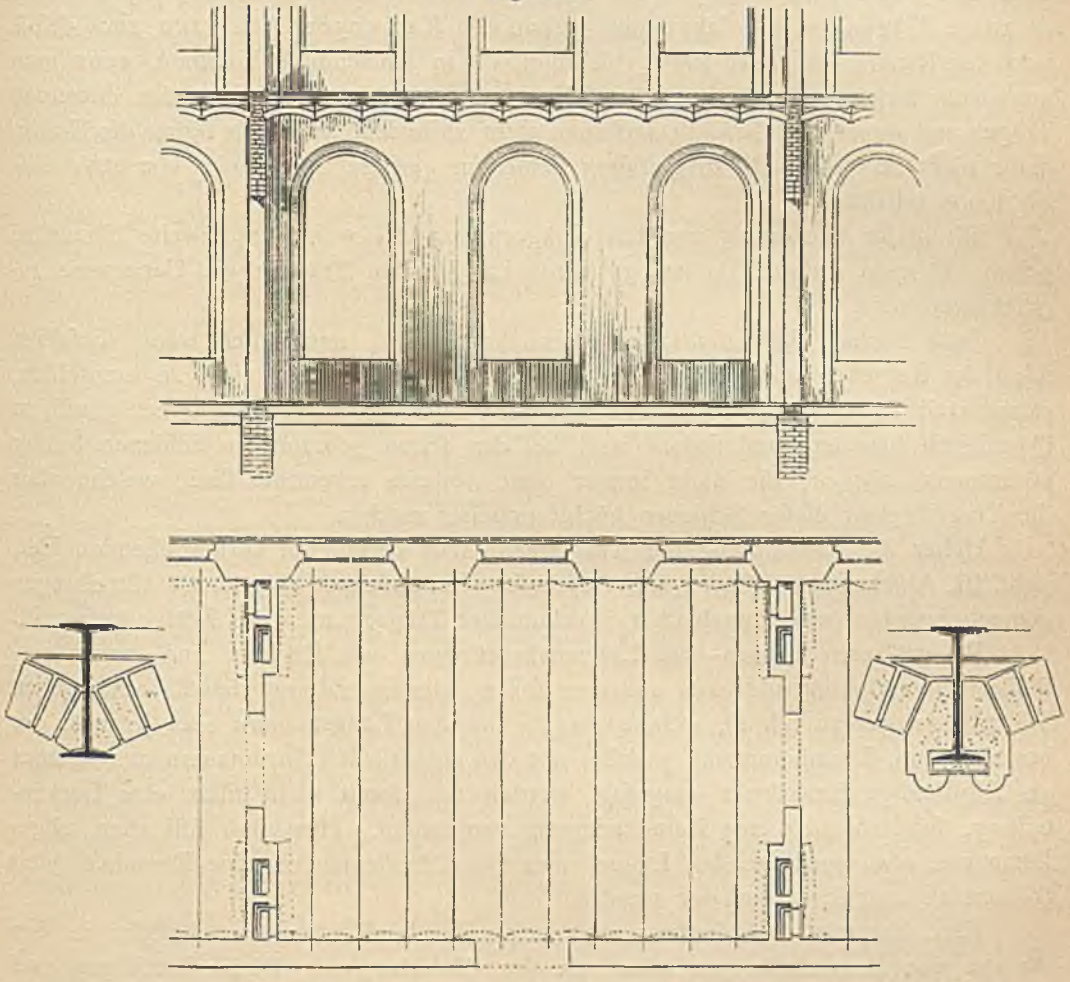
Als Regel muſs gelten, daſs neben der Beobachtung eines richtigen Verbandes der Wölbſteine vor allen Dingen die gediegene Vereinigung derſelben durch vorzüglichen, ſchnell bindenden Mörtel zu einer zuſammenhängenden Maſſe zu erzielen iſt. Vielfach empfiehlt ſich die Benutzung von Zementmörtel allein oder von verlängertem Zementmörtel, wovon bereits in Art. 31 (S. 78) die Rede geweſen iſt.

Hinſichtlich der Zeit der Ausführung der Kappengewölbe gilt das in Art. 32 (S. 79) Geſagte gleichfalls.

70. Rüſtungen. Die Rüſtungen, auf welchen das Einwölben der Kappengewölbe vorgenommen wird, ſind äuſserſt einfach. Sie beſtehen weſentlich nur aus entſprechend unterſtützten, aus 30 bis 35 mm ſtarken Bohlen angefertigten Wölbſcheiben, welche in Entfernungen von 1,00 m bis 1,30 m aufgeſtellt, durch Holzkeile unterlagert ſind und mit einer Bretterſchalung von 30 bis 35 mm Stärke verſehen werden. Bei der Beſprechung der geſamten Anlage und Ausführung eines Kappengewölbes wird noch eine nähere Beſchreibung dieſer Lehrbogen u. ſ. w. gegeben werden. Bei ſehr langen Kappengewölben oder auch bei zwei ziemlich nahe übereinander liegenden derartigen Gewölben, wie dieſelben etwa bei Heizungs- oder Lüftungskanälen vorkommen, benutzt man vorteilhaft ſtatt der eingeſchalten Lehrbogen die früher ſchon in Art. 41 (S. 90) erwähnten Rutſchbogen.

Die Einwölbung der Kappengewölbe ift unter Beachten der in Art. 30 (S. 78) für Tonnengewölbe gegebenen Vorfchriften im allgemeinen in gleicher Weife vorzunehmen. Auf das forgfältige Ausmauern der Gewölbezwickel oder das gute Ausfüllen derfelben mit Beton ift befonders Bedacht zu nehmen. Auch für die Zeit der Ausrüftung gilt hier vollftändig das in Art. 39 (S. 88) Gefagte. 71. Einwölbung.

Fig. 128.



Für die Spannweite der Kappengewölbe find mäfsige Abmeffungen bedingt. Diefelben bewegen fich in Weiten von 0,50 bis höchftens 5,00 m. Beim Ueberfchreiten der Spannweite von 5,00 m geht der Nutzen, welchen fonft die flachen Kappengewölbe wegen ihrer geringen Konftruktionshöhe zu bieten vermögen, mehr oder weniger verloren. 72. Ausführung nebeneinander liegender Kappengewölbe.

Im allgemeinen ift für Kappengewölbe durchfchnittlich eine Spannweite von 2,50 bis 3,50 m üblich, welche ab und an auf 4,00 m gefteigert werden kann.

Bei Räumen, deren Breite diefen durchfchnittlich gegebenen Spannweiten entfpricht, welche aber fonft eine beliebige Länge aufweifen, kann zur Bildung der Decke ein einziger Gewölbezug als Kappengewölbe dienen.

Häufig und nicht ohne Vorteil für die Sicherheit des Gewölbekörpers werden

aber auch Räume von mehr oder minder grofser Länge und einer Breite, entfprechend der Durchfchnittsweite der Kappen, mit nebeneinander liegenden fchmalen Kappengewölben überdeckt, deren Gewölbachfen rechtwinkelig zu den Längsmauern des Raumes gerichtet find. Bei diefer Gliederung der Decke (Fig. 128) ftützen fich die einzelnen Gewölbjoche gemeinfchaftlich gegen einen eifernen Walzträger in I-Form, deffen Endauflager in den Längsmauern geboten wird, während fich die erfte und letzte Kappe gegen die feitlichen kurzen Umfangsmauern legen. Eine derartige Trägerlage mit dazwifchen gefpannten Kappengewölben kann auch felbft noch für Räume von einer Breite bis zu 8,00 m in Anwendung kommen, wenn man nur dafür forgt, dafs die einzelnen Kappen, um den Querfchnitt der einzelnen Träger und damit das Gewicht derfelben nicht zu bedeutend, fowie ferner die Koften dafür nicht zu erheblich zu geftalten, eine nur geringe Spannweite von etwa 0,80 bis 1,00 m erhalten.

Mit diefer Anordnung von Einzelträgern über 8,00 m freie Stützweite hinaus zu gehen, ift nicht rätlich, da bei gröfseren Längen den Trägern ein Ueberpreis zugefchlagen wird.

Statt folcher Walzeifenträger Eifenbahnfchienen, namentlich wenn diefelben fchon im Betriebe gewefen find, zu verwenden, ift durchaus nicht zu empfehlen, einmal weil die Eifenbahnfchienen für den Anfatz der Widerlagsfteine keinen günftigen Querfchnitt befitzen, und fodann weil bei den fchon gebrauchten Schienen Fehler vorkommen können, die nicht immer ohne weiteres erkennbar find, welche aber die Tragfähigkeit diefer Schienen höchft unficher machen.

Ueber die Auswölbung der Trägerfache find bereits im vorhergehenden Heft (Abt. III, Abfchn. 2, A, Kap. 4, unter a) diefes »Handbuches« eingehende Mitteilungen gemacht worden, wobei auch über zweckmäfsige Trägerformen das Nötige gefagt ift.

Bei gröfseren Breiten- und Längenabmeffungen von Räumen find, wenn ausfchliefslich Steinkonftruktionen auftreten follen, die befonderen Gewölbjoche gegen Widerlagskörper zu führen, welche parallel mit den Längsmauern oder je nach der beabfichtigten Raumbenutzung parallel mit den eigentlichen Stirnmauern des Raumes als felbftändige Baukörper eingefügt werden und fomit nicht allein eine Deckenteilung, fondern auch eine Raumzerlegung veranlaffen. Hierdurch foll aber, abgefehen von etwa anzulegenden Längs- oder Querfcheidemauern, eine Raumbeengung fo weit als möglich vermieden werden.

73. Gurtbogen.

Eine derartigen Anforderungen entfprechende Konftruktion befteht in der Anlage von Bogenftellungen oder von fog. Gurtbogen. Diefe Gurtbogen find fchmale Tonnengewölbe, bezw. Flachbogengewölbe, welche fich gegen einen gemeinfchaftlichen Pfeiler, Gurtbogenpfeiler genannt, ftützen und an ihrem Vor- und Rückhaupt die Widerlagsflächen als »Falze« für die antretenden Kämpfer der aufzunehmenden beiden feitlich gelegenen Gewölbjoche oder Kappen enthalten.

Die Wölblinie der Gurtbogen kann ein Halbkreis, eine gedrückte oder überhöhte Ellipfe, ein gedrückter oder überhöhter Korbbogen oder fehr zweckmäfsig eine Parabel fein.

Wird ein Flachbogen als Wölblinie genommen, fo giebt man demfelben das Pfeilverhältnis von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, feltener von $\frac{1}{6}$, letzteres nur, wenn die Gurtbogen die Kappen allein zu tragen haben. Wohl ift aber beim Flachbogen der ihm zukommende oft nicht unbedeutende Gewölbfchub zu beachten, welcher Veranlaffung

geben kann, auf die Benutzung desfelben als Wölblinie für die Gurtbogen bei gewiffen Verhältniffen zu verzichten. Die Spannweite der Gurtbogen wird zweckmäfsig etwa zu 4,00 m genommen.

Die Breite oder Tiefe derfelben beträgt gewöhnlich $1\frac{1}{2}$ bis 2 Steinlängen. Gurtbogen nur 1 Stein breit zu nehmen ift verwerflich, weil diefelben durch den antretenden Gewölbfchub bei ungleicher Belaftung der von ihnen getragenen Kappengewölbe leicht verdreht werden können und weil diefelben durch das eingefchnittene Widerlager für die Kappen zu fehr gefchwächt werden.

Müffen Gurtbogen aufser ihrer Hauptaufgabe, die Kappengewölbe zu ftützen, noch als Tragbogen für Scheidemauern der darüber befindlichen Obergefchoffe eines Bauwerkes dienen, fo wird ihre Breite fchon hiervon abhängig und oft bedeutender als 2 Steinlängen.

Die Stärke der Gurtbogen ift nach ihrer Belaftung zu beftimmen. Haben diefelben nur die beiden zufammengehörigen Gewölbe zu tragen, fo kommt, wenn diefe Gewölbe gleiche Spannweite und gleiche Ueberlaft aufweifen, für jeden Gurtbogen aufser feinem Eigengewicht offenbar noch das Gewicht eines Gewölbes von einer Länge gleich der Länge des Gurtbogens in Betracht. Die von den Kappengewölben herrührenden Kämpferdrücke befitzen wagrechte Seitenkräfte, die Gewölbfchübe, welche unter der gemachten Vorausfetzung von gleicher Gröfse und gegeneinander gerichtet find, alfo fich aufheben. Ruhen noch aufserdem Obermauern mit den von ihnen geftützten Balkenlagen u. f. f. auf den Gurtbogen, fo ift unter Berückfichtigung der hieraus entfpringenden Belaftungen die Stärke derfelben zu ermitteln. Die Stabilitätsunterfuchung ift entfprechend dem in Art. 24 (S. 57) Gefagten zu führen, wobei, falls ein Gurtbogen etwa auch noch durch Einzelgewichte belaftet würde, auf die Ausführungen in Art. 25 (S. 65) Rückficht zu nehmen ift. Für die gewöhnlichen Fälle wird die Stärke der Gurtbogen zu $1\frac{1}{2}$ bis 2, bezw. $2\frac{1}{2}$ Steinlängen gewählt.

74. Vorlagen.

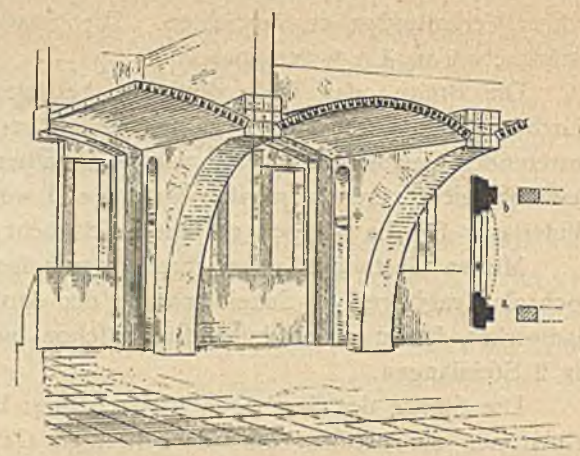
Sind die Gurtbogen als ein einzelner Bogen oder als Bogenftellung parallel mit der fchmalen Seite des Raumes anzulegen, fo find bei gröfserer Länge des Raumes in Entfernungen von 2,50 bis 3,50 m und unter befonderen Verhältniffen bis höchftens etwa 4,00 m parallel geftellte Gurtbogenzüge auszuführen. Zweckmäfsig erhalten diefelben an den Umfangsmauern oder Scheidemauern, welche nun als Widerlager für die antretenden Gurtbogen mit dienen müffen, noch befondere Wandpfeiler, fog. Vorlagen, um nicht von vornherein jenen den Raum begrenzenden Mauern ihrer ganzen Länge nach eine folche Stärke geben zu müffen, wie folche der Gewölbfchub der angelegten Gurtbogen erforderlich macht.

In der Bildung diefer Vorlagen liegt ein wefentlicher Nutzen für die Bemeffung der Stärke der Umfangsmauern des mit Kappengewölben zu überdeckenden Raumes, da, fobald diefe Mauern thunlichft von der Stärke des Mauerkörpers, welcher als Widerlager für die Gurtbogen vorhanden fein mufs, zwifchen den Gurtbogenfeldern befreit find, für diefe Baukörper eine wefentlich geringere Stärke genommen werden kann.

In Fig. 129 ift die Anlage von Kappengewölben mit fog. vorgezogenen Gurtbogen dargeftellt. Die zwifchen den vorfpringenden Vorlagen der Gurtbogen vorhandenen Umfangsmauern treten nur als Schildmauern der Kappengewölbe auf, können alfo, namentlich wenn die Kappen auf Kuf oder nach dem *Moller*'fchen Verbande eingewölbt find, eine nur mäfsige Stärke erhalten und durch Licht- oder

Thüröffnungen in ausgiebigſter Weiſe geöffnet behandelt werden.

Fig. 129.

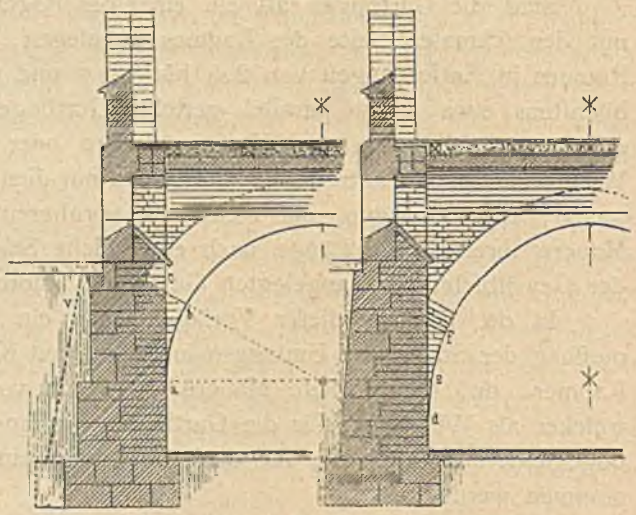


Selbſtverſtändlich iſt die Teilung für die Gurtbogen der Achſenlage des Raumes, bezw. des ganzen Bauwerkes entſprechend zu nehmen.

Daſs unter Umſtänden, wie auch in Fig. 129 angedeutet iſt, die Vorlagen der Gurtbogen, bei genügend weitem Vorſprunge und bei geeignet gewählter Wölblinie der Gurtbogen, ſelbſt mit Oeffnungen verſehen werden können, iſt für die Benutzung des Raumes nicht ohne Bedeutung. In derartigen Fällen empfiehlt ſich in erſter Reihe als Wölblinie für die Gurtbogen eine Parabel, deren Pfeilhöhe gleich oder gröſser als ihre halbe Spannweite iſt, weil hierbei der Kämpferdruck in günſtiger Weiſe nach ihrem unmittelbar unter dem Fuſsboden des Raumes befindlichen Widerlagsmauerwerk geleitet wird. Bei Flachbogen liegt der Kämpferdruck höher, wirkt alſo ungünſtiger auf die Vorlagen ein. Bei einem Halbkreiſe, einem elliptiſchen Bogen oder einem Korbbogen wird die Beanſpruchung des Wölbmaterials im allgemeinen ebenfalls ungünſtiger, als beim Parabelbogen mit dem bereits angegebenen Pfeilverhältniſſe.

Sind aus beſtimmten Gründen, wie z. B. bei Kellern, die Umfangsmauern der mit Kappengewölben zu überdeckenden Räume an und für ſich ſchon in ſo bedeutender Stärke auszuführen, daſs dieſelben durch den Gewölbſchub der Gurtbogen nicht in ihrer Stabilität geſchädigt werden, ſo können die Gurtbogen, ohne mit Vorlagen verſehen zu ſein, aus den Umfangsmauern hervorwachſen. Dann iſt auch die vorhin angedeutete Vorſicht hinſichtlich der Wahl der Wölblinie für die Gurtbogen von geringerer Bedeutung. In Fig. 130 iſt für einen derartigen Gurtbogenanſatz ein Halbkreis- und ein Parabelbogen als Wölblinie angenommen, für welche die innere lotrechte Begrenzungslinie der Seitenmauer als Berührungslinie in den Berührungspunkten *a*, bezw. *d* auftritt. Bei ſolchen Anlagen ſind die Anfänger der Gurtbogen immer gleich bei der Aufmauerung des Mauerwerkes der Umfangsmauern wie bei *ac*, bezw. bei *def* in wagrechten Schichten vorgekragt mit auszuführen. Hierbei iſt ein regelrechter

Fig. 130.



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

Im allgemeinen beträgt bei den gewöhnlichen Anlagen die Stärke der Widerlager der Gurtbogen, je nach ihrer Belaſtung, $^1/_3$ bis $^1/_5$ ihrer Spannweite.

75. Strebepfeiler.

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

76. Verankerungen.

Iſt für Gurtbogen in beſonderen Fällen ein kräftiges Widerlager durch Vorlagen, bezw. durch Strebepfeiler hinter den Umfangsmauern nicht zu ſchaffen, erſcheinen auch die Umfangsmauern, gegen welche ſich die Gurtbogen legen, hinſichtlich ihrer Stärke nicht genügend ſicher, ſo hat man ſeine Zuflucht zu Verankerungen der Gurtbogen zu nehmen. Hierbei iſt aber ſtets die gröſste Vorſicht geboten. Namentlich ſind die Zuganker dann ſo tief zu legen, daſs dieſelben durch die Kämpfer der Gurtbogen gehen, um hierdurch den Gewölbſchub derſelben möglichſt vollſtändig abzufangen. Aufserdem ſind reichlich groſs bemeſſene Ankerplatten zu verwenden. Im übrigen kann in dieſer Beziehung auf das in Art. 59 (S. 128) Vorgetragene hingewieſen werden.

77. Kreuzung von Gurtbogen.

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

78. Falze.

Der an den Häuptern der Gurtbogen einzufügende Falz für das Widerlager der Kappengewölbe folgt in ſeiner unteren Begrenzungslinie genau der Kämpferlinie der Kappengewölbe. Dieſelbe ſoll für alle Kappengewölbe zwiſchen Gurtbogen bei einer und derſelben Raumdecke in einer wagrechten Ebene liegen, damit eine möglichſt günſtige Beanſpruchung der Gurtbogen durch den Schub der Kappen eintritt. Aufserdem ſollen die Spannweiten und Pfeilverhältniſſe für die Kappengewölbe zwiſchen den Gurtbogen thunlichſt gleich ſein, weil bei gröſserer Abweichung in dieſen Abmeſſungen der benachbarten Kappen der Gurtbogen ebenſo ungünſtig beanſprucht wird, wie das in Art. 28 (S. 73) beſprochene gemeinſchaftliche Widerlager von zwei Tonnengewölben mit verſchiedener Spannweite. Die Kämpferlinie der Kappengewölbe liegt mindeſtens 10 cm, beſſer 12 cm über dem Scheitel des Gurtbogens, da bei einer tieferen Lage derſelben leicht das Abdrücken der Scheitelſteine des Bogens unterhalb des Falzes möglich wird.

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

Da die Stärke des Gurtbogens in den meiſten Fällen nicht ſo groſs iſt, daſs das Widerlager der Kappen, alſo auch der Falz hierfür, in der ganzen Stirnfläche der Gurtbogen verbleiben kann, ſo muſs die ſorgſame Ausmauerung der Zwickel der Gurtbogen oberhalb der Rückenfläche derſelben, wie auch aus Fig. 130 zu erſehen iſt, ſtattfinden. Dieſe Ausmauerung nimmt dann die Fortſetzung des Falzes mit auf.

Der geſamte an beiden Hauptflächen des Gurtbogens vorkommende Falz wird in der Regel gleich bei der Wölbung des Bogens durch entſprechend zugehauene

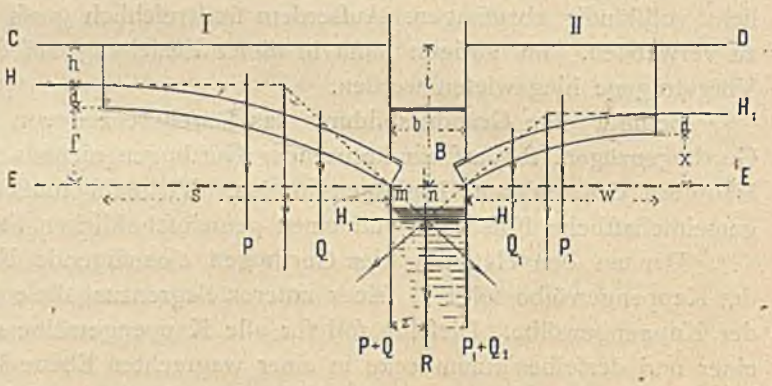
Wölbſteine mit ausgeführt. Soll dagegen der Falz ſpäter eingehauen werden, ſo muſs dieſe Arbeit erſt nach möglichſt vollſtändigem Abbinden und Erhärten der Mörtelbänder des Bogens vorgenommen werden. Ebenſo iſt die Einwölbung der Kappen zwiſchen den Gurtbogen erſt dann zweckmäſsig in Angriff zu nehmen,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

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

79. Kappengewölbe mit ungleicher Spannweite.

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

Fig. 131.



In Fig. 131 ſei *I* ein halbes Kappengewölbe mit der Spannweite $2s$, der Pfeilhöhe f, der Wölbſtärke d und der auf Wölbmaterial zurückgeführten, oben wagrecht abgeglichenen Ueberlaſt von der Höhe h. Die Gröſse des möglich kleinſten Gewölbſchubes H iſt nach Gleichung 82 (S. 124) mit

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

zu berechnen.

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

Sind nun beide Gewölbe noch aufserdem mit einer gleich groſsen Nutzlaſt für 1 qm Grundriſsfläche behaftet, ſo liegt auch die obere Grenzlinie der Belaſtungsflächen derſelben in einer wagrechten Ebene CD. Die lotrechte Entfernung dieſer Ebene von der Kämpferebene EE iſt

$$t = f + d + h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 119.$$

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

nach den Bezeichnungen in Fig. 131 und in Rückſicht auf das in Art. 19 (S. 50) Geſagte

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

Da

$$P_1 = (t - x)\, w \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3} w x \quad \ldots\ldots\ldots \quad 120.$$

iſt, ſo wird hiernach

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

und nunmehr hieraus

$$x = \frac{6\,(t w^2 - 2 H_1 d)}{12 H_1 + 5 w^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 121.$$

gefunden.

Da der Gurtbogen durch die Kämpferdrücke der beiden Gewölbe im allgemeinen am günſtigſten in Mitleidenſchaft gezogen wird, wenn die wagrechten, in der Kämpferebene EE liegenden Seitenkräfte H und H_1 ſich das Gleichgewicht halten, ſo daſs neben dem Eigengewicht und der Belaſtung des Gurtbogens von den Kappengewölben nur die lotrecht wirkenden Seitenkräfte

$$R = P + Q + P_1 + Q_1 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 122.$$

der Kämpferdrücke für denſelben in Betracht zu ziehen ſind, ſo folgt, daſs $H_1 = H$ zu ſetzen und danach

$$x = \frac{6\,(t w^2 - 2 H d)}{12 H + 5 w^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 123.$$

zu berechnen iſt.

In dieſem Ausdrucke hat H den nach Gleichung 82 ermittelten Wert. Setzt man alſo die Geſtaltung des Gewölbes I feſt, ſo iſt bei gegebener Spannweite des Gewölbes II die Pfeilhöhe x in die durch Gleichung 123 ausgeſprochene Abhängigkeit vom Gewölbe I zu bringen. Hierdurch iſt jede Willkür ausgeſchloſſen.

Um die Lage der Mittelkraft R der lotrechten Seitenkräfte der von beiden Gewölben hervorgerufenen Kämpferdrücke zu finden, kann man, wenn die Breite b des Gurtbogens gegeben iſt, den Abſtand $mn = z$ dieſer Kraft R von dem Kämpferpunkte m unter Berückſichtigung von Fig. 131 leicht beſtimmen. Man erhält durch $Rz = (P_1 + Q_1) b$ den Ausdruck, woraus

$$z = \frac{(P_1 + Q_1) b}{R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 124.$$

wird. In der Gröſse R ſind nach Gleichung 122 auch die Werte von P und Q mit enthalten. Dieſelben ergeben ſich nach den Gleichungen 57 u. 58 (S. 51), während P_1 und Q_1 nach Gleichung 120 in Verbindung mit dem aus Gleichung 123 zu berechnenden Werte von x zu beſtimmen ſind.

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

Beiſpiel. Es ſei $2s = 4\,\text{m}$, alſo $s = 2\,\text{m}$, $f = 0{,}5\,\text{m}$ oder $= \frac{1}{8}$ der Spannweite, $d = 0{,}25\,\text{m}$ und $h = 0{,}18\,\text{m}$, d. h. einer Nutzlaſt von etwa $280\,\text{kg}$ für $1\,\text{qm}$ Grundriſsfläche entſprechend. Die Spannweite $2w$ des Nachbargewölbes ſei $3\,\text{m}$, alſo $w = 1{,}50\,\text{m}$; die Gewölbſtärke d ſei auch hier $0{,}25\,\text{m}$.

Man erhält nach Gleichung 82 (S. 124)

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

Nach der Tabelle in Art. 24 (S. 62) könnte für die Gewölbſtärke gleich 1 Stein $= 0{,}25$ m der Normaldruck $N = 2{,}61$ qm betragen, während H dort nur $= 0{,}87$ qm iſt.

Aus den in Art. 61 (S. 133) angegebenen Gründen kann aber für das unterſuchte Gewölbe die Stärke von $0{,}25$ m beibehalten werden.

Nach Gleichung 119 wird

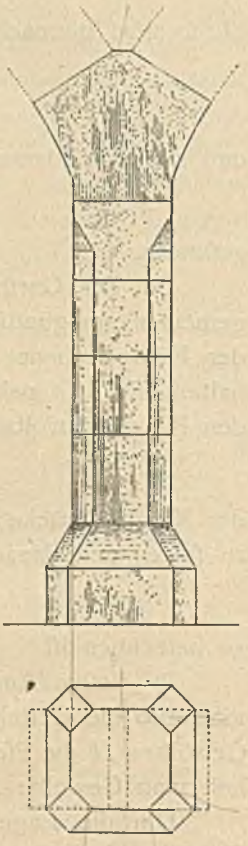
$$t = 0{,}5 + 0{,}25 + 0{,}18 = 0{,}93\ \text{m}$$

und nunmehr nach Gleichung 123

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

als geſuchte Pfeilhöhe des Gewölbes mit der Spannweite $2w = 3\,m$. Danach iſt alſo das Pfeilverhältnis dieſes Gewölbes nicht auch gleich $\frac{1}{8}$, wie beim gröſseren Gewölbe, ſondern nur $\frac{0{,}305}{3} =$ rund $\frac{1}{10}$ zu nehmen.

Fig. 132.



Derartige Ergebniſſe ſind in der Praxis bei der Ausführung von Kappengewölben füglich zu beachten. Nachdem x berechnet iſt, läſst ſich z nach Gleichung 124 finden. Zuvor iſt nach den Gleichungen 120 u. 123:

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

Auſserdem ergiebt ſich nach Gleichung 57: $P = (0{,}25 + 0{,}18)\ 2 = 0{,}86$ qm und endlich nach Gleichung 58: $Q = \frac{1}{3} \cdot 0{,}5 \cdot 2 = 0{,}333$ qm.

Nach Gleichung 122 iſt demnach R gleich der Summe dieſer Gewichte, alſo gleich $2{,}304$ qm, ſo daſs zuletzt nach Gleichung 124

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

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

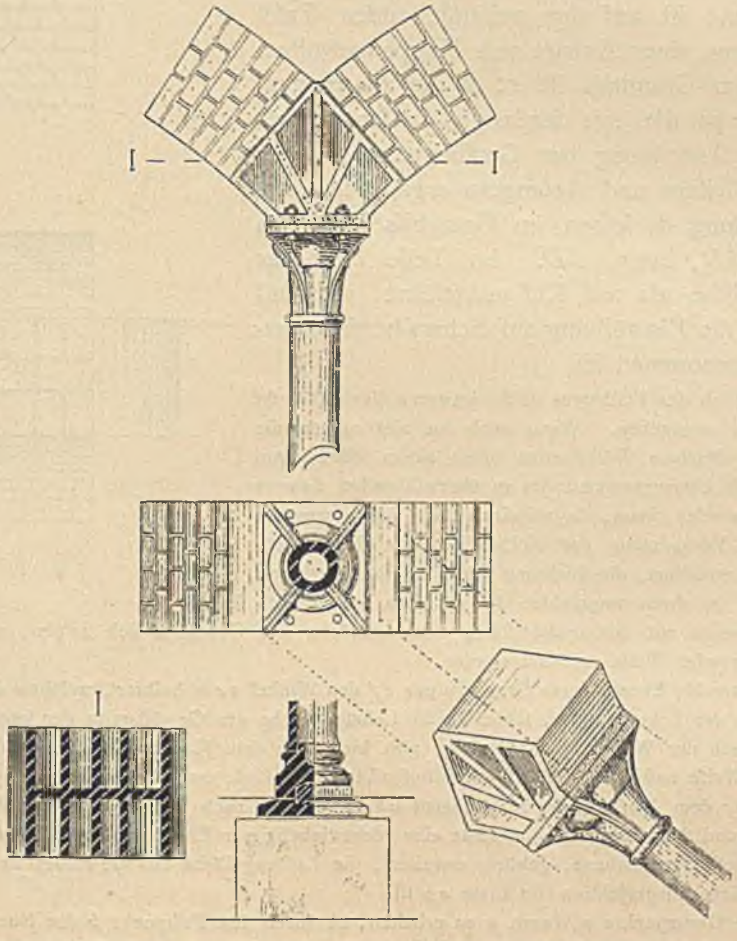
Derartige Vorteile für die Konſtruktion ſind alſo ohne groſse Mühe zu ſchaffen.

80. Gurtbogenpfeiler und -Anfänger.

Sind zwei oder mehrere Gurtbogen als Bogenſtellungen anzuordnen, ſo erhalten je zwei derſelben einen gemeinſchaftlichen Zwiſchenpfeiler, den ſog. Gurtbogenpfeiler, als Stütze und am Kopfe desſelben ihr zuſammengehöriges Widerlager. Die Breite dieſer Pfeiler wird, wenn dieſelben aus Mauerwerk beſtehen, in der Regel gleich der Breite der Gurtbogen genommen, wenigſtens niemals gröſser gewählt. Die Länge derſelben richtet ſich nach der Gröſse des Druckes, welcher vermöge der Gurtbogen mit Kappenbelaſtung oder der ſonſt noch auf die Gurtbogen gelangenden Gewichte in Frage kommt. Sehr ſelten iſt jedoch die Länge dieſer Pfeiler ſo groſs, daſs dieſelbe gleich der wagrechten Projektion der beiden Widerlagsfugen der Gurtbogen würde. Vielmehr ſchneiden ſich die Rückenlinien der Gurtbogen über der lotrechten Achſe des Pfeilers in ziemlich hoher Lage über ihren Kämpferlinien. Infolge hiervon entſtehen über der Kämpferlinie beſondere Beſtandteile des Gurtbogens, die ſog. Gurtbogenanfänger. Werden die Pfeiler und die Anfänger aus Backſtein hergeſtellt, ſo gilt genau das in Art. 18 (S. 49) über derartige Gewölbanfänger Geſagte auch hier. Sollen die Anfänger aus Haufteinen hergerichtet werden, ſo

können dieſelben nach Fig. 132 in den meiſten Fällen aus einem einzigen, nach den Wölblinien und den Widerlagsflächen der Gurtbogen bearbeiteten Quader beſtehen. Wird der Gurtbogenpfeiler aus Quadermaterial errichtet, ſo kann derſelbe bei nicht zu groſser Pfeilerhöhe aus einem Stücke beſtehen oder anderenfalls in Schichten von 30 bis 50 cm Höhe ausgeführt werden. Selbſtredend können ſtatt der Gurtbogenpfeiler auch Freiſtützen aus Backſteinmaterial gemauert oder aus Quadern beſtehend angeordnet werden, wenn nur in jedem Falle den betreffenden Stützkörpern der nötige Querſchnitt gegeben wird. Für die im Hochbauweſen auf-

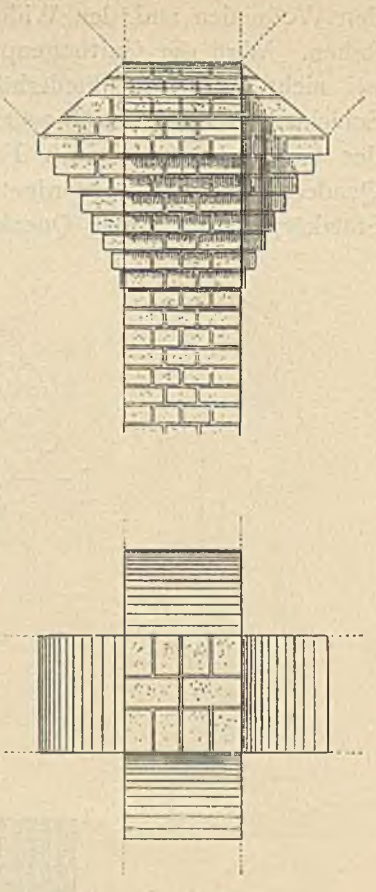
Fig. 133.



tretenden gewöhnlichen Belaſtungen beträgt die Länge der Backſteinpfeiler, gutes und feſtes Material vorausgeſetzt, 2 Stein bis 2½ Stein und die Länge der Quaderpfeiler bei feſtem Steinmaterial 40 bis 50 cm. Statt der aus Steinmaterial zu bildenden Gurtbogenpfeiler können ſelbſtverſtändlich auch guſseiſerne oder ſchmiedeeiſerne Säulen (Fig. 133) als Stützen in Anwendung kommen. Dieſe erhalten dann einen aus Backſtein oder aus Quadern angefertigten Anfänger über ſich oder unter Umſtänden ein guſseiſernes Kopfſtück, welches als Gurtbogenanfänger, wie in Fig. 133, ausgebildet iſt. Treten bei ſich kreuzenden Gurtbogenzügen vier Gurtbogen über einer gemeinſchaftlichen Freiſtütze zuſammen, ſo iſt der allen Gurtbogen zukom-

mende Anfänger, möge derſelbe aus Backſtein oder aus Quadern beſtehen, ſo zu geſtalten, daſs, wie Fig. 134 bei einem aus Backſtein gebildeten Mauerkörper zeigt, alle vier Widerlagsflächen in entſprechender Gröſse vorhanden ſind.

Fig. 134.



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

81. Beiſpiel einer gröfseren Kappengewölbanlage.

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

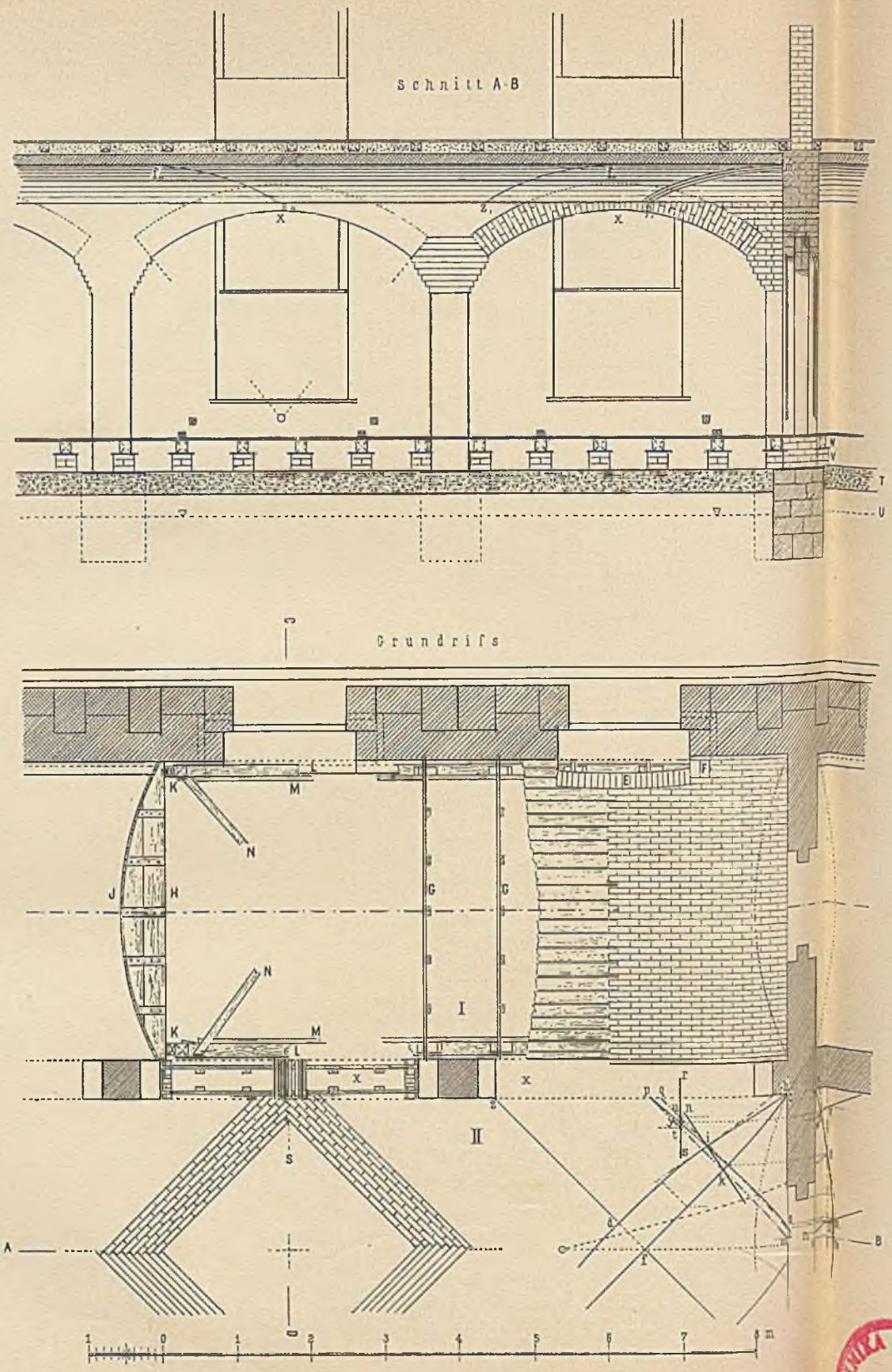
Hinſichtlich des Feſtlegens dieſes letzteren Verbandes ſei noch folgendes angegeben. Wenn auch im allgemeinen die Richtung der einzelnen Wölbſtreifen unter einem Winkel von 45 Grad zu den Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes angenommen werden kann, ſo empfiehlt ſich doch, um eine zweckdienliche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

Eine lotrechte Ebene, deren Grundriſsſpur cf den Winkel zcm halbiert, welchen die Begrenzungen des Raumes an der Ecke c bilden, ſchneidet die Laibungsfläche des Gewölbes in der krummen Linie hid. Dieſelbe iſt nach der Wölblinie der Kappe, alſo hier nach dem Flachbogen ab mit der Pfeilhöhe eb in bekannter Weiſe beſtimmt. Sie iſt ein Ellipſenſtück. Ermittelt man für einen beliebigen Punkt i derſelben, welcher dem Punkt g des Flachbogens ab entſpricht, nach den Angaben zu Fig. 9 (S. 9) die Normale nik und führt man durch dieſelbe eine rechtwinkelig zur Ebene der Kurve hid ſtehende Ebene, ſo ſchneidet dieſe Normalebene, gehörig erweitert, die Laibungsfläche des Gewölbes in einer krummen Linie, deren Grundriſsprojektion die Linie op iſt.

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

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

Anlage von Kappengewölben zwiſchen Gurtbogen.

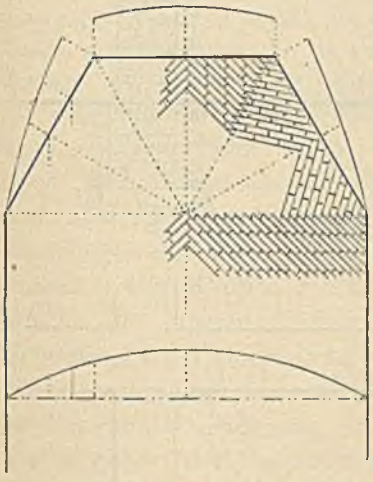


POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

zwiſchen p und o eine lotrechte Ebene, deren Spur rs ſein möge. Dieſe Spur ſchneidet die vorhin gekennzeichneten Geraden pm und ql in den Punkten t und u. Die lotrechten Projektionen derſelben ſind offenbar w auf der Linie ae und v auf der Geraden $l_1 gv$; mithin würde wa die lotrechte Spur jener in rs parallel zur Ebene abc ſtehenden lotrechten Ebene ſein und die hier befindliche, der Bogenlinie ab völlig entſprechende Wölblinie im Punkte x durchſchneiden. Die wagrechte Projektion von x iſt der geſuchte, auf rs gelegene Zwiſchenpunkt y. Teilte man nunmehr die Kurve cid in Wölbſchichten von der Dicke eines Backſteines ein, ſo könnten für jeden Teilpunkt in gleicher Weiſe die Normalebenen geführt und die zugehörigen Schnittlinien mit der Gewölbfläche in ihren wagrechten Projektionen aufgeſucht werden.

Dieſe wagrechten Projektionen bilden alsdann die Begrenzungen der einzelnen nebeneinander liegenden Wölbſtreifen, deren Lagerfugenflächen überall in Normalebenen liegen, welche der durch die Ebene cf allgemein erzeugten Schnittlinie mit der Gewölbfläche angehören. Wird cf parallel mit ſich ſelbſt fortgerückt, ſo können, ſelbſtredend unter Benutzung der ſchon beſtimmten Linien von den Eigenſchaften der Streifenkanten po, die ſämtlichen Wölbſtreifen feſtgelegt und in ihrem Verbande geordnet werden.

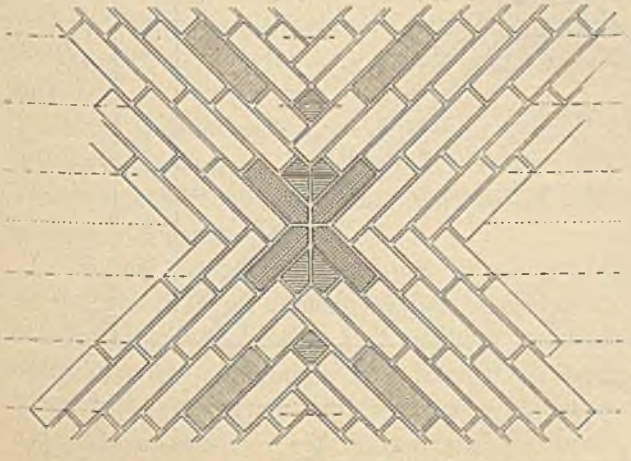
Fig. 135.



Dieſe unter dem Namen »Schwalbenſchwanzverband« auftretende Wölbungsart wird von den Ecken des Raumes aus begonnen, d. h. allgemein da, wo die Stirnmauern mit den eigentlichen Widerlagsmauern zuſammentreffen. Derſelbe eignet ſich auch, wie Fig. 135 zeigt, für die Einwölbung vieleckig geſtalteter Räume.

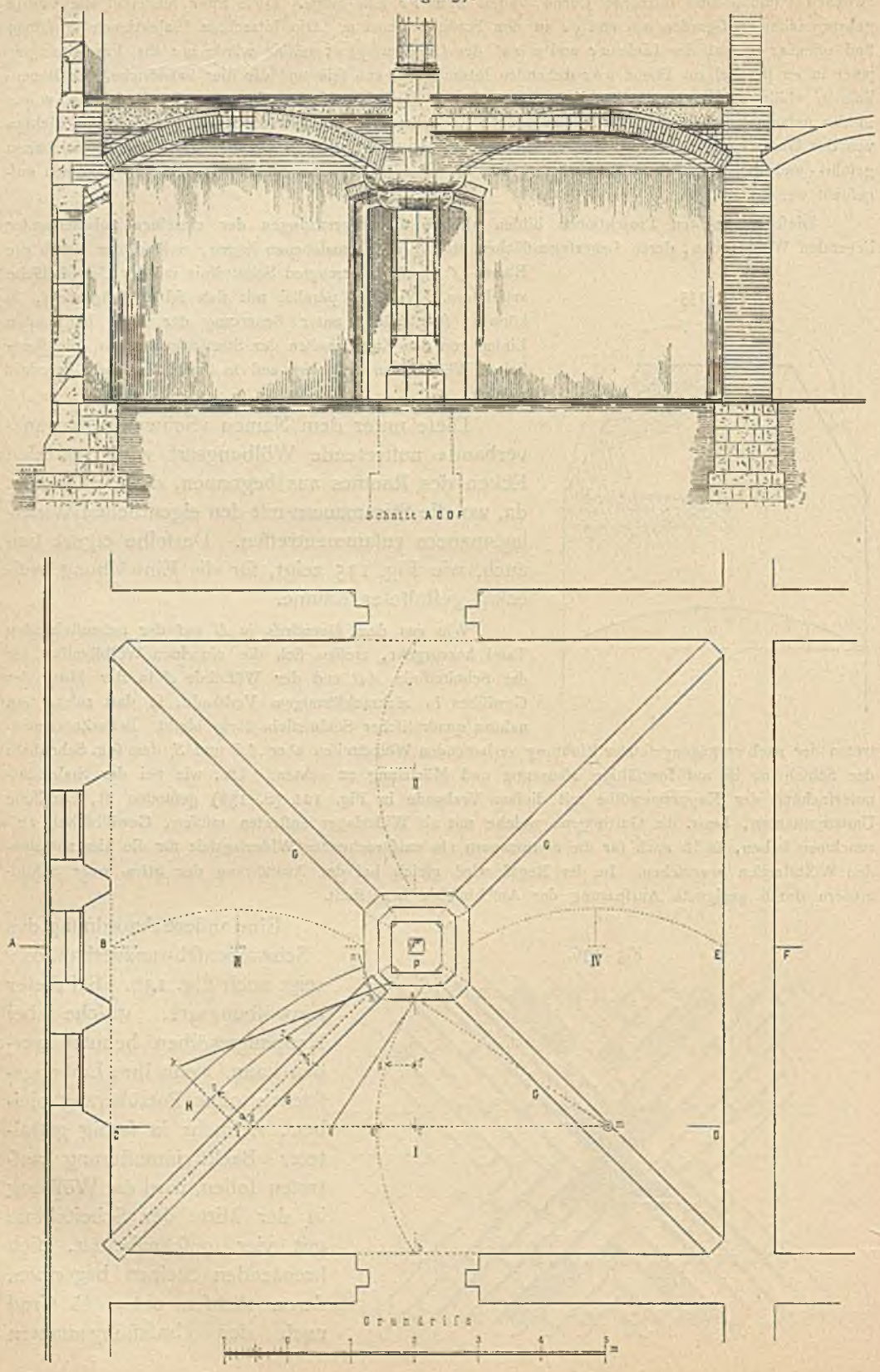
Wie aus dem Grundriſs in II auf der nebenſtehenden Tafel hervorgeht, treffen ſich die einzelnen Wölbſtreifen auf der Scheitellinie AB und der Wölblinie S in der Mitte des Gewölbes in zickzackförmigem Verbande, ſo daſs zuletzt ein nahezu quadratiſcher Schlufsſtein übrig bleibt. Beim Zuſammentreten der nach entgegengeſetzter Richtung verlaufenden Wölbſtreifen über AB und S, dem ſog. Schnäbeln der Schichten, iſt auf ſorgfältige Mauerung und Mörtelung zu achten. Da, wie bei der Stabilitätsunterſuchung der Kappengewölbe mit dieſem Verbande in Fig. 121 (S. 138) gefunden iſt, ſämtliche Umfangsmauern, bezw. die Gurtbogen, welche mit als Widerlager auftreten müſſen, Gewölbſchub aufzunehmen haben, ſo iſt auch für die Stirnmauern ein entſprechender Widerlagsfalz für die hier antretenden Wölbſtreifen vorzuſehen. In der Regel wird gleich bei der Ausführung der Stirn- oder Schildmauern durch geeignete Ausſparung der Anſchlufsfalz hergeſtellt.

Fig. 136.



Eine andere Anordnung des Schwalbenſchwanzverbandes zeigt noch Fig. 136. Bei dieſer Einwölbungsart, welche bei Kappengewölben benutzt werden kann, wenn ihre Laibungsflächen ohne Putzüberzug bleiben, vielmehr in farbig geſtalteter Backſteinmuſterung auftreten ſollen, wird die Wölbung in der Mitte der Scheitellinie mit vier geſchnäbelten, ſich kreuzenden Steinen begonnen, deren Achſen unter 45 Grad nach den Umfaſſungsmauern

Fig. 137.



gerichtet ſind. Dieſer Richtung folgend, ſind alsdann alle übrigen Wölbſtreifen in regelrechtem Verbande, auch etwa einem beabſichtigten Muſter gemäſs geordnet, einzufügen.

82. Stichkappen.

Müſſen in Kappengewölben Stichkappen eingelegt werden, ſo gelten für dieſelben die in Art. 45 (S. 95) gegebenen Entwickelungen. Auf der Tafel bei S. 158 iſt bei *E* der Gewölbkappe *I* der Kranz einer Stichkappe nebſt der Aufmauerung *F* für das Ohr derſelben gezeichnet.

Auf derſelben Tafel iſt auch die Stellung *G* der Wölbſcheiben *J H* und ihrer Unterlagerung durch Keile *K* auf dem Untergerüſt *L* mit ſeinen Abſpreizungen *M*, bezw. *N* angegeben. Auch iſt für das Trockenhalten des Raumes und des Fufsbodens in Bezug auf den höchſten Grundwaſſerſtand *U* durch die Betonſchicht *T*, die Iſolierung der Mauerkörper der Umfangsmauern, bezw. Scheidemauern u. ſ. f., die Untermauerung *V* der Fufsbodenlager *W*, ſowie durch Luftbewegung unterhalb des Fufsbodens das Nötige dargeſtellt. Aufserdem ergiebt ſich aus dem Schnitte *C D* die Anordnung des Schutzes der Umfangsmauern gegen Feuchtigkeit. *O* iſt eine Thonſchicht; *P* ſind Drainrohre; *E* iſt Steinſchlag, und *Q* iſt eine Kieslage. Die Aufsenſeite der Grundmauer iſt mit einem Anſtrich von Goudron (Teer) verſehen.

In manchen Fällen, namentlich bei quadratiſcher Anlage von Räumen bis zu etwa 8 m Seitenlänge, kann man die Gurtbogen zur Zerlegung der Gewölbekappen auch ganz vermeiden und dieſelben durch einen Pfeiler, bezw. durch eine Säule aus Stein oder Eiſen erſetzen. Eine ſolche Anordnung zeigt Fig. 137, wobei vier Kappengewölbe ſich gegen einen Pfeiler legen, welcher im Inneren ein Rauchrohr *p* enthält. Die Kappen *I* bis *IV* ſchneiden ſich in Gratlinien in der Richtung *h i*, welche die inneren Wölblinien der Grate *G* bilden. Dieſe ſind, wie aus dem Schnitte *A C D F* hervorgeht, um ½ Stein ſtärker ausgeführt, als die Kappengewölbe. Die Ausmittelung dieſer Wölblinie *h H* nach der Wölblinie *a b* der Kappen erfolgt in der aus der Zeichnung zu erſehenden Weiſe. Die Anſatzfläche der Grate *G* am Pfeiler gehört der Normalebene *h n* zum Ellipſenſtücke *h H* an. Die Geſamtanordnung dieſer Deckenkonſtruktion iſt aus der Darſtellung ohne weiteres erkennbar.

Müſſen in Kappengewölben Oeffnungen für Aufzüge, Treppen, Deckenlichter u. ſ. w. gelaſſen werden, ſo ſind dieſelben in geeigneter Weiſe mit Gewölbkränzen, wie in Fig. 138 gezeigt iſt, zu umgeben. Auf dieſe Kränze wird der Gewölbſchub der antretenden Wölbſchichten übertragen. Die Laibungs- und Rückenflächen dieſer Kränze gehören Kegelflächen an. Ihre Durchbildung entſpricht der Anordnung der in Art. 47 (S. 97) gegebenen Kranzkonſtruktion bei kegelförmigen Stichkappen vollſtändig, und deshalb kann hier die weitere Beſprechung derſelben unterbleiben. Für kleinere Oeffnungen im Gewölbe kann auch ſtatt des Kranzes ein runder oder quadratiſcher eiſerner Rahmen eingeſetzt werden, welcher, wenn die Oeffnung als Deckenlicht dienen ſoll, gleich als Zarge oder Rahmen für die Verglaſung zu benutzen iſt.

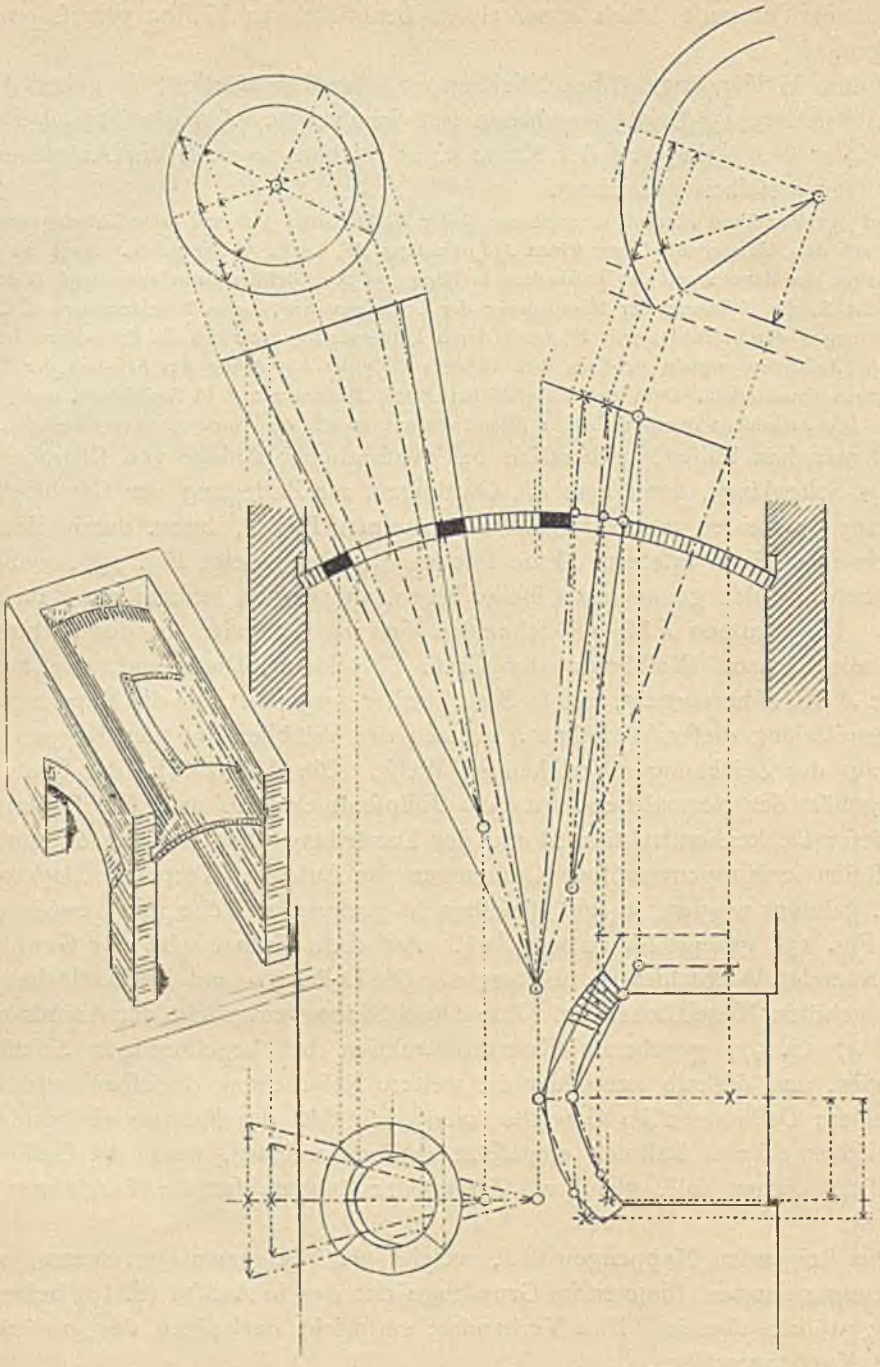
83. Steigende Kappengewölbe.

Die ſteigenden Kappengewölbe, welche bei Treppenanlagen mannigfach zur Ausführung gelangen, ſtimmen im Grundzuge mit den in Art. 11 (S. 19) behandelten Tonnengewölben überein. Ihre Verbandart entſpricht derjenigen des gewöhnlichen geraden Kappengewölbes.

84. Ueberwölbung gröſserer Räume.

Sollen gröſsere Räume mit Kappengewölben überdeckt werden, ohne daſs Gurtbogenſtellungen benutzt werden, ſo wird ein aus eiſernen Trägern mit Säulenunterſtützung beſtehendes Balkenſyſtem geſchaffen, welches in ſeinen Feldern die Gewölbkappen aufnimmt. Bei ſolchen Anlagen, welche bei Fabriken, landwirtſchaftlichen Bauwerken u. ſ. w. in ausgedehntem Maſse geſchaffen werden, tritt die Eiſenkonſtruktion in den Vordergrund, während die eigentliche gewölbte Decke

Fig. 138.



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

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

13. Kapitel.

Kloftergewölbe und Muldengewölbe.

a) Kloftergewölbe.

1) Geftaltung der Kloftergewölbe.

85. Form. Das Kloftergewölbe zeigt in ſeiner Laibungsfläche ſeitlich nebeneinander tretende cylindriſche Flächen. Die Erzeugenden derſelben ſind parallele gerade Linien, wovon die Anfangserzeugende jedesmal eine in der Kämpferebene liegende Seitenlinie der Grundriſsfigur des Gewölbes iſt. Ihre Schnittlinien ſind ebene Kurven, jedoch in ihrer Grundriſsprojektion gerade Linien, welche von den Ecken der Grundfigur nach einem gemeinſchaftlichen, innerhalb derſelben gelegenen Punkte gezogen werden können. In den meiſten Fällen iſt dieſer Punkt der Schwerpunkt der Grundfigur, immer aber die wagrechte Projektion des Scheitelpunktes des Gewölbes.

Iſt für irgend eine der cylindriſchen Flächen des Kloftergewölbes eine ebene Kurve als Leitlinie feſtgeſetzt, ſo ſind hiervon ſowohl die Leitlinien aller übrigen Wölbflächen, als auch die ſämtlichen Schnitt- oder Durchdringungslinien derſelben abhängig zu machen.

Dieſe für eine beliebige Wölbfläche feſtzuſetzende Leitlinie kann ein Flachbogen, ein Viertelkreis, ein ſteil aufſteigender Kreisbogen, ein elliptiſcher Bogen, ein Parabelbogen u. ſ. w. ſein. Der tiefſte Punkt einer ſolchen Urſprungsleitlinie liegt in der Kämpferebene des Gewölbes, während ihr höchſter Punkt mit dem Scheitelpunkt des Gewölbes zuſammenfällt.

Die Grundriſsfigur kann als Dreieck, Quadrat, Rechteck oder als regelmäſsiges, bezw. unregelmäſsiges Vieleck gegeben ſein. Das Feſtlegen der cylindriſchen Wölbflächen erleidet in der angegebenen grundlegenden Bildung keine Aenderung. Am beſten eignen ſich jedoch für die Anlage von Kloftergewölben regelmäſsig angeordnete Grundriſsformen.

Die Zahl der einzelnen zuſammenzufügenden Flächen entſpricht der Seitenzahl der gegebenen Grundriſsfigur. Iſt dieſe Figur ein geſchloſſener Kreis oder eine geſchloſſene Ellipſe, ſo entſteht eine Laibungsfläche, welche derjenigen der Kuppelgewölbe entſpricht, die alsdann aber, da nunmehr die Schnittlinien der einzelnen cylindriſchen Flächen verſchwinden, in ihrer Konſtruktion von derjenigen der Kloftergewölbe weſentlich abweicht.

Iſt die Leitlinie der als Beſtimmungsfläche genommenen Wölbfläche eine ſteil aufſteigende, geſetzmäſsig gebildete ebene Kurve, ſo entſteht bei einem Vieleck als Grundriſsfigur ſtets ein Kloftergewölbe, welches auch wohl die Namen Haubengewölbe oder Walmkuppel führt, jedoch nicht mit der Bezeichnung Kuppelgewölbe belegt werden ſollte.

Da die ſämtlichen Wölbflächen des Kloftergewölbes von den Umfangsſeiten des zu überwölbenden Raumes aus beginnen und jede derſelben als ein Teil eines Tonnengewölbes anzuſehen iſt, welches an dieſen Seiten ſeine Fufsfläche findet, ſo treten ſämtliche Umfangsmauern des Raumes als Widerlagsmauern auf. Der Abſtand des vorhin bezeichneten, in ſeiner wagrechten Projektion beſtimmten Scheitelpunktes von der wagrechten Kämpferebene beſtimmt die Pfeilhöhe oder kurz die

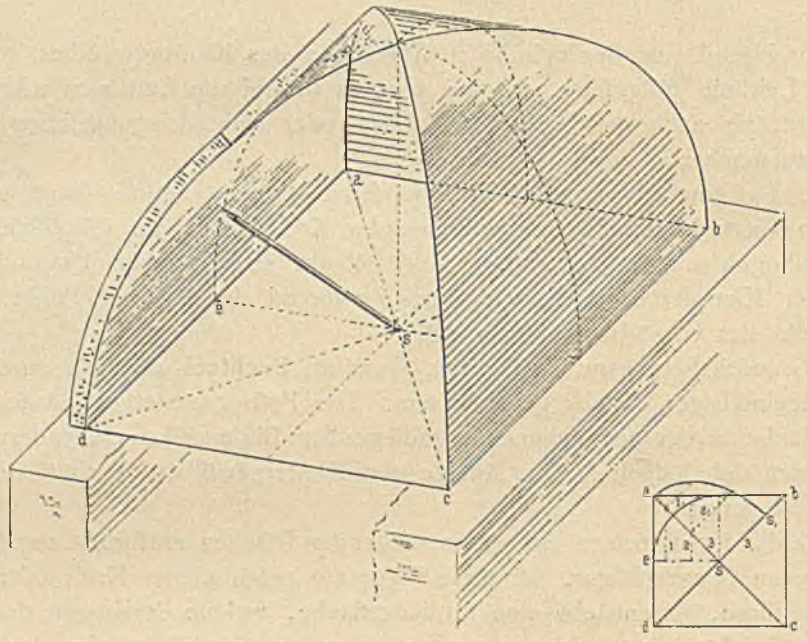
Höhe des Kloſtergewölbes. Dieſelbe kann je nach den für die Durchbildung des Gewölbes zu ſtellenden künſtleriſchen, bezw. ſtatiſchen Anforderungen entſprechend groſs oder klein genommen werden.

Die Schnitt- oder Durchdringungslinien der Wölbflächen heiſsen Gratlinien, Grate oder Gräte.

Die den cylindriſchen Flächen zugehörigen Gewölbkörper nennt man Gewölbkappen oder auch Gewölbwangen. Zwei zuſammentretende Gewölbkappen bilden eine Kehle. Die innere Kehllinie iſt die Gratlinie. Der Winkel einer Kehle entſpricht demjenigen Winkel, welchen die zuſammentreffenden Umfangsmauern bilden, von deren Schnittlinie die Gratlinie der Kehle ausläuft.

Aus den gegebenen allgemeinen Anordnungen eines Kloſtergewölbes iſt zu erkennen, daſs die Geſtaltung desſelben eine äuſserſt mannigfache, ja ſelbſt in künſtleriſcher Beziehung bei groſs angelegten Verhältniſſen eine reiche und anſprechende

Fig. 139.



ſein kann. Bei den gewöhnlichen einfachen Kloſtergewölben über rechteckigen oder quadratiſchen Räumen mit beſchränkter Konſtruktionshöhe iſt allerdings die Wirkung in baukünſtleriſcher Richtung nur äuſserſt mäſsig. Im weiteren Verlaufe der Beſprechung des Kloſtergewölbes wird ſich jedoch zeigen, daſs die Geſtaltung desſelben in verſchiedener Weiſe zu ſeinen Gunſten zu bewirken iſt, ſo daſs ſich die hier und da auftretende, oft ſtiefmütterlich erſcheinende Behandlung des Kloſtergewölbes vermeiden läſst.

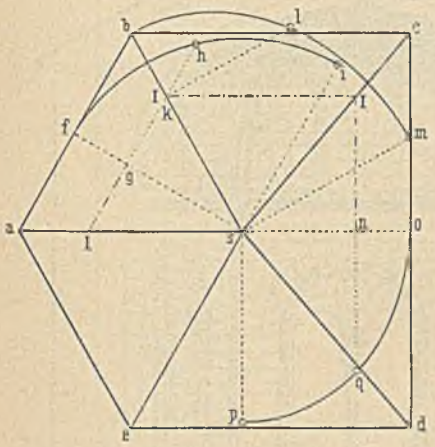
86. Einfache Kloſtergewölbe.

In Fig. 139 iſt die Form eines einfachen Kloſtergewölbes mit quadratiſchem Grundriſs *abcd* gegeben. Die geraden Linien *as*, *bs*, *cs* und *ds* ſind die wagrechten Projektionen der Gratlinien des Gewölbes. Die Urſprungsleitlinie der Gewölbkappe über *asd* iſt ein mit dem Halbmeſſer *se*, gleich der Länge der Ordinate 3, um *s* beſchriebener Viertelkreis. Der Punkt *e* iſt der Mittelpunkt der Seite *ad*. Die Länge der Ordinate 3 beſtimmt die Pfeilhöhe des Kloſtergewölbes. Die wirkliche

Gratlinie $a s_1$, hier eine Viertelellipſe, iſt in bekannter Weiſe mittels der Ordinaten *1*, *2* und *3* feſtgelegt. Für dieſes Gewölbe ſind die Leitlinien aller übrigen Kappen $a s b$, $b s c$ und $c s d$ dieſelben Viertelkreiſe, wie für die Kappe $a s d$, und ebenſo ſind alle Gratlinien über $b s$, $c s$ und $d s$ der Viertelellipſe $a s_1$ gleich. Aus dem Bilde in Fig. 139 ergiebt ſich, in welcher Weiſe die einzelnen Gewölbkappen in den Graten zuſammentreffen und, von den Umfangsmauern aufſteigend, im Scheitelpunkte des Gewölbes gemeinſam endigen.

Für die Geſtaltung der Wölbflächen über einem Vieleck (Fig. 140) erwachſen gleichfalls keine Schwierigkeiten. Hier iſt die wagrechte Projektion des Scheitelpunktes des Gewölbes der Schwerpunkt s des Fünfeckes $a b c d e$. Gerade Linien, von s nach den Mitten der Seiten, z. B. $s f$ nach dem Mittelpunkte f von $a b$, $s o$ nach dem Mittelpunkte o der Seite $c d$ gezogen, geben die wagrechten Projektionen der Leitlinien der einzelnen Gewölbkappen. Dieſelben ſind hier gleichzeitig Lote, welche von s auf die Umfangsſeiten gefällt werden können. Bei ganz unregelmäſsiger Grundriſsform bleiben dieſelben meiſtens keine Lote der Seiten, ſondern laufen am zweckmäſsigſten von s nach den Mittelpunkten derſelben. Die wagrechten Projektionen der Gratlinien ſind wiederum die von s nach den Ecken *a*, *b*, *c* u. ſ. f. gehenden geraden Linien $s a$, $s b$, $s c$ u. ſ. f.

Fig. 140.



Wird nun für eine Gewölbkappe, z. B. für $a b s$, eine beliebig gewählte, geſetzmäſsig geformte Kurve, hier ein Viertelkreis $f i$ um s mit dem Halbmeſſer $s f$ beſchrieben, als Urſprungsleitlinie feſtgeſetzt, ſo giebt $s i = s f$ als Lot von s auf $s f$ die Pfeilhöhe des Gewölbes. Legt man durch den beliebigen Punkt h der Leitlinie $f i$ eine wagrechte Ebene, ſo laufen die Schnittlinien *II*, *II* u. ſ. w. dieſer Ebene auf den ſämtlichen Gewölbflächen, die gleichfalls in einer wagrechten Kämpferebene beginnen, parallel mit den zugehörigen Kämpferlinien der Gewölbkappen, d. h. parallel mit den Seiten der Grundriſsfigur. Gerade Linien mit den Eigenſchaften der Geraden *II* ſind Erzeugende der Gewölbkappen.

Soll nun ein Punkt l einer Gratlinie, z. B. derjenigen über $b s$, gefunden werden, ſo iſt im Schnittpunkte k der Linie *II* mit $b s$ das Lot $k l$ auf $b s$ zu errichten, deſſen Länge gleich iſt dem Lote $g h$, errichtet im Schnittpunkte g der Linie *II* mit der wagrechten Projektion $f s$ der Hauptleitlinie $f i$ der Gewölbkappe $a s b$; denn $g h$ iſt die Ordinate dieſer Leitlinie für die Erzeugende *II*. In gleicher Weiſe iſt auch die Leitlinie $o p$ der beliebig genommenen Gewölbkappe $c s d$ beſtimmt. Für dieſelbe muſs das Lot $n q$ auf $s o$ gleich $g h = k l$ ſein.

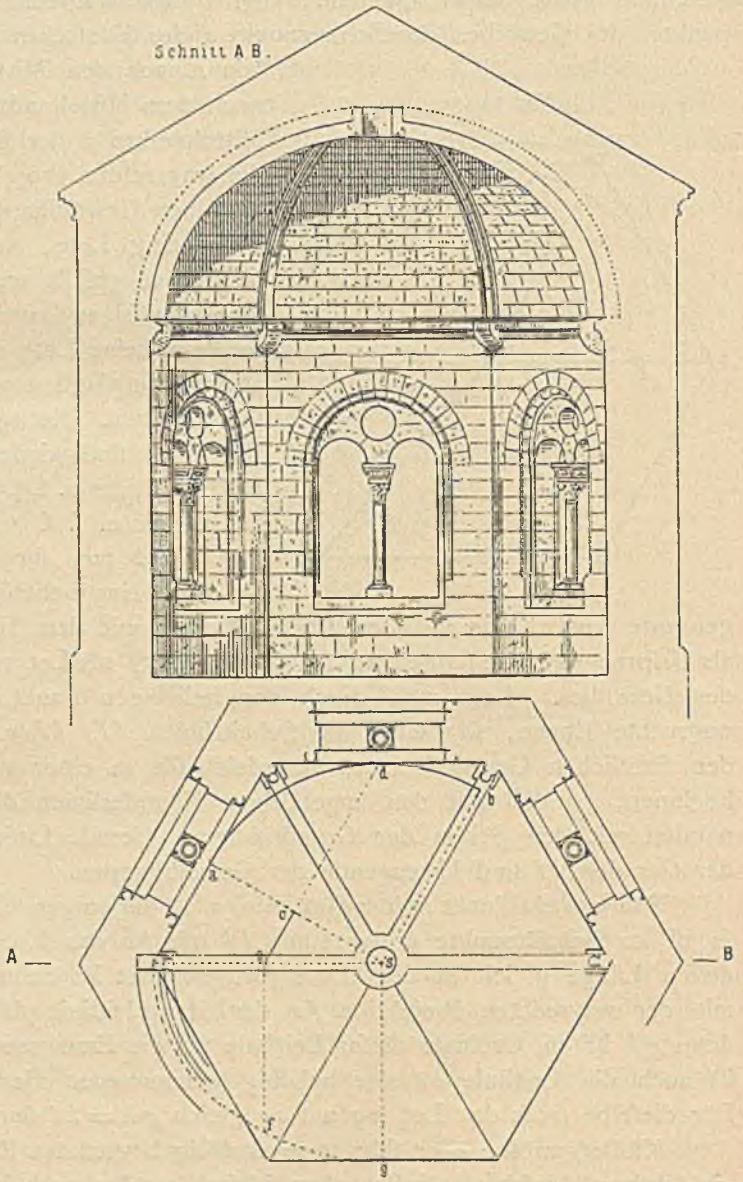
Kloſtergewölbe über ſehr unregelmäſsig begrenzten Räumen gewähren niemals ein ſchönes Ausſehen. Sollen aber ſolche Gewölbe auch bei dieſen Räumen durchaus in Anwendung kommen, ſo erfolgt die Ausmittelung der Wölbflächen genau ſo, wie ſoeben für Fig. 140 angegeben iſt.

Ebenſo gut nun, wie nach Annahme einer Hauptleitlinie für eine Gewölbkappe die Geſtaltung des Kloſtergewölbes vorgenommen iſt, kann umgekehrt auch nach

Feſtlegen einer gewählten Kehl- oder Gratlinie die Geſtalt der Leitlinien ſämtlicher Kappen und der übrigen Gratlinien beſtimmt werden, ohne am Grundgedanken Aenderungen eintreten zu laſſen. Von dieſer Freiheit wird ſpäter noch ausgiebiger Gebrauch zu machen ſein.

Betrachtet man die Gratlinien für ſich wieder als Wölblinien ſchmaler Tonnengewölbe, ſo laſſen ſich dieſe als beſondere Gewölbkörper zu ſog. Gratbogen geſtalten, gegen welche ſich die einzelnen Wangen des Kloſtergewölbes legen. Dieſe Gratbogen, entſprechend mit Anſatzflächen für die Kappen verſehen, treten dann zweckmäſsig in den Kehlen vor und erhalten hier eine mehr oder weniger reiche Gliederung. Durch ſolche Anordnung iſt neben einem Gewinn an architektoniſcher und unter Umſtänden auch an konſtruktiver Durchbildung ein Beleben der immerhin ernſt erſcheinenden Gewölbkappen möglich.

Fig. 141.



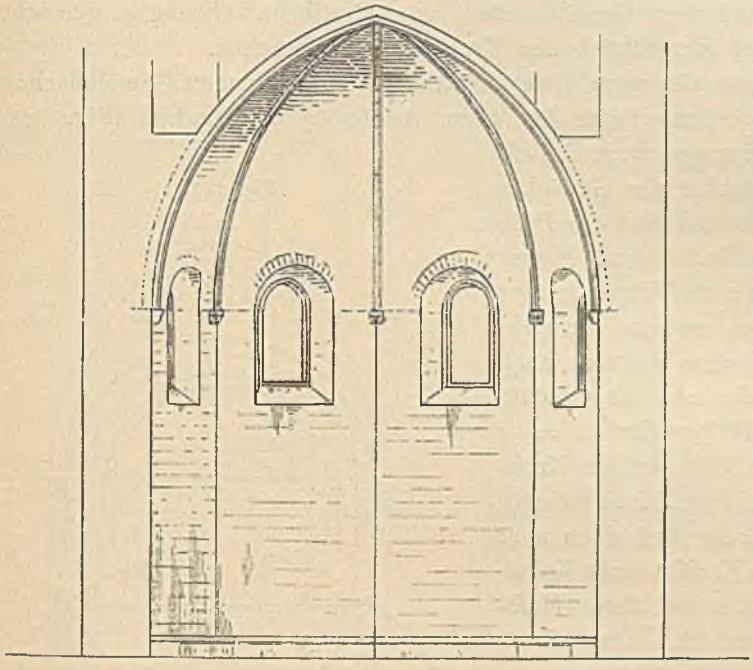
In Fig. 141 iſt ein derartiges Beiſpiel für ein Kloſtergewölbe über einem regelmäſsig ſechseckigen Raume gegeben. Die Ausmittelung eines Gratbogens iſt unter Berückſichtigung des hierüber bereits Geſagten vorgenommen. Die Gratbogen ſind im Scheitel gemeinſchaftlich gegen einen gewölbten Kranz oder Ring geſetzt, welcher gleichſam als der mit einer Oeffnung verſehene Schluſsſtein des Gewölbes auftritt.

87. Kloſtergewölbe mit Stichkappen.

Sind die oberen Abſchlüſſe von Thür- oder Lichtöffnungen der Umfangsmauern der Kloſtergewölbe höher zu legen als die Kämpferenden desſelben, ſo ſind, wie für die Tonnengewölbe in Art. 14 (S. 21) erwähnt, auch die Kloſtergewölbe in ihren

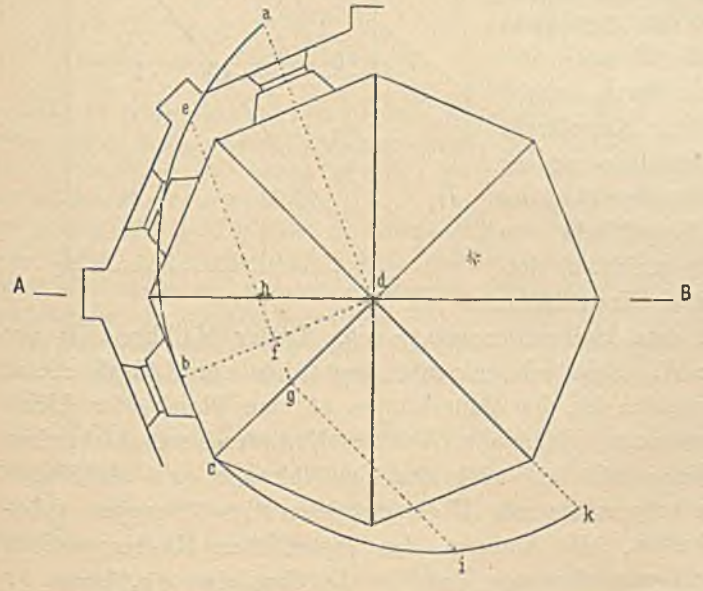
Wangen, welche von jenen Oeffnungen in Mitleidenfchaft gezogen werden, mit Stichkappen zu verfehen. Die Anlagen von Stichkappen oder Lunetten können für fämtliche Gewölbkappen, felbft dann, wenn in den zugehörigen Widerlagsmauern gar keine Oeffnungen vorhanden find, ftattfinden. Hierdurch erfahren die Kloftergewölbe ein leichteres und freieres Ausfehen, als folches bei einem gewöhnlichen Kloftergewölbe ohne Lunetten der Fall ift.

Fig. 142.
Schnitt A B.



Für die Form und Durchbildung folcher Stichkappen gilt das hierüber in Art. 45 (S. 95) bereits Mitgeteilte.

In Fig. 142 ift ein Kloftergewölbe mit kleineren Stichkappenanordnungen und Graten, welche an den Kehllinien vortreten, gegeben.



Die Urfprungsleitlinie *a b* der Gewölbkappen ift ein Kreisbogen, deffen Halbmeffer gröfser ift, als das Lot *d b* auf *b c*. Die Gratbogen *c k* find Ellipfenftücke, welche alsdann fpitzbogenartig über dem achteckigen Raume zufammentreten. Irgend ein Punkt *i* des Gratbogens ift zu beftimmen, indem man z. B. die gerade Erzeugende *g h* parallel zu *b c* zieht, im Schnitte *f* derfelben mit dem Lote *d b*, d. h. der wagrechten Projektion der Leitlinie *a b*, das Lot *f e* auf *d b* errichtet und das in *g* auf *d c*, d. h. der wagrechten Projektion des Gratbogens, errichtete Lot $g i = f e$ abträgt.

Durch diefes Feftftellen der Gewölbform nimmt das Kloftergewölbe die Geftaltung eines Haubengewölbes oder einer Walmkuppel an.

Man kann jedoch ohne Benutzung der eigentlichen Stichkappen in einfacher

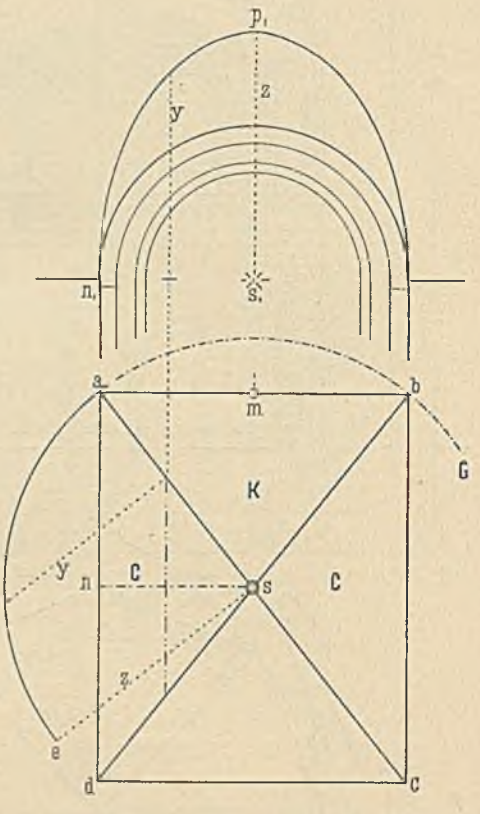
Weiſe, namentlich bei einer Deckenbildung durch Kloſtergewölbe über regelmäſsig begrenzten Grundriſſen, einzelne Umfangsmauern mit gröſseren Thür-, bezw. Fenſteröffnungen verſehen, ſobald eine weitere beſondere Umgeſtaltung des eigentlichen Kloſtergewölbes in Betracht gezogen wird.

88. Kloſtergewölbe mit ſphäriſchen Kappenteilen.

Die Grundlage für dieſe Geſtaltung der Kloſtergewölbe beſteht in der Vereinigung der eigentlichen cylindriſchen Gewölbwangen mit ſphäriſchen Gewölbkappen, wobei die ſämtlichen Gewölbflächen von Gratlinien abhängig gemacht werden, welche beſtimmt vorgeſchriebenen Kreisbogen entſprechen.

Für die Entwickelung der nach dieſer Anſchauung zu bildenden Gewölbflächen möge zunächſt die Deckenanordnung für einen rechteckigen Grundriſs (Fig. 143) behandelt werden. Die wagrechten Projektionen der im Scheitelpunkte des Gewölbes zuſammentretenden Gratbogen ſind die Hälften der Diagonalen des Rechteckes. Nimmt man die Gratlinie über as als Viertelkreis ae mit dem Halbmeſſer sa an und bemerkt man ferner, daſs hier ohne weiteres auch der Gratbogen über bs ein ebenſolcher Viertelkreis mit dem Halbmeſſer $sb = sa$ wird, ſo ſchneiden ſich dieſe beiden Kreisbogen in einem Punkte, dem Scheitelpunkte des Gewölbes. Beide Kreiſe ſind dann aber Teile von zwei gröſsten Kreiſen einer Kugelfläche, deren Mittelpunkt s und deren Halbmeſſer ebenfalls $sa = sb$ iſt. Der Mittelpunkt s dieſer Kugelfläche liegt in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes, welche auch die Eckpunkte a und b des gegebenen Rechteckes enthält. Danach iſt auch der um s mit dem Halbmeſſer sa durch a und b gehende Kreis G ein gröſster Kugelkreis. Die Laibungsfläche der Gewölbkappe K, welche zwiſchen den Kugelkreiſen über sa und sb liegt, kann alſo als Kugelfläche eingefügt werden. Die in ab errichtete lotrechte Ebene ſchneidet dieſe Kugelfläche nach einem Halbkreiſe mit dem Halbmeſſer $ma = mb$. Dieſer Halbkreis iſt der Stirnbogen der Kugelkappe K. Sein Scheitelpunkt liegt über der Kämpferebene, ſo daſs die Möglichkeit vorhanden iſt, im Mauerkörper ab eine Thür- oder Lichtöffnung mit der oberen Begrenzung gleichfalls über der Kämpferebene abſchlieſsen zu können. In gleicher Weiſe läſst ſich auch die Gewölbkappe csd als Kugelkappe einführen. Dagegen mögen die mit C bezeichneten Gewölbkappen cylindriſche Laibungsflächen behalten, alſo Kappen des eigentlichen Kloſtergewölbes bleiben. Ihre Leitlinien ſind nun aber von den für die Gratlinien as, bezw. bs angenommenen Kreisbogen abhängig zu machen. Dieſe Leitlinien werden hier Viertelellipſen, welche in bekannter Weiſe, z. B. über ns vermittelſt der Ordinaten y, z u. ſ. w. als $n_1 p_1$ zu beſtimmen ſind.

Fig. 143.



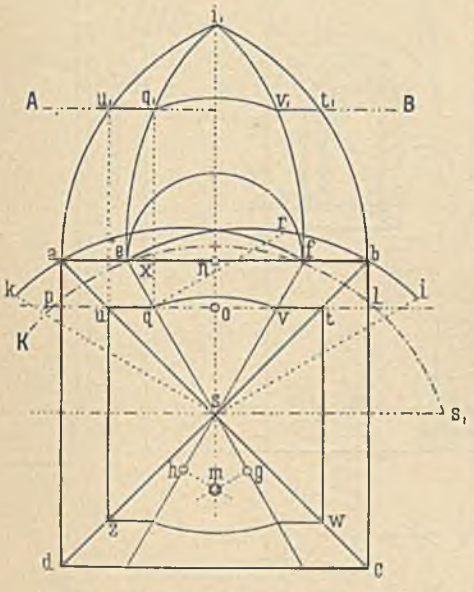
Würden dieſelben Maſsnahmen für eine quadratiſche Plananlage getroffen, ſo entſtänden auch hierbei keine Aenderungen in den grundlegenden Beſtimmungen für die Ausmittelung der Gewölbflächen.

Man braucht aber auch nicht eine einzelne Gewölbkappe in ihrer Geſamtheit als Kugelkappe anzuordnen, ſondern kann nur einen Teil derſelben in geeigneter Lage innerhalb der Wange des Kloſtergewölbes als Kugelkappe einreihen.

In Fig. 144 iſt dieſe Geſtaltung für ein Kloſtergewölbe über einem quadratiſchen Raume gegeben. Das Stück esf der Wange asb ſoll eine Kugelkappe werden.

Die ſymmetriſch zur Gewölbachſe sn gelegenen Schnittlinien der Kugelkappe mit der Wange des Kloſtergewölbes ſind in ihren Grundriſsprojektionen die geraden Linien es und fs. Die Schnittlinien ſelbſt ſollen gegebene Kreisbogen ei, bezw. fk ſein, deren Mittelpunkte g, bezw. h hier in der Kämpferebene und auf den verlängerten Geraden es, bezw. fs liegen. Dieſe beiden Kreisbogen beſtimmen eine Kugelfläche, deren Mittelpunkt m im Schnittpunkte der in g auf es und in h auf fs errichteten Lote liegen muſs. Der Halbmeſſer dieſer Kugelfläche iſt $me = mf$. Der um m mit dieſem Halbmeſſer geſchlagene Kreis K iſt ein größter Kreis derſelben. Die in ab aufgeſtellte lotrechte Ebene ſchneidet die Kugelfläche in einem um n mit $ne = ef$ beſchriebenen Halbkreiſe, welcher zugleich die Stirnlinie der Kugelkappe über esf bildet. Die lotrechte Ebene in ns ſchneidet die Kugelfläche nach dem Kreisbogen fs_1, welcher der Scheitellinie der Kugelkappe entſpricht. Die ſeitlich von den Schnittlinien es und fs der Kugelkappe befindlichen Gewölbſtücke ase und bsf ſind Wangenſtücke der cylindriſchen Kappe des Kloſtergewölbes. Da die Erzeugenden dieſer Kappe gerade wagrechte Linien ſind, welche parallel zu den Kämpferlinien ae, bezw. bf bleiben, ſo wird die Gratlinie as, bezw. bs von den Kreisbogen ei, bezw. fk abhängig gemacht; man erhält hierfür Ellipſenſtücke, worin z. B. die Punkte u_1 und t_1 dieſelbe lotrechte Höhe $xq_1 = qr$ über der Kämpferebene beſitzen, wie die Punkte q_1 und v_1 der Schnittlinien über es, bezw. fs. Die in op parallel zu ab ſtehende Ebene ſchneidet die Wangenſtücke ase und bsf in geraden Linien, deren wagrechte Projektionen in uq und vt, deren Aufriſſe in u_1q_1 und v_1t_1 erhalten werden. Die wagrechte Projektion des Schnittes dieſer Ebene mit der Kugelkappe esf würde die gerade Linie qv ſein, während die lotrechte Projektion desſelben der um n beſchriebene Kreisbogen q_1v_1 iſt. Der Halbmeſſer nq_1 dieſes Kreisbogens iſt gleich der Länge der geraden Linie op, d. h. gleich der halben Länge der Sehne pl des größten Kreiſes K in der Spur op jener Ebene. Eine durch die Punkte u_1t_1 gelegte wagrechte Ebene AB ſchneidet die Laibungsflächen des Wölbſyſtems in der Grundriſsprojektion im Linienzuge $uqvtwz$, wovon z. B. der Kreisbogen qv wiederum, als zur Kugelkappe gehörend, auf der Kugelfläche liegt, deren Mittelpunkt m iſt. Derſelbe iſt ein Teil eines Parallelkreiſes dieſer Kugelfläche. Sein Halbmeſſer iſt $mq = mv$. Die geradlinigen Teile des bezeichneten Linienzuges ſind Erzeugende der ihnen zukommenden cylindriſchen Flächen des eigentlichen Kloſtergewölbes.

Fig. 144.



Nach dieſen Grundlagen können auch bei einem Haubengewölbe Kugelkappen mit Wangen des eigentlichen Kloſtergewölbes abwechſelnd in Verbindung gebracht werden. Die hierfür erforderliche Ausmittelung der Gewölbflächen iſt ohne weiteres aus Fig. 145 zu entnehmen.

Sollen in einer Wange der hier betrachteten Gewölbe mehrere nebeneinander liegende Kugelkappen zur weiteren Gliederung der Wangenfläche angebracht werden, ſo tritt nur eine wiederholte Anwendung des angegebenen Verfahrens ein.

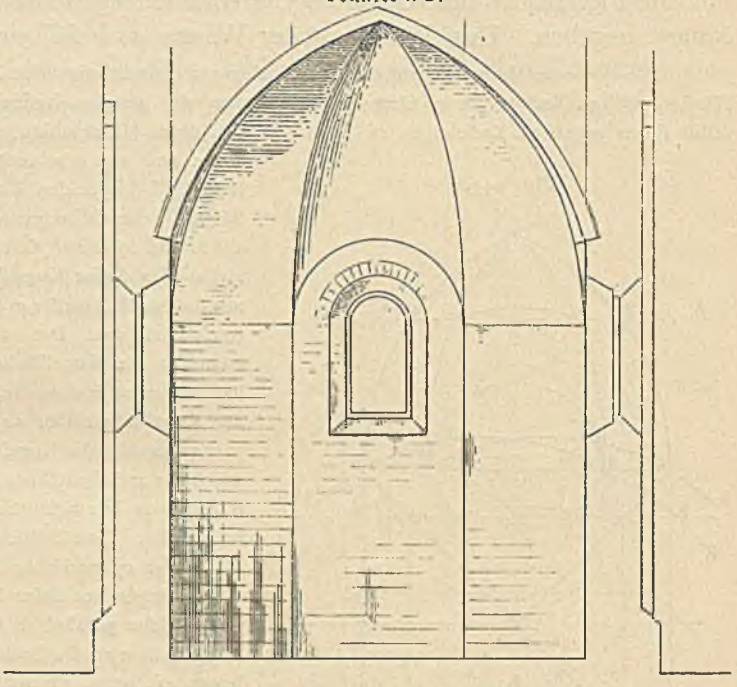
In Fig. 146 ſind für die Wange asb eines Kloſtergewölbes drei Kugelkappen eingeſchaltet, deren

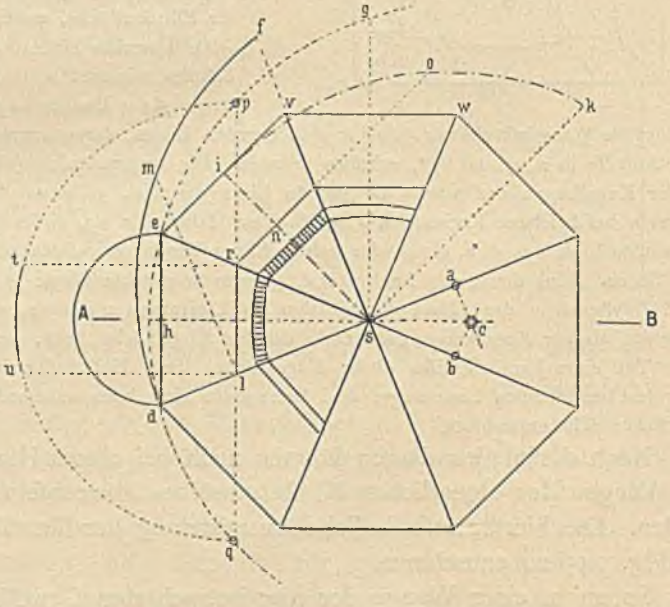
Schnittlinien in der Grundrifsprojektion die vom Scheitelpunkte s auslaufenden Geraden se, sh u. f. f. find, deren wirkliche Form aber beftimmten Kreisbogen entfpricht, welche von e, h u. f. f. aufftcigen und fämtlich einen einzigen gemeinfchaftlichen Schnittpunkt befitzen, und zwar hier den Scheitel des ganzen Gewölbes.

Wenngleich vorweg einer diefer Bogen mit feinem in der Kämpferebene und auf der unter Umftänden weit über s hinaus zu verlängernden Geraden es, bezw. hs gelegenen Mittelpunkte beliebig gewählt werden kann, fo empfiehlt es fich doch zur Feftlegung der Höhe des Scheitels und der Entwickelung der allgemeinen Form des Gewölbes, zuerft einen Verfuchskreisbogen ac in der lotrechten Ebene einer Gratlinie anzunehmen, um danach weiter auch ein fchickliches Aufftcigen der Gewölbflächen beurteilen zu können. Selbftverftändlich gilt diefer Kreisbogen nicht als wirkliche Gratlinie; denn diefe mufs vom zunächftliegenden Kreisbogen der Kugelkappe abhängig werden, alfo fpäter fich als Ellipfenftück feftlegen laffen.

Fig. 145.

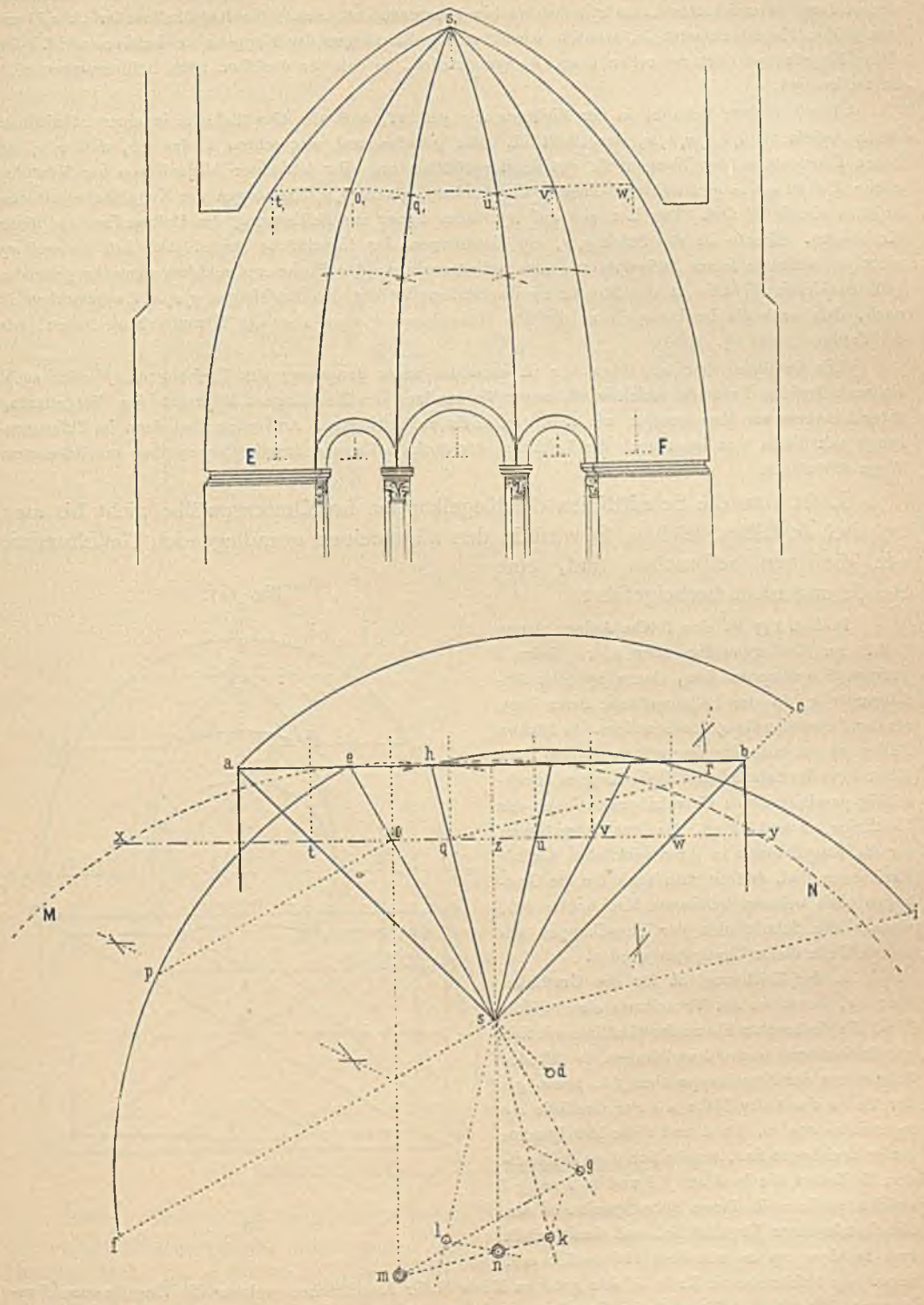
Schnitt A B.





Hiernach fei sc die Scheitelhöhe des Gewölbes. Um den Kreisbogen der Schnittlinie für es zu beftimmen, ift in s auf es das Lot sf errichtet und $sf = sc$ genommen. Das in der Mitte der hier nicht gezeichneten Sehne ef des gefuchten Kreisbogens errichtete Lot trifft die verlängerte Gerade es im Mittelpunkte g des nun zu fchlagenden Kreisbogens ef. In gleicher Weife ift der Kreisbogen hi der Schnittlinie über hs mit dem Mittelpunkte k beftimmt. Beide Kreisbogen befitzen nun in Wirklichkeit den Scheitelpunkt des Gewölbes als einen gemeinfchaftlichen Schnittpunkt. Die Punkte e, h und die Mittelpunkte g, k liegen in einer und derfelben Ebene, hier in der Kämpferebene EF. Sie gehören einer Kugelfläche an, deren Mittelpunkt m fich als der Schnittpunkt der Lote ergiebt, welche in g auf eg und in k auf hk errichtet find. Der Halbmeffer diefer Kugelfläche ift $me = mh$. Befchreibt man um m mit diefem Halbmeffer einen Kreis M, fo erhält man in demfelben den gröfsten Kreis der Kugelfläche, welche die Laibungsfläche der Kappe esh bildet. Die in eh ftehende lotrechte Ebene fchneidet diefe Fläche in einem Halbkreife mit dem Durchmeffer eh, giebt alfo den Stirnbogen der Kugelkappe esh.

Fig. 146.



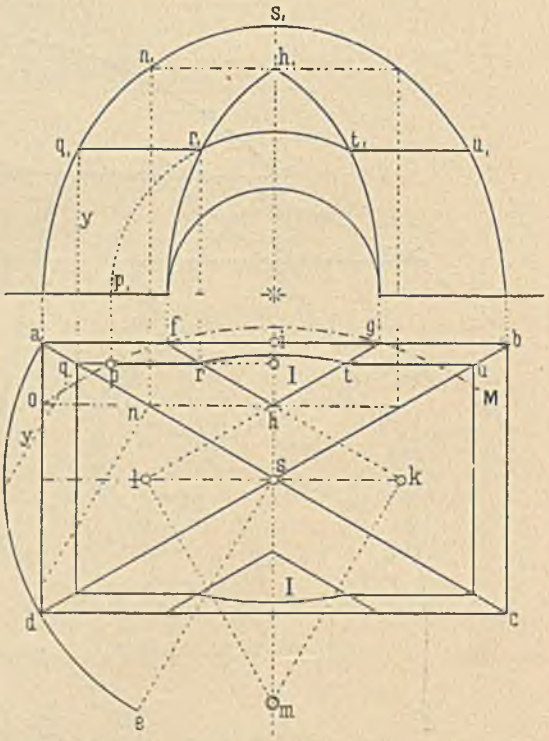
Für die mittlere Kugelkappe z entſprechen beide begrenzenden Schnittlinien demſelben Kreisbogen $h\,i$. Erweitert man $n\,s$ und nimmt man $s\,l = s\,k$, ſo ſind l und k die Mittelpunkte der Kreisbogen, welche der Kugelfläche dieſer Kappe angehören. Der Kugelmittelpunkt n iſt der Schnittpunkt des in l auf $s\,l$ errichteten Lotes mit dem vorhin gezogenen Lote $k\,m$. Der Kugelhalbmeſſer iſt $n\,h$, und der gröſste Kugelkreis wird N, wonach wiederum der Stirnbogen der Kappe z zu beſtimmen iſt. Die dritte Kugelkappe liegt zur erſten über $e\,h\,s$ ſymmetriſch, ſo daſs für dieſelben neue Beſtimmungen nicht zu treffen ſind.

Ein lotrechter Schnitt, in der Richtung $x\,y$ geführt, trifft die Gewölbfläche in einer Schnittlinie, deren Aufriſs als t,o,q,u,v,w, dargeſtellt iſt. Die geraden und wagrechten Linien t,o, und v,w, gehören Erzeugenden der Wangenteile des Kloſtergewölbes an. Ihr lotrechter Abſtand von der Kämpferebene $E\,F$ iſt $o\,p = q\,r$, während offenbar die Stücke o,q, und v,u, Kreisbogen der Kugelfläche mit dem gröſsten Kreiſe M ſind. Das Lot $m\,o$ auf $x\,y$ dient ſofort zur Beſtimmung des Halbmeſſers $o\,x$ dieſer Kreisbogen. Ebenſo iſt das Stück q,u, ein Kreisbogen der Kugelfläche um n. Das Lot $n\,z$ auf $x\,y$ giebt im Abſtande ſeines Fuſspunktes z vom Schnittpunkte y der Ebene $x\,y$ mit dem nunmehr geltenden gröſsten Kreiſe N, alſo in der Strecke $z\,y$ den Halbmeſſer für den Kreisbogen $q,u,$. Zu bemerken iſt noch, daſs auch die Punkte o,q,u,v, dieſelbe Höhenlage $o\,p = q\,r$ über der Kämpferebene haben, wie die Punkte t, und w,.

Die Gratlinie über $a\,s$, bezw. $b\,s$ iſt entweder unter Benutzung des Kreisbogens $e\,f$ oder auch, wodurch dasſelbe Ergebnis erzielt wird, unter Verwendung des Kreisbogens $h\,i$ durch ſog. Vergatterung unter Annahme von Erzeugenden, wie z. B. $t\,w$, leicht zu beſtimmen. Auſserdem ſind dann im Zuſammenhange mit dieſen Gratlinien noch die Leitlinien der übrigen Kappen des Kloſtergewölbes auf bekanntem Wege feſtzulegen.

Läſst man die Schnittlinien der Kugelkappen im Kloſtergewölbe nicht bis zum Scheitel desſelben reichen, ſo wird in den allgemeinen grundlegenden Geſtaltungen, wie dieſelben beſprochen ſind, eine Aenderung nicht herbeigeführt.

Fig. 147.

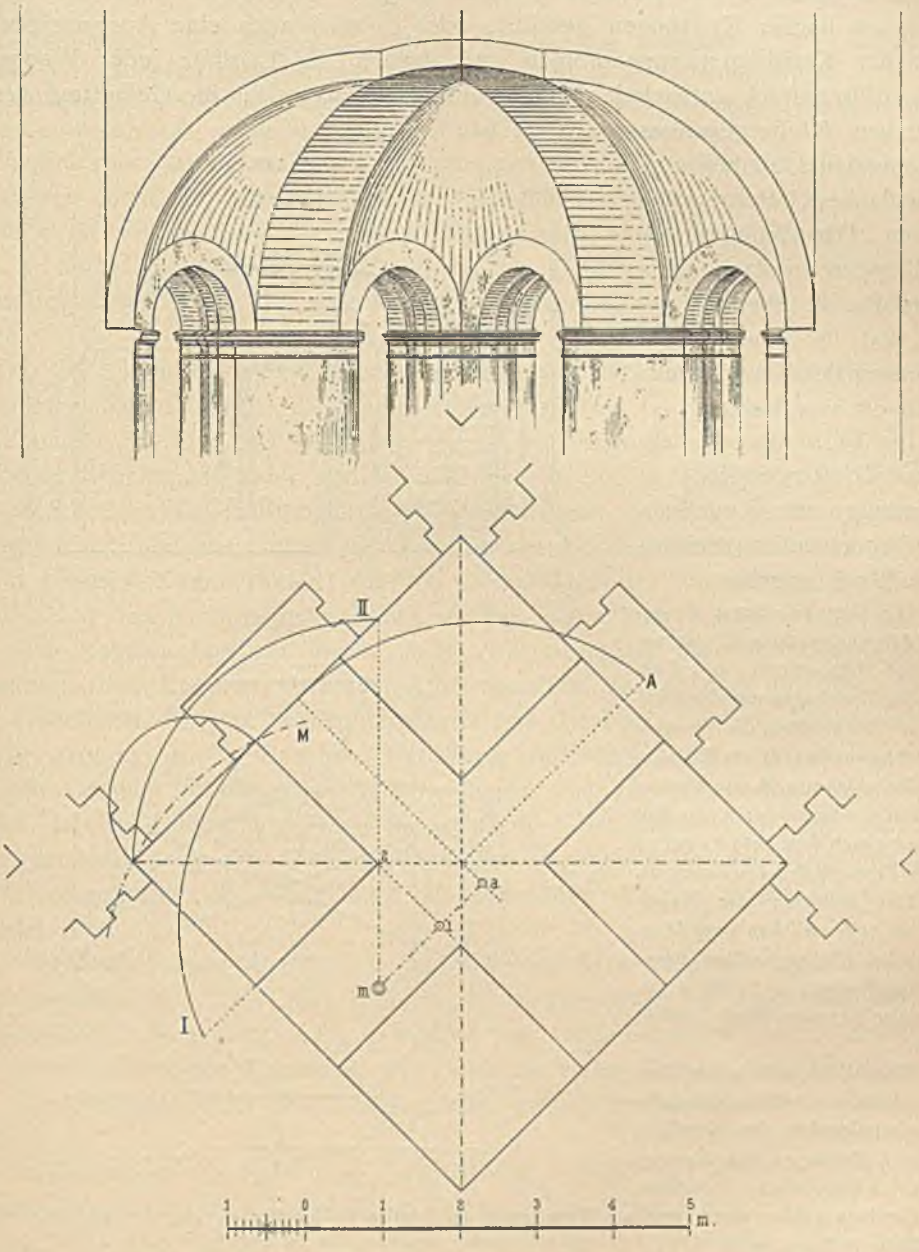


In Fig. 147 iſt eine ſolche Anlage dargeſtellt. Im Kloſtergewölbe über $a\,b\,c\,d$ ſollen I kleinere Kugelkappen ſein, deren höchſter Anfallspunkt h, in der Laibungsfläche tiefer liegt, als der Scheitelpunkt s, des Gewölbes. In ſolchen Fällen nimmt man die wagrechten Projektionen $f\,h$ und $g\,h$ der Schnittlinien dieſer Kappen zweckmäſsig parallel zu den Grundriſsprojektionen der Gratlinien $s\,a$ und $s\,b$ an. Da jene Schnittlinien für die Kugelkappen in ihrer wirklichen Geſtalt Kreisbogen ſind, ſo ſetzt man auch für die Gratbogen ohne weiteres beſtimmte Kreisbogen feſt, wonach die Schnittlinien der Kugelkappen geradezu Teile dieſer Gratbogen werden.

In der Zeichnung iſt für die Gratlinien über $a\,s$, bezw. $b\,s$ ein Viertelkreis $a\,e$ gewählt. Wird die ſenkrechte Ebene der Gratlinie mit ſich parallel bleibend nach $f\,k$ verſchoben, ſo ſoll der Schnittlinie der Kugelkappe über $f\,h$, bezw. $g\,h$ der Teil $a\,d$ mit der Höhe $n\,d$ der Gratlinie $a\,e$ zugewieſen werden. Da k und l die Mittelpunkte dieſer Kreisbogen ſind, welche ſich über h ſchneiden, ſo liefern die in k auf $f\,k$ und in l auf $g\,l$ errichteten Lote in ihrem Schnittpunkte m den Mittelpunkt ihrer Kugelfläche, und ſomit erhält man in dem um m mit dem Halbmeſſer $m\,f$, bezw. $m\,g$ beſchriebenen Kreis M den gröſsten Kreis dieſer Kugelfläche, welcher die Kugelkappen I zukommen. Die Scheitellinie dieſer Kugelkappen iſt der Kreisbogen $f\,o$, alſo gleichfalls ein Teil eines gröſsten Kreiſes wie M, den die ſenkrechte Ebene nach $m\,i$ genommen auf der Kugelfläche erzeugt.

Die ſonſt noch nötigen Ausmittelungen für die Geſtaltung der ganzen Gewölbfläche ergeben ſich nach dem bereits Vorgetragenen. Bemerkt ſei noch, daſs die in $q\,u$ aufgeſtellte ſenkrechte Ebene eine Schnittlinie mit der Aufriſsprojektion $q, r, t\,u$, giebt, während eine wagrechte Ebene, durch q, u, gelegt, die in der Grundriſsprojektion gezeichnete Schnittlinie $v\,q\,r\,t\,u$ liefert. Das Feſtlegen derartiger Schnittlinien iſt ohne weiteres aus der Zeichnung erſichtlich.

Fig. 148.



Sollen, wie in Fig. 148, zwei benachbarte Kugelkappen an jeder Ecke eines mit einem Kloſtergewölbe überdeckten Raumes angebracht werden, wonach alsdann einzelne ſich kreuzende verhältnismäſsig ſchmale Teile des eigentlichen Kloſtergewölbes übrig bleiben, ſo iſt die Geſtaltung der Gewölbfläche nach den angegebenen Regeln und nach den aus der Zeichnung leicht zu erkennenden Ausmittelungen

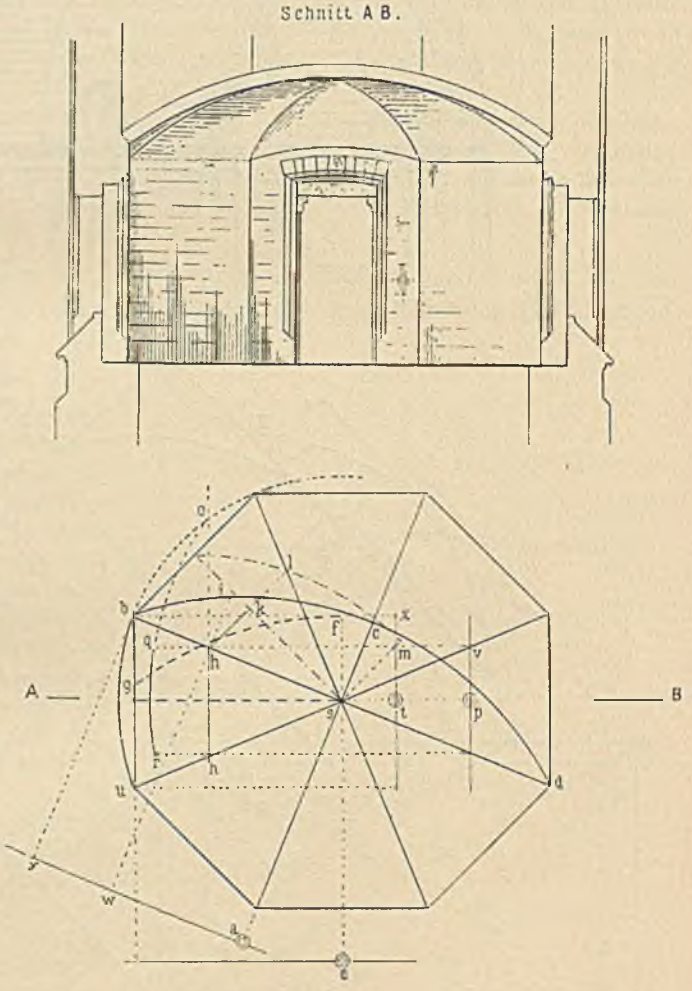
zu beſchaffen. Aehnliche Gewölbanordnungen finden ſich bei Bauwerken, welche im Zopf-, bezw. im ſog. Jeſuitenſtil errichtet ſind.

89. Flache Kloſtergewölbe.

Iſt die Ausgangsleitlinie der Wangen eines Kloſtergewölbes eine geſetzmäſsig krumme Linie von nur geringer Pfeilhöhe, ſo entſteht ein ſog. flaches oder flachbogiges Kloſtergewölbe. Der Scheitelpunkt desſelben liegt in mäſsiger Entfernung über der wagrechten Kämpferebene. In der Regel wird für die erwähnte Ausgangsleitlinie ein flacher Kreisbogen gewählt, oder es wird auch eine Ausgangsgratlinie als flacher Kreisbogen angenommen und danach die Leitlinie jeder Wange als flaches Ellipſenſtück entwickelt. Die Grundſätze, welche für die Geſtaltung des gewöhnlichen Kloſtergewölbes maſsgebend ſind, bleiben auch für das flache Kloſtergewölbe beſtehen. Das Einfügen von Kugelkappen in flache Kloſtergewölbe iſt ebenfalls zuläſſig und für eine weitere Gliederung der Gewölbfläche an ſich oft von Vorteil.

Fig. 149.

Schnitt A B.



In Fig. 149 iſt ein flaches Kloſtergewölbe in Verbindung mit Kugelkappen über einem regelmäſsigen Achteck gegeben.

Die über $b\,s$, bezw. $d\,s$ gewählte Ausgangsgratlinie iſt der um a mit dem Halbmeſſer $a\,b = a\,d$ beſchriebene Kreisbogen mit der Pfeilhöhe $s\,c$. Die Leitlinie der Wange k des Kloſtergewölbes iſt ein Ellipſenſtück, für welches z. B. ein Punkt l in bekannter Weiſe durch das Lot $k\,l$ auf $s\,k$ gleich dem Lote $h\,i$ auf $s\,b$ für eine Erzeugende $h\,l$ beſtimmt iſt.

Das Feſtlegen der Kugelfläche für eine zwiſchen zwei Wandungen des Kloſtergewölbes eingefügte Kugelkappe, z. B. für $b\,s\,u$, kann in der folgenden Weiſe bewirkt werden.

Der Mittelpunkt a der Ausgangsgratlinie $b\,c$ liegt lotrecht unter dem Scheitelpunkte des Gewölbes in einem Abſtande $s\,a$ von der wagrechten Kämpferebene entfernt. Dieſe Gratlinie gehört einem gröſsten Kugelkreiſe an, deſſen Halbmeſſer $a\,c$ iſt, ſo daſs hierdurch die Kugelfläche beſtimmt wird.

Der um s mit dem Halbmeſſer $s\,b$ beſchriebene Kreis $b\,o$, welcher durch die Ecken des Raumes gehen würde, iſt ein Parallelkreis der Kugelfläche. Derſelbe liegt in der wagrechten Kämpferebene.

Um den Stirnbogen über $b\,u$ für die Kugelkappe auszutragen, iſt $b\,x$ lotrecht zu $b\,u$ gezogen und $b\,x$ gleich dem vorhin erwähnten Abſtande $s\,a$ genommen. Dieſer Abſtand $s\,a$ iſt, wie aus der Zeichnung zu erſehen, auch gleich dem Lote $b\,y$ auf der zu $s\,b$ parallelen wagrechten Spur $a\,y$ der Mittelpunktsebene der Kugel. Zieht man $x\,m$ parallel $b\,u$, ſo giebt das von dem Halbierungspunkte der Seite $b\,u$ auf

die erweiterte Gerade $x m$ gefällte und durch s ziehende Lot im Punkte t den Mittelpunkt für den im Grundriſs niedergelegten Stirnbogen $b u$.

Nimmt man $h h$ parallel zu $b u$, ſo ſchneidet die in $h h$ ſtehende lotrechte Ebene die Kugelfläche nach einem Kreisbogen $q r$ mit dem Mittelpunkte p und dem Halbmeſſer $w i$. Der Punkt p liegt im Schnittpunkte einer zur Linie $h h$ parallelen Geraden, für welche $h v = h w = s a$ iſt, mit dem erweiterten Lote $s t$ auf $b u$. Würde man die Gerade $h h$ bis zum Schnittpunkte o mit dem Parallelkreiſe $b o$ der Kugelfläche verlängern, ſo geht auch der entſprechend fortgeführte, um p beſchriebene Kreis $r q$ durch dieſen Punkt o.

Die Scheitellinie der Kugelkappe $b s u$ iſt der um e mit dem Halbmeſſer $e f = a c$ beſchriebene Kreisbogen $g f$. Der Punkt e liegt offenbar auf dem Lote $s e$ zu $s p$ im Abſtande $s e = s a$.

Läſst man auf eine Kloſtergewölbwange ſtets der Reihe nach eine Kugelkappe folgen, ſo ergiebt ſich eine Gewölbanordnung, welche im Schnitte $A B$ noch näher verdeutlicht iſt.

Wollte man auch bei einem flachbogigen Kloſtergewölbe mit Kugelkappen die letzteren nicht bis zum Scheitel des Gewölbes reichen laſſen, ſo iſt in der Grundlage für ſolche Anordnung nach dem in Art. 88 (S. 173) Geſagten zu verfahren. Hierbei iſt nur, wie Fig. 149 ſoeben gezeigt, immer der Abſtand des Kugelmittelpunktes von der wagrechten Kämpferebene gehörig in Rückſicht zu nehmen.

90. Kloſtergewölbe mit Abſtumpfungen.

Das Beſtreben, in den Umfangsmauern eines mit einem Kloſtergewölbe abgeſchloſſenen Raumes, über die Kämpferlinie desſelben hinausgehend, Thür- oder Lichtöffnungen in thunlichſt ungehinderter Weiſe anbringen zu können, ohne von eigentlichen Stichkappen oder von beſonderen eingefügten Kugelkappen Gebrauch zu machen, hat zur Geſtaltung von Kloſtergewölben geführt, deren cylindriſche Laibungsflächen von den lotrechten Ebenen der Umfangsſeiten des Raumes nicht mehr in geraden Kämpferlinien, ſondern in aufſteigenden Bogenlinien geſchnitten werden. Von den Kämpferlinien bleibt in der wagrechten Kämpferebene an den Ecken des Raumes nur ein Punkt übrig; die benutzten Gewölbflächen gehören gleichſam in ihrer Erweiterung einem Kloſtergewölbe an, welches für einen beſonderen, eingebildeten Raum, deſſen Grundriſs von der Form des gegebenen Raumes abhängig gemacht wird, in ſeiner Geſtaltung feſtgelegt wurde. Aus dieſem zu Hilfe genommenen Kloſtergewölbe bildet man das zur Anwendung kommende Gewölbe durch Abſtumpfung der Laibungsflächen des erſteren, indem man das Urſprungsgewölbe von den Umfangsſeiten des gegebenen Raumes ſchneiden läſst und die ſo entſtandenen Schnittlinien als Stirnlinien für das eigentliche Gewölbe verwendet.

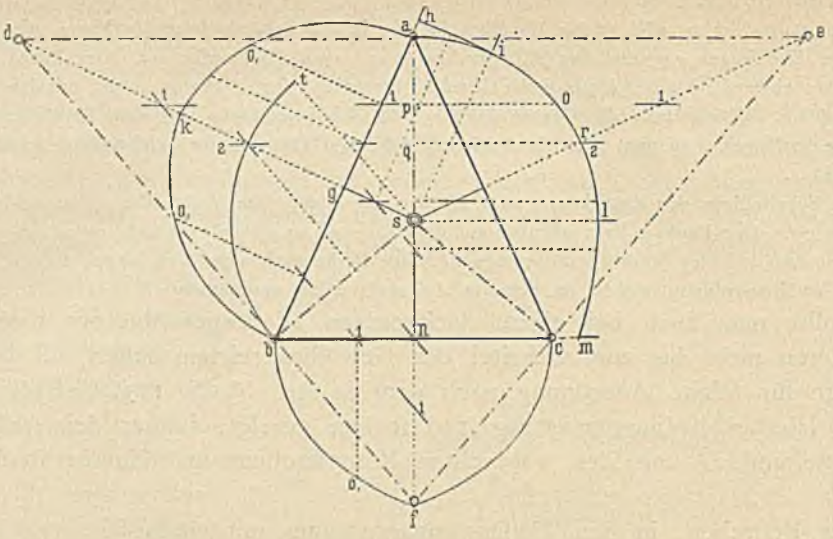
Unter Beibehaltung dieſer Grundentwickelung laſſen ſich die »Kloſtergewölbe mit Abſtumpfungen« oder die »offenen Kloſtergewölbe« in mannigfachſter, in architektoniſcher Beziehung auch günſtiger und anſprechender Weiſe ausbilden. Ueber einem dreieckigen Raume iſt z. B. eine zu dieſer Gruppe von Gewölben gehörige Deckenkonſtruktion des Sanktuariums der *Notre-Dame*-Kirche in Paris ausgeführt [19]).

Zunächſt möge die Erzeugung eines Kloſtergewölbes mit Abſtumpfungen auch hier unter Benutzung eines dreieckigen Raumes gezeigt werden.

Das Dreieck $a b c$ (Fig. 150) ſei die gegebene Grundriſsform. Vom Schwerpunkt s desſelben gehen nach den Ecken a, b, c des Dreieckes die wagrechten Projektionen der Leitlinien des eigentlichen zu erzeugenden Kloſtergewölbes. Zieht man von s die gehörig erweiterten Lote $s d$, $s e$, $s f$, ſo läſst ſich dem Dreiecke $a b c$ das Dreieck $d e f$ umſchreiben. Betrachtet man dieſes Dreieck $d e f$ als Grundriſs eines Kloſtergewölbes, aus welchem durch Abſtumpfung nach den ſchneidenden lotrechten Ebenen $a b$, $b c$, $c a$

[19]) Siehe: Viollet-le-Duc. *Dictionnaire raiſonné de l'architecture françaiſe etc.* Band 9. Paris 1868. S. 512.

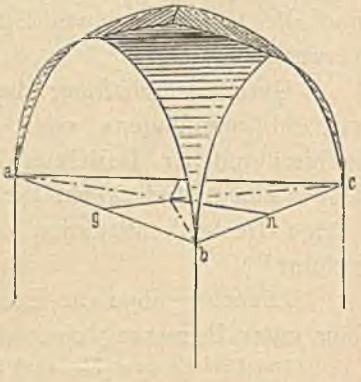
Fig. 150.



das wirkliche Kloſtergewölbe über *a b c* entſtehen ſoll, ſo ſind *s d*, *s e*, *s f* die wagrechten Projektionen der Gratlinien dieſes Hilfgewölbes und *d s e*, *e s f*, *f s d* die Grundriſsprojektionen der cylindriſchen Wangen desſelben. Setzt man für eine Wange, z. B. für *f s d*, ihre Leitlinie über *s b* als eine geſetzmäſsig gebildete krumme Linie, hier als einen Viertelkreis *b t* feſt, ſo können, nachdem die Ausmittelung der Gratlinien und übrigen Leitlinien ganz entſprechend derjenigen bei einem gewöhnlichen Kloſtergewölbe für einen Raum *d e f* vorgenommen iſt, die für das wirkliche Kloſtergewölbe über *a b c* erforderlichen Maſsnahmen getroffen werden. Mit Hilfe von Erzeugenden *1 1*, *2 2* ganz im Sinne von dem in Art. 86 (S. 165) Geſagten geführt, ergeben ſich unter ſteter Benutzung der Urſprungsleitlinie *b t* in leichter und aus der Zeichnung zu erſehender Weiſe die Stirnlinien *a k b*, *b f c* u. ſ. f. als Ellipſenſtücke, welche ſpitzbogenartig zuſammentreffen; ebenſo z. B. die Leitlinie *a o l* über *a s* der Kappe *a s c* und endlich die Scheitellinien der einzelnen Kappen wie *h i* über *g s*, *l m* über *s n* u. ſ. f., welche offenbar Teile der Gratlinien des Kloſtergewölbes über dem Ergänzungsraume *d e f* ſind.

Wie das Bild in Fig. 151 ergiebt, ſind durch ein derart geſchaffenes, abgeſtumpftes Kloſtergewölbe reichlich groſse Oeffnungen in den Umfangsmauern des Raumes möglich. Das Gewölbe ſelbſt ſteigt von den Ecken desſelben aus in leichter Form auf. Seine Laibungsflächen ſind cylindriſche Flächen, welche ſich in den Scheitellinien der Kappen ſchneiden.

Fig. 151.



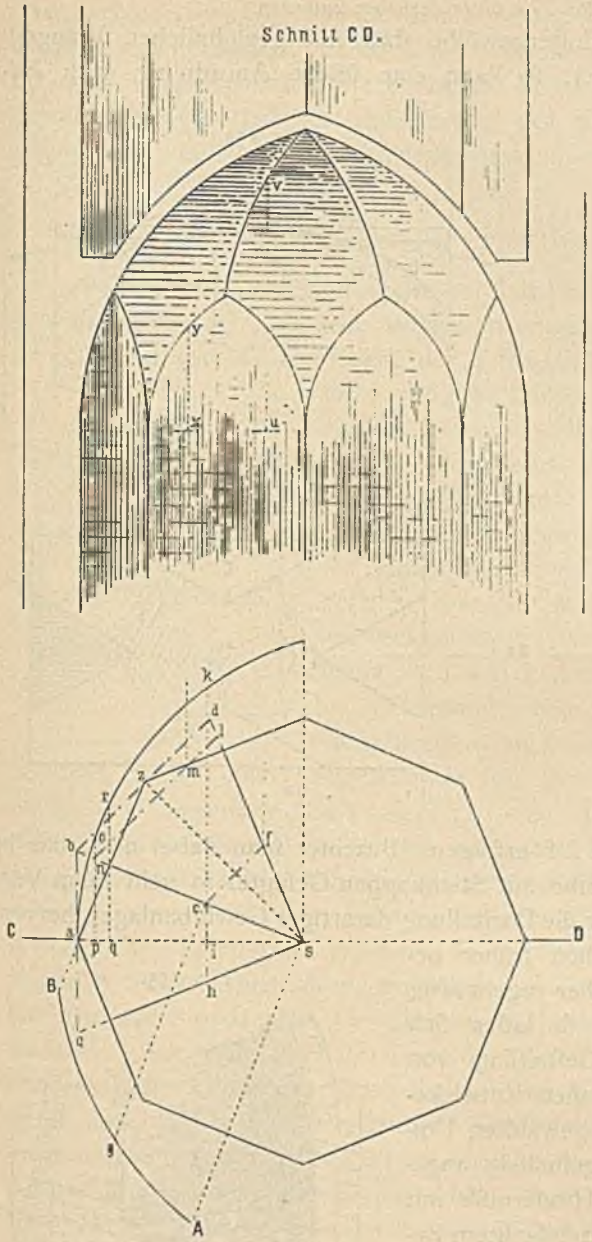
Iſt die Grundriſsfigur eines abgeſtumpften oder offenen Kloſtergewölbes ein regelmäſsiges Vieleck, ſo erfolgt das Feſtlegen der Gewölbflächen im allgemeinen nach denſelben Grundſätzen, wie ſolche für das Dreieck angegeben ſind.

In Fig. 152 iſt ein regelmäſsiges Achteck als Grundriſsprojektion eines abgeſtumpften Haubengewölbes angenommen. Wird dieſem Grundriſs ein neues Achteck umſchrieben, ſo iſt z. B. das Dreieck *b s d* die Grundriſsprojektion einer Gewölbwange des ergänzenden Kloſtergewölbes, welches durch die in *a z* geführte lotrechte Ebene des gegebenen Grundriſſes abgeſtumpft wird.

Die über *s z* oder, da *s z* gleich *s a* iſt, auch über *s a* ſtehende Leitlinie einer derartigen maſsgebenden Wange ſei der beliebig gewählte, in *a* beginnende Kreisbogen *k*.

Nach demſelben laſſen ſich ohne weiteres die Gratlinien, z. B. über *s n* als *A B*, und ferner die hier elliptiſchen Spitzbogen entſprechenden Formen der Stirnbogen in bekannter Weiſe ermitteln, ſoweit

Fig. 152.



dieſelben für das wirkliche Kloſter-, bezw. Haubengewölbe notwendig werden. Wie aus der Zeichnung zu entnehmen, iſt $u\,v$ im Schnitte CD gleich $i\,k = c\,g$, ferner $x\,y = p\,o$, während der Scheitel der Stirnbogen in einer Höhe gleich $q\,r$ über der wagrechten Kämpferebene liegen muſs. Die Laibungen des Haubengewölbes gehören hier durchweg cylindriſchen Flächen an, deren Leitlinien durch einen und denſelben Grundbogen k beſtimmt ſind.

Liegen mehrere gleiche Raumabteilungen nebeneinander, welche durch Säulen- oder Pfeilerſtellungen mit unter ſich verbundenen Gurtbogen einem Geſamtraume angehören, ſo ſind für jede Abteilung gleichfalls offene Kloſtergewölbe ohne Schwierigkeit herzurichten. Solche in Gewölbjochen nebeneinander liegende, offene oder abgeſtumpfte Kloſtergewölbe zeigen in ihrer Geſamtheit groſse Aehnlichkeit mit den ſpäter noch zu erwähnenden Trichtergewölben.

Verbindet man bei einem Kloſtergewölbe abgeſtumpfte Wangen mit Wölbflächen nicht abgeſtumpfter Wangen, ſo entſpringt wiederum eine beſondere Geſtaltung für eine maſſive Decke. Fig. 153 zeigt die Anordnung derſelben als umgeſtaltetes, flachbogiges Kloſtergewölbe für einen rechteckigen Raum.

Zieht man von der wagrechten Projektion s des Scheitels des Gewölbes in geſetzmäſsiger Folge und Anordnung gerade Linien wie $s\,e$, $s\,f$ u. ſ. w., ſo können dieſelben als die Grundriſsprojektionen von Gratlinien des zu ſchaffenden Gewölbes angenommen werden. Behandelt man nun die Stücke, welche dem Teile $s\,e\,a\,f$ entſprechen, als abgeſtumpfte Kloſtergewölbe, während die antretenden Teile wie t, i, v u. ſ. f. als gewöhnliche Kloſtergewölbwangen mit wagrechter Kämpferlinie beſtehen bleiben, ſo erhält man das bezeichnete Gewölbe.

Nimmt man $e\,f$ als wagrechte Projektion einer Erzeugenden der Wange über $a\,f\,s\,e$ an, zieht darauf $c\,d$ parallel zu $e\,f$, damit das Dreieck $c\,s\,d$ entſteht, ſo gilt dieſes als Grundriſs für das ergänzende Kloſtergewölbe jener Wange. Die Leitlinie iſt der über $a\,s$ liegende, um m beſchriebene flache Kreisbogen $a\,b$.

Nach dieſem Grundbogen ergiebt ſich unter Anwendung der wagrechten Projektionen zugehöriger Erzeugenden wie $e\,f$ und $f\,p$; i, n und k; q und t ſofort die Leitlinie der Wange t als elliptiſcher Bogen $p\,v$.

Für denſelben iſt $o\,p = g\,h$, $t\,u = q\,r$ und $s\,v = s\,b$. Auf gleichem Wege ſind, wie Fig. 153 kenntlich macht auch die Gratlinien über $f\,s$ u. ſ. f., bezw. die Schnittlinien über $a\,f$, bezw. $a\,e$ u. ſ. f. und endlich auch Punkte wie i, der Leitlinie der Wange i zu finden. Die Kämpferlinien der gewöhn-

lichen Kloftergewölbwangen *i*, *t* u. f. f. liegen fämtlich in einer wagrechten Ebene, während die Kämpferpunkte der abgeftumpften Wangen um eine Höhe *g h* unter derfelben auftreten.

Wünfcht man abgeftumpfte Kloftergewölbe ftatt mit gewöhnlichen Wangenteilen mit Stichkappen zu verbinden, fo kann eine folche Anordnung nach An-

Fig. 153.

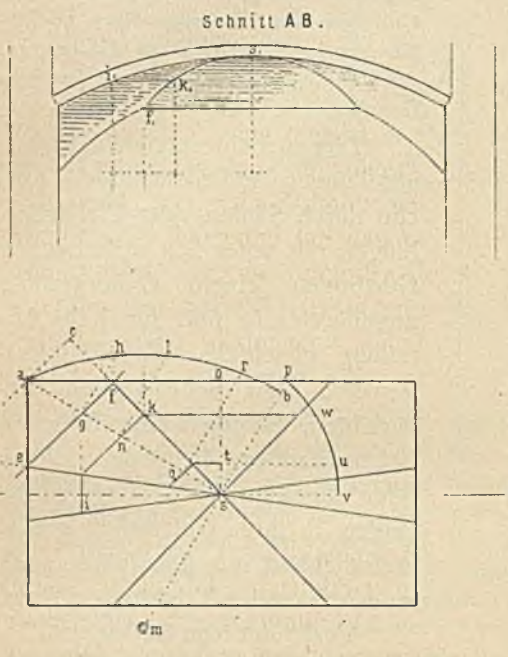
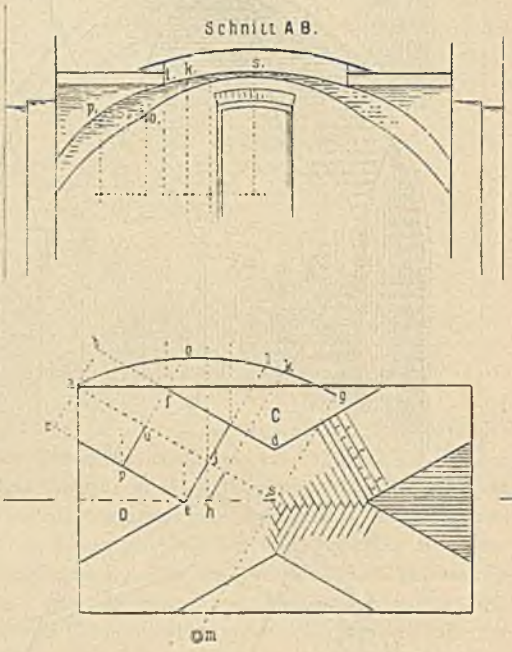


Fig. 154.

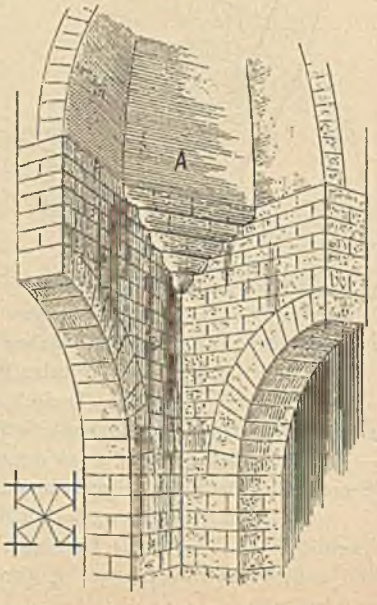


leitung von Fig. 154 wie bei *C*, *D*. u f. f. erfolgen. Beachtet man dabei noch das in Art. 13 (S. 24) für das Tonnengewölbe mit Stichkappen Gefagte, fo geht beim Verfolgen der Zeichnung alles Nötige für die Darftellung derartiger Gewölbanlagen hervor.

92. Eck-überführungen etc.

Sind Kloftergewölbe, wie fchon früher bemerkt, im allgemeinen am beften über regelmäfsig geftalteten Grundriffen herzuftellen, fo laffen fich unter Beobachtung der für die Geftaltung von folchen Gewölben überhaupt gegebenen Entwickelungen auch bei diefen oder jenen gewählten Umformungen felbft Räume mit unregelmäfsig angelegtem Grundrifs ohne erhebliche Hinderniffe mit derartigen Decken verfehen. Bei durchdachtem Zufammenfügen der einzelnen Wangen oder Kappen derfelben kann eine folche Decke recht günftig wirken.

Fig. 155.



Ift die Grundrifsform ein regelmäfsiges Vieleck von *n* Seiten und foll für diefelbe ein Kloftergewölbe mit 2 *n* Wangen angelegt werden, fo ift für die Kämpferlinien diefes Gewölbes dem gegebenen *n*-Eck ein 2 *n*-Eck einzufchreiben. In folchem Falle haben *n* Seiten des eingefchriebenen Vieleckes ohne weiteres keine unmittelbare Unter-

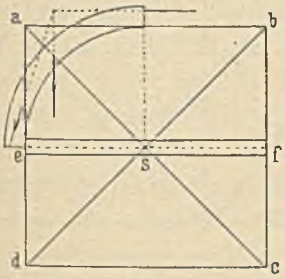
ſtützung durch lotrecht aufgeführte Umfangs- bezw. Widerlagsmauern. Dieſelben ſind alsdann, wie Fig. 155 bei einer Wange *A* zeigt, durch Tragſteine oder Ueberkragungen zu ſchaffen. Statt dieſer Ueberkragungen können auch in beſſerer und oft in wirkungsvollerer Weiſe beſondere kleine Gewölbe als ſog. Eck- oder Niſchengewölbe, wovon bei der Ausführung der Kloſtergewölbe (unter 3) noch weiter geſprochen werden ſoll, in Anwendung kommen.

2) Stärke der Kloſtergewölbe und ihrer Widerlager.

92. Gewölbſtärke.

Beim einfachen Kloſtergewölbe ſind die Gewölbwangen Teile eines Tonnengewölbes. Zerlegt man jede Wange in einzelne Streifen, deren Begrenzungsebenen lotrecht und parallel zur Ebene der Scheitellinie der cylindriſchen Wölbkappen geführt ſind, ſo könnte jeder Streifen für ſich als ein Teil eines Tonnengewölbes betrachtet und dementſprechend ſtatiſch unterſucht werden. Der Elementarſtreifen *se*, bezw. *sf* (Fig. 156), deſſen lotrechte Kräfteebene die Scheitellinien der zugehörigen Gewölbwangen enthält, iſt offenbar ein Hauptſtreifen, in welchem der gröſste Gewölbſchub herrſcht, während in allen Nachbarſtreifen, wenn von einer unzweckmäſsigen oder übertriebenen Ueberlaſtung abgeſehen wird, ein kleinerer Gewölbſchub auftreten muſs.

Fig. 156.



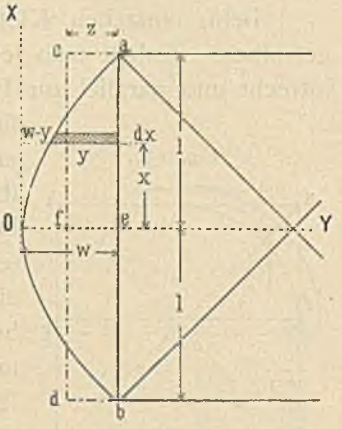
Beſtimmt man die Stabilität und die Stärke des Hauptſtreifens unter der üblichen Annahme, daſs die Breite desſelben gleich einer Längeneinheit ſei, ganz nach den für die Beſtimmung der Stärke der Tonnengewölbe in Kap. 11 (unter b) gegebenen Entwickelungen, ſo giebt man aus praktiſchen Gründen den ſämtlichen Wölbſtreifen der betreffenden Wange die gefundene Stärke. Würden bei einem Kloſtergewölbe über rechteckigen, vieleckigen oder auch über unregelmäſsigen Räumen ſich ſolche Hauptſtreifen von verſchiedener Spannweite ergeben, ſo wird im allgemeinen für das ganze Gewölbe diejenige Stärke beibehalten, welche der gröſste Hauptſtreifen beanſprucht. Die auf Kuf gemauert gedachten Gewölbwangen legen ſich über ihren Gratlinien gegeneinander. Ihr Gewölbſchub flieſst im Gewölbkörper bis zum Widerlager fort, ohne daſs die Ebene der Grate dadurch mit Gewichten belaſtet wird. Tritt an die Stelle dieſer Ebene ein ſelbſtändiger Gratbogenkörper, was zuweilen der Fall, aber nicht durchaus nötig iſt, ſo bildet derſelbe für ſich ein beſonderes Tonnengewölbe, nur beeinfluſst durch ſein Eigengewicht, bezw. durch ſeine etwa vorhandene Ueberlaſt. Hiernach würde alſo die Stärke ſolcher Gratbogen ebenſo zu berechnen ſein, wie bei einem derart angeordneten, freiſtehenden Tonnengewölbe. Werden die Gewölbwangen auf Schwalbenſchwanzverband ausgeführt, ſo entſprechen die Stabilitätsunterſuchungen der dann entſtehenden Elementarſtreifen dem in Art. 62 (S. 137) Vorgetragenen. Auch bei dieſem Verbande, welcher wohl bei flachen Kloſtergewölben, ſeltener oder gar nicht bei Gewölben mit entſprechend groſser Pfeilhöhe in Anwendung kommt, können die Schichten entweder ſtumpf in der Ebene der Grate zuſammenſtoſsen oder beſſer über der Gratlinie auf Stich gegeneinander treten.

93. Widerlagsſtärke.

Da die Gewölbſtreifen, ſelbſt wenn dieſelben, wie es der Fall iſt, ſämtlich eine gleiche Stärke erhalten, vermöge ihrer verſchieden groſsen Spannweite, welche von Null bis zur Weite eines Hauptſtreifens in einer Gewölbkappe wächſt, auf ihr

Widerlager einen verſchieden groſsen Druck ausüben, ſo folgt, daſs die ſonſt ganz im Sinne des in Art. 24 (S. 57) geführte Beſtimmung der Widerlagsſtärke für jeden Elementarſtreifen ein anderes Maſs ergeben wird. Dieſes Maſs würde gleichfalls von Null bis zur gröſsten Widerlagsſtärke, welche der Hauptſtreifen der zugehörigen Kappe nötig macht, zunehmen. Trägt man die den einzelnen Streifen zukommenden Widerlagsſtärken als Ordinaten der äuſseren Begrenzungslinie des betreffenden Widerlagers auf, ſo erhält man eine krumme Linie und danach eine beſtimmte Grundfläche des Widerlagskörpers. Für die praktiſche Ausführung eignet ſich jedoch ein ſolches Widerlager nicht. Statt desſelben iſt beſſer ein Widerlagskörper mit rechteckiger Grundfläche anzuordnen. Derſelbe muſs aber das gleiche Maſs der Stabilität beſitzen, wie das theoretiſch ermittelte, nach aufsen krummlinig begrenzte Widerlager.

Fig. 157.



Die krumme Linie $a\,O\,b$ in Fig. 157, welche als äuſsere Begrenzung des Widerlagers einer Gewölbkappe gefunden iſt, kann mit hinreichender Genauigkeit als eine Parabel mit dem Scheitel in O angeſehen werden. Der Hauptſtreifen möge die Widerlagsſtärke w erfordern, ſo daſs w die Pfeilhöhe jener Parabel iſt. Dieſe Linie w ſcheidet die Parabelfläche in zwei gleiche, ſymmetriſch liegende Teile. Das Rechteck $a\,b\,c\,d$, bezw. die Hälfte desſelben $a\,e\,f\,c$ ſoll dieſelbe Stabilität beſitzen, wie die Parabelfläche $a\,b\,O$, bezw. wie die Hälfte $a\,e\,O$ derſelben.

Die noch unbekannte Breite dieſer Rechtecksfläche ſei z. Unter Benutzung der Bezeichnungen in Fig. 157 erhält man zunächſt das Stabilitätsmoment $\mathfrak{M}$ der Fläche $a\,e\,f\,c$ in Bezug auf die Drehkante $f\,c$ als

$$\mathfrak{M} = l z \frac{z}{2} = \frac{l}{2} z^2. \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 125.$$

Für einen Elementarſtreifen von der Breite y und der Länge $d\,x$ im Abſtande x von der Linie w der Parabelfläche $a\,e\,O$ iſt das Stabilitätsmoment $d\,\mathfrak{M}$, in Bezug auf die Aufsenkante dieſes Streifens

$$d\,\mathfrak{M}, = y \,.\, d\,x \frac{y}{2} = \frac{y^2}{2} d\,x,$$

woraus durch Integration das Stabilitätsmoment $\mathfrak{M}$, der Parabelfläche $a\,e\,O$ folgt als

$$\mathfrak{M}, = \frac{1}{2} \int_{x=o}^{x=l} y^2 \,.\, d\,x. \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 126.$$

Nun iſt aber für die Parabel $O\,o$, deren Achſe mit der Geraden w zuſammenfällt,

$$\frac{w - y}{w} = \frac{x^2}{l^2}, \text{ d. h. } y = \frac{w}{l^2} (l^2 - x^2).$$

Setzt man dieſen Wert in Gleichung 126, ſo ergiebt ſich

$$\mathfrak{M}, = \frac{w^2}{2\,l^4} \int_{x=o}^{x=l} (l^2 - x^2)^2 \, d\,x. \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 127.$$

Da nun $\mathfrak{M} = \mathfrak{M},$ ſein ſoll, ſo wird den Gleichungen 125 u. 127 zufolge

$$z^2 = \frac{w^2}{l^5} \int_{x=o}^{x=l} (l^2 - x^2)^2 \, d\,x,$$

woraus nach Ausführung der Integration

$$z^2 = \frac{8}{15} w^2$$

oder ſchliefslich

$$z = w \sqrt{\frac{8}{15}} = 0{,}7303\, w. \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 128.$$

zu beſtimmen iſt.

Hiernach erſcheint die Breite z nahezu gleich $\frac{3}{4} w$, d. h. die Stärke des Widerlagers eines Kloſtergewölbes beträgt etwa ein Viertel der Stärke des Widerlagers eines Tonnengewölbes von gleicher Leitlinie, Gewölbſtärke und Belaſtung, wie dasſelbe durch den Hauptſtreifen in der Gewölbwange gegeben iſt. Dasſelbe Ergebnis iſt bereits von *Rondelet* durch Verſuche an Modellen feſtgeſtellt.

Treten bei Kloſtergewölben Vereinigungen cylindriſcher Wangen mit Kugelkappen auf, ſo ſind letztere einer beſonderen Stabilitätsunterſuchung zu unterziehen. Wie der Weg zur Prüfung derartiger Kappen einzuſchlagen iſt, wird ſpäter bei der Beſprechung der Stärke der Kuppelgewölbe erörtert werden.

94. Empiriſche Regeln für die Gewölbſtärke.

Da die Wangen eines Kloſtergewölbes einem Tonnengewölbe angehören, ſo laſſen ſich die in Art. 21 (S. 53) für das Tonnengewölbe angegebenen empiriſchen Regeln auch für das Kloſtergewölbe im allgemeinen verwenden. Als maſsgebendes Gewölbſtück iſt der Hauptſtreifen, deſſen lotrechte Ebene die Scheitellinie der am weiteſten geſpannten Gewölbwangen enthält, in Betracht zu ziehen und die hierfür empiriſch ermittelte Gewölbſtärke in der Regel für die Stärke ſämtlicher Wangen entweder ohne weiteres oder unter beſonderen Verhältniſſen nur als Anhalt für eine ſtrengere ſtatiſche Unterſuchung zu Grunde zu legen.

95. Empiriſche Regeln für die Widerlagsſtärke.

Iſt für den erwähnten Hauptſtreifen, bezw. für die Hauptſtreifen jeder einzelnen Wange nach den in Art. 26 (S. 68) für Tonnengewölbe mitgeteilten empiriſchen Regeln die Widerlagsſtärke berechnet, ſo werden für die mit rechteckiger Grundfläche angeordnete Widerlagsmauer der zugeordneten Gewölbwange drei Viertel dieſer Stärke angenommen. Bei quadratiſchen Räumen mit einer Seitenabmeſſung bis zu 6 m kann die Stärke der Widerlagsmauern bei ſorgfältiger Ausführung bis auf zwei Drittel der Widerlagsſtärke eines dem Hauptſtreifen gleichen Tonnengewölbes herabgeſetzt werden.

Kloſtergewölbe mit groſser Pfeilhöhe, beſonders die Haubengewölbe, erhalten, abgeſehen von etwaigen Ausmauerungen der Zwickel über beſonders angelegten Gratbogen, in den meiſten Fällen keine beſondere Ueberlaſt, weder durch darauf ruhende Balkenlagen, noch durch hierauf angebrachte Fuſsböden. Flache Kloſtergewölbe dagegen können ähnliche Belaſtungen wie Kappengewölbe erfahren. Alsdann ſind nach den in Art. 58 (S. 124) gemachten Angaben die Abmeſſungen der Widerlagsſtärken bei dieſen Kloſtergewölben am beſten ohne Herabminderung gleich ſolchen bei Kappengewölben zu wählen.

3) Ausführung der Kloſtergewölbe.

96. Allgemeines

Die Geſtaltung der Kloſtergewölbe weiſt ſchon darauf hin, daſs dieſelben, als vorzugsweiſe in ihren Wangen von Tonnengewölben herrührend, auch in ihrer Ausführung ſich nach derjenigen der Tonnengewölbe zu richten haben. Sämtliche Hauptregeln, welche in dieſer Beziehung in Kap. 11 (unter c) für das Tonnengewölbe gegeben ſind, behalten auch für das Kloſtergewölbe ihre Geltung. Aus-

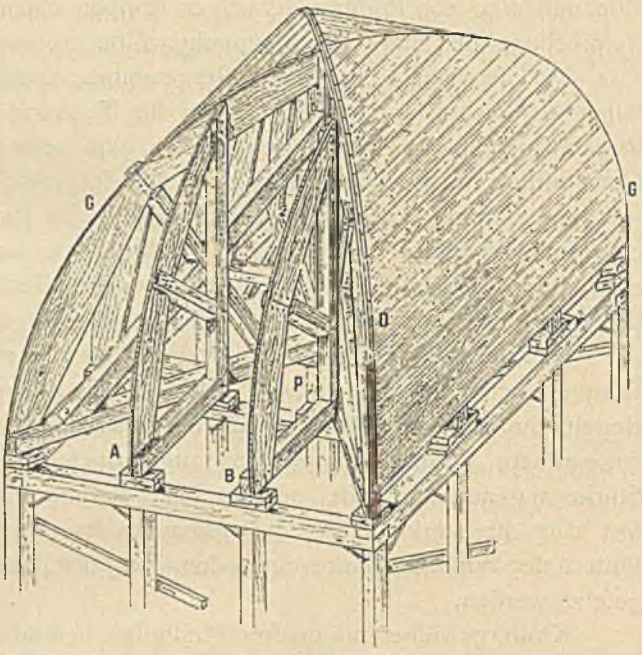
nahmen hiervon treten nur bei den in die Kloſtergewölbkörper eingefügten Kugelkappen ein. Solche Kappen unterliegen im allgemeinen der Ausführungsweiſe von Kuppelgewölben, worüber ſpäter entſprechende Mitteilungen gemacht werden ſollen.

Die Hauptbauſtoffe für Kloſtergewölbe ſind wiederum Backſtein, Quader oder dünnſchichtige, lagerhafte Bruchſteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Zementmörtel oder Zementmörtel allein, und das hierüber beim Tonnengewölbe in Art. 31 (S. 78) Geſagte iſt bei Kloſtergewölben gleichfalls zu beachten.

97 Lehrgerüſte.

Das gewöhnliche Kloſtergewölbe wird auf einer Unterſchalung, welche auf dem Lehrgerüſte ruht, ausgeführt. Die Lehrbogen dieſes Gerüſtes ſind jedoch in Rückſicht auf die in den Graten zuſammentreffenden Gewölbwangen in anderer Weiſe aufzuſtellen, als beim geraden Tonnengewölbe. Nach Fig. 158 ſind die ſog. Gratbogen oder Diagonalbogen *G*, bezw. *D* von den ſog. Schift- oder Wangenbogen *A*, *B* zu unterſcheiden. Die Gratbogen treten unter dem Scheitel des Gewölbes kreuzförmig zuſammen. Liegen zwei Gratlinien des Gewölbes in einer und derſelben lotrechten Ebene, ſo folgt ein ganzer, für ſich beſtehender Lehrbogen *D* dieſer Ebene, während die übrigen Gratbogen *G*, ihrer Durchkreuzung mit dem Bogen *D* halber, aus zwei Hälften beſtehen. Der Kreuzungspunkt dieſer Lehrbogen iſt durch einen kräftigen Pfoſten oder Mäkler *P* zu unterſtützen; auch iſt für eine Sicherung der Mittelpfoſten der eigentlichen Lehrbogen gegen Ausweichen oder Drehen durch Eiſenklammern, ſog. Stichklammern, zu ſorgen, welche nach der Ausführung des Gewölbes wieder leicht beſeitigt werden können.

Fig. 158.



Die Schiftbogen *A*, bezw. *B* legen ſich vom Gewölbkämpfer aus gegen die Gratlehrbogen; ihre obere Begrenzungslinie iſt nach der Urſprungsleitlinie, welche der Geſtaltung des Kloſtergewölbes zu Grunde gelegt war, leicht feſt zu legen. Für jede Wange iſt die Zahl dieſer Schiftbogen ſo zu beſtimmen, daſs die freie Länge der darüber angebrachten Schalbretter 1,00 bis 1,50 m beträgt. Die Auflagerung der ſämtlichen Lehrbogen an den Endpunkten ihrer Sohle oder Schwelle erfolgt in gleicher Weiſe, wie bei den Ausrüſtungsvorrichtungen der Tonnengewölbe (ſiehe Art. 36, S. 84). In der Zeichnung ſind Doppelkeile als Lagerungen angenommen.

Die Schalung beſteht meiſtens aus einem Bretterbelag von 3 bis 5 cm Stärke; die einzelnen Bretter treten über den Gratbogen, nach der Gratlinie gefugt, ſtumpf zuſammen. Ueber den Grat- und Schiftbogen findet das Heften der Bretter mit

Drahtſtiften ſtatt, um auch hierdurch die unverrückbare Stellung der betreffenden Bogen in gewiſſem Grade mit zu ſichern.

Für flache Kloſtergewölbe benutzt man zu den Gratbogen und Schiftbogen einfache Wölbſcheiben, wie ſolche bei Kappengewölben gebräuchlich ſind.

Kloſtergewölbe mit Kugelkappen erhalten nur eine Schalung der Lehrgerüſte, ſoweit die eigentlichen Gewölbwangen in Frage kommen. Die Kugelkappen werden dazwiſchen aus freier Hand eingewölbt unter etwaiger Benutzung einer Lehre oder einzelner dünner Wölbſcheiben, deren obere Begrenzung der Kugelfläche entſprechend geſchnitten iſt.

Abgeſtumpfte oder offene Kloſtergewölbe, deren Wangen, wie in Art. 90 (S. 175) gezeigt iſt, cylindriſche Laibungsflächen beſitzen, erhalten zweckmäſsig eine geſchloſſene Unterſchalung.

98. Kloſtergewölbe aus Backſteinen.

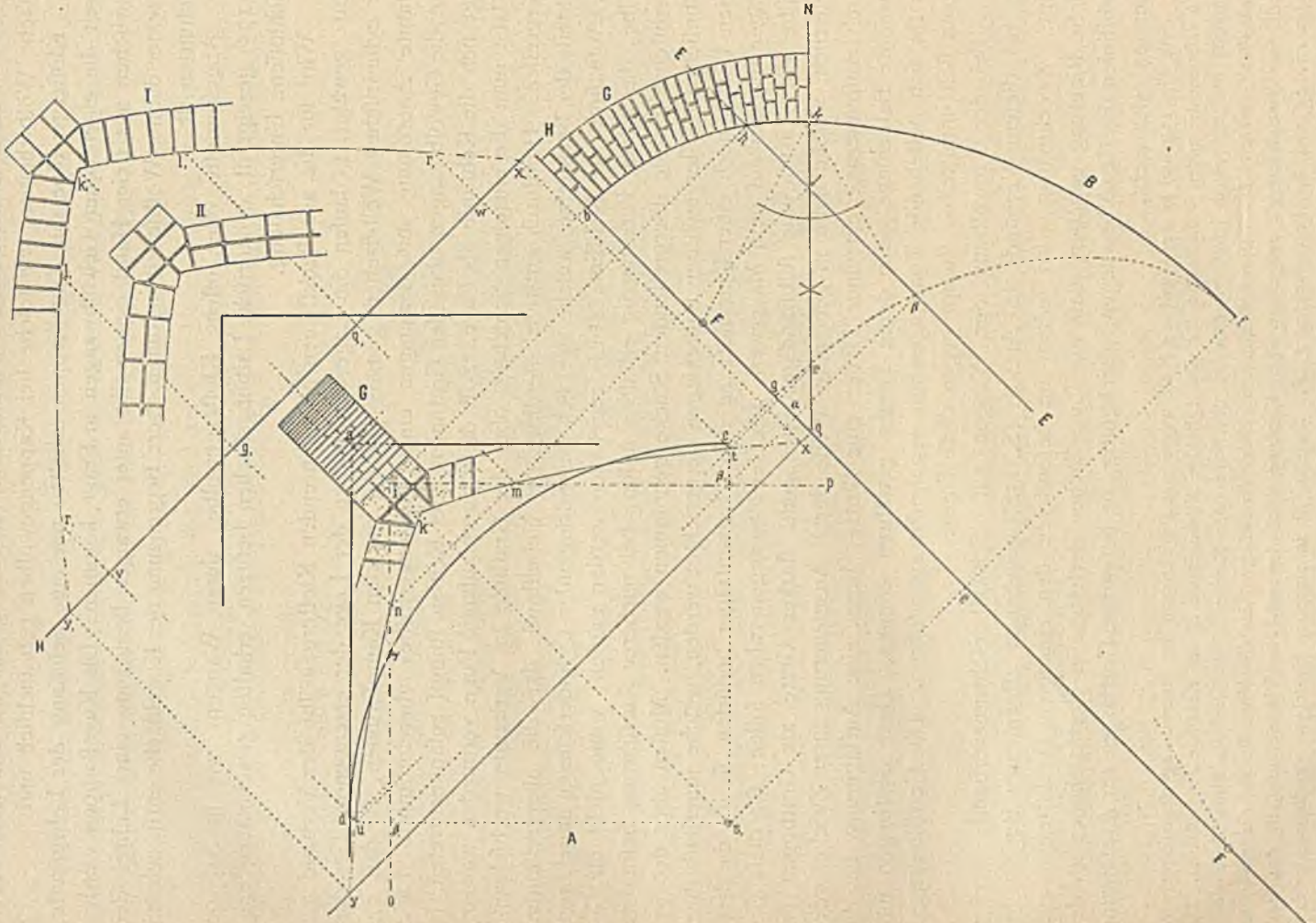
Wird für die aus Backſteinen auszuführenden Kloſtergewölbe der Verband auf »Kuf« gewählt, ſo laufen die Lagerfugenkanten der Lage der erzeugenden Geraden der cylindriſchen Wölbflächen gemäſs parallel mit den Kämpferlinien, ſo daſs die geſamte Anordnung mit derjenigen eines Tonnengewölbes übereinſtimmt. Läſst man die Gewölbwangen über den Gratlinien oder Kehlen ſtumpf zuſammentreten, ſo zeigt ſich die Kehllinie als Fuge. Soll dieſe durchlaufende Fuge vermieden werden, ſo läſst man die einzelnen Schichten über der Gratlinie im Verbande wechſelweiſe übergreifen. Hierdurch entſteht allerdings der Uebelſtand, daſs die übergreifenden Eckteile der Backſteine, welche zwei ſich durchdringenden Cylinderſchalen angehören, zur Aufnahme der Kehllinie etwas zugehauen werden müſſen, wenn nicht für Gewölbe, die keinen Putzüberzug erhalten ſollen, bei reicherer Ausführung beſondere Formſteine für die übergreifenden Stücke genommen werden. Müſſen über den gewöhnlichen Kloſtergewölben Balkenlagen hergerichtet werden, welche innerhalb ihrer freien Länge noch einer Unterſtützung durch Balkenträger bedürfen, ſo iſt, da dieſe Träger niemals auf dem Mauerwerk der Gewölbwangen ruhen ſollen, für dieſe Gewölbe die Ausführung ſelbſtändiger, genügend ſtarker Grate als Gratbogen erforderlich, welche dann in geeigneter Weiſe durch Ausmauerung ihrer Zwickel oder durch Aufmauerung einzelner Pfeiler eine Stütze, bezw. eine Auflagerung für die erwähnte Balkenlage oder deren Träger gewähren können. Dieſe Gratbogen ſind als für ſich beſtehende Tonnengewölbe regelrecht auszuführen. Die Gewölbwangen ſetzen ſich unmittelbar ſtumpf gegen dieſe Grate.

Bei der Einwölbung der Wangen auf »Schwalbenſchwanzverband« werden die bei dieſem Verbande in Art. 81 (S. 158) gegebenen allgemeinen Regeln befolgt. Zweckmäſsig wird jedoch im beſonderen den einzelnen Wölbſtreifen eine ſolche Richtung gegeben, daſs die Lagerflächen derſelben in Normalebenen zu den Kehllinien des Gewölbes liegen, gleichgültig, ob beſondere Gratbogen zur Ausführung kommen oder nicht.

In Fig. 159 ſind in $t\,m\,k$ und $u\,n\,k$ die wagrechten Projektionen der inneren Lagerfugenkanten der in k zuſammentretenden Wölbſtreifen für eine beliebige Normalebene N der Kehllinie $b\,f$ beſtimmt. Der Grundriſs des mit einem Kloſtergewölbe zu überſpannenden Raumes A iſt hier der Einfachheit wegen quadratiſch gewählt. Die Urſprungsleitlinie oder der Grundbogen des Gewölbes iſt als ein um s, beſchriebener Viertelkreis $c\,d$ feſtgeſetzt. Die Kehllinie wird demnach eine Viertelellipſe mit den Halbachſen $e\,b$, $e\,f$ und den Brennpunkten F, F. Dieſelbe iſt in einer zur Gratebene parallelen lotrechten Ebene B gezeichnet. Durch einen beliebigen Punkt k des Gratbogens iſt eine Normalebene N mit den Spuren $k\,q$ und $q\,y$ geführt.

Dieſe Normalebene ſchneidet die lotrechte Projektion $g\,f$ des Grundbogens $c\,d$ im Punkte r, alſo in einem Grenzpunkte der nach k führenden Lagerkante eines Wölbſtreifens. Die wagrechte Projektion

Fig. 159.



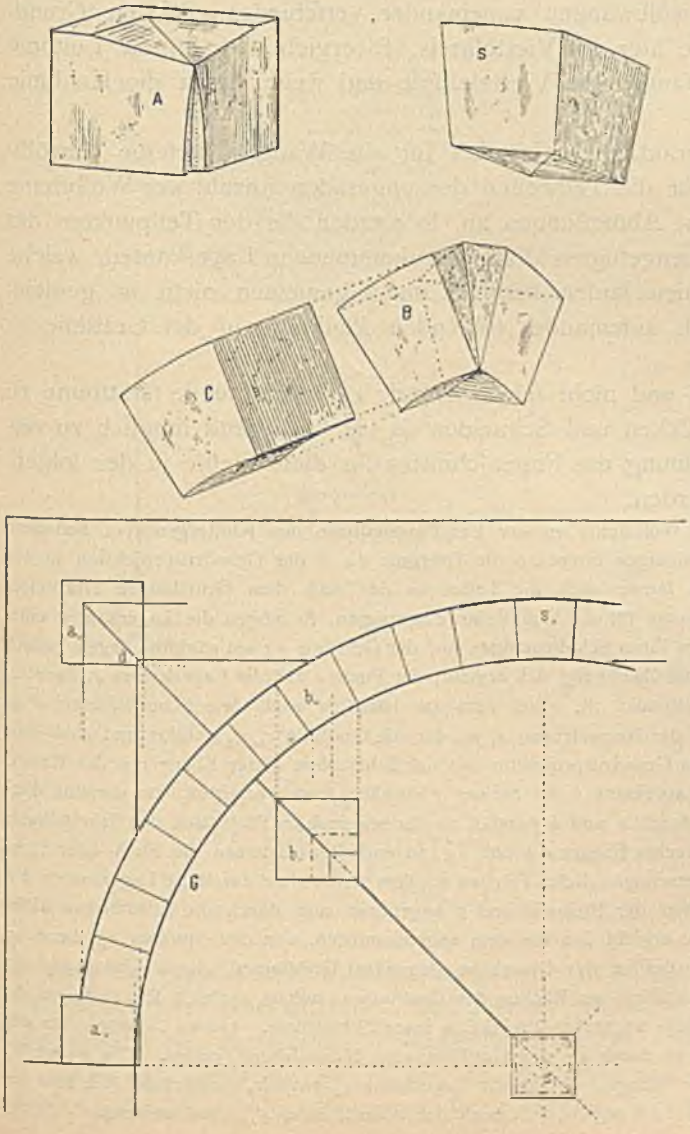
dieſes Punktes iſt der auf der Grundriſsprojektion s, c der Leitlinie $c\,d$ gelegene Punkt t. Führt man durch die Ebene B die beliebige, zwiſchen den Grenzpunkten r und k gelegene wagrechte Ebene $E\,E$, ſo ſchneidet dieſelbe die Normalebene in der auf der Ebene B durch l gehenden Lotrechten und die Gewölbwangen in geraden Erzeugenden, welche, wie aus der Zeichnung zu entnehmen, als $i\,p$, bezw. $i\,o$ mittels der Punkte β, in ihrer Grundriſsprojektion leicht angegeben werden können.

Die wagrechten Projektionen m und n der Durchſtoſspunkte des in l befindlichen Lotes auf B mit den Gewölbwangen liegen auf dieſen Erzeugenden und ergeben ſich ſomit wiederum als Punkte der geſuchten wagrechten Projektion der Lagerkante, welche dem Normalſchnitte N angehört.

Vervollſtändigt man nach dieſen Anleitungen die Linienzüge $t\,m\,k$, bezw. $u\,n\,k$, ſo erhält man die geſuchten Lagerfugenkanten eines Wölbſtreifens für eine Normalebene N. Wird dieſes Verfahren wiederholt für alle Wangen in Anwendung gebracht, ſo ergiebt ſich die Anordnung der Wölbſtreifen für den Schwalbenſchwanzverband.

Nachdem die Projektionen der Lagerkanten der inneren Wölbfläche für eine Schicht ermittelt ſind, läſst ſich nach der Darſtellung I die wirkliche Geſtalt x, k, y, derſelben finden, wobei z. B. q, l_1, bezw. g, l, gleich $q\,l$ ſein muſs. Sollen Gratbogen eingeführt werden, ſo zeigen die beiden Schichtenanordnungen I und II den anzuwendenden Backſteinverband. Die Wölbſtreifen ſetzen ſich hierbei mit winkelrecht zu k, l, gerichteten Fugen an.

Fig. 160.



99. Kloſtergewölbe aus Bruchſteinen.

Dienen Bruchſteine als Wölbmaterial für Kloſtergewölbe, ſo iſt unter Beobachtung des Verbandes auf »Kuf« wie bei Backſteinmaterial zu wölben. Im übrigen iſt das in Art. 50 (S. 105) für Tonnengewölbe aus Bruchſteinen Vorgetragene auch hier zu berückſichtigen.

100. Kloſtergewölbe aus Quadern.

Bei Kloſtergewölben aus Quadern wird der Fugenſchnitt für die Lager- und Stoſsfugenflächen der einzelnen Wölbſteine dem Verbande auf »Kuf« zugeordnet. Die Wölbquader der Wangen ſind einfache Tonnengewölbſteine. Beſondere Geſtaltung erfordern die Anfänger an den Ecken des Gewölbes, die Gratſteine und der Schluſsſtein desſelben.

In Fig. 160 iſt für eine quadratiſche Grundfläche der Steinfugenſchnitt für ein Kloſtergewölbe mit einem Viertelkreis G als Grundbogen gegeben. Die Ermittelungen der Begrenzungsflächen der einzelnen an-

geführten Steine laſſen ſich durch einfache Anwendungen der darſtellenden Geometrie bewirken. Dieſelben gehen aus der Zeichnung genügend hervor.

A, gebildet nach ſeinen Projektionen $a_{,}$, $a_{,,}$ iſt der Anfänger; B, ermittelt nach den Projektionen $b_{,}$, $b_{,,}$ iſt ein Gratſtein. Bei demſelben ſind fortlaufende Anſätze, welche noch weiter in die Gewölbkappe reichen würden, abſichtlich fortgelaſſen und dieſerhalb die Stoſsfugenflächen einfach entſprechend den Lagerfugenflächen abgegrenzt, wie ſolche bei $b_{,,}$ durch die Teilung der Gewölbwangen entſtehen. Etwa weiter in die Wangen fortgeführte Anſätze liefern einen hakenförmigen Stein von meiſtens bedeutenden Abmeſſungen. Bei der Bearbeitung dieſer Werkſtücke muſs zur Bildung des Hakens ein erheblicher Teil des Materials als überflüſſig fortgenommen werden, was bei dem hier gegebenen Fugenſchnitt vermieden wird. C iſt ein gewöhnlicher Wölbſtein der Wange und S endlich der Schlufsſtein, deſſen Projektionen in $s_{,}$ und $s_{,,}$ vorhanden ſind.

Für ein Kloſtergewölbe aus Schnittſteinen über einem rechteckigen Raume gelten in den Hauptzügen dieſelben Anordnungen für den Fugenſchnitt, wie bei dem vorhin behandelten Gewölbe. Die Gratſteine bedürfen jedoch einer beſonderen Aufmerkſamkeit.

Bei einem rechteckigen Raume (Fig. 161) ſind die Leitlinien der unmittelbar nebeneinander ſtehenden Gewölbwangen voneinander verſchieden. Iſt der Grundbogen der ſchmaleren Wange hier ein Viertelkreis, ſo ergiebt ſich für die Leitlinie der antretenden breiteren Wange eine Viertelellipſe und weiter auch die Kehllinie als die Viertelellipſe $o_{,,} s_{,,}$.

Nimmt man nun aus praktiſchen Gründen für alle Wangen dieſelbe Gewölbſtärke und aufserdem auch für die Teilweiten der ungeraden Anzahl der Wölbſteine jeder Wange möglichſt gleiche Abmeſſungen an, ſo werden die den Teilpunkten der Wölblinie von je zwei zuſammengefügten Wangen zukommenden Lagerkanten, welche parallel mit den Kämpferlinien laufen müſſen, im allgemeinen nicht in gemeinſchaftlichen, der Reihe nach aufeinander folgenden Punkten auf der Gratlinie $o\,s$ zuſammentreffen.

Um dennoch geeignete und nicht ſehr ſchwierig zu bearbeitende Gratſteine zu erhalten, an welchen ſpitze Ecken und Schneiden ſo viel als irgend möglich zu vermeiden ſind, kann die Anordnung des Fugenſchnittes für dieſe Steine in der folgenden Weiſe vorgenommen werden.

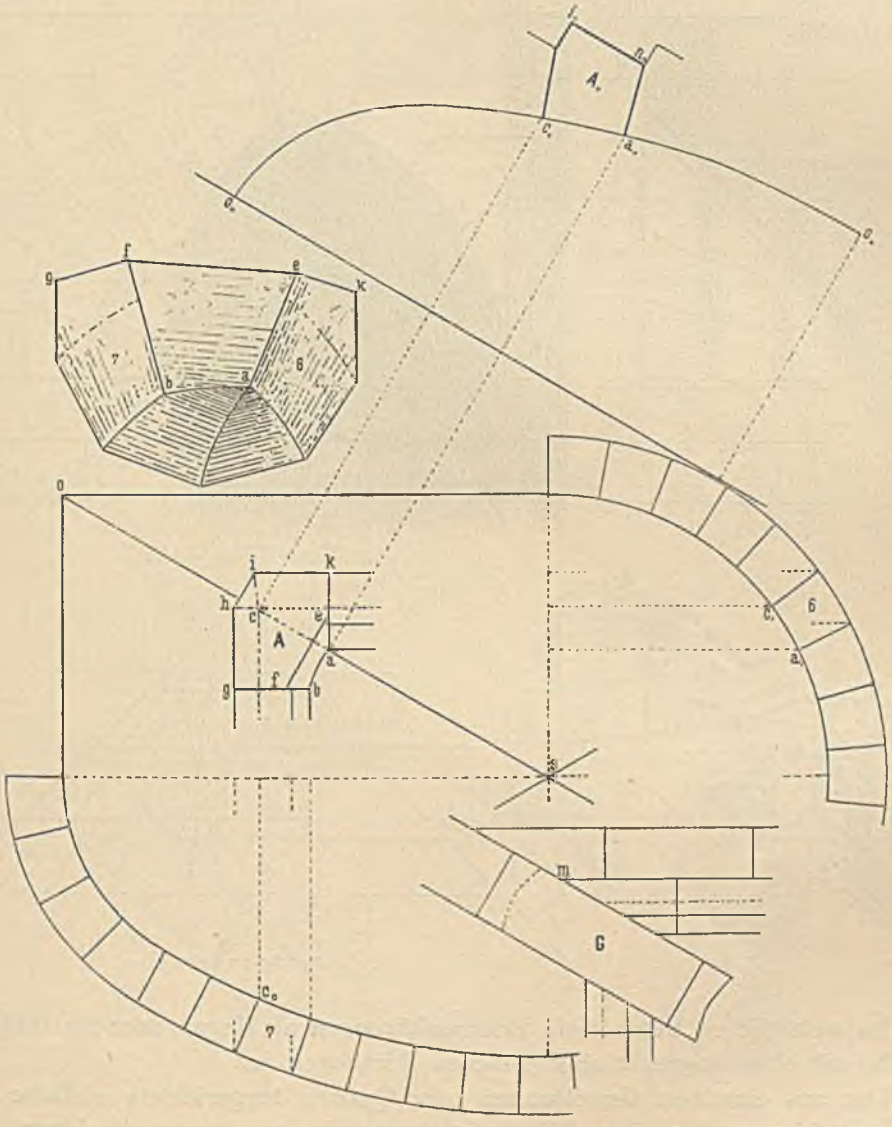
Sind die Teilungen für die Wölbſteine an der Urſprungsleitlinie des Kloſtergewölbes beſtimmt, ſo mögen die Lagerkanten eines beliebigen Steines 6 die Gratlinie $o\,s$ in der Grundriſsprojektion in den Punkten a und c ſchneiden. Sind ferner auch die Teilungen der nach dem Grundbogen ermittelten Wölblinie der antretenden Gewölbwange für die Wölbſteine eingetragen, ſo mögen die Lagerkanten eines Steines 7 denjenigen des Steines 6 in ihren Schnittpunkten auf der Gratlinie $o\,s$ am nächſten liegen, jedoch ganz abgeſehen davon, daſs, wie in der Zeichnung ſich ergiebt, der Punkt c für die Lagerkanten c, bezw. c_0 bereits ein gemeinſchaftlicher Schnittpunkt iſt. Von dem am nächſten nach dem Scheitelpunkte s zu liegenden Schnittpunkte a aus wird die Normalebene $a_{,,} n_{,,}$ für die Gratlinie $o_{,,} s_{,,}$ geführt und nach dem bei Fig. 159 gezeigten Verfahren die Grundriſsprojektion $a\,b$ der Schnittlinie dieſer Ebene mit der Wange, welche die nach o zurückliegende Lagerkante b des Steines 7 enthält, ſoweit ermittelt, bis dieſelbe dieſe Lagerkante in b trifft. Führt man durch a und b parallel zu der wagrechten Projektion der Scheitellinien der zuſammentreffenden Wangen lotrechte Ebenen $a\,k$ und $b\,g$, ſo enthalten dieſelben die Stoſs- oder Stirnflächen des Gratſteines A. Die Begrenzungen dieſer Flächen ergeben ſich weiter durch die Lagerkanten $k\,i$, bezw. $g\,h$, welche den Rückenflächen der Steine 6 und 7 angehören und durch die Stirnflächen dieſer Steine ſelbſt. Die Stoſsfläche $a\,b\,f\,e$ ergiebt ſich aus dem angenommenen, von den Punkten $a_{,,}$ bezw. $c_{,,}$ abhängigen lotrechten Schnitte $A_{,,}$ des in der Gratebene liegenden Gratſteines, durch Benutzung der durch $n_{,,}$ gehenden wagrechten Schnittlinie am Rücken des Gratſteines, welche zugleich ſenkrecht auf der Gratebene ſteht. Die Linie $e\,f$ iſt die wagrechte Projektion jener Schnittlinie. Genau ſo würde für den Punkt c vorzugehen ſein. Hierfür iſt durch $c_{,,}$ der Gratlinie eine Normalebene gelegt. Die wagrechte Projektion ihrer Schnittlinie mit der Wange, welche die Lagerkante c_0 enthält, beſchränkt ſich hier nur auf einen Punkt c. Die Stoſsfläche $c\,h\,i$ ergiebt ſich nach der Schnittfläche $A_{,,}$ ohne weiteres.

Hätte der Schnittpunkt der Lagerkante von c_0 mit der Gratlinie $o\,s$ eine nähere Lage nach s zu aufgewiefen, als der Schnittpunkt c der Lagerkante c_1, fo würde die wagrechte Projektion der Schnittlinie der Normalebene, welche nun dem Gratpunkt, der alsdann von c_0 abhängig wäre, angehören müfste, für die Beftimmung des betreffenden Fugenfchnittes mafsgebend geworden fein.

Im Bilde ift die Form des Gratfteines A noch weiter verdeutlicht; auch find darin die Stofsflächen der Wölbfchichten 6 und 7 angegeben. Ein Fugenfchnitt, wie bei m und G, ift zu verwerfen.

Tritt der Fall ein, dafs gegen einen und denfelben Gratftein von einer Seite allein oder gar von zwei Seiten zwei Wölbfchichten geführt werden müffen, fo werden

Fig. 161.



dadurch die grundlegenden Beftimmungen für den Fugenfchnitt nicht geändert. Die gekennzeichneten Normalfchnitte find alsdann nur jedesmal für die beiden äufserften Lagerkanten der antretenden Wölbfchichten in Anwendung zu bringen.

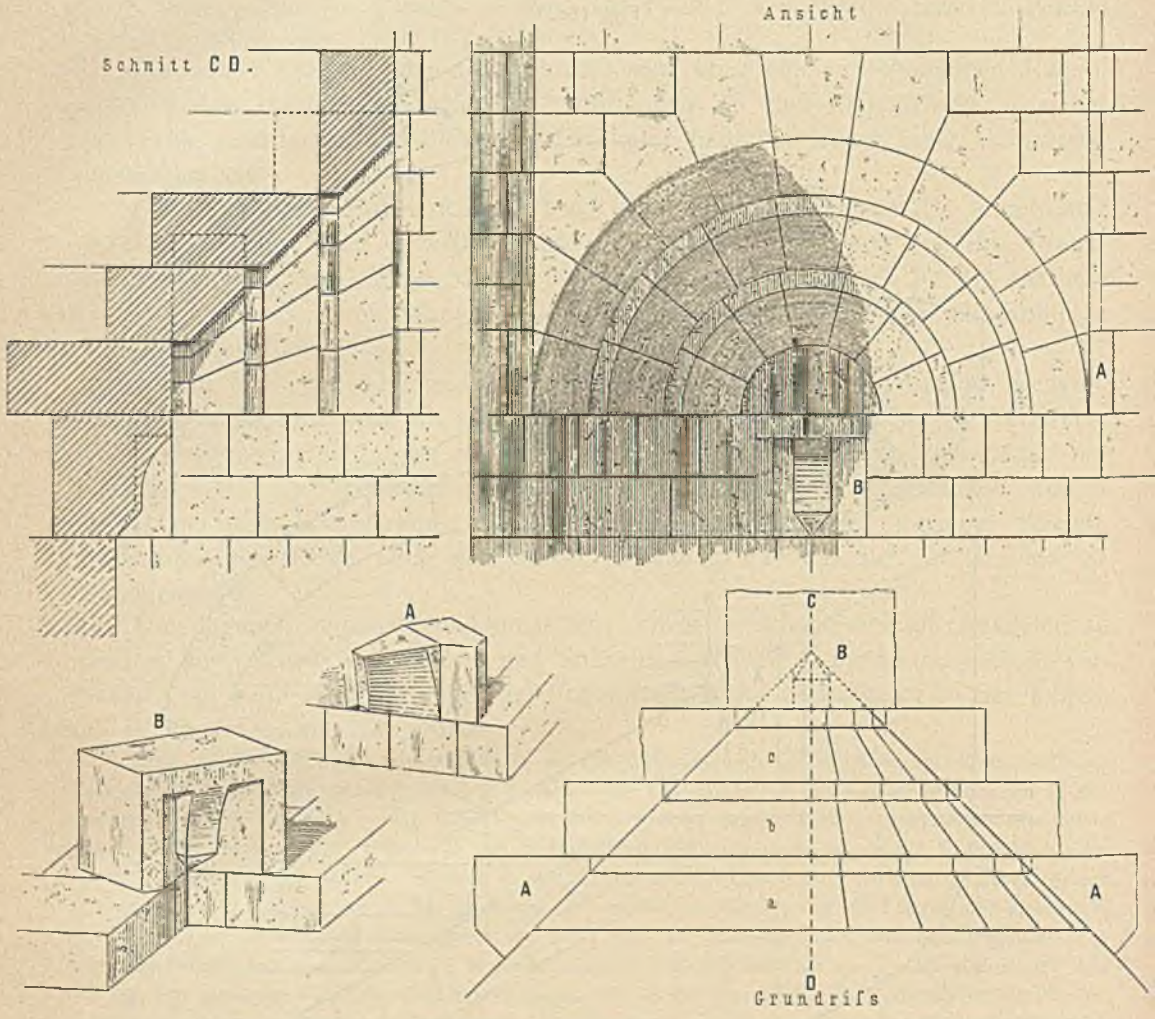
Für das Verfetzen der Quader, die Mörtelung und die fonftigen Handhabungen, welche fich dabei geltend machen, kann auf Art. 51 (S. 106) verwiefen werden.

101. Ecküberführungen.

Sind für einzelne Wangen eines Kloftergewölbes die in Art. 91 (S. 178) erwähnten Ecküberführungen notwendig, fo werden diefelben aufser in der in Fig. 155 (S. 178) angegebenen Anordnung aus übereinander lagernden kräftigen Tragfteinen oft weit zweckmäfsiger durch befondere Eck- oder Nifchengewölbe gebildet.

Am zweckmäfsigften wird für diefe Gewölbe Quadermaterial unter Anwendung eines geeigneten Fugenfchnittes benutzt.

Fig. 162.



Im wefentlichen treten diefe Ecküberführungen als Kegel- oder als Halbkugelgewölbe mit oben wagrecht abgeglichenen Stirnbogen auf.

Das aus einzelnen Gewölbzonen oder Quarten hergerichtete einfache kegelförmige Nifchengewölbe ift in Fig. 162 dargeftellt und hieraus in feiner Anlage und in feinem Fugenfchnitte deutlich zu erkennen. Von Wichtigkeit ift eine geeignete Durchbildung des Anfängers oder des fog. Auges *B*, von welchem aus die Ecküberführung zu beginnen hat. Für diefes Auge wird ftets ein hinlänglich grofses Werkftück benutzt.

Das an fich weniger einfache, vollftändige Kegelgewölbe ift als Nifchengewölbe

in feinem Steinverbande nach Fig. 163 anzuordnen. Die Lagerfugenflächen, welche von der Teilung des Stirnbogens abhängig gemacht werden, laufen gegen das Auge *D*. Sie gehören Ebenen an, welche erweitert fich fämtlich auf der Kegelachfe fchneiden. Die Stofsfugenflächen dagegen gehören befonderen Kegelflächen

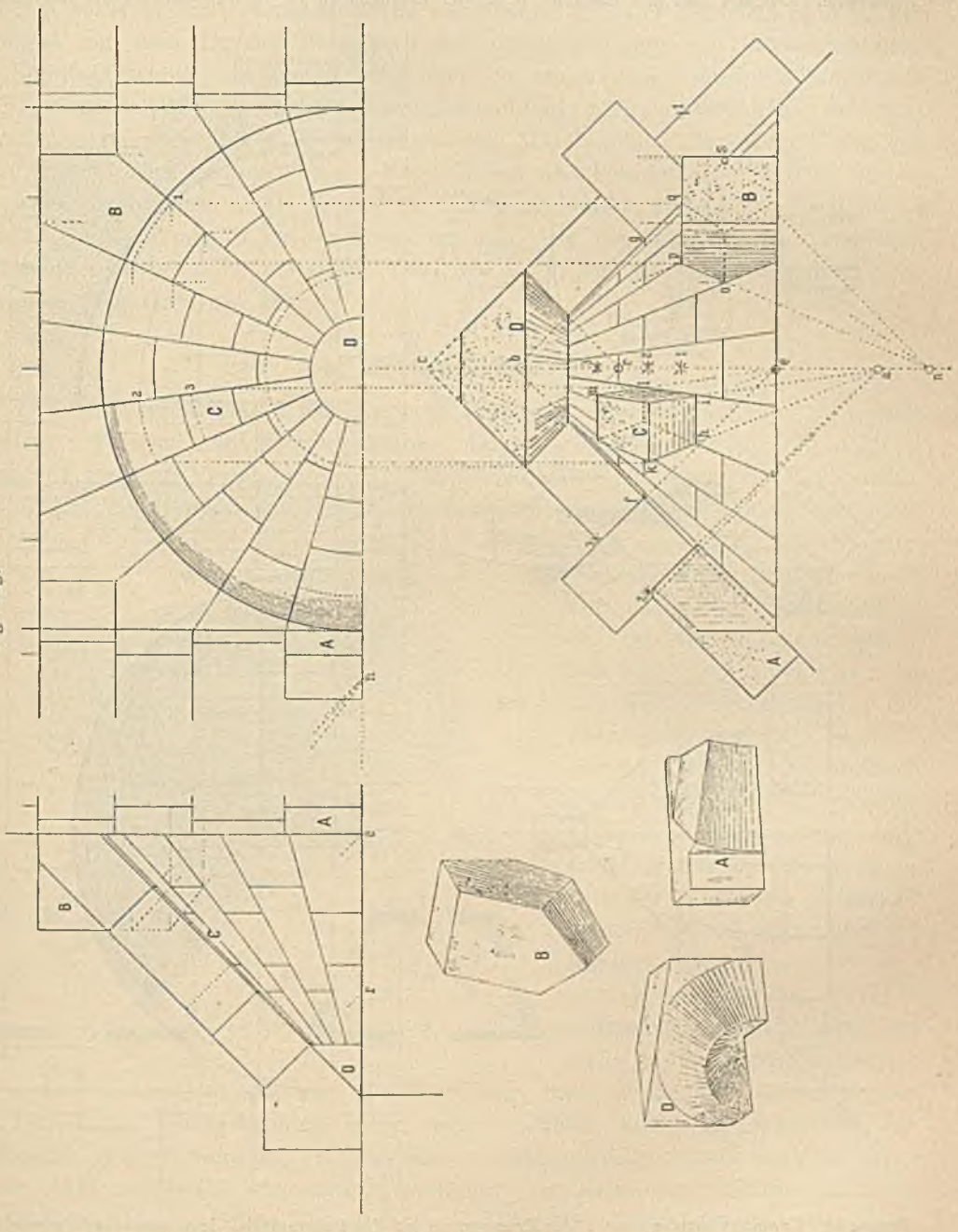


Fig. 163.

an, deren Leitlinien Schnittlinien find, welche durch Ebenen, parallel zur Stirnlinie des Nifchengewölbes geführt, auf der Laibungsfläche diefes Gewölbes hervorgerufen werden und deren Erzeugende gerade Linien fein follen, welche fenkrecht zur Kegelfläche des Nifchengewölbes ftehen.

Beſitzt das Gewölbe eine gleichmäſsige Stärke und ſind b und c die Spitzen der Kegelflächen der inneren Laibung und des Rückens, ſo ſind $b\,s$ und $c\,\imath$ parallele Erzeugende in der Kämpferebene des Kegelgewölbes. Der Abſtand $s\,\imath$ dieſer Erzeugenden iſt der Gewölbſtärke gleich. Soll nun z. B. die Stoſsfugenfläche $o\,p\,q$ für die durch o ziehende Stoſsfugenkante beſtimmt werden, ſo führt man durch o parallel zur Stirnebene in der Richtung $o\,s$ einen lotrechten Schnitt; alsdann enthält dieſer die Stoſsfugenkante. Errichtet man in s das Lot $s\,u$ auf der Erzeugenden $b\,s$, ſo trifft dasſelbe die Kegelachſe im

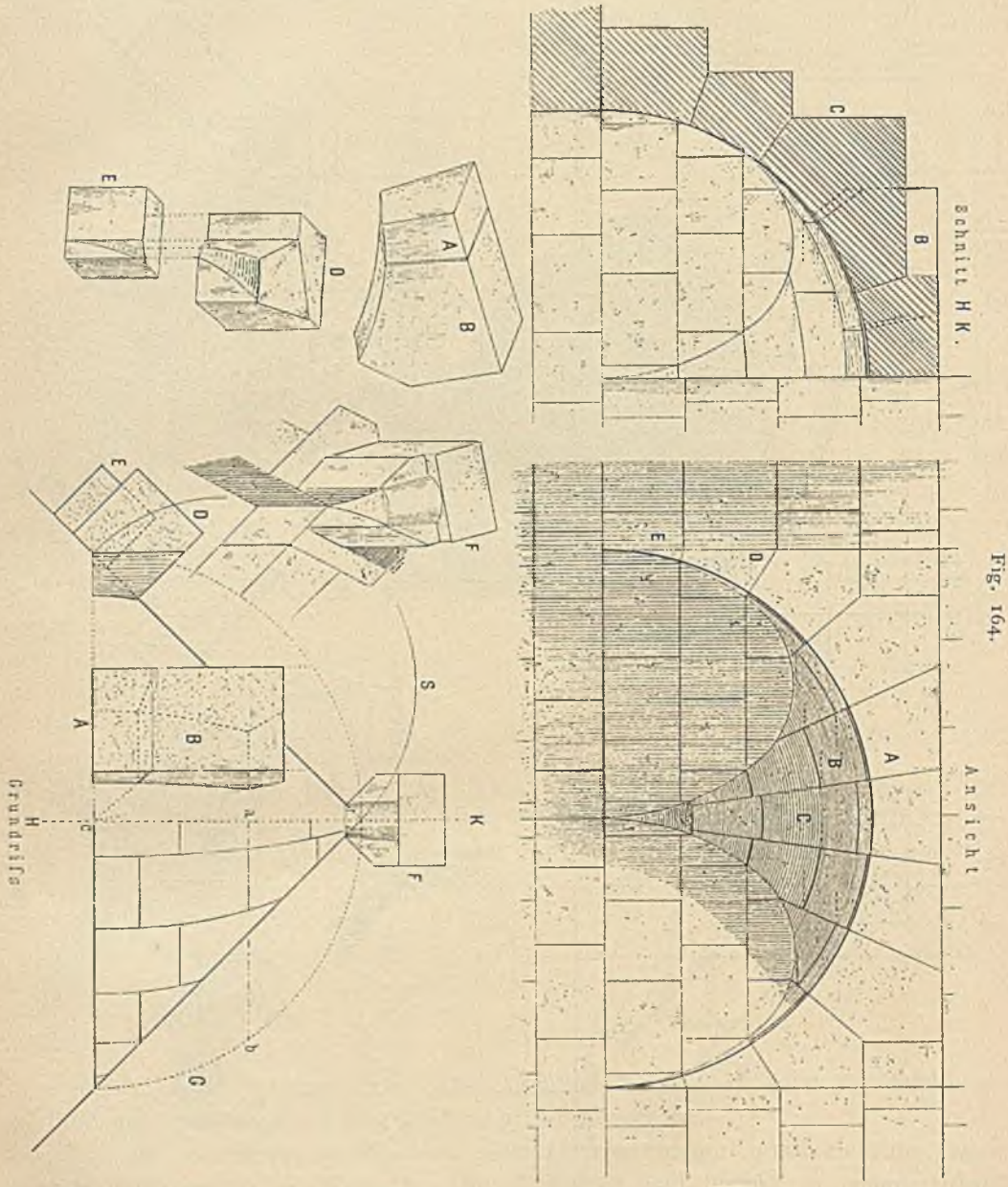


Fig. 164.

Punkte n. Erweitert man $n\,s$ bis $\imath$ der Erzeugenden $c\,\imath$ der Rückenfläche, legt man durch $\imath$ wieder eine parallele Ebene zur Stirnebene c des Gewölbes, ſo giebt $\imath\,\imath$ die Lage der Stoſsfugenkante auf der Rückenfläche in der Grundriſsprojektion an. Da der Punkt q mit Hilfe des Kreisbogens vom Halbmeſſer $\imath\,\imath$ und der Aufriſsprojektion entſprechend zu finden iſt, ſo bleibt nur noch übrig, durch n und o, bezw. durch n und q gerade Linien zu ziehen, um die Grundriſsprojektion der Stoſsfugenfläche $o\,p\,q$ zu erhalten. Aufriſs und Seitenprojektion ergeben ſich auf dem aus der Zeichnung erſichtlichen Wege. Nach dem-

ſelben Verfahren ſind die Punkte *a* für die Stoſsfugenfläche *h i k*, *e* für die Stoſsfugenfläche *l m* des Steines *C* und endlich *r* für die kegelförmige Stoſsfugenfläche des Auges *D* ermittelt. Die im Bilde vorgeführten Steine *A*, *B* und *D* laſſen die ihnen zu gebende Form noch näher erkennen.

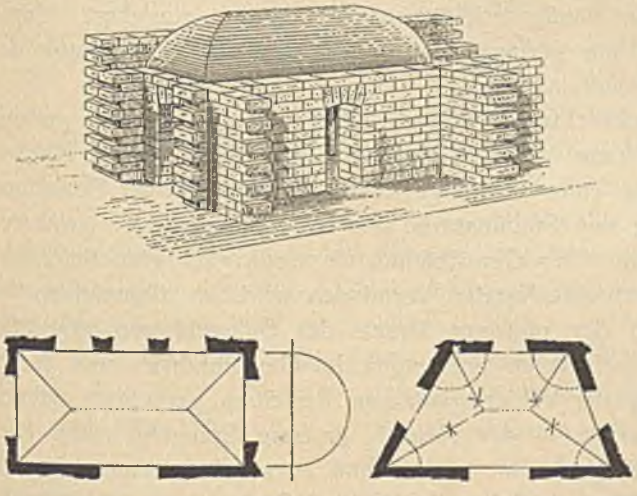
Das halbkugelförmige Niſchengewölbe mit abgeſchnittenen Seiten iſt in Fig. 164 vorgeführt. Bei demſelben iſt *G* der gröſste Kreis einer Kugelfläche, welcher das Niſchengewölbe in ſeiner Laibungsfläche entnommen iſt. Der Seitenbogen *S* iſt ein Halbkreis mit dem Durchmeſſer gleich der ſchrägen Länge der Eckübertragung. Der Steinfugenſchnitt hat den Bedingungen zu entſprechen, daſs die ſämtlichen Lagerfugenflächen Meridianſchnitte der Halbkugel ſind, während die Stoſsfugenflächen Kegelflächen werden ſollen, die ſämtlich den Mittelpunkt *c* der Kugelfläche zur Spitze haben. Die Leitlinien dieſer Kegelflächen ſind Parallelkreiſe, welche, wie in der Grundriſsprojektion z. B. als *a b*, die Stoſsfugenkanten enthalten. Nach dieſen einfachen Forderungen iſt an der Hand von Fig. 164 die Geſtaltung der einzelnen Wölbſteine, wovon die wichtigſten beſonders noch perſpektiviſch gezeichnet ſind, ohne Schwierigkeiten möglich.

b) Muldengewölbe.

Das Muldengewölbe iſt ein längeres Tonnengewölbe mit an den Stirnſeiten vorgelegten Wangen eines Kloſtergewölbes. Daſſelbe entſteht, wie Fig. 165 angiebt, durch eine einfache Verbindung der beiden genannten Gewölbformen. Ein gemeinſchaftlicher Anfallspunkt der beiden Stirnwangen oder Walme fehlt. Statt eines Scheitelpunktes, wie beim Kloſtergewölbe, tritt eine mehr oder weniger lange Scheitellinie des eigentlichen Tonnengewölbes auf. Die Anſchluſspunkte der Kehl- oder Gratlinien der Stirnwalme ſind ſtets die Endpunkte dieſer Scheitellinie, gleichgültig, ob die ſchmalen Stirnſeiten rechtwinkelig oder ſchiefwinkelig zu den längeren, einander parallelen Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes ſtehen.

102. Geſtalt.

Fig. 165.



Je nach der für die Stirnwalme gewählten Weite ſind dieſe Anſchluſspunkte feſtzulegen. Die Grundriſsprojektionen der Kehllinien ſind gerade Linien, welche von den Ecken der Kämpferlinien nach den Anſchluſs- oder Anfallspunkten der Scheitellinie gezogen werden. Meiſtens ſind bei einem Rechteck und auch bei einem Trapez als Grundriſs die wagrechten Projektionen der Kehllinien Halbierungsſtrahlen der Winkel an den Ecken des Raumes. Sämtliche Umfangsmauern treten als Widerlager auf.

Alles, was hinſichtlich der Ausmittelung der Leitlinie für die Gewölbwangen und für die Beſtimmung der Kehllinien derſelben beim einfachen Kloſtergewölbe geſagt wurde, findet auch unmittelbar wieder Anwendung beim Muldengewölbe.

Dasſelbe wird bei Feſtungsbauten zur Ueberwölbung von Kaſematten häufig benutzt. Infolge der hohen Erdüberſchüttung, welche bei derartigen Bauwerken über dem Gewölbe angebracht wird, iſt dasſelbe meiſtens ſehr ſtark herzurichten.

103. Ausführung. Die Stabilitätsunterſuchung im allgemeinen und die Ausführung der Muldengewölbe im beſonderen erfolgt nach den für das Tonnengewölbe und das einfache Kloſtergewölbe gemachten Mitteilungen.

In architektoniſcher Beziehung nimmt das Muldengewölbe, ſelbſt wenn dasſelbe in ſeinen Laibungsflächen durch Einfügen von Stichkappen bewegter geſtaltet werden ſollte, nur einen untergeordneten Rang ein.

14. Kapitel.

Spiegelgewölbe.

a) Geſtaltung der Spiegelgewölbe.

104. Geſtalt. Das Spiegelgewölbe iſt ein Kloſtergewölbe, welches zwiſchen der Kämpferebene und dem Scheitelpunkt durch eine wagrechte Ebene abgeſchnitten und in der dadurch gebildeten Oeffnung durch ein wagrechtes oder ſcheitrechtes Gewölbe wieder geſchloſſen wird. Die Laibungsfläche dieſes wagrechten Gewölbes wird Spiegel genannt. Wird die Oeffnung zum Anbringen eines Deckenlichtes benutzt, ſo entſteht ein Spiegelgewölbe mit Deckenlicht.

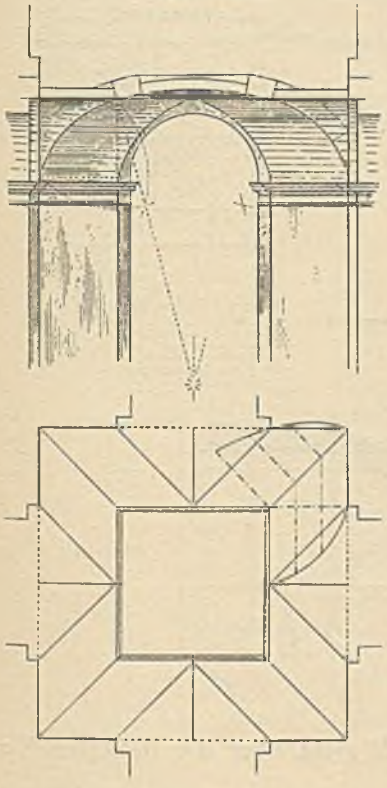
Zur weiteren Gliederung des Gewölbes werden in die als Teile von Kloſtergewölben auftretenden Wangen häufig Stichkappen (Lunetten) eingefügt, deren Spitzen oder Anfallspunkte in nur geringer Entfernung von der Umrahmung des Spiegels oder unmittelbar in derſelben liegen.

Die Vereinigung eines ſcheitrechten Gewölbes, ſelbſt wenn dasſelbe eine geringe Pfeilhöhe (Stich, Stechung, Buſung) erhalten ſoll, mit den Wangen des Kloſtergewölbes iſt für die Herſtellung eines Spiegelgewölbes in konſtruktiver Beziehung bei ausſchlieſslicher Verwendung von Steinmaterial und bei einer etwaigen gröſseren Deckenbildung immerhin miſslich. Der Gewölbſchub iſt, wenn auch eine beſondere Beſchwerung des Gewölbes durch eine Nutzlaſt vermieden wird, im allgemeinen bei derartigen Gewölben ſchon bei der mäſsigen Breite des Spiegels von etwa 3 m ziemlich beträchtlich, ſo daſs auf ſtarke Preſſungen im Gewölbkörper und ferner auch auf kräftige Durchbildung der Widerlagsmauern desſelben gerechnet werden muſs. Aus dieſem Grunde werden in der Neuzeit gröſsere Spiegelgewölbe über Vorhallen, Treppenhäuſern, Sälen u. ſ. w. nicht ohne Anwendung eines eiſernen Stütz- und Tragſyſtems ausgeführt, welches in ſeinem Gerippe die Gewölbteile aufnimmt.

In architektoniſcher Beziehung hat das Spiegelgewölbe jedoch eine nicht zu unterſchätzende Bedeutung. Erſcheint dasſelbe vermöge der durch Lunetten unterbrochenen, vom Widerlager aufſteigenden Hohlkehlen ſeiner Wangen ſchon als eine leicht ſich erhebende, mit der Teilung der Umfangswände in harmoniſcher Uebereinſtimmung ſtehende Deckenbildung, ſo kann die Wirkung der ganzen Anlage durch Ausſchmückung der hierfür äuſserſt günſtigen Gewölbflächen mit Ornamenten, Gemälden u. ſ. w. eine Steigerung erfahren, welche den höchſten Anforderungen zu entſprechen vermag, die an Reichtum und Pracht in der Ausſtattung der Spiegel-

gewölbe geſtellt werden. Beiſpiele derartiger in der Ausſchmückung üppiger Deckenbildungen, welche gleichſam als beſondere Schauſtücke zu betrachten ſind, bieten vielfach hervorragende Bauwerke, welche dem Bauſtil der Renaiſſance, dem Barock- und dem Rokokoſtil angehören. Iſt auch die wirkliche Konſtruktion derartiger Decken oft durch ein Blendwerk von Holzverbindungen mit Putzüberzug gebildet und daher entfernt ſtehend von einem eigentlichen Gewölbebau, ſo iſt doch das Studium derſelben um ſo mehr zu empfehlen, als in der Jetztzeit Spiegelgewölbe, konſtruiert als gemiſchtes Syſtem aus Eiſen und Stein, mannigfach in Anwendung kommen.

Fig. 166.

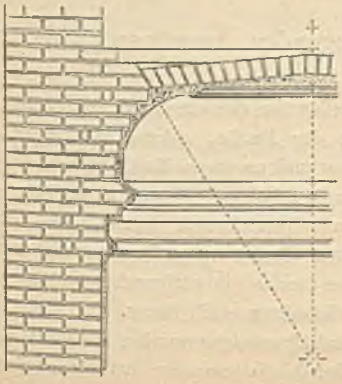


105. Einfache Spiegelgewölbe.

Das einfache Spiegelgewölbe (Fig. 166) kann über quadratiſchen, rechteckigen oder auch über anderen, im Grundriſs regelmäſsig angeordneten Räumen ausgeführt werden. Unregelmäſsige Grundformen ſind dabei als für dieſe Deckenbildung unſchön auszuſchlieſsen. Würde man in beſonderen Fällen und bei untergeordneten Anlagen die Wangen des Gewölbes fortlaſſen, ſo würde an die Stelle des einfachen Spiegelgewölbes ein ſcheitrechtes Gewölbe treten. Dieſe ſollten aber nur bis zu einer Spannweite von höchſtens 3,50 m in Anwendung kommen und niemals ganz wagrecht, ſondern immer mit einem Stich von etwa 1 cm auf 1 m Spannweite in vorzüglichem Verbande und mit ſehr gut bindendem Mörtel ausgeführt werden. Eine beſondere Ueberlaſt ſoll auf dieſen Gewölben, wenn dieſelben bei *Moller*'ſchem Verbande in ihren von Widerlager zu Widerlager ziehenden Fugen nicht etwa durchgehende, hochkantig geſtellte Flacheiſen (Bandeiſen) als Armierung erhalten, nicht ruhen. Sollte dem mit Stich behafteten ſcheitrechten Gewölbe eine wagrechte Laibungsfläche gegeben werden, ſo iſt dieſelbe durch entſprechend ſtarken Putz zu erzielen.

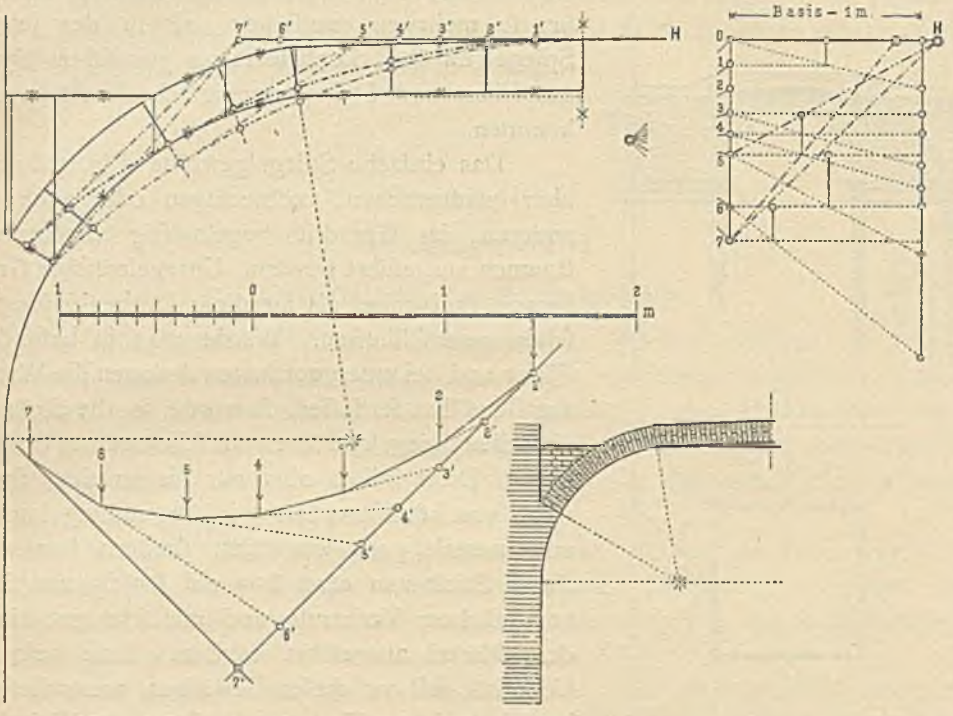
Will man dem ſcheitrechten Gewölbe das Ausſehen eines Spiegelgewölbes gewähren, ſo läſst man nach Fig. 167 ringsum an den Widerlagsmauern des Raumes mehrere Mauerſchichten wagrecht mit Auskragung anſetzen. Dieſe ſtaffelartig gebildeten Widerlager des mit mäſsigem Stich verſehenen ſcheitrechten Gewölbes werden durch Putzüberzug zu einer Hohlkehle ausgebildet, welche durch eine gleichfalls aus Putz angefertigte Umrahmung der Spiegelfläche begrenzt wird. Bei gröſserer Ausladung der vorgekragten Widerlager können zweckmäſsig zur Sicherung und Unterſtützung derſelben kleine ⊥-förmige Profileiſen unter Benutzung von Zementmörtel mit eingemauert werden. Dieſe Eiſen greifen aufserdem noch mit entſprechender Länge in das Mauerwerk der Umfangsmauern ein.

Fig. 167.



Aber auch dann, wenn die Anfätze des Spiegelgewölbes als Wangenteile eines Kloftergewölbes auszuführen find, werden fachgemäfs die unteren Schichten derfelben, foweit thunlich ift, vorgekragt (Fig. 168), um hierdurch die Weite der eigentlichen Wölbung möglichft zu vermindern. Die in der Abbildung für einen Gewölbftreifen von der Tiefe gleich der Längeneinheit eingetragene Mittellinie des

Fig. 168.



Druckes mit dem möglich kleinften Gewölbfchub H giebt über die ftatifchen Verhältniffe des Gewölbkörpers näheren Aufffchlufs.

106. Spiegelgewölbe mit Stützwerk aus Eifen.

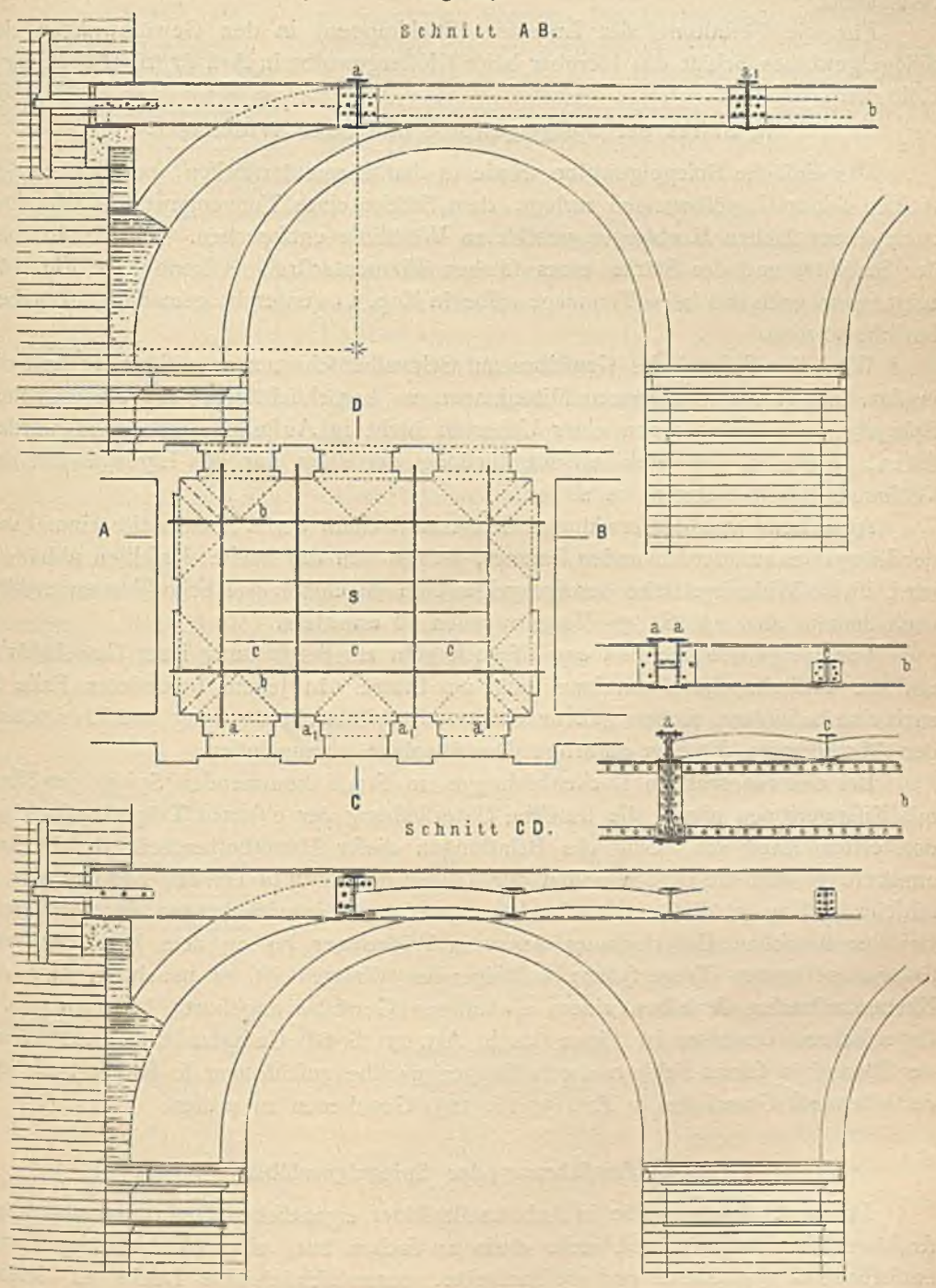
Gehen die Raumabmeffungen für Decken als Spiegelgewölbe über $3{,}50$ m hinaus, fo verläfst man am beften die einfache Gewölbebildung und geftaltet die Decke durch Einfügen eines Gerippes aus Eifenträgern zu einem gemifchten Syftem von Eifen und Stein. In folchen Fällen wird die angeordnete Eifenkonftruktion als Trag- und Stützfyftem der wefentlichfte Beftandteil der Decke, während die zwifchen dem eifernen Rippenwerk eingefügten gewölbten Teile derfelben mehr als Füllwerk zur Herftellung der Form des Spiegelgewölbes dienen.

Die Geftaltung diefer Decken ift in den grundlegenden Anordnungen durch Fig. 169 näher angegeben.

Mit der Begrenzung des Spiegels S zufammenfallend und zuweilen im Gebiete desfelben werden Walzeifen- oder, bei bedeutender Weite und erheblichem Gewichte der Decke, eiferne Nietträger a bezw. a, verlegt, welche ihre Auflager auf den Umfangsmauern erhalten und an ihren Enden durch forgfame Ummauerung, bezw. durch eine Verankerung die geficherte Lage erhalten. Gegen diefe Hauptträger a, a, fetzen fich in der weiteren Begrenzung des Spiegels liegende Querträger b. Diefelben werden mit den Hauptträgern durch Winkeleifen unter Anwendung einer guten Vernietung verbunden, fo dafs hierdurch ein eiferner Rahmen entfteht, welcher als Hauptgerippe der Decke ein entfprechendes oberes Widerlager für die unteren Wangen des Spiegels bietet, wie aus den Schnitten AB, bezw. CD hervorgeht. Zur weiteren Sicherung der miteinander verbundenen Haupt- und Querträger werden diefelben oft noch durch befondere Konfoleträger unterftützt, welche von den feften Umfangsmauern aus bis zu den

Trägern *a*, bezw. *b* geführt werden. Die untere Begrenzungslinie dieſer Konſoleträger hat ſich nach der Wangenlinie, bezw. nach der Kehllinie des Gewölbes zu richten. Für die Einwölbung des Spiegels *S* werden noch in Entfernungen von etwa 1 m voneinander kleine Nebenträger *c* eingebracht. Dieſelben

Fig. 169.



werden unter Beobachtung ihrer geringſten Längenausdehnung in geeigneter Weiſe entweder mit den Querträgern *b* oder mit den Hauptträgern *a* durch Winkeleiſen und Nietung, bezw. Verſchraubung verbunden. Die durch Einſchaltung dieſer Nebenträger entſtehenden, ſehr ſchmalen Gewölbfelder des Spiegels

werden mit ganz flachen Kappengewölben, bezw. ſcheitrechten Gewölben geſchloſſen, welchen nur etwa 2 cm Stich gegeben wird.

Soll die Oeffnung im Trägergerippe *a*, *b* für ein Deckenlicht benutzt werden, ſo bleiben die Nebenträger *c* fort. Das Rahmenwerk des Gerippes dient alsdann zur Aufnahme der Konſtruktionsteile des Deckenlichtes.

Für die Geſtaltung der Lunetten (Stichkappen) in den Gewölbwangen des Spiegelgewölbes behält das hierüber beim Kloſtergewölbe in Art. 87 (S. 166) Geſagte Gültigkeit.

b) Stärke der Spiegelgewölbe und ihrer Widerlager.

107. Gewölbſtärke.

Das einfache Spiegelgewölbe würde in den Elementarſtreifen, parallel zu den Achſen ſeiner Gewölbwangen zerlegt, dem Stücke eines Tonnengewölbes mit einer nach einem flachen Korbbogen gebildeten Wölblinie entſprechen. Die Ermittelung der Stabilität und der Stärke eines ſolchen Elementarſtreifens kann, wie Fig. 168 zeigt, ganz nach den beim Tonnengewölbe in Kap. 11 (unter b) gemachten Angaben bewirkt werden.

Wird der Spiegel des Gewölbes auf Schwalbenſchwanz ausgeführt, ſo ſind die in Art. 62 (S. 137) gegebenen Mitteilungen zu berückſichtigen. Da die einfachen Spiegelgewölbe zum Tragen einer Ueberlaſt nicht in Anſpruch genommen werden ſollen, ſo iſt bei der Stabilitätsunterſuchung derſelben nur das Eigengewicht des Wölbmaterials in Betracht zu ziehen.

108. Widerlagsſtärke.

Ausgehend von den erwähnten Elementarſtreifen, deren Spannweite einmal von der Länge des zu überdeckenden Raumes, ſodann von der Breite desſelben abhängig wird, iſt die Widerlagsſtärke der Spiegelgewölbe gleichfalls wie beim Tonnengewölbe nach dem in Art. 23 (S. 57) Vorgetragenen zu ermitteln.

109. Empiriſche Regeln.

Für Spiegelgewölbe ſind empiriſche Regeln zur Beſtimmung ihrer Gewölbſtärke und der Widerlagsſtärke durchaus nicht am Platze. In jedem beſonderen Falle iſt auch eine beſondere, ſoeben gekennzeichnete Stabilitätsunterſuchung und Ermittelung der Abmeſſungen für eine derartige Gewölbanlage vorzunehmen.

110. Spiegelgewölbe mit Eiſengerippe.

Bei den für gröſsere Deckenbildungen in Frage kommenden Spiegelgewölben mit Eiſengerippen nimmt die ſtatiſche Unterſuchung der eiſernen Trägerkonſtruktion den erſten Rang ein. Sind die Belaſtungen dieſer Hauptbeſtandteile der Decken ermittelt, ſo ſind die Berechnungen der Träger nach den in Teil III, Band 1 (Abt. 1, Abſchn. 3, Kap. 7) dieſes »Handbuches« gegebenen Entwickelungen durchzuführen. Bei der ſtatiſchen Unterſuchung der vom Widerlager bis zu dem höher und am Spiegel gelegenen Trägerſyſtem aufſteigenden Wangen iſt zu beachten, daſs ein Elementarſtreifen derſelben einem einhüftigen Gewölbe angehört; hiernach iſt die Unterſuchung desſelben im Sinne des in Art. 27 (S. 68) Geſagten zu führen. Wird der Spiegel in ſeinen Feldern durch Kappengewölbe geſchloſſen, ſo iſt die Stabilität derſelben auf Grund des in Art. 57 (S. 123) Gegebenen zu prüfen.

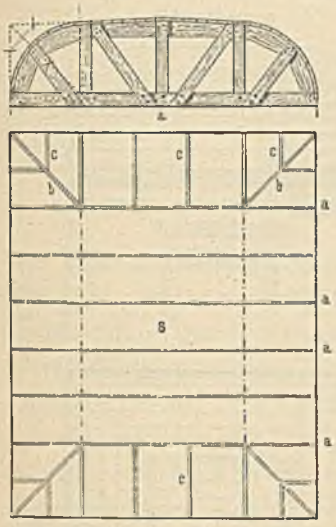
c) Ausführung der Spiegelgewölbe.

111. Allgemeines.

Da das Spiegelgewölbe in Anbetracht ſeiner eigentlichen Geſtaltung und Konſtruktion ſeine Aufgabe weit mehr darin zu ſuchen hat, eine leicht durchgeführte, entſprechend gegliederte und geſchmückte, raumabſchlieſsende Decke zu liefern, als noch aufserdem fremde Laſten zu tragen, ſo iſt dementſprechend bei der Ausführung der Spiegelgewölbe namentlich bezüglich des zu verwendenden Wölbmaterials und Bindemittels gebührende Rückſicht zu nehmen.

Aus diefem Grunde treten als Hauptbauftoffe für Spiegelgewölbe Backfteine, die gewöhnlichen Lochfteine oder hinreichend feite poröfe Barnfteine in den Vordergrund. Bruchfteine find im allgemeinen auszufchliefsen, während Quader bei verhältnismäfsig gering gefpannten Spiegelgewölben benutzt werden können. Bei Verwendung von Backftein ift ferner eine vorzügliche Verkittung der Wölbfteine geboten und deshalb ein ausgezeichneter Zementmörtel, bezw. verlängerter Zementmörtel als Bindemittel in jeder Beziehung für den geficherten Beftand der Spiegelgewölbe anzuraten.

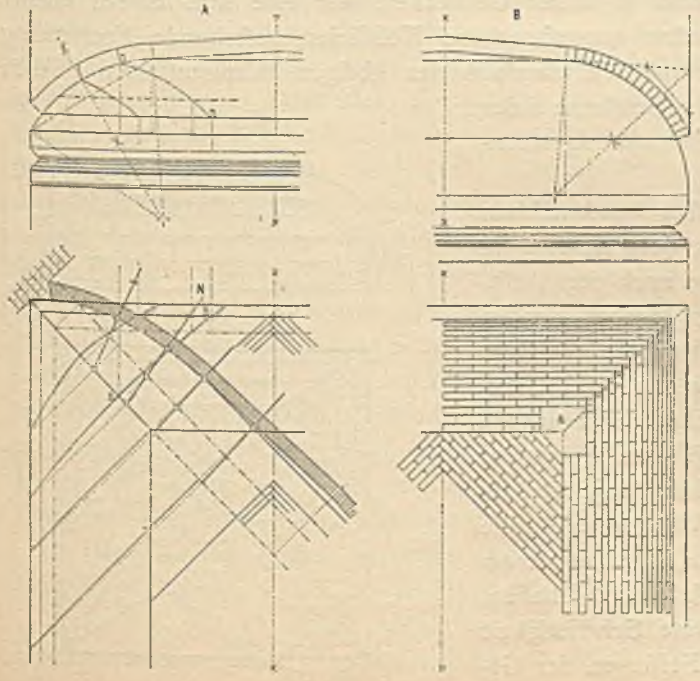
Fig. 170.



Für die Ausführung der Spiegelgewölbe wird eine vollftändige, auf Lehrbogen, bezw. Wölbfcheiben lagernde Unterfchalung hergerichtet. Soweit der Spiegel *S* reicht, werden nach Fig. 170 die Hauptlehrbogen *a* in Entfernungen von 1,00 bis 1,50 m aufgeftellt. Gegen diefelben legen fich Lehrbogen *b*, welche für die Kehllinien der Wangen in bekannter Weife auszumitteln find, und die Schiftlehrbogen *c* von je zwei einander gegenüberliegenden Wangen. Im übrigen gilt das beim Tonnengewölbe in Art. 33 (S. 80) hinfichtlich der weiteren Behandlung der Gewölbgerüfte Gefagte. 112. Lehrgerüfte.

Bei Spiegelgewölben zwifchen Eifengerippe erhalten die einzelnen Gewölbteile gleichfalls eine Unterfchalung. Die Lehrbogen oder die in vielen Fällen für die Wangen zu benutzenden einfachen Wölbfcheiben reichen alsdann nur vom Kämpfer bis zu den Rändern des Spiegels, während letzterer für fich, falls ein gefchloffener Spiegel ausgeführt werden foll, eine Unterfchalung erhält, wie folche bei flachen Kappengewölben üblich ift.

Fig. 171.



Bei den einfachen Spiegelgewölben aus Backftein kann, wenn die Wangen Hohlkehlen bilden, ihre Wölblinie ein flacher Kreisbogen ift, der Verband auf Kuf, bezw. auf Schwalbenfchwanz durchweg für Wangen und Spiegel beibehalten werden. Wird dagegen die Wölblinie der Wangen ein Viertelkreis, fo wählt man für diefelben den Verband auf Kuf, während der Spiegel dann allein meiftens im Schwalbenfchwanzverband eingewölbt wird. 113. Spiegelgewölbe aus Backftein.

Beide Anordnungen ſind in Fig. 171 bei *A*, bezw. *B* dargeſtellt. Bei der in *B* gegebenen Einwölbung iſt zur Erzielung eines zweckmäſsigen Anſatzes der in Schwalbenſchwanzverband antretenden Wölbung das Einfügen beſonderer Werkſtücke *a* an den Ecken des Spiegels zu empfehlen.

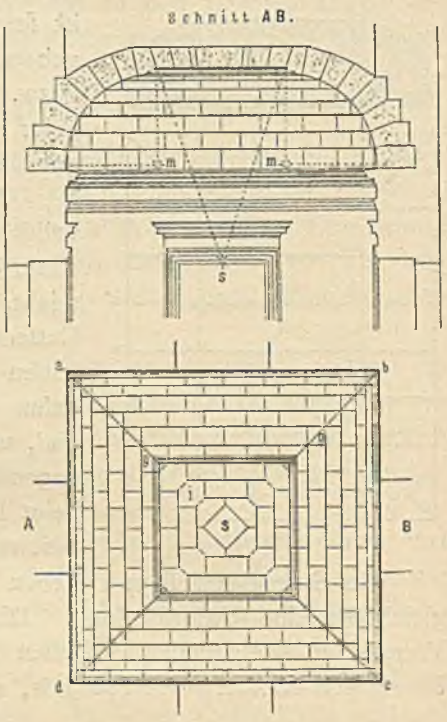
Die Wangen der Spiegelgewölbe mit eiſernem Rippenſyſtem werden auf Kuf eingewölbt, während die Kappen des Spiegels in demſelben Verbande oder auf Schwalbenſchwanz herzurichten ſind.

Soll der Spiegel Kaſſetten erhalten, ſo iſt der in Art. 44 (S. 94) mitgeteilte Verband anzuwenden.

114. Spiegelgewölbe aus Quadern.

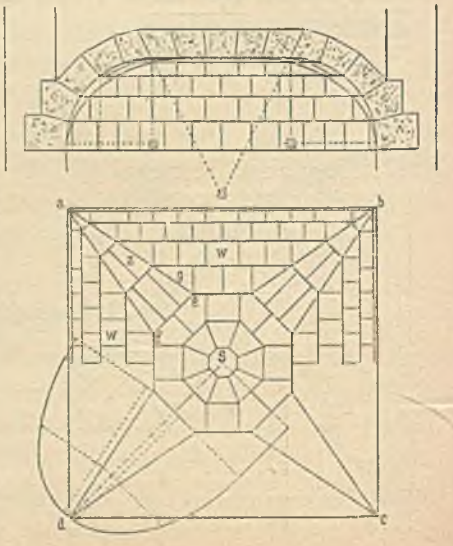
Für Spiegelgewölbe über Räumen von etwa 4,00 m gröſster Seitenabmeſſung können bei genügend ſtarken Umfangsmauern und bei mäſsiger Belaſtung der Decke von oben auch Quader als Wölbſteine zur Anwendung kommen. Der Steinfugenſchnitt derſelben iſt im allgemeinen dem Verbande auf Kuf entſprechend zu ordnen.

Fig. 172.



Im beſonderen iſt für die Grat- oder Kehlſteine, um eine hakenförmige Geſtalt derſelben zu vermeiden, die Anordnung *g* (Fig. 172) nach den beim Kloſtergewölbe in Art. 100 (S. 185) gegebenen Darſtellungen vorzunehmen, während die übrigen Wangenſteine als gewöhnliche Tonnengewölbſteine zu laſſen ſind. Die Formen der Wölbſteine des Spiegels *S*, welcher in ſeiner Geſamtheit nur eine mit nahezu ebener Laibungsfläche behaftete, ohne ausgeſprochene Kehllinien beſtehende Fortſetzung der Wangenflächen iſt, entſprechen ebenfalls den übrigen Wangenſteinen. Auch hierbei kann die Bildung der Eckſteine *i* der einzelnen Schichten ohne hakenförmigen Anſatz bewirkt werden.

Fig. 173.



Soll bei Gewölben über quadratiſchen oder rechteckigen Räumen dem Spiegel in empfehlenswerter Weiſe eine nach dem Achteck feſtgelegte Begrenzung gegeben werden (Fig. 173), ſo laufen an jeder Ecke des Raumes vom Kämpferpunkte *a* aus zwei Kehllinien *a c*, *a f* nach den Ecken des Spiegels. Dieſelben begrenzen die gröſseren Wangen *w* und kleinere, in der wagrechten Projektion als Dreiecke *a e f* erſcheinende Wangen *z*. Für die Schnittlinien nach *a e* und *a f* ſind wiederum beſondere Grat- oder Kehlſteine zu ſchaffen, deren Fugenſchnitt ſich ohne Schwierigkeit ermitteln läſst, ſobald das Feſtlegen der Ge-

ſtalt der Kehllinien und Wölblinien der Dreieckswangen z nach dem gewählten Grundbogen einer Wange w vorgenommen iſt. Aus der Zeichnung geht die allgemeine Anordnung der Lager- und Stoſsfugenkanten für die Wangen und den Spiegel S auf der wagrechten Projektion der Laibungsfläche des Gewölbes hervor.

Hinſichtlich des Verſetzens der Quader, des Mörtels u. ſ. f. iſt auf Art. 51 (S. 106) zu verweiſen.

15. Kapitel.

Kreuzgewölbe im allgemeinen.

115. Syſtembildung.

Das Beſtreben und auch das Bedürfnis, bei der Grundriſsentwickelung eines Bauwerkes mehrere nebeneinander liegende Räume, welche mit dem wohlbekannten halbkreisförmigen Tonnengewölbe überdeckt werden konnten, in höherem Maſse in Verbindung zu bringen, als ſolches an ſich durch die in den Stirnmauern ſolcher Gewölbe leicht zu ſchaffenden Oeffnungen möglich war, muſste naturgemäſs dazu führen, auch in den eigentlichen Widerlagskörpern dieſer Decken Oeffnungen anzulegen und nach oben durch kleinere Tonnengewölbe, d. h. durch beſondere Bogen, abzuſchlieſsen. Mochte dieſe Bogenanlage auch anfänglich mit ihren Scheitelhöhen noch in gröſserem oder geringerem Abſtande unter dem Fuſse des Tonnengewölbes auftreten, immerhin war die Auflöſung der Maſſe des Widerlagskörpers in einzelne mehr oder weniger breite Pfeiler erreicht. Konnte man nun die Bogen der Widerlagsöffnungen mit einer gröſseren Länge behaften und durch rechtwinkelig zu den geſchaffenen Pfeilern ſtehende, an den Hauptraum tretende neue Widerlagskörper ſtützen, ſo entſtand ein Zuſammenhang von mit Tonnengewölben überdeckten Räumen, welche jedoch in Rückſicht auf das Hauptgewölbe eine tiefere Kämpferlinie beſaſsen. Eine ſolche Anlage konnte nicht in allen Fällen befriedigen, und wenn auch die Römer des Abendlandes, namentlich bei der Anwendung von Quadern als Wölbmaterial, die verſchieden hohe Lage der Kämpfer aufeinander tretender Tonnengewölbe noch nicht vermieden, ſo machten ſich doch, vom Morgenlande ausgehend, Einflüſſe geltend, welche eine beſſere Vereinigung der zuſammentreffenden Tonnengewölbe erzielen lieſsen. Fielen die Kämpferlinien dieſer Gewölbe in eine und dieſelbe wagrechte Ebene, waren aber die Durchmeſſer derſelben verſchieden, ſo ſetzten ſich die kleineren Gewölbe als »Stichkappen« in das gröſsere Tonnengewölbe; waren dagegen die Durchmeſſer derſelben gleich groſs, ſo durchkreuzten ſich beide Tonnengewölbe und bildeten als beſondere Gewölbart das »Kreuzgewölbe«. In beiden Fällen war an allen Seiten des Raumes die Anlage entſprechend groſser Oeffnungen und damit eine Auflöſung der Widerlagsmauern in einzelne, das Gewölbſyſtem ausſchlieſslich ſtützende Pfeiler möglich, ſo daſs eine Reihe von derartigen Gewölbanordnungen für einen ausgedehnten Grundplan Platz greifen konnte. Durch die Einführung dieſer zuſammengeſetzten Tonnengewölbe iſt ein bedeutender Fortſchritt im Gewölbebau überhaupt angebahnt.

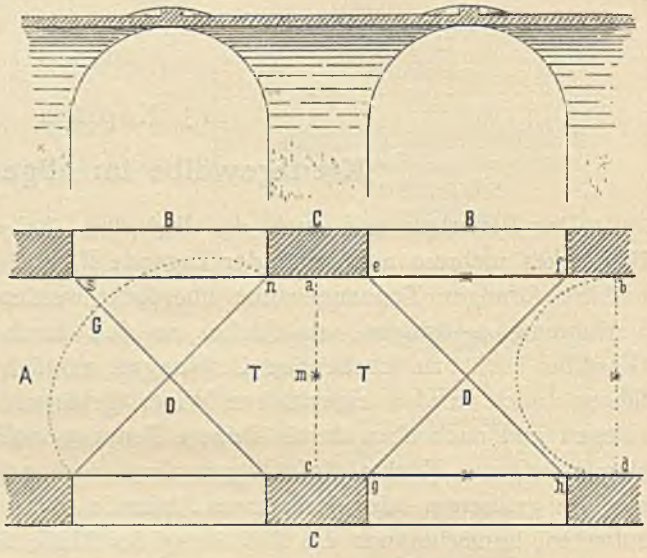
116. Römiſches Kreuzgewölbe.

Die Grundlagen des beſprochenen Wölbſyſtems, welches dem römiſchen Kreuzgewölbe entſpricht, ſollen an der Hand der Zeichnung noch näher erläutert werden.

In Fig. 174 iſt A ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe mit der Weite $b\,d$. Gegen dasſelbe treten Tonnengewölbe B, deren Wölblinien gleichfalls Halbkreiſe

ſind vom Durchmeſſer ef, bezw. ns, gleich der Weite der Wölblinie des Tonnengewölbes A. Die Achſen beider Gewölbgruppen liegen in einer und derſelben wagrechten Kämpferebene und ſchneiden ſich rechtwinkelig. Die Stücke D der Gewölbe B ſtecken gleichſam als Stichkappen im Hauptgewölbe A; ſie beſitzen in der Laibungsfläche der zuſammengefügten Gewölbe einen gemeinſchaftlichen Anfallspunkt als Schnittpunkt der ſich rechtwinkelig treffenden wagrechten Scheitellinien beider Gewölbe A und B, d. h. den Scheitelpunkt derſelben. Ueber $efgh$ liegen die Schnittlinien dieſer Gewölbe als beſondere Diagonalbogen. Bei den gleichen Durchmeſſern der Gewölbe ſind dieſe Diagonalbogen in ihrer wagrechten Projektion gerade Linien, in ihrer wirklichen Geſtalt aber halbe Ellipſen, deren groſse Achſe der Länge der Diagonalen eh, bezw. fg, deren halbe kleine Achſe dem Halbmeſſer $ma = mc$, alſo dem Halbmeſſer der Wölblinien der Gewölbe A, bezw. B entſpricht.

Fig. 174.



Das Gewölbe oberhalb $efgh$ iſt ein Kreuzgewölbe. Mit demſelben ſteht jedoch noch ein Stück T des Tonnengewölbes A im Zuſammenhange, ſo daſs die der Reihe nach folgenden Kreuzgewölbe um eine Länge en voneinander abgerückt erſcheinen. Dieſer Länge en gehören die für beide Gewölbe A und B, bezw. für die Kreuzgewölbe entſtehenden Widerlagskörper in Geſtalt eines Mauerpfeilers an. Von den Ecken e und n, bezw. g und h ſteigen die Diagonalbogen der Kreuzgewölbe empor.

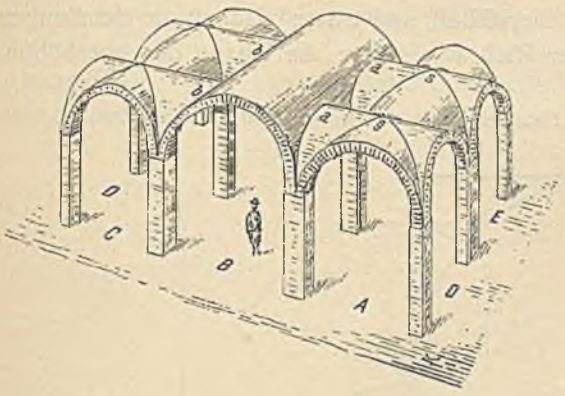
Dieſe grundſätzlich getroffene Anordnung aneinander gereihter Kreuzgewölbe, zwiſchen denen noch kurze Teile eines geraden Tonnengewölbes beſtehen bleiben, war den Römern ſchon hinlänglich bekannt geworden; auch heute noch wird dieſelbe vielfach in Anwendung gebracht.

Geſtattet dieſe Anordnung die Ueberdeckung eines einzelnen rechteckigen längeren Raumes mit Kreuzgewölben, ſo folgt auch beim Innehalten des grundlegenden Weſens derſelben ohne groſse Umſtände die Möglichkeit des Zuſammenfügens von Kreuzgewölben über ausgedehnteren Grundriſſen ſowohl der Länge, als auch der Breite des Raumes nach.

Ein derartiges Gewölbſyſtem zeigt Fig. 175. Hierbei iſt jedoch B noch teilweiſe als ein Haupttonnengewölbe belaſſen, während für die Abteilungen A und C, bezw. D und E Kreuzgewölbe in ihrer Vollſtändigkeit vorhanden ſind. Die Wölblinien der ſich durchſchneidenden Tonnengewölbe A mit D und E, bezw. C mit D und E haben einen gleichen Durchmeſſer; das Tonnengewölbe B dagegen beſitzt einen Halbkreis als Wölblinie mit gröſserem Durchmeſſer. Infolge hiervon treten bei dieſem Gewölbſyſtem die Stücke a und b der Kreuzgewölbe als gewöhnliche

Stichkappen für das Tonnengewölbe *B* auf; ihre höchſten Anfallspunkte vereinigen ſich nicht in einem gemeinſchaftlichen Schnittpunkte auf der Scheitellinie des Gewölbes *B*, ſondern liegen tiefer als dieſe Linie. Aus dieſem Grunde iſt das Gewölbe *B* nur ein Tonnengewölbe mit Stichkappen, kein eigentliches Kreuzgewölbe.

Fig. 175.



Die Stützen der geſamten Gewölbanlage beſtehen aus einzelnen Pfeilern an den Ecken der zuſammengefügten Gewölbſtücke. Die Stellung der Pfeiler veranlaſst die Gliederung des Raumes in einzelne innig zuſammenhängende Abteilungen; dieſelbe iſt durch die geſetzmäſsige Bildung der gewölbten Decke bedingt.

Giebt man dem Gewölbe *B* denſelben Halbkreis als Wölblinie, wie den Gewölbzügen *A* und *C*, bezw. *D*, ſo geht das ganze Wölbſyſtem in Kreuzgewölbe über, welche ſich der Länge und Breite nach für den in Frage kommenden Raum aneinander reihen.

Mag auch vorläufig davon abgeſehen werden, in welcher Weiſe die Römer die Ausführung ihrer Kreuzgewölbe nach dem hier beſchriebenen Wölbſyſteme bewirkten: das Ziel war erreicht, bisher räumlich voneinander getrennte Bauteile in innigen Zuſammenhang zu bringen und bei der Raumteilung und der Deckenbildung zu einem organiſchen Ganzen zu geſtalten.

Der Einfluſs, welchen dieſes Wölbſyſtem im Gefolge haben muſste, war bedeutend, und wenn auch für die Anwendung desſelben vorweg bei der Grundriſsbildung der einzelnen, mit Kreuzgewölben zu überſpannenden Raumabteilungen nur eine quadratiſche Planlage innegehalten werden konnte, ſo zeigt ſich doch, daſs allmählich auch für rechteckige Planteilungen das geſchaffene Syſtem unter Einführung von Umgeſtaltungen, die jedoch den eigentlichen Kern der Form des Kreuzgewölbes nicht ſchädigten, zur weiteren Benutzung fähig war.

117. Romaniſches Kreuzgewölbe.

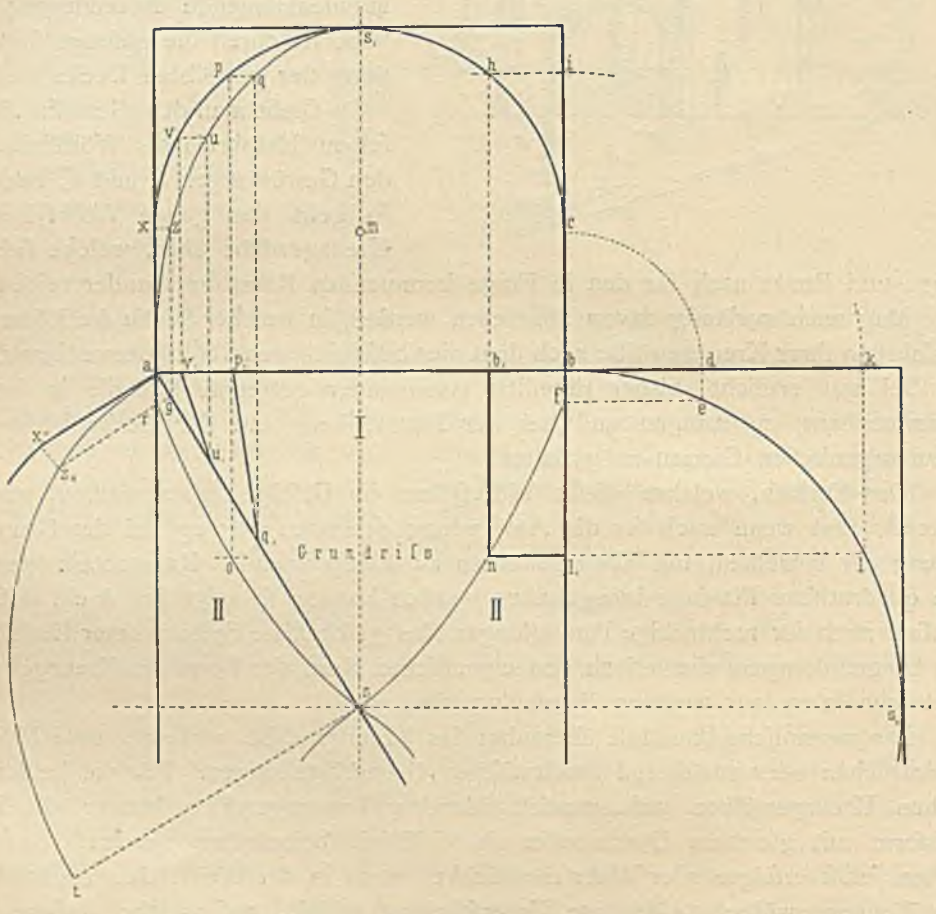
Die romaniſche Baukunſt übernahm das Kreuzgewölbe, und zwar zunächſt über quadratiſchen oder annähernd quadratiſchen Grundriſsteilungen. Für die beiden bei ſolchen Kreuzgewölben zuſammenſchneidenden Tonnengewölbe konnte die Halbkreisform mit gleichem Durchmeſſer als Wölblinie beibehalten werden. Das Einwölben ſelbſt erfolgte aller Wahrſcheinlichkeit nach in der Weiſe, daſs zunächſt das eine Tonnengewölbe vollſtändige Unterſchalung erhielt, auf welche alsdann, wie ſolches noch heute beim Anbringen von Stichkappen in Tonnengewölben üblich iſt, ſich die Schalungen für die quer antretenden Tonnengewölbſtücke legten. In den Schnittlinien dieſer Schalungen mit derjenigen des erſten Gewölbes ergab ſich ſofort die Geſtalt der Diagonalbogen des Kreuzgewölbes von ſelbſt.

So einfach ſich hierdurch die Beſtimmungsſtücke eines Kreuzgewölbes bei quadratiſchem Gewölbfelde ergaben, ſo bedenklich wurde die Geſtaltung der Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Felde, ſobald die Scheitellinien der zuſammentretenden Gewölbſtücke oder Gewölbkappen in gleicher Höhe über der Kämpferebene liegen und die Wölblinien der Kappen ſich im ganzen der Halbkreisform möglichſt anſchlieſsen ſollten. In ſolchen Fällen lag die in Fig. 176 gekennzeichnete

Geſtaltung des Gewölbes nahe, wonach für die lange Seite des Rechteckes ein Stirnbogen als voller Halbkreis beibehalten, der Stirnbogen der ſchmalen Rechtecksſeite ebenfalls als Halbkreis mit entſprechend kleinerem Durchmeſſer $a\,b$, aber mit einer Ueberhöhung $a\,x$, bezw. $b\,c$ eingeführt wurde, um durch dieſe Ueberhöhung oder Stelzung die Scheitellinien der zuſammentretenden Gewölbkappen in die gleiche Höhe zu bringen.

Wurde nunmehr das Gewölbe *II* eingeſchalt und traten alsdann die Schalungen der Gewölbkappen *I* in rechtwinkeliger Richtung gegen die Ebene des überhöhten

Fig. 176.

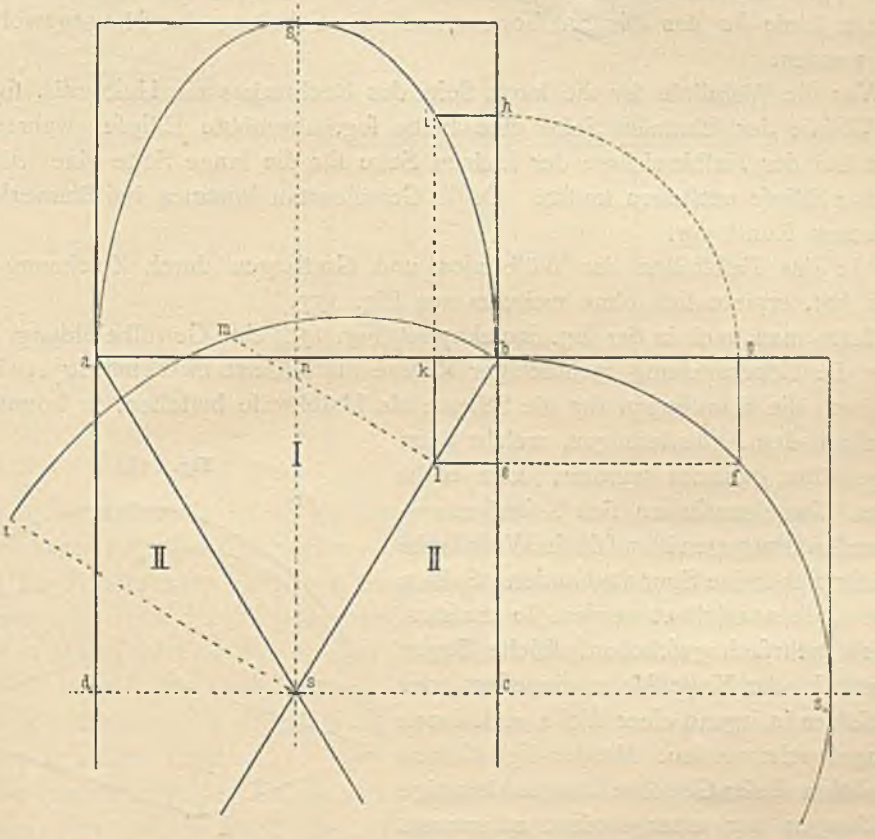


Stirnbogens $a\,b$, z. B. nach b,n, ſo ergaben ſich danach Schnittlinien $f\,n\,s$, bezw. $r\,o\,s$ der Gewölbkappen, welche in ihrer Grundriſsprojektion nicht den Richtungen der Diagonalen des Rechteckes folgten, ſondern als krumme Linien auftraten. Auſserdem beginnen dieſe Schnitt- oder Gratlinien erſt in der Höhe $b\,d$, bezw. $b\,c$ über der Kämpferebene, und infolge hiervon entſpringt an den langen Stirnſeiten des Raumes ein Stück einer lotrechten Wand $b\,e\,d$, entſprechend dem Ohr für eine Stichkappe *I*. Kommen auch derart geſtaltete Kreuzgewölbe mit doppelt gekrümmten Gratlinien vor, ſo ſind dieſelben doch weder in techniſcher Beziehung, noch in Rückſicht auf architektoniſche Anforderungen als beſonders beachtenswert hinzuſtellen.

Behält man im Auge, daſs die Ausmittelung der Diagonalbogen in früheſter

Zeit nicht durch beſonderes Aufzeichnen, ſondern gleich praktiſch bei der Herrichtung der Unterſchalung der Gewölbkappen erfolgt ſein wird, ſo lieſse ſich unter der Bedingung, daſs dieſe Gratbogen in ihrer Richtung den Diagonalen des Rechteckes folgen ſollen, zunächſt auf der Schalung des gröſseren Tonnengewölbes *II* dieſe Richtung, z. B. als $a\,s$, vorreiſsen. Würde man nunmehr ſchmale Schalbretter oder Wölblatten, z. B. $q,p_{,}$, $u,v_{,}$, von der Schnürlinie $a\,s$ für den Diagonalbogen nach dem aufgeſtellten, überhöhten Stirnbogen der Seite $a\,b$ in der Weiſe treten laſſen, daſs die Endpunkte q und p, bezw. u und v der einzelnen Schallatten für ſich eine gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, ſo divergieren wohl dieſe Latten und ſtehen auch mit Ausnahme der Scheitellatte nicht mehr rechtwinkelig zur Stirn-

Fig. 177.



ebene $a\,b$; aber die Ausführung der Wölbung der Kappen *I* auf dieſer Schalung, welche zwiſchen ihren Endauflagern noch irgend eine einfache, jedoch hinreichend ſtarke Unterſtützung erhalten könnte, iſt möglich. Unterhalb der Linie $x\,z$, bezw. $a\,g$ würden alle Schallatten in die Ebene des Diagonalbogens $a\,s$ fallen; mithin muſs in dieſer Ebene eine lotrechte Wand $a\,x_{,,}\,z_{,,}$ entſtehen. Auch derartige Anordnungen ſind bei Kreuzgewölben, aus Bruchſtein- oder Backſteinmaterial hergerichtet, anzutreffen.

Wie die Ausmittelung der Hauptſtücke ſolcher Kreuzgewölbe im Sinne der darſtellenden Geometrie zu erfolgen hätte, iſt aus der Abbildung zu entnehmen.

Bei verhältnismäſsig ſchmaler rechteckiger Grundfläche muſste die dann bedeutende Ueberhöhung des halbkreisförmigen kleineren Stirn- oder Randbogens bei

dieſer Durchbildung der Kreuzgewölbe jedoch in Verbindung mit dem bezeichneten lotrechten Wandſtücke in der Ebene des Grat- oder Diagonalbogens ſich unangenehm geltend machen ſowohl bei der Ausführung der Gewölbe, als auch in Rückſicht auf die architektoniſche Wirkung derſelben.

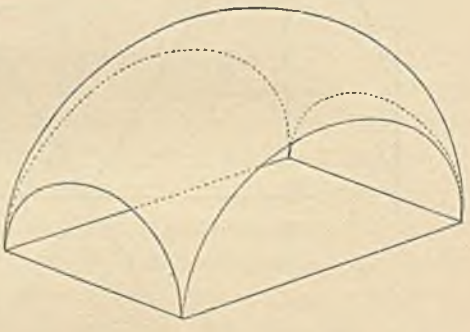
Um dieſe Uebelſtände zu beſeitigen, konnte nur eine Umformung der Randbogen der in das halbkreisförmige Haupttonnengewölbe tretenden Gewölbkappen vorgenommen werden. Unter Beibehaltung gleich hoch liegender Scheitellinien der Gewölbkappen und der Richtung der Gratbogen, entſprechend den Diagonalen des Rechteckes, entſtand alsdann für die vom Halbkreiſe des Hauptgewölbes abhängige Wölblinie der eingefügten Gewölbkappen eine halbe Ellipſe. Dieſelbe ergab ſich wiederum durch entſprechendes Auflagern von Schalbrettern, welche, wie $l\,k$ in Fig. 177, rechtwinkelig zur Stirnſeite $a\,b$ und in wagrechter Lage nach der vorgeriſſenen Linie $b\,s$ des Diagonalbogens, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht wurden.

War die Wölblinie für die lange Seite des Rechteckes ein Halbkreis, ſo wurde die Wölblinie der ſchmalen Seite eine halbe ſog. überhöhte Ellipſe, während umgekehrt bei der Halbkreislinie der kleinen Seite für die lange Seite eine halbe ſog. gedrückte Ellipſe entſtehen muſste. Beide Gewölbarten kommen bei Bauwerken der romaniſchen Kunſt vor.

Wie das Feſtſtellen der Wölblinien und Gratbogen durch Zeichnung zu geſchehen hat, ergiebt ſich ohne weiteres aus Fig. 177.

Hatte man auch in der ſog. Stutzkuppel (Fig. 178) eine Gewölbebildung, welche ſich für die Ueberdeckung rechteckiger Räume als äuſserſt zweckmäſsig erwies und wobei auch die Randbogen für die Stirnen als Halbkreiſe beſtehen, ſo konnte dieſe Form allein den Anforderungen, welche beim Kreuzgewölbe gemacht wurden, doch nicht genügen. Von eigentlichen, ſich beſonders auszeichnenden Gratbogen iſt auf dieſer Wölbfläche an und für ſich keine Spur vorhanden. Sollten dieſelben gekennzeichnet werden, ſo muſsten, wie auch mehrfach geſchehen, ſolche Bogen als Zierat in die Kugelfläche eingefügt oder auf derſelben in irgend einer Weiſe, z. B. durch Putz angebracht werden. Mit der eigentlichen Konſtruktion dieſer Gewölbe hängen derartige Gratbildungen nur untergeordnet zuſammen.

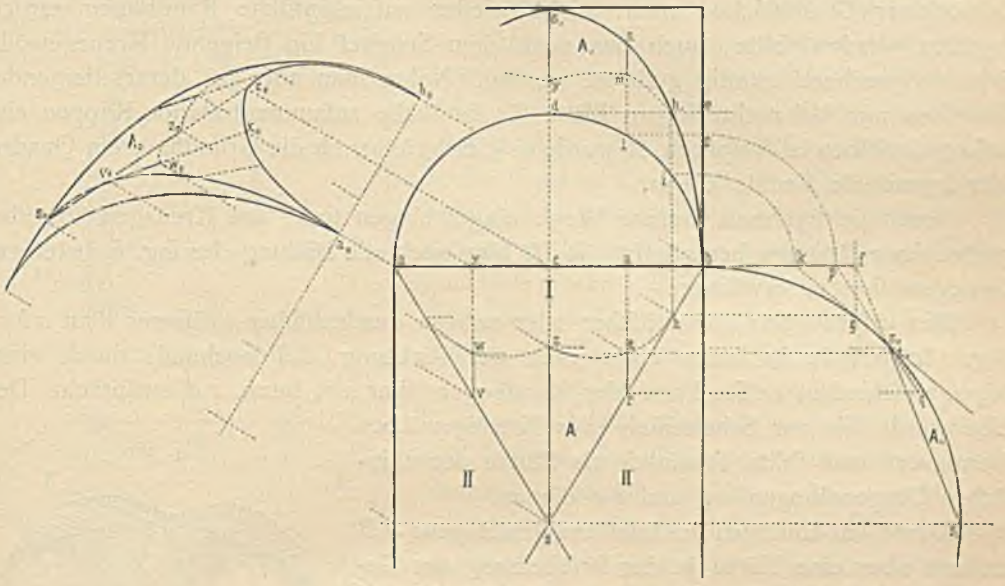
Fig. 178.



Der überhöhte Halbkreis und die Form der ſog. überhöhten oder der gedrückten halben Ellipſe als Stirnbogen, bezw. als Wölblinien von Kappen der Kreuzgewölbe und endlich die Anwendung der Stutzkuppel für rechteckige Räume entſprachen noch immer nicht den Wünſchen, welche man bei der Anwendung von Kreuzgewölben hegte, oder befriedigten auch die beſonderen baulichen Bedürfniſſe nicht. Beim Feſthalten des Halbkreiſes an ſich für die Wölblinien der Kappen des Kreuzgewölbes ergab ſich, daſs die Scheitellinie der Wölbkappen der kleineren Rechteckſeiten überall keine gerade wagrechte Linie bleiben konnte, welche unmittelbar, wie Fig. 179 in $f\,s_{,,}$ zeigt, ohne das mit wagrechter Scheitellinie belaſſene Hauptgewölbe *II* zu durchſtoſsen, vom Scheitelpunkte d des Randbogens der Gewölbkappe *I* nach dem Scheitelpunkte $s_{,,}$ des Kreuzgewölbes zu führen wäre.

Ebenfo würde eine gerade Linie $p\,q$, welche einer zur Stirnebene $a\,b$ rechtwinkelig ftehenden Ebene angehört, fo lange um p nach oben gedreht werden müffen, bis der Endpunkt q derfelben in den Diagonalbogen über $b\,s$, bezw. $a\,s$ gelangt. Die lotrechte Projektion diefes Gratbogens in der Ebene des Stirnbogens $b\,s_{,,}$ deckt fich mit diefem Bogen, und man erkennt, dafs, folange irgend eine vom Randbogen $a\,d\,b$ nach dem Diagonalbogen geführte gerade Linie, welche in einer zu-

Fig. 179.



gehörigen, rechtwinkelig zu $a\,b$ genommenen Ebene liegt, nicht als Berührende an der Projektion $b\,s_{,,}$ des Gratbogens, bezw. der Stirnlinie der langen Rechtecksfeite auftritt, ein Durchftofsen derfelben mit dem Hauptgewölbe *II* ftattfinden mufs. In der Zeichnung find die Projektionen mehrerer Durchftofspunkte und der fie verbindenden Durchftofslinie eingetragen. Sollte der Lage und Richtung der Linien $f\,s_{,,,}$ $p\,q$ u. f. f. gemäfs die Unterfchalung der Gewölbkappe *I* vorgenommen werden, fo würden fich danach auch praktifch die bezeichneten Durchftofslinien auf der Schalung des Hauptgewölbes ergeben.

Die Einwölbung der Kappe *I* auf einer folchen Unterfchalung würde äufserft bedenklich fein und ein häfsliches Anfehen gewähren. Würde aber die Oberfläche diefer Schalung in eine kugelförmige (fphäroidifche) Fläche durch befonders hergerichtete Unterlagerung oder durch eine Erdfchüttung, wie bereits in Art. 48 (S. 100) erwähnt, umgeftaltet werden, fo würde die Gewölbkappe *I* als eine fphäroidifche Stichkappe mit den cylindrifchen Gewölbkappen zu vereinigen und auszuführen fein. Diefe kugelförmige Gewölbkappe *I* tritt dann als eine fog. »Kappe mit Bufen« oder als »bufige Kappe« auf. Sie nähert fich dem Stücke der Oberfläche einer Stutzkuppel. Sie würde eine Kugelftichkappe fein, wenn, wie fchon beim Kloftergewölbe in Art. 88 (S. 168) näher gezeigt ift, auch die mit dem Halbkreife $a\,d\,b$, dem Stirnbogen diefer Kappe, in a und b zufammentretenden Diagonalbogen ftatt in der Form der Halbellipfen als Halbkreife auftreten würden.

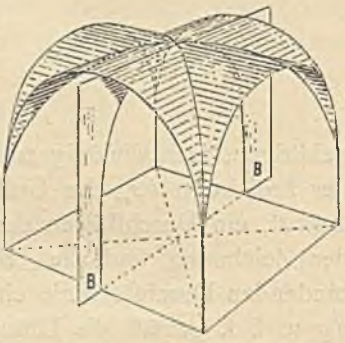
Durch die Einführung der bufigen Kappen bei den Kreuzgewölben ift ein be-

deutſamer Fortſchritt in der Geſtaltung derſelben eingeleitet. Schon die Form der halben Ellipſe als Diagonalbogen war nicht vorteilhaft, und ebenſowenig günſtig für die architektoniſche Wirkung erſchienen bei quadratiſchem Grundplane und halbkreisförmigen Stirnbogen die wagrechten Scheitellinien des Kreuzgewölbes. Konnte man auch durch ein entſprechendes Höherlegen des Scheitelpunktes des Gewölbes und durch ein mäſsiges Anſteigen der Gewölbkappen von den Randbogen aus nach den Diagonalbogen, ſei es durch Auffütterung der Schalung oder durch Erdſchüttung auf derſelben eine leichter erſcheinende Gewölbebildung erzielen, ſo konnte doch bei rechteckiger Grundfläche, wenn nicht wieder auf elliptiſche Randbogen zurückgegriffen werden ſollte, auch das nach dem Scheitel hin ſteigende Kreuzgewölbe nicht entſprechend günſtig geſtaltet werden. Nahm man aber bei derart ſteigenden Gewölben nun bei rechteckigem Plane für ſämtliche zuſammentretende Kappen eine Buſung derſelben in Anſpruch, ſo wurde es gleichgültig, ob die Grundfigur ein Quadrat oder irgend ein Rechteck war.

Berückſichtigt man, welche Wege eingeſchlagen ſind, um Kreuzgewölbe über rechteckigen Räumen herzuſtellen, ſo iſt hier noch die Bildung des ſog. ſechsteiligen Kreuzgewölbes zu erwähnen.

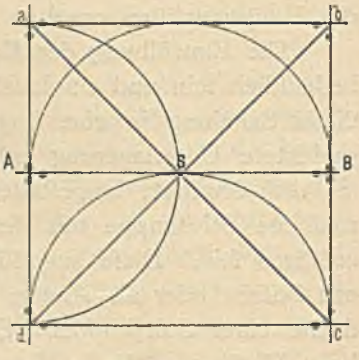
Ein urſprünglich quadratiſcher oder nahezu quadratiſcher gröſserer Plan *a b c d* (Fig. 180) wurde in ſeiner Mitte nach der Richtung *A B* nochmals durch einen Bogen geſchieden, deſſen Form den Randbogen über *a b*, bezw. *c d* entſprach. Derſelbe wurde bis zur Scheitellinie des Kreuzgewölbes übermauert und ſollte ſcheinbar als Stütze der elliptiſchen Diagonalbogen *a c* und *b d* dienen.

Fig. 180.



Durch das Einfügen des ſelbſtändigen Bogens *A B* entſtand aber eine Härte in der Erſcheinung des Gewölbes, welche ſeine Beſeitigung, da derſelbe ohnehin als Stütze ſich ziemlich unbrauchbar erweiſen muſste, wünſchenswert machte.

Legte man daher nach Fig. 181 in die Hauptkappen *G* und *H* des über *a b c d* ſich erſtreckenden Kreuzgewölbes, von den langen Rechtecksſeiten ausgehend, je zwei Nebenkappen, welche die in der Gewölbfläche nicht als beſondere Bogenkonſtruktion ausgeführte Wölblinie über *A B* als gemeinſchaftlichen Randbogen enthielten, ſo ergab ſich hierdurch die Geſtaltung des Kreuzgewölbes mit ſechs Gewölbkappen oder das ſog. ſechsteilige Kreuzgewölbe.



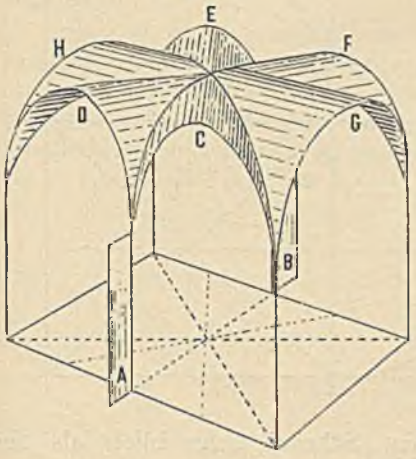
Die hierbei eingefügten Nebenkappen erhielten bei den einfacheren Anlagen elliptiſche Randbogen. Wie dieſelben etwa mit Hilfe von Schallatten *o p* und *l m* feſtgelegt werden konnten, ergiebt ſich aus der Zeichnung. So muſste z. B. *p q*, bezw. *m n* gleich *i k* genommen werden.

Wenngleich die ſechsteiligen Kreuzgewölbe durch Umformung der Diagonal- und Randbogen, ſowie durch Einführung von buſigen Kappen noch bei manchen Bauwerken zur Verwendung gelangten, ſo war dieſe Gewölbebildung doch weit weniger grundlegend für die Weiterentwickelung der

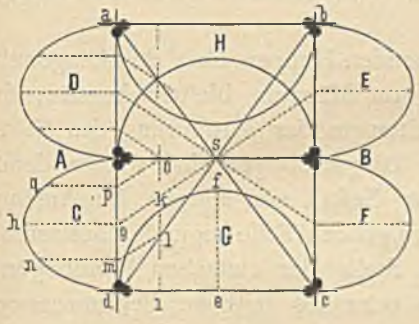
Geſtaltung von Kreuzgewölben über rechteckigen Räumen, als das eigentliche vierteilige Gewölbe mit buſigen Kappen.

Zwar ergab ſich zunächſt auch hierbei, daſs man, wenn alle Randbogen Halbkreiſe bleiben ſollten und wenn ferner an die Stelle der weniger erwünſchten Halbellipſe als Diagonalbogen der zweckmäſsigere Halbkreis gewählt wurde, um dadurch eine erhöhtere Lage des Scheitelpunktes des Gewölbes herbeizuführen, wieder im allgemeinen auf die Form einer gewöhnlichen Stutzkuppel kam.

Fig. 181.



Hierbei verſchwanden alsdann aber die am Gewölbe ſonſt in charakteriſtiſcher Weiſe eine Ecke bildenden Gratbogen. Durch eine mehr oder weniger ſtark eingeführte Buſung der einzelnen Gewölbkappen ſtatt der Fläche der Stutzkuppel war aber ein Mittel geboten, den mit als weſentlich erſcheinenden Charakter des Kreuzgewölbes, eine Eckbildung der zuſammenſchneidenden Gewölbkappen an den Diagonalbogen zu zeigen, aufrecht zu halten.



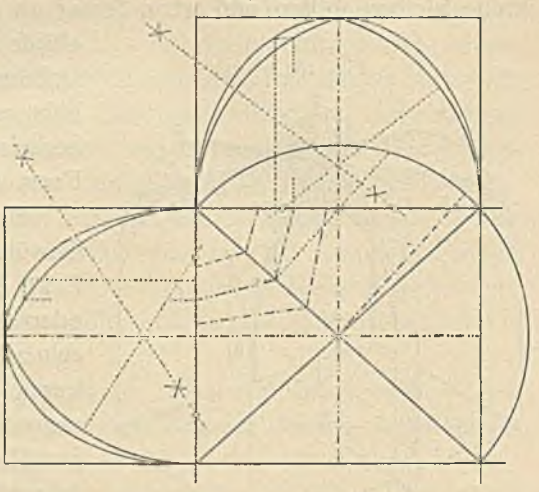
Die Einſchalung der Gewölbe mit buſigen Kappen war läſtig; ebenſo war die Herſtellung der buſigen Gewölbkappen aus gewöhnlichem Bruchſteinmaterial mühſam. Bei dieſem Material iſt längere Zeit hindurch ſtets eine Unterſchalung in Anwendung gekommen. Wenngleich das bei Herrichtung von Kuppelgewölben angezeigte freihändige Mauern ohne Benutzung einer Unterſchalung in ringförmigen Schichten nicht unbekannt geblieben ſein konnte, ſo war dieſe Wölbungsart doch nur in ſolchen Gegenden angezeigt, in welchen Backſteinmaterial oder ein geeigneter, leicht zu bearbeitender Kalkſtein oder Tuffſtein in ausreichender Weiſe vorhanden war. Für Bruchſteinmaterial muſste die Buſung der Kappen in den Hintergrund treten. Um aber die Diagonalbogen in ihrer Halbkreisform zu belaſſen, muſsten die Randbogen wieder als überhöhte Halbkreiſe oder als Halbellipſen eintreten. Dadurch blieben aber die früher erwähnten Uebelſtände bei der Geſtaltung der Kreuzgewölbe beſtehen, und um dieſe zu beſeitigen, dürfte die Einführung des bereits bekannten Spitzbogens als Randbogen ſtatt der geſtelzten Halbkreiſe oder der halben Ellipſen eine Folge geweſen ſein.

Bei quadratiſchem oder nahezu quadratiſchem Grundriſs bleiben die Randbogen, deren Scheitel mit dem Scheitelpunkt der halbkreisförmigen Diagonalbogen in gleicher Höhe liegen, nach Fig. 182 noch ziemlich ſtumpfe Spitzbogen.

Wurden in der Richtung der Diagonalen ſtützende Lehrgerüſte aufgeſtellt, wurde gleichfalls für die Gewölbkappen unter weiterer Heranziehung der Unterſtützung der Randbogen, ſowie einiger einfacher Zwiſchengerüſte eine genügend unterlagerte Schalung geſchaffen, ſo konnten auch aus Bruchſtein herzuſtellende Kappen leicht ausgeführt werden. Zunächſt fehlte dieſen Gewölben die Buſung. In

ſtatiſcher Beziehung übertrafen dieſelben jedoch die Kreuzgewölbe, deren Randbogen geſtelzte Halbkreiſe oder Halbellipſen waren, da bei der Spitzbogenform der Stirnbogen eine Verminderung des Seitenſchubes zum Vorteil der ſtützenden Eckpfeiler des Gewölbes entſtand.

Fig. 182.



Bei rechteckiger Grundform von geringer Breite und gröſserer Länge wurde der Spitzbogen der ſchmalen Seite reichlich ſteil, ſobald ſein Scheitel eine gleiche Höhenlage mit dem Gewölbſcheitel erhalten ſollte.

Um dieſe lanzettartige Form eines ſolchen Spitzbogens im allgemeinen nicht eintreten zu laſſen, muſste entweder ein entſprechend gewählter ſtumpfer Spitzbogen in ſeinen Fuſspunkten lotrecht gehoben, alſo wiederum geſtelzt werden, oder die Gewölbkappen muſsten bei einem feſtgeſetzten ſtumpferen Spitzbogen, deſſen Scheitel tiefer blieb als der Gewölbſcheitel, als ſteigende Kappen angeordnet ſein, bezw. wieder mit Buſung ausgeführt werden.

Da der Verband der aus Bruchſtein zu wölbenden Kappen über den Diagonalbogen nur ein wenig inniger ſein und nicht frei von Mängeln bleiben konnte, ſo legte man zur Beſeitigung der Unvollkommenheiten in der Ausführung des Gratbogenverbandes beſondere Hauſteinſtücke für die Diagonalbogen ein, welche dann als weſentliche Faktoren des Kreuzgewölbes in der Geſtalt von Rippen, im Anfang weniger reich, ſpäter mannigfaltiger, an ihrem vorſpringenden Teile gegliedert auftreten.

Durch die Aufnahme derartiger Rippen an Stelle der einfachen Randbogen, als ſelbſtändige Beſtandteile des Kreuzgewölbes oder als ſeitliche Begrenzungen zuſammengereihter Kreuzgewölbe, wobei alsdann die Rippen der Randbogen als Scheide- oder Gurtbogen durchgebildet werden konnten, trat in Vereinigung mit den Diagonalrippen ein vollſtändiger Umſchwung in der Formbildung und Geſtaltung der Kreuzgewölbe ein.

Das Rippenſyſtem iſt zum vorwiegenden Beſtandteil des Kreuzgewölbes erhoben. Dasſelbe bildet die Trag- und Stützkonſtruktion für die dazwiſchen liegenden Kappen, während die geſamte Belaſtung der Ueberdeckung auf einzelne beſtimmte Punkte, d. h. auf Pfeiler- oder Säulengebilde übertragen wird.

Dieſe erweiterte Ausbildung des älteren romaniſchen Kreuzgewölbes führte zur Entwickelung des gotiſchen Kreuzgewölbes.

118. Gotiſches Kreuzgewölbe.

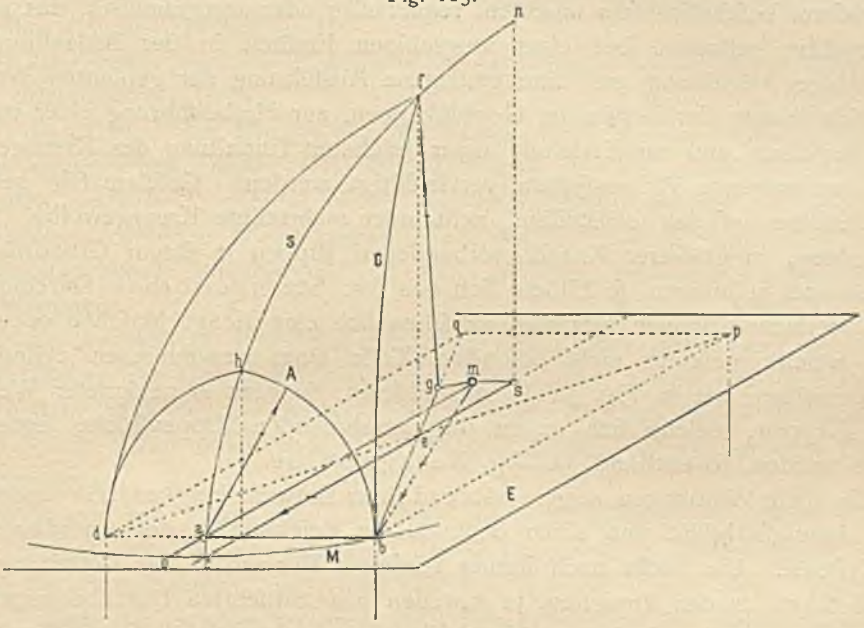
Mit der Einführung des Rippenſyſtems ging Hand in Hand die Vervollkommnung der Ausmauerung der von den Rippen begrenzten und getragenen Kappen, ſowie der Technik der Wölbkunſt überhaupt. Die Rippen konnten als die eigentlichen Träger des Gewölbes für ſich hergeſtellt werden. War der günſtige Spitzbogen für die Rippen der Randbogen einmal in Aufnahme gekommen, ſo konnte derſelbe auch für die Diagonal- oder Kreuzrippen mit mehr oder weniger gehobenem Scheitelpunkte ſtatt ihrer früheren Halbkreisform Benutzung finden. Die Kappenwölbung konnte zwiſchen dieſen Rippen eine weit geringere Stärke erhalten als bei

den früheren Wölbungsarten. Die Schichtenlagen, anfänglich wohl noch der Längsachſe der Kappe folgend, konnten rechtwinkelig zur Diagonalrippe geführt und dabei, mit entſprechender Buſung verſehen, als einzelne Gewölbſtreifen eingefügt werden.

Im letzteren Falle konnten dieſe buſigen Kappen reinen Kugelflächen oder, wie bei etwa geſtelzten Stirnbogenrippen, kugelförmigen (ſphäroidiſchen) Flächen angehören.

Iſt z. B. $b\,d\,q\,p$ in Fig. 183 die rechteckige Grundfläche eines Kreuzgewölbes, deſſen Scheitelpunkt f über dem Schnittpunkte c der Diagonalen $b\,q$ und $d\,p$ liegt, ſo möge $b\,h\,d$ der aus zwei Kreisbogen beſtehende Spitzbogen der Seite $b\,d$, ſowie $b\,f$ der halbe, gleichfalls nach einem Kreisbogen gebildete Diagonalbogen über $b\,e$ ſein. Die beiden Kreisbogen $b\,h$ als A und $b\,f$ als G erheben ſich vom gemeinſchaftlichen Punkte b aus über der wagrechten Kämpferebene E. Die Mittelpunkte a für A und g für G ſind in $b\,d$, bezw. $b\,q$ gleichfalls in dieſer Ebene E gelegen. Beide Kreisbogen gehören einer Kugelfläche

Fig. 183.



an, deren Mittelpunkt m in der Ebene E enthalten iſt, und von welcher ein größter Kreis M durch den gemeinſchaftlichen Schnittpunkt b der Kreisbogen A und G gehen muſs. Um den Mittelpunkt m zu beſtimmen, ſind in g auf $b\,q$ und in a auf $b\,d$ in der Ebene E Lote zu errichten. Dieſelben ſchneiden ſich im geſuchten Punkt m. Die Gerade $m\,b$ liefert den Halbmeſſer der Kugelfläche, welcher die Bogen A und G angehören. Der um m mit $m\,b$ beſchriebene Kreis M iſt ein größter Kreis dieſer Kugelfläche. Hätte man in ganz ähnlicher Weiſe auch für die beiden Kreisbogen $d\,h$ und $d\,f$ die Kugelfläche beſtimmt, welche im vorliegenden Falle denſelben Halbmeſſer, wie die erſte Kugelfläche, und ferner einen durch d gehenden größten Kreis beſitzt, ſo ſchnitten ſich beide Kugelflächen in der Scheitellinie $h\,f$ der Gewölbkappe $b\,f\,d$. Dieſe Scheitellinie $h\,f$ gehört als Schnittlinie der gleichen und ſymmetriſch gelegenen Kugelflächen einem Kreisbogen S an, welcher durch den Scheitelpunkt h des Spitzbogens $b\,h\,d$ und den Scheitelpunkt f des Gewölbes geht. Die lotrechte Ebene dieſes Kreisbogens trifft die Ebene E in der Geraden $c\,e$, d. h. in der wagrechten Projektion der Scheitellinie der Gewölbkappe $b\,f\,d$. Auf dieſer erweitert genommenen Geraden iſt der Mittelpunkt s für den Kreisbogen S als Schnittpunkt des von m auf $c\,s$ gefällten Lotes zu beſtimmen. Der Schnittpunkt c der Linie $c\,s$ mit dem größten Kreiſe M iſt der Endpunkt des Halbmeſſers $s\,c$ des Kreisbogens S. Dem angegebenen Wege folgend, hätte man auch beim Feſtlegen der Spitzbogen der Seiten $b\,p$ und $d\,p$, bezw. $p\,q$ die Ausmittelung der zugehörigen Kugelflächen vornehmen können.

Die Ausführung der einzelnen Kappen in ringförmigen Streifen der ihnen angewieſenen Kugelflächen iſt leicht zu bewirken und kann freihändig ohne eine

Unterſchalung erfolgen. Jede Kappe erhält dann ohne weiteres eine den ermittelten Kugelflächen entſprechende Buſung. Sind die Randbogen geſtelzt, während die Diagonalbogen nicht geſtelzt ſind, ſo liegen die Mittelpunkte der benutzten Kreisbogen in verſchiedenen Ebenen. Die Gewölbkappen erhalten dann als Laibungsflächen nicht mehr die reinen Kugelflächen, ſondern kugelförmige Flächen, welche aber bei nicht zu bedeutender Stelzung der Randbogen doch nicht ſehr erheblich von der Kugelfläche abweichen.

Das Rippenſyſtem mit ſeinen buſigen Kappen und die Verwertung des Spitzbogens bei der Formgeſtaltung der Rippen beſeitigte alle Einengungen in der Bildung der Kreuzgewölbe, welche beim römiſchen und beim romaniſchen Kreuzgewölbe ſich noch geltend gemacht hatten.

Wie auch die zu überdeckenden Raumabteilungen oder Gewölbfelder in ihrer Grundriſsform beſchaffen ſein mochten, regelmäſsig oder unregelmäſsig, das gotiſche Kreuzgewölbe geſtattete bei einer ausgiebigen Freiheit in der Behandlung eine zweckmäſsige Anordnung und eine gediegene Ausführung der geplanten Wölbung. Zur Einſchränkung der Gröſse der Gewölbkappen, zur Herbeiführung einer mäſsigen Stärke derſelben und zur Erzielung einer reicheren Entfaltung des Kreuzgewölbes konnte das tragende Rippenſyſtem vervielfältigt werden. Geſetzmäſsig geordnet, führte dasſelbe auf das ſechsteilige, acht- oder mehrteilige Kreuzgewölbe. Traten die einzelnen, in gröſserer Anzahl vorhandenen Rippen in ihrem Grundriſs ſternartig geordnet zuſammen, ſo bildete ſich das ſog. Sterngewölbe. Durchſchnitten ſich die vielfachen Rippen netzartig, zwiſchen ſich eine Menge Maſchen oder Zellen laſſend, welche nunmehr nicht beſondere Teile eines gewöhnlichen cylindriſchen Tonnengewölbes, wie in Fig. 32 (S. 24) bildeten, ſondern in geeigneter Weiſe mit buſigen Kappen, welche ſich gegen die umrahmenden Rippenſtücke legten, geſchloſſen wurden, ſo entſtand das ſog. Netzgewölbe.

Alle dieſe Wölbungen zeigen während ihrer Entwickelung und Anwendung die gröſste Mannigfaltigkeit und einen bedeutenden Reichtum in der Anordnung ihrer Rippenſyſteme. Die Sucht nach immer reicheren Formen in der Geſtaltung dieſer Gewölbe führte zu den üppigſten, ja zuweilen phantaſtiſchſten Durchbildungen, die, wenn auch in mancher Beziehung überraſchend und lehrreich, doch zuweilen äuſserſt willkürlich erſcheinen muſsten.

Trotz des Aufwandes von vielem Fleiſs und groſser Kunſtfertigkeit wurde die Harmonie derartiger Gewölbanlagen, welche der Spätzeit der Gotik angehören, doch ſtark beeinträchtigt.

Die Kreuzgewölbe, dieſe wichtigen und hervorragenden Gewölbbildungen des romaniſchen und des gotiſchen Bauſtils, laſſen ſich nach dem Vorhergegangenen, um für die in der Jetztzeit zu ſchaffenden Kreuzgewölbe die Konſtruktionen überſichtlich beſprechen zu können, in zwei Hauptgruppen zerlegen:

1) in Kreuzgewölbe mit vorwiegend cylindriſchen Gewölbkappen oder die cylindriſchen Kreuzgewölbe, wie ſolche beim römiſchen und beim älteren romaniſchen Gewölbe vorhanden waren, und

2) in Kreuzgewölbe mit Rippenſyſtem und dazwiſchen gewölbten Kappen, welche das eigentliche gotiſche Kreuzgewölbe bilden.

Beide Gewölbarten ſollen in ihrer beſonderen Konſtruktion im folgenden näher behandelt werden.

16. Kapitel.

Kreuzgewölbe im beſonderen.

a) Cylindriſche Kreuzgewölbe.

1) Geſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe.

Die Geſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe iſt in den allgemeinen Grundzügen in Art. 116 (S. 199), bezw. Art. 117 (S. 201) beſprochen und in Fig. 174 bis 177 veranſchaulicht worden. 119. Geſtaltung.

Bei dieſen Gewölben iſt im beſonderen, ſoweit eine einfachere Geſtaltung derſelben berückſichtigt wird, zu bemerken, daſs

α) die Anzahl der Gewölbkappen der Seitenzahl des Grundriſſes des zu überwölbenden Raumes entſpricht;

β) die Stirnbogen oder Leitlinien dieſer Kappen in der Regel ſämtlich eine gleiche Pfeilhöhe erhalten;

γ) die Achſen der Kappen gerade Linien ſind, welche ſämtlich in der wagrechten Kämpferebene liegen und, von den Mitten der wagrechten Projektionen der Stirnbogen auslaufend, ſich in einem gemeinſchaftlichen Punkte der Grundriſsfigur des Gewölbes ſchneiden; dieſer gemeinſchaftliche Punkt iſt die wagrechte Projektion des Gewölbeſcheitels; meiſtens fällt derſelbe mit dem Schwerpunkte der Grundriſsfigur zuſammen;

δ) die wagrechten Projektionen der Schnitt- oder Durchdringungslinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen gerade Linien ſind, welche von den Ecken der Grundriſsfigur nach der wagrechten Projektion des Gewölbeſcheitels gezogen werden können; dieſe Schnittlinien liefern die Diagonalbogen, Gratlinien oder Grate des Kreuzgewölbes;

ε) die an den Ecken der Grundriſsfigur zuſammentretenden Stirn- und Gratlinien des Gewölbes ihren Gewölbefuſs in der wagrechten Kämpferebene erhalten;

ζ) die Scheitellinien der Gewölbkappen gerade Linien ſind, welche vom Scheitelpunkte der Stirnbogen nach dem Scheitelpunkte des ganzen Gewölbes zu ziehen ſind; dieſe geraden Linien ſind entweder wagrecht oder nach dem Gewölbeſcheitel aufſteigend; im letzteren Falle iſt derſelbe höher liegend angenommen als die Scheitelpunkte der Stirnbogen, ſo daſs hierdurch das cylindriſche Kreuzgewölbe mit »Stechung« oder mit »Stich« entſteht.

Die Grundriſsfigur eines cylindriſchen Kreuzgewölbes kann irgend eine ebene geradlinige, unter Umſtänden auch eine gemiſchtlinige, alſo hierbei eine von geraden und krummen Linien begrenzte Figur ſein.

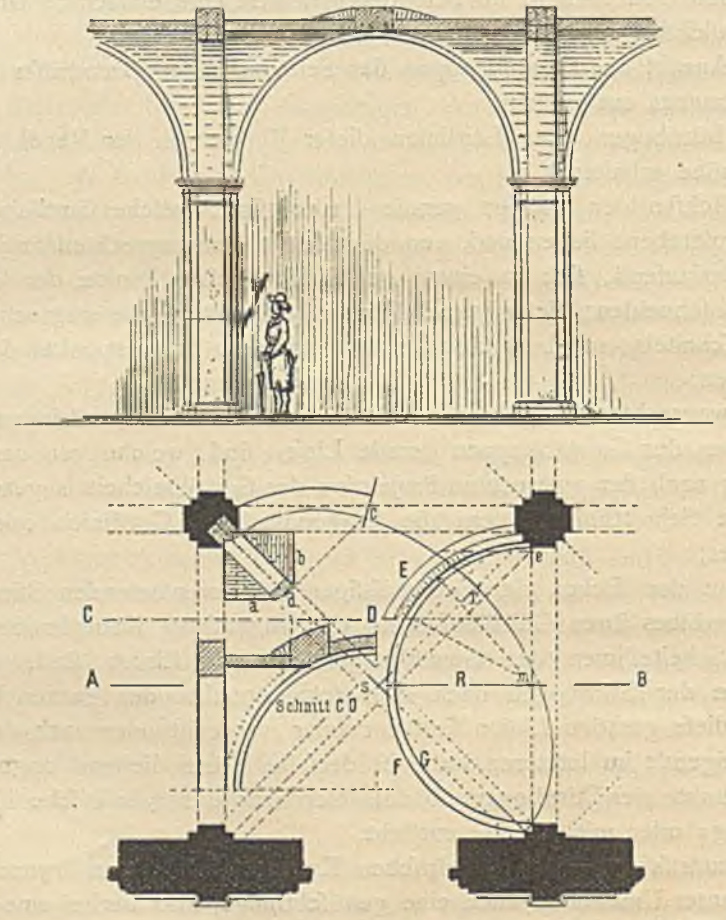
Je nachdem die Grundriſsfigur des Kreuzgewölbes regelmäſsig oder unregelmäſsig gebildet iſt, unterſcheidet man auch *regelmäſsige* und *unregelmäſsige* Kreuzgewölbe.

Werden die Umfangsmauern des Raumes, welche ſämtlich als Stirnmauern des Kreuzgewölbes auftreten, den Rand- oder Stirnbogen entſprechend durch Gurtbogen offen gehalten, welche ihr Widerlager an beſonderen Eckpfeilern des Raumes erhalten, ſo entſteht das *offene* Kreuzgewölbe. Sind die Stirnmauern, abgeſehen von darin befindlichen Thür- oder Lichtöffnungen, als eigentliche Umfangsmauern angeordnet, ſo erhält man das *geſchloſſene* Kreuzgewölbe.

Iſt die Kämpferebene eines Kreuzgewölbes, z. B. bei Treppenanlagen, eine geneigte Ebene, ſo entſteht das anſteigende Kreuzgewölbe. Sind die Wölblinien der Gewölbkappen flache, gefetzmäſsig gebildete ebene krumme Linien, ſo entwickelt ſich das flachbogige oder flache Kreuzgewölbe, auch Kreuzkappengewölbe genannt.

So mannigfach die Geſtaltung des Kreuzgewölbes im Zuſammenhange mit der Form ſeines Grundriſſes und den grundlegenden Wölblinien der cylindriſchen Gewölbkappen auch vorgenommen werden kann, ſo bleibt doch immerhin die eigentliche Ausmittelung der Hauptbeſtandteile des Kreuzgewölbes, d. h. der Stirnlinien und der Gratlinien, verhältnismäſsig einfach.

Fig. 184.

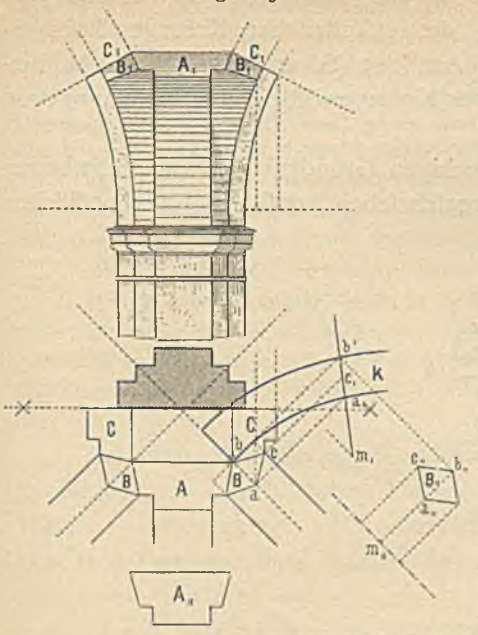


120. Darſtellung des Kreuzgewölbes.

Am leichteſten ſind die Ausmittelungen bei einem cylindriſchen Kreuzgewölbe über einem quadratiſchen Raume zu ſchaffen. Ein derartiges Kreuzgewölbe zeigt Fig. 184.

Die Stirnlinien, bezw. die Wölblinien der vier zuſammenſchneidenden Gewölbkappen mit ſich rechtwinkelig in s, dem Schnittpunkte der Diagonalen des quadratiſchen Grundriſſes, treffenden Achſen, ſind durch den mit R um m beſchriebenen Halbkreis F beſtimmt. Bei der wagrechten Lage der Scheitellinien der ſämtlichen Gewölbkappen ergiebt ſich die Form der Gratlinien über den Diagonalen des Raumes ohne Schwierigkeit je als eine halbe Ellipſe E mit der groſsen Achſe gleich der wagrechten Projektion der Gratlinie und der halben kleinen Achſe gleich dem Halbmeſſer R der Stirnlinien. Die Gurtbogen des hier gegebenen offenen Kreuzgewölbes ſind ebenfalls Halbkreiſe. Dieſelben ſind mit dem Halbmeſſer me beſchrieben, welcher um ſo viel kleiner als R genommen iſt, wie ſolches der Vorſprung der Vorlage

Fig. 185.



innerhalb der Gurtbogenweite an den Widerlagspfeilern des Kreuzgewölbes bedingt.

Nach Feſtlegen dieſer Beſtimmungsſtücke laſſen ſich, wie aus der Zeichnung hervorgeht, noch die Anſätze a, b der Gewölbkappe am Gratkörper d und ebenſo die Darſtellungen der Schnitte nach AB, bezw. CD leicht ermitteln.

Auch die Anordnung des Anſatzes der Körper der Gurt-, bezw. Stirnbogen und der Gratbogen am Widerlagspfeiler ergiebt ſich nach Fig. 185 unter Anwendung einfachſter Sätze der darſtellenden Geometrie ohne Schwierigkeit. Die Anſatzflächen A, C der Gurt- und Stirnbogen, ſowie B des Grates gehören Normalebenen an. Für den Grat K iſt eine ſolche Ebene durch die Spur m, b, gekennzeichnet. Für die Gurt- und Stirnbogen iſt die zugehörige Normalebene ſo geführt, daſs die Schnittlinie derſelben am Rücken dieſer Bogen für die Flächen C, wie aus der Anſicht bei C, hervorgeht, dieſelbe Höhenlage wie der Punkt b, am Gratbogen erhält. Wird das ganze Anſatzſtück als ein beſonderes Werkſtück angefertigt, ſo ergiebt ſich ein ſog. Anfänger des Kreuzgewölbes. Die Brettungen $A_{,,}$, $B_{,,}$ für die Anſätze der vom Anfänger ausgehenden Gurtbogen, bezw. Gratbogen laſſen ſich nach den Angaben der Zeichnung austragen.

Hätte der zu überwölbende Raum einen rechteckigen Grundriſs erhalten, ſo müſste die Ausmittelung der Stirn- und Gratbogen nach Fig. 177 (S. 203) erfolgen.

Wählt man bei quadratiſchen oder rechteckigen Grundriſſen von vornherein halbe Ellipſen als Stirnbogen, deren Pfeilhöhen gleich ſind, ſo ergeben ſich für die Gewölbkappen elliptiſche Cylinderflächen als Laibungsflächen. Die Gratlinie iſt, wie Fig. 186 ergiebt, wiederum eine halbe Ellipſe.

Fig. 186.

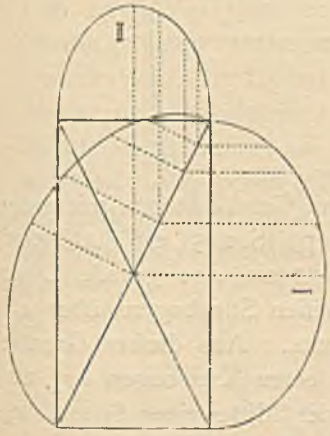
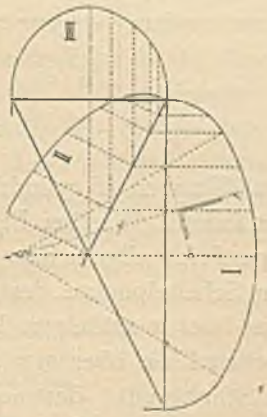


Fig. 187.



In ganz ähnlicher Weiſe würde man auch irgend eine andere geſetzmäſsig gebildete Kurve, z. B. einen Korbbogen I (Fig. 187), als Stirnbogen für eine Seite der Grundfigur annehmen können und, unter Benutzung desſelben als Grundbogen, den Stirnbogen III und den Gratbogen II auszutragen haben. In allen dieſen Fällen bleiben die Gewölbflächen allgemein immer cylindriſche Flächen, deren höchſte Erzeugende als Scheitellinien des Gewölbes gerade und wagrechte Linien ſind.

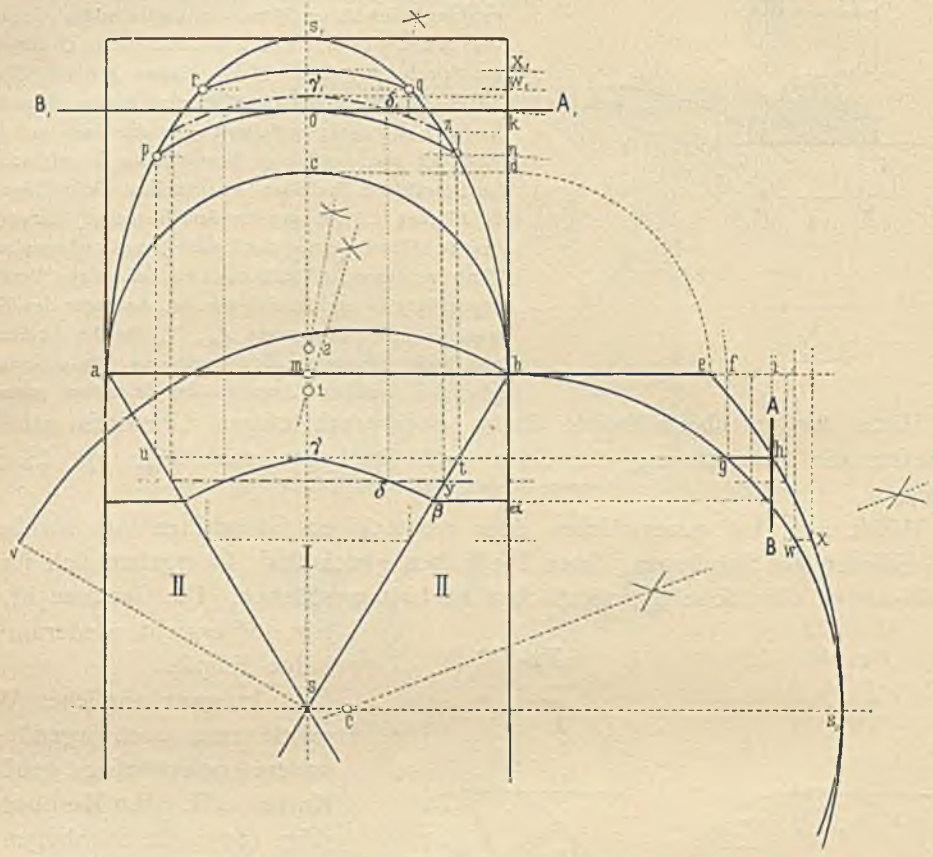
121. Umgeſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe

Kann bei quadratiſchem Grundriſs jeder Stirnbogen als Halbkreis auftreten und iſt danach beim ganzen Gewölbe die Durchführung gleicher cylindriſcher Gewölbflächen möglich, ſo iſt bei einem rechteckigen Grundriſs jedoch, ſobald aus architektoniſchen Gründen die Forderung geſtellt wird, daſs bei Stirnbogen für die

lange Seite des Rechteckes ſowohl, als auch für die ſchmale Seite desſelben ein Halbkreis verbleiben ſoll, eine Umgeſtaltung des cylindriſchen Kreuzgewölbes erforderlich. Auf dieſen Punkt iſt bereits in Art. 117 (S. 205) bei Fig. 179 hingewieſen. Hier ſoll die Umgeſtaltung derartiger Kreuzgewölbe unter Benutzung von Fig. 188 im beſonderen behandelt werden.

Bei dem zur Hälfte gezeichneten rechteckigen Grundriſs ſind die Stirnbogen als Halbkreiſe feſtgelegt. Aufserdem iſt vorgeſchrieben, daſs die Laibungsflächen

Fig. 188.



der am weiteſten geſpannten Gewölbkappen *II* cylindriſche Gewölbflächen mit wagrecht liegenden Scheitellinien ſein ſollen. Wie bei Fig. 179 (S. 205) erwähnt, wird die Scheitellinie der Gewölbkappe *I* im allgemeinen nicht als eine gerade Linie auftreten, welche unmittelbar vom Scheitelpunkte des kleinen Stirnbogens über $a\,b$ nach dem Scheitel des Gewölbes über s aufſteigen könnte. Aus dieſem Grunde kann man als zweckmäſsig die Scheitellinie über $m\,s$ als einen Kreisbogen $e\,s_{,,}$ annehmen, deſſen Mittelpunkt c im Schnittpunkt des auf der Mitte einer Sehne $e\,s_{,,}$ errichteten Lotes mit der durch $s_{,,}$ gezogenen Senkrechten liegt.

Wie aus der Zeichnung zu erſehen, iſt $b\,e$ die lotrechte Projektion der Pfeilhöhe des kleinen Randbogens, $s_{,,}$ die Projektion des Scheitelpunktes des groſsen Stirnbogens und zugleich des Scheitelpunktes des Gewölbes ſelbſt. Der Gratbogen $b\,z$ über $b\,s$, bezw. über $a\,s$ wird unmittelbar nach dem Grundbogen $b\,s_{,,}$ als Viertelellipſe gefunden. In der lotrechten Projektion $b\,s_{,,}$ decken ſich Randbogen und Gratbogen als einer und derſelben vorhin beſtimmten cylindriſchen Fläche angehörend. Für die Erzeugung der Laibungsfläche der Gewölbkappe *I* kann nunmehr der folgende Weg eingeſchlagen werden.

Schneidet man die Gewölbfläche *I* durch eine lotrechte, parallel zu $a\,b$ ſtehende Ebene $u\,t$, ſo wird

die lotrechte Projektion $bs_{,,}$ der Gratbogen bs und as in g und die lotrechte Projektion $es_{,,}$ der Scheitellinie in h von dieſer Ebene geſchnitten. Die hier gewonnene Schnittlinie gh ſei die lotrechte Projektion eines Kreisbogens, welcher in der Ebene ut als Erzeugende der Gewölbfläche I auftreten ſoll. Zieht man durch g und h die wagrechten Linien gf, bezw. hi, trägt man $bn = bf$ und $bk = bi$ in der lotrechten Projektion des Gewölbes über der Seite ab ab, ſo ſchneidet eine durch n geführte wagrechte Linie die lotrechten Projektionen as, und bs, der Gratbogen in den Punkten p und l, während eine durch k geführte wagrechte Linie $A,B,$ die lotrechte Projektion cs, der Scheitellinie der Gewölbkappe I im Punkte o trifft. Der durch die erhaltenen drei Punkte p, l und o beſtimmte Kreisbogen, deſſen Mittelpunkt in r auf s,t liegt, iſt eine Erzeugende der Gewölbfläche I. In gleicher Weiſe iſt auch für eine Ebene wx der erzeugende Kreisbogen qr mit dem Mittelpunkte z gefunden.

Die Gewölbfläche I wird hiernach eine kugelförmige (ſphäroidiſche) Fläche.

Ein wagrecht geführter Schnitt AB, bezw. $A,B,$ liefert die Schnittlinie $\alpha\beta\gamma$ u. ſ. f. Hiervon gehört die gerade Strecke $\alpha\beta$ der geraden Cylinderfläche II an, während die Kurve $\beta\gamma$ der ſphäroidiſchen Gewölbfläche I zukommt. Ein Punkt δ dieſer Kurve liegt im Durchſtoſspunkte eines erzeugenden Kreisbogens z mit der Geraden $A,B,$, wobei gleichzeitig dieſer Kreisbogen der lotrechten Ebene y angehört.

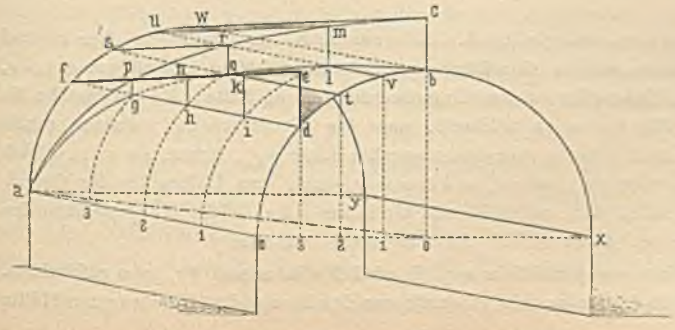
122. Kreuzgewölbe mit Stechung

Bei dieſer Anordnung der Gewölbflächen iſt der Scheitelpunkt des Gewölbes in Bezug auf den höchſten Punkt des Randbogens der Gewölbkappen I um ein Maſs cs, höher gelegt. Man bezeichnet dieſes Anſteigen der Gewölbkappen, wie bereits geſagt, mit dem Namen Stechung oder Stich. Für die Kappen II tritt hier keine Stechung auf.

Das Maſs für die Höhe der Stechung kann nach Wunſch mehr oder weniger bedeutend genommen werden, je nachdem der Scheitel des Kreuzgewölbes in Bezug auf die Scheitelpunkte der Stirnbogen desſelben mehr oder weniger gehoben erſcheinen ſoll. Ein ungefähres Maſs dieſer Stichhöhe iſt $^1/_{20}$ bis $^1/_{30}$ der ganzen Weite des gröſsten Gratbogens.

Bei den einfachen cylindriſchen Kreuzgewölben, gleichgültig, welche Grundriſsform dabei vorliegt, kann man aber jeder Gewölbkappe eine Stechung geben. Dabei nimmt man in der Regel, ausgehend von einem einzigen Stirnbogen, die Pfeilhöhen ſämtlicher Stirnbogen gleich und geſtaltet dieſe Stirnbogen vollſtändig abhängig vom gewählten Grundbogen. Die Erzeugenden der Gewölbflächen ſind von den Stirnbogen aus anſteigende gerade Linien, welche von entſprechend liegenden Punkten der Stirnbogen auslaufen. Dieſe Linien liegen in lotrechten Ebenen, welche für jede Kappe parallel der Kappenachſe ſtehen. Sie ſchneiden ſich in entſprechenden Punkten der Gratbogen von je zwei zuſammentreffenden Kappen. Die höchſten dieſer erzeugenden Linien ſind die anſteigenden Scheitellinien der Kappen. Sie endigen ſämtlich im Scheitelpunkte des nunmehr durchweg mit Stechung verſehenen Kreuzgewölbes. Bei dieſer Umformung der Gewölbflächen bleibt bei der beſtimmt vorgeſchriebenen Abhängigkeit der Stirnbogen und weiter auch der Gratbogen das Weſen der cylindriſchen Kreuzgewölbe noch gewahrt.

Fig. 189.

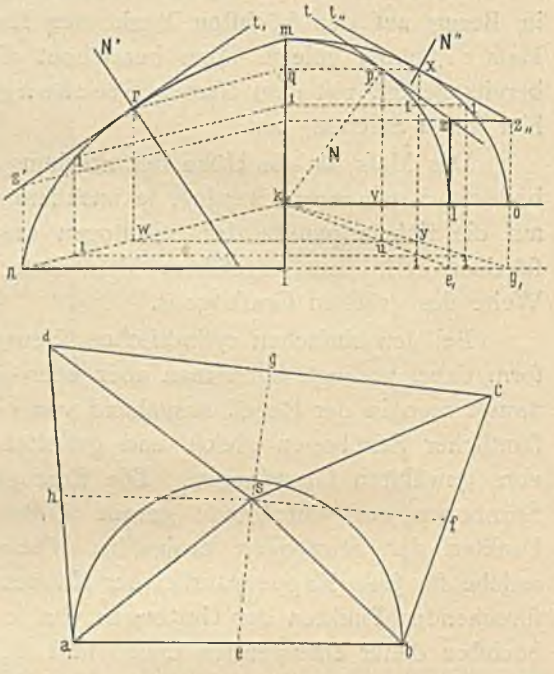


Iſt $oayx$ in Fig. 189 der Grundriſs der halbkreisförmigen geraden Cylinderfläche mit dem Stirnbogen awy, bezw. obx und ſchneidet man dieſe Fläche durch die lotrechte Ebene aob, ſo ergiebt ſich

als Schnittlinie die Viertelellipſe $a\,g\,q\,l\,b$. Dieſelbe kann als Gratlinie an einer halbkreisförmigen Kappe eines Kreuzgewölbes ohne Stechung angeſehen werden.

Die höchſte Erzeugende oder die Scheitellinie dieſer Kappe würde die wagrechte Linie $w\,b$ ſein. Soll nun der Punkt b um eine Höhe $b\,c$ gehoben werden, ſo nimmt die Scheitellinie die Lage $w\,c$ an. Teilt man den Halbmeſſer $o\,o$ in beliebig viele gleiche Teile, z. B. hier in vier Strecken, ein und legt man durch dieſe Teilpunkte 1, 2, 3 lotrechte, zur Achſe der Cylinderfläche parallel ſtehende Ebenen, ſo erhält man die wagrechten Erzeugenden $u\,v$, $s\,t$, $f\,d$ als Schnittlinien auf der Cylinderfläche. Läſst man nun wiederum jede dieſer Erzeugenden, z. B. $f\,d$, für den Punkt d um die Höhe $d\,e$ gleich der für $w\,b$ feſtgeſetzten Höhe $b\,c$ heben, ſo iſt $f\,e$ eine Erzeugende der mit Stechung behafteten neuen Cylinderfläche. Die Ebene $a\,o\,b$ ſchneidet, gehörig erweitert, dieſe neue Cylinderfläche in einem Ellipſenſtücke $a\,p\,r\,m\,c$. Einzelne Punkte dieſer Kurve laſſen ſich leicht beſtimmen. Teilt man $o\,a$ ebenfalls in ſo viele gleiche Teile ein, als für $o\,o$ genommen waren, alſo hier in vier Strecken, und legt man durch dieſe Teilpunkte lotrechte, mit der Stirnebene $o\,b\,x$ parallel ſtehende Ebenen, ſo wird die urſprüngliche Cylinderfläche nach Halbkreiſen geſchnitten, welche die Viertelellipſe $a\,b$ der Reihe nach in den Punkten g, q und l treffen, während die Halbkreiſe 3, 2 und 1 z. B. die Erzeugende $f\,d$ in den Punkten g, h und i ſchneiden. Entſprechend der anſteigenden Erzeugenden $f\,e$, bezw. $w\,c$ der neuen Cylinderfläche muſs der Punkt g der Ebenen 3 und 3 um $g\,p$, der Punkt q der Ebenen 2 und 2 um $q\,r = h\,n$ und der Punkt l der Ebenen 1 und 1 um $l\,m = i\,k$ gehoben werden, um den proportionalen Teilungen der Strecken $o\,o$ und $o\,a$ entſprechend auch proportionale Höhen des Stechungsmaſses $d\,e$, bezw. $b\,c$ für die neue Schnittlinie $a\,c$, bezw. für die Erzeugenden der neuen Cylinderflächen zu erhalten. Derartige Erzeugende ſind $f\,p$, $s\,r$, $u\,m$ und $w\,c$.

Fig. 190.



Bei cylindriſchen Kreuzgewölben mit Stechung über einem unregelmäſsigen Grundriſs erfolgt die Ausmittelung der Stirn- und Gratbogen nach dem gewählten Grundbogen gleichfalls in der eben beſchriebenen Weiſe. Man kann ſich dabei des in Fig. 190 benutzten Verfahrens bedienen.

Das unregelmäſsige Viereck $a\,b\,c\,d$ ſei der Grundriſs eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Stechung. Der Schwerpunkt s des Viereckes iſt die wagrechte Projektion des Scheitelpunktes des Gewölbes. Die von s nach den Ecken a, b, c und d gezogenen geraden Linien ſind die wagrechten Projektionen der Gratbogen. Für eine Seite $a\,b$, deren Länge etwa der durchſchnittlichen Länge von allen vier Seiten entſpricht, iſt der Grundbogen des Kreuzgewölbes als Halbkreis angenommen. Die Achſen $s\,e$, $s\,f$, $s\,g$ und $s\,h$ der Gewölbkappen ſind gerade Linien, welche von s nach den Mitten der Seiten gezogen wurden.

Das Maſs der Stechung ſei gegeben und gleich $i\,k$. Soll nun z. B. der Gratbogen über $c\,s$ und ein Stirnbogen für die Seite $c\,d$ ausgetragen werden, ſo zeichne man das rechtwinkelige Achſenkreuz $m\,i$, $k\,o$, wobei die Lotrechte $m\,k$ gleich dem Halbmeſſer $e\,a$ des Grundbogens für die Seite $a\,b$, die Strecke $k\,i$ gleich der gegebenen Stechung iſt. Mit $k\,m = e\,a$ beſchreibe man den Viertelkreis $m\,l$; alsdann erhält man die Hälfte des Grundbogens. Durch i ziehe man eine wagrechte Linie $n\,g_1$, nehme $i\,n = s\,c$ gleich der Weite des geſuchten Gratbogens über $c\,s$, und $i\,e_1 = k\,l = k\,m$ gleich dem Halbmeſſer des Grundbogens. Zieht man $k\,e_1$ und $k\,n$, ſo laſſen ſich mit Hilfe des Dreieckes $n\,k\,e_1$ leicht die proportionalen Teilungen für den Grund- und Gratbogen, ſowie für die Stechungshöhe ermitteln.

Zieht man ganz beliebig die Linie $w\,u$ parallel zu $n\,e_1$, ſo wird $k\,n$ in w und $k\,e_1$ in u geſchnitten. Führt man durch dieſe Punkte parallele Linien zu $k\,m$, ſo trifft der Strahl $u\,p$ den hier nur zur Hälfte

gezeichneten Grundbogen $m\,l$ im Punkte p. Führt man durch p die Gerade $p\,q$ parallel zu $n\,e$, und durch den auf $k\,m$ gelegenen Punkt q eine Parallele $q\,r$ zu $k\,n$, ſo iſt der Schnitt r dieſes Strahles mit $w\,r$ ein Gratbogenpunkt.

Ein in gleicher Weiſe geführter Linienzug $1 \ldots 1$ liefert den Gratbogenpunkt 1 u. ſ. f.

Nach der Zeichnung iſt $v\,p = w\,r$. Wäre keine Stechung vorhanden, ſo würde der Punkt r nur um das Maſs $w\,r$, bezw. $v\,p$ über der wagrechten Linie (Kämpferlinie) $n\,i$ liegen. Beim Vorhandenſein der Stechung iſt aber die Strecke $w\,r$ um dasſelbe Maſs zu vermehren, als die wagrechte Linie $w\,u$, von welcher der Punkt r abhängig iſt, über der Linie $n\,i$ ſich erhebt. Im Punkte n iſt die Stechungshöhe gleich Null; im Punkte i iſt dieſelbe gleich $i\,k$. Proportionale Teilungen der Strecken $k\,n$ und $k\,e$, durch die Strahlen $w\,u$, $1\,1$ u. ſ. f. liefern auch proportionale Stechungshöhen.

Für den Stirnbogen der Seite $c\,d$ iſt nur die Austragung ſeiner Hälfte notwendig, da hiernach die andere Hälfte desſelben leicht hinzugefügt werden kann. Da für dieſen Bogen keine Stechung, ſondern nur eine proportionale Teilung ſeiner Weite in Frage kommt, ſo wird zunächſt $k\,o = i\,g_1 = c\,g$ abgetragen und die Linie $k\,g_1$ gezogen. Der verlängerte Strahl $w\,u$ ſchneidet $k\,g_1$ in y. Die Lotrechte $y\,x$ wird von der verlängerten Geraden $q\,p$, wobei p dem Schnitt der Geraden $w\,u$ mit $k\,e_1$ entſpricht, im Punkte x des geſuchten halben Stirnbogens $m\,o$ getroffen. In gleicher Weiſe iſt für den Punkt 1 u. ſ. f. dieſes Stirnbogens zu verfahren. Will man für die Punkte r und x, welche vom Punkte p des Grundbogens abhängig ſind, die Normale N_1, bezw. N_{11} feſtlegen, ſo führt man in p die Tangente $t\,z$ an den Bogen $m\,l$. Dieſe Tangente trifft das in l auf $k\,l$ errichtete Lot in der Höhe $l\,z$. Trägt man auf den Lotrechten $n\,z_1$ und $o\,z_{11}$ dieſe Höhe ab, ſo daſs $n\,z_1 = o\,z_{11} = l\,z$ iſt, zieht man alsdann die Strahlen $z_1\,t_1$ durch r und $z_{11}\,t_{11}$ durch x, ſo ſind dieſelben Tangenten in den Elementen r und x der zugehörigen Grat-, bezw. Stirnlinie. Die in r und x auf $z_1\,t_1$, bezw. $z_{11}\,t_{11}$ errichteten Lote ſind die geſuchten Normalen in dieſen Elementen. Nach dieſen Angaben ſind in einem und demſelben Plane ſämtliche Grat- und Stirnbogen eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Stechung ohne Schwierigkeit zuſammenzutragen.

Bemerkt ſei noch, daſs beim Halbkreiſe als Grundbogen der hiervon abhängig gemachte Gratbogen einer Ellipſe angehört, wofür bei der gewählten Stechung $i\,k$ die Geraden $k\,n$ und $k\,m$ halbe konjugierte Durchmeſſer ſind. Die reellen Achſen dieſer Ellipſe können nach dem in Art. 16 (S. 36) Mitgeteilten ermittelt werden. Der Stirnbogen für $c\,d$ wird hier eine Halbellipſe mit der halben groſsen Achſe $k\,o$ und der halben kleinen Achſe $k\,m$.

Wird ſtatt der geraden Stechungslinie eine Bogenlinie in Anwendung gebracht, ſo entſtehen Kreuzgewölbe mit »Bogenſtich«. Die Gewölbflächen werden alsdann ſphäroidiſch.

Die Ausmittelung der Grat- und Stirnbogen könnte, wie in Fig. 188 für die Gewölbkappe I gezeigt iſt, für alle Kappen durchgeführt werden, oder dieſelbe wird, wie Fig. 191 angiebt, vorgenommen. In derſelben iſt $g\,e\,f$ die Ecke des Grundriſſes irgend eines unregelmäſsigen Kreuzgewölbes. Für die Seite $e\,f$ ſei ein Halbkreis als Grundbogen für das Kreuzgewölbe gewählt. Die Scheitellinie der Gewölbkappe $e\,s\,f$ ſei die beliebig angenommene Bogenlinie $i\,k$; dieſelbe beſtimmt den Bogenſtich.

Um irgend einen Punkt o des Gratbogens C über t auf $e\,s$ zu beſtimmen, zieht man durch t die Gerade $t\,r$ parallel zur Achſe $s\,i$ der Grundbogenkappe. Dieſelbe iſt die wagrechte Projektion einer Erzeugenden dieſer Kappe. Ihr Endpunkt am Stirnbogen beſitzt die lotrechte Entfernung $r\,2 = b$ über der Kämpferebene, während ihr Endpunkt am Gratbogen eine Höhe $t\,o = b + y$ über dieſer Ebene annimmt. Der Zuwachs y von b entſpricht dem für den Gratpunkt o entſtehenden Maſse des Bogenſtiches. Um dieſes Maſs zu erhalten, iſt parallel zu $e\,f$ eine lotrechte Ebene $t\,w$ zu führen, welche für die Stechungslinie in Bezug auf $i\,s$ die Ordinate y liefert. Für den Stirnbogen B ergiebt ſich unter Benutzung der von t parallel zu $s\,m$ angegebenen Erzeugenden $t\,v$ ſofort die Höhenlage des Punktes 2 als $v\,2 = b$ über der Kämpferebene.

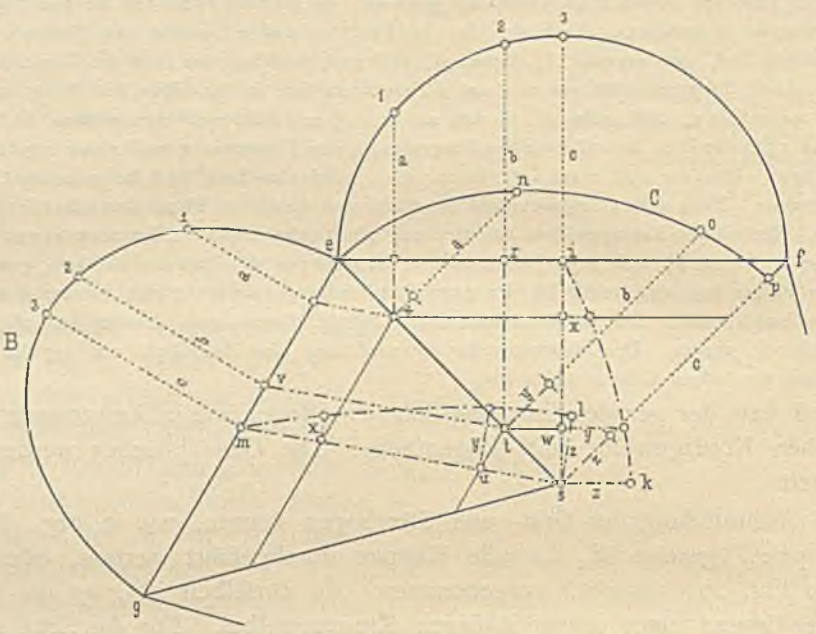
Unter Beobachtung der Bezeichnungen in Fig. 191 läſst ſich die Beſtimmung einer gröſseren Anzahl von Punkten des Gratbogens C, des Stirnbogens B und auch der Scheitellinie $m\,l$ der zweiten Gewölbkappe $e\,s\,g$ ohne weiteres treffen. Wäre hier ſtatt der Bogenſtichlinie $i\,k$ eine gerade Stechungslinie gegeben, ſo hätte das Austragen der Grat- und Stirnlinien unter Benutzung dieſer Stechungslinie nach

einem gleichen Verfahren ſtattfinden können. Dasſelbe entſpricht der bereits in Art. 16 (S. 34) erwähnten ſog. Vergatterung.

123. Kreuzkappengewölbe.

Iſt der Grundbogen irgend ein Flachbogen, ſo iſt das Feſtlegen der Gratbogen, Stirnlinien, Scheitellinien u. ſ. f. für ein nun entſtehendes flaches Kreuzgewölbe oder Kreuzkappengewölbe mit oder ohne Stechung unter Benutzung einer geraden oder einer bogenförmigen Stechungslinie nach dem Vorgetragenen gleichfalls zu bewirken. Bei ſehr flachen cylindriſchen Kreuzkappengewölben treten die Grate mit nur geringer Ausprägung vor den Wölbflächen auf, wenn nicht vorweg eine grofse Stechungshöhe angenommen wird. Aus dieſem Grunde wählt man für derartige Gewölbe zweckmäſsig einen Bogenſtich, um dann ſphäroidiſche Gewölbkappen zu ſchaffen, welche die Form des Kreuzgewölbes zum ſchärferen Ausdruck bringen als die cylindriſchen

Fig. 191.



Kappen. Für den Grundbogen dieſer Gewölbe kann man paſſend $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ ſeiner Spannweite zur Pfeilhöhe annehmen.

124. Steigende Kreuzgewölbe.

Die ſteigenden Kreuzgewölbe finden bei Treppenanlagen mehrfach Anwendung. Ihre Geſtaltung richtet ſich vollſtändig, obgleich ihre Kämpferebene eine ſchiefe Ebene iſt, nach den für das Kreuzgewölbe mit wagrechter Ebene angeführten grundlegenden Ausmittelungen.

In Fig. 192 iſt die Entwickelung der Hauptſtücke für ein cylindriſches ſteigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Grundriſs mit einem Halbkreiſe als Randbogen für die kleinen Rechteckſeiten $a\,c$ und $b\,d$ und einer Stichhöhe $i\,k$ unter Benutzung der ſog. Vergatterung vollſtändig gegeben. Aus der Zeichnung ſind ohne weiteres die Beſtimmungen der Gratbogen in C, der Stirnbogen über $a\,b$ und $c\,d$ in B, ſowie die Anhaltspunkte für die Darſtellung der Projektion der Gewölbflächen in D zu entnehmen.

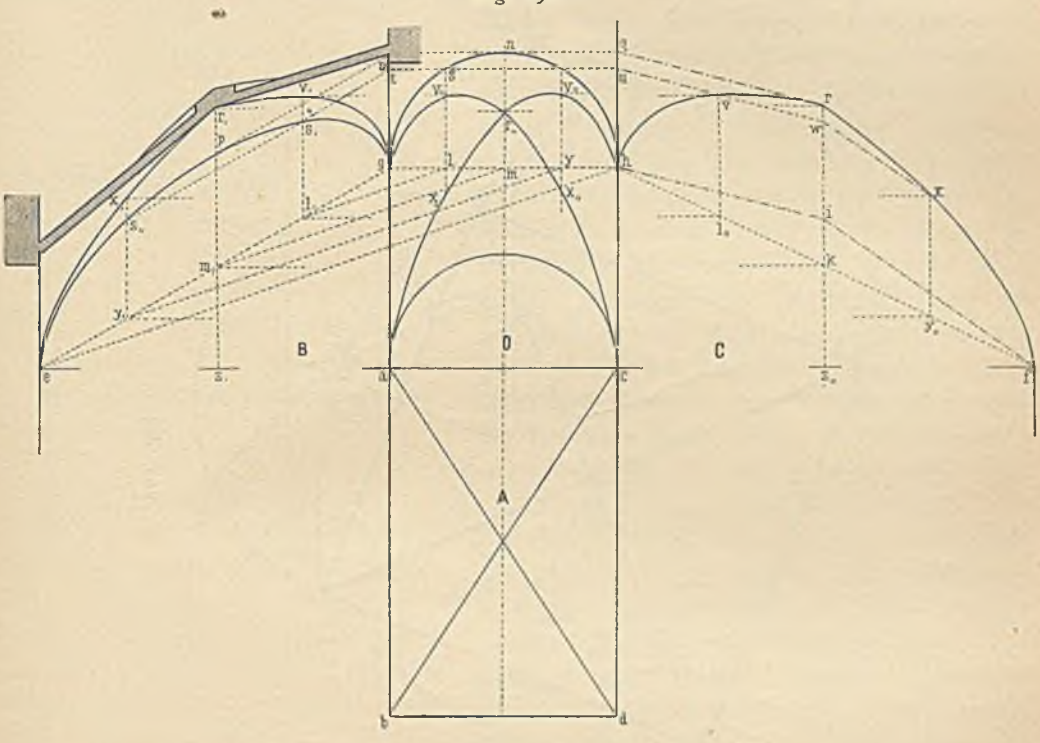
Steigende Kreuzgewölbe können gleichfalls eine Geſtaltung als flache ſteigende Kreuzkappen erhalten. Dann ſind jedoch hierfür wieder paſſender, ſtatt cylindriſcher

Kappen, ſolche mit Bogenſtich anzuwenden. Dasſelbe gilt auch für ſteigende Kreuzgewölbe mit verhältnismäſsig groſser Längenausdehnung, damit alsdann bei dieſen Gewölben die Gratlinien ſcharf ausgeprägt erſcheinen.

125. Kegelförmige Kreuzgewölbe

Bei Kreuzgewölben über quadratiſchen Grundriſſen ſind beim Feſtſtellen der ſämtlichen Stirnbogen als gleiche Halbkreiſe die Laibungsflächen der Gewölbkappen oft zweckmäſsig je für ſich als Flächen eines geraden Kegels mit wagrechter, in der Kämpferebene liegender Achſe einzuführen. Dieſe Ueberleitung der cylindriſchen Gewölbflächen in Kegelflächen bietet einige Vorteile. Die Gratbogen treten mehr ſpitzbogenartig auf und erſcheinen freier gehoben als die Gratbogen der ſelbſt mit

Fig. 192.



Stechung behafteten cylindriſchen Kreuzgewölbe über quadratiſcher Grundfläche. Infolge hiervon iſt auch das Emporſteigen der Kappenflächen ausdrucksvoller.

In Fig. 193 iſt die Geſtaltung eines ſolchen Kreuzgewölbes für den quadratiſchen Grundriſs *a b c d* entwickelt.

Der durch die Ecken *a b d* des Grundriſſes gelegte Halbkreis mit dem Halbmeſſer *s a* ſoll für die zu erzeugenden Kegelflächen maſsgebend werden. Die Kegelachſe *X* geht durch *s*, d. i. durch die wagrechte Projektion des Scheitelpunktes des Gewölbes, und ſteht rechtwinkelig auf der Seite *a c*. Das in *s* auf der Achſe *X* errichtete Lot trifft den bezeichneten Halbkreis in *e*. Die durch *e* und *a* bis *m* auf *X* geführte Gerade iſt eine in der Kämpferlinie liegende äuſserſte Seitenlinie; der Punkt *m* iſt die Spitze des Kegels und die von *m* durch *c* bis *v* gezogene gerade Linie eine zweite äuſserſte Seitenlinie desſelben.

Da auſserdem durch jede rechtwinkelig zur Kegelachſe geführte Ebene der Kegel nach einem Kreiſe, bezw. die Kegelhälfte nach einem Halbkreiſe geſchnitten werden ſoll, welcher für die Ebene *a c* der Stirnbogen des Gewölbes wird, ſo iſt nunmehr die in Benutzung zu nehmende Kegelfläche vollſtändig beſtimmt. Schneidet man dieſe Kegelfläche nach *a v* in der Richtung der Gratebene, ſo wird die Schnittlinie eine Ellipſe mit der halben groſsen Achſe $a o = o v$ und der halben kleinen Achſe *o p*. Letztere ergiebt ſich mit Hilfe des Kegelſchnittes der Ebene *r t*, wie aus der Abbildung zu erſehen, als das Lot *q o* auf *t o*.

Das Stück $a\,n\,b$ dieſer Ellipſe iſt der Gratbogen über $a\,s$. Dieſem Ellipſenſtücke entſprechen auch die Gratbogen über $d\,s$, $b\,s$ und $c\,s$. Zwiſchen denſelben liegen die Kegelflächen, welche ebenfalls der Kegelfläche über $a\,s\,c$ entſprechen, für welche die Ausmittelung vorgenommen wurde. Eine wagrechte

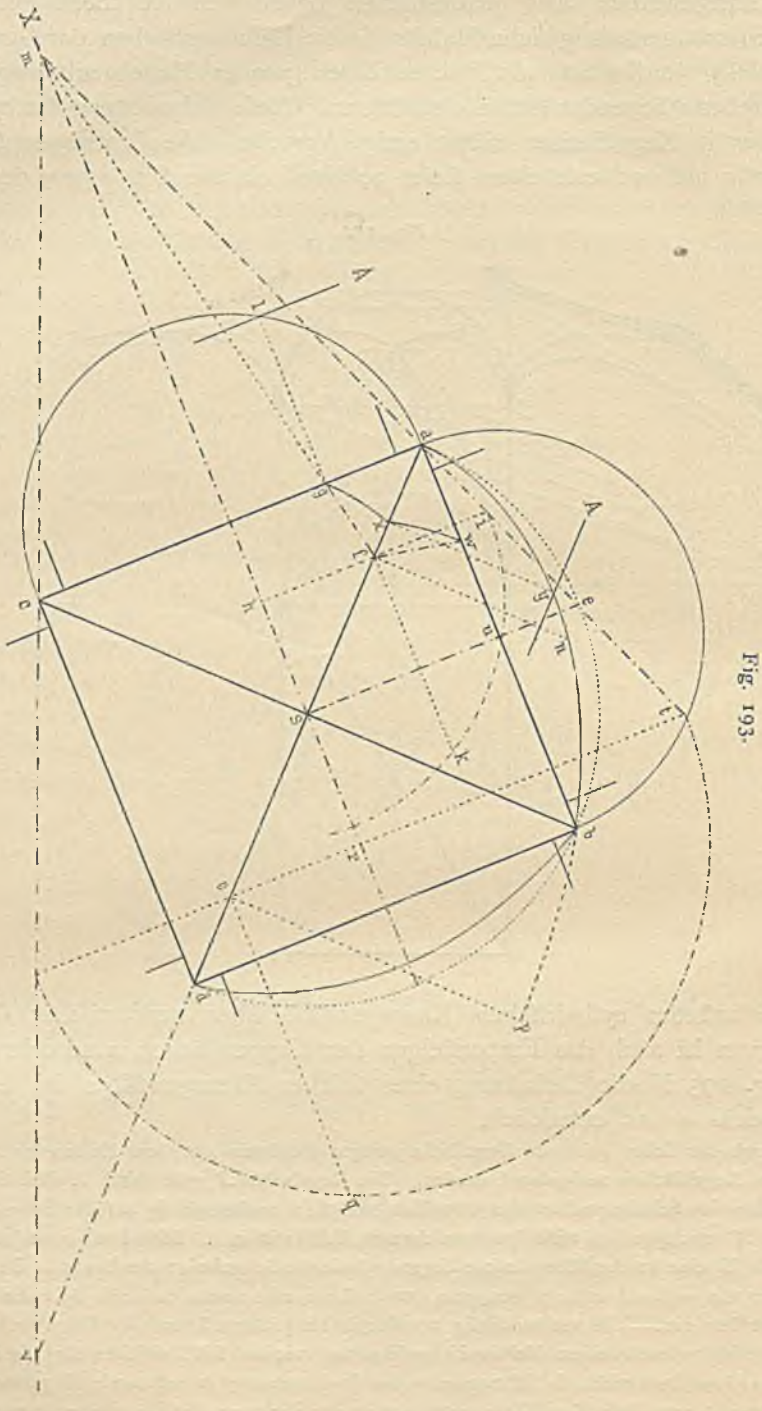


Fig. 193.

Ebene A würde eine Schnittlinie mit der wagrechten Projektion $g\,x\,w$ liefern. Dieſelbe iſt, wie aus der Zeichnung hervorgeht, mit Hilfe der Projektionen der Erzeugenden $m\,f$, bezw. $f\,w$ der ſich durchdringenden Kegelflächen leicht zu beſtimmen. Bei der Gleichheit dieſer Kegelflächen iſt $a\,g = a\,w$. Noch ſei bemerkt,

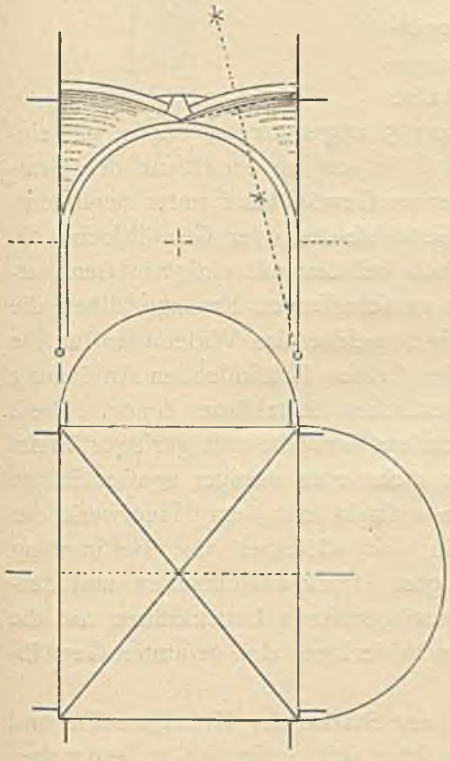
dafs auch $fn = fk$ ift. Die Scheitellinien der Wölbflächen find offenbar Teile höchfter Seitenlinien der Kegelflächen, und danach ift die Stechungshöhe ue auch ohne weiteres mittels der äufseren Seitenlinie ae zu erhalten.

Will man bei rechteckigen oder auch bei unregelmäfsigen Grundriffen kegelförmige Kappen mit cylindrifchen oder fphäroidifchen Gewölbflächen vereinigen, fo betrachtet man die Kegelfläche einer einzelnen Kappe als Ausgangsfläche und bringt alle übrigen Gewölbflächen davon in Abhängigkeit. Hierbei hat man nur wiederholt das im vorhergehenden Gefagte in Anwendung zu bringen, fo dafs befondere Erörterungen hierzu nicht nötig werden.

126. Kreuzgewölbe mit gefenktem Scheitel.

Den Gegenfatz zu den Kreuzgewölben mit Stechung, bezw. mit wagrecht liegenden Scheitellinien bilden die Kreuzgewölbe mit gefenktem Scheitelpunkte. Diefer Punkt liegt alsdann entweder tiefer als die Scheitelpunkte fämtlicher Stirnbogen, oder nur tiefer als die Scheitelpunkte einzelner Randbogen. Eine folche Geftaltung der Kreuzgewölbe kann wohl bei rechteckigen Räumen vorkommen, wenn alle Stirnbogen Halbkreife werden follen und die Länge des Rechteckes feine Breite nicht zu fehr überwiegt. Alsdann kann nach Fig. 194 die Scheitelhöhe des Randbogens der fchmalen Seite gleich der Scheitelhöhe des Gewölbes felbft genommen werden, fo dafs die Kappen der fchmalen Seiten geraden Cylinderflächen angehören. Da die Scheitelpunkte der Halbkreife der langen Seiten höher liegen, als der Gewölbfcheitel, fo fällt die Scheitellinie der Kappen diefer Seiten vom Stirnbogen nach dem Gewölbfcheitel ab. Diefe Kappen werden alsdann am zweckmäfsigften mit fphäroidifchen Flächen behaftet. Die Ausmittelung diefer Flächen kann entfprechend dem in Art. 117 (S. 205), bezw. Art. 121 (S. 213) Gefagten erfolgen. Im allgemeinen ift die Anordnung von cylindrifchen Kreuzgewölben mit gefenktem Scheitel von weniger günftigem Eindrucke begleitet als diejenige, wobei den Gewölbkappen eine entfprechende Stechung gegeben ift.

Fig. 194.

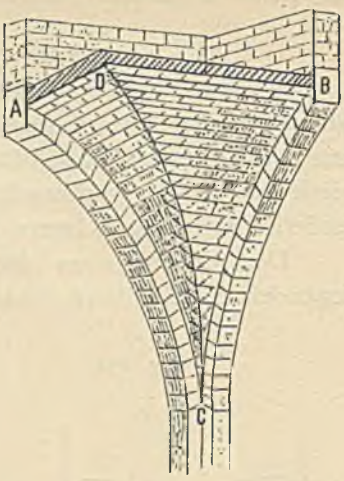


2) Stärke der cylindrifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

127. Grundlagen.

Die Gewölbkappen der cylindrifchen Kreuzgewölbe find Teile eines Tonnengewölbes, welche in der Ebene der Grate in Verbindung, bezw. in einer Schnittfläche zufammentreten oder beffer an einem felbftändig ausgeführten Gratkörper ihr Widerlager finden. Wie das Zufammenfügen der Gewölbkappen auch vorgenommen wird, immer wird im wefentlichen die Summe der im Gewölbfyftem eines Kreuzgewölbes durch fein Eigengewicht und feine Belaftung wachgerufenen Kräfte auf den in der Kämpferebene gelegenen Fufs der Gewölbkappen übertragen. Da für

Fig. 195.



die zuſammengefügten Kappen die Fuſsflächen ſich ſtreng genommen auf eine gerade Linie herabmindern würden, ſo folgt, daſs bei den Kreuzgewölben in der Ausführung für den Gewölbfuſs nicht eine Linie, bezw. eine Schneide, ſondern eine wirkliche Widerlagsfläche mit darunter befindlichem Stützkörper zu ſchaffen iſt. Dieſe Stützkörper, welche immer am Fuſse der zuſammentretenden Stirn- und Gratbogen, alſo, der Geſtaltung des Kreuzgewölbes gemäſs, an den Ecken der mit Kreuzgewölben zu überdeckenden Räume oder an den Ecken der einzelnen Raumabteilungen gröſserer Räume anzulegen ſind, bilden die Widerlager der Gewölbkonſtruktion.

Wenn nun auch bei untergeordneten Kreuzgewölben, d. h. ſolchen Gewölben, welchen nur eine geringe Spannweite und auſser ihrem Eigengewichte keine weitere Belaſtung zugewieſen wird, wie nach Fig. 195 angenommen wurde, ein einfaches Zuſammenfügen der Gewölbkappen *A* und *B* in und an der Ebene des Gratbogens *D* möglich iſt und hiernach ein Stützkörper am Gewölbfuſs *C* unter Benutzung von beſonderen Gurt- oder Scheidebogen des Gewölbfeldes oder Gewölbjoches in geeigneter Weiſe gebildet werden kann, ſo iſt doch bei den mit einigermaſsen ausgedehnteren Spannweiten in gewöhnlichen Fällen zu ſchaffenden Kreuzgewölben die Herſtellung von beſonderen Gratkörpern angezeigt, welche das Widerlager für die Gewölbkörper auf der ganzen Strecke ihrer an den Graten ſtattfindenden Anlehnung bieten und in ihren Fuſsflächen ſich auf den eigentlichen Stützkörper legen. Dieſe Körper der Grate werden zweckmäſsig als beſondere Gewölbe mit geringer Tiefe, gleichſam als Träger der Kreuzgewölbkappen, in mehr oder weniger groſser Stärke ſelbſtändig für ſich ausgeführt oder entſprechend verſtärkt mit dem Mauerwerk der Kappen in Zuſammenhang gebracht. Immerhin ſind dieſelben der Beſtimmung unterworfen, den von den Gewölbkappen erzeugten Druck aufzunehmen und denſelben in Verbindung mit den in ihnen ſelbſt wachgerufenen Druckkräften auf die vorhin bezeichneten Stützkörper oder eigentlichen Widerlager des geſamten Gewölbſyſtems zu übertragen.

Aus dieſen Gründen ſind zur Ermittelung der Stärke der Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager Unterſuchungen anzuſtellen, welche ſich weſentlich zu erſtrecken haben auf die Stabilität:

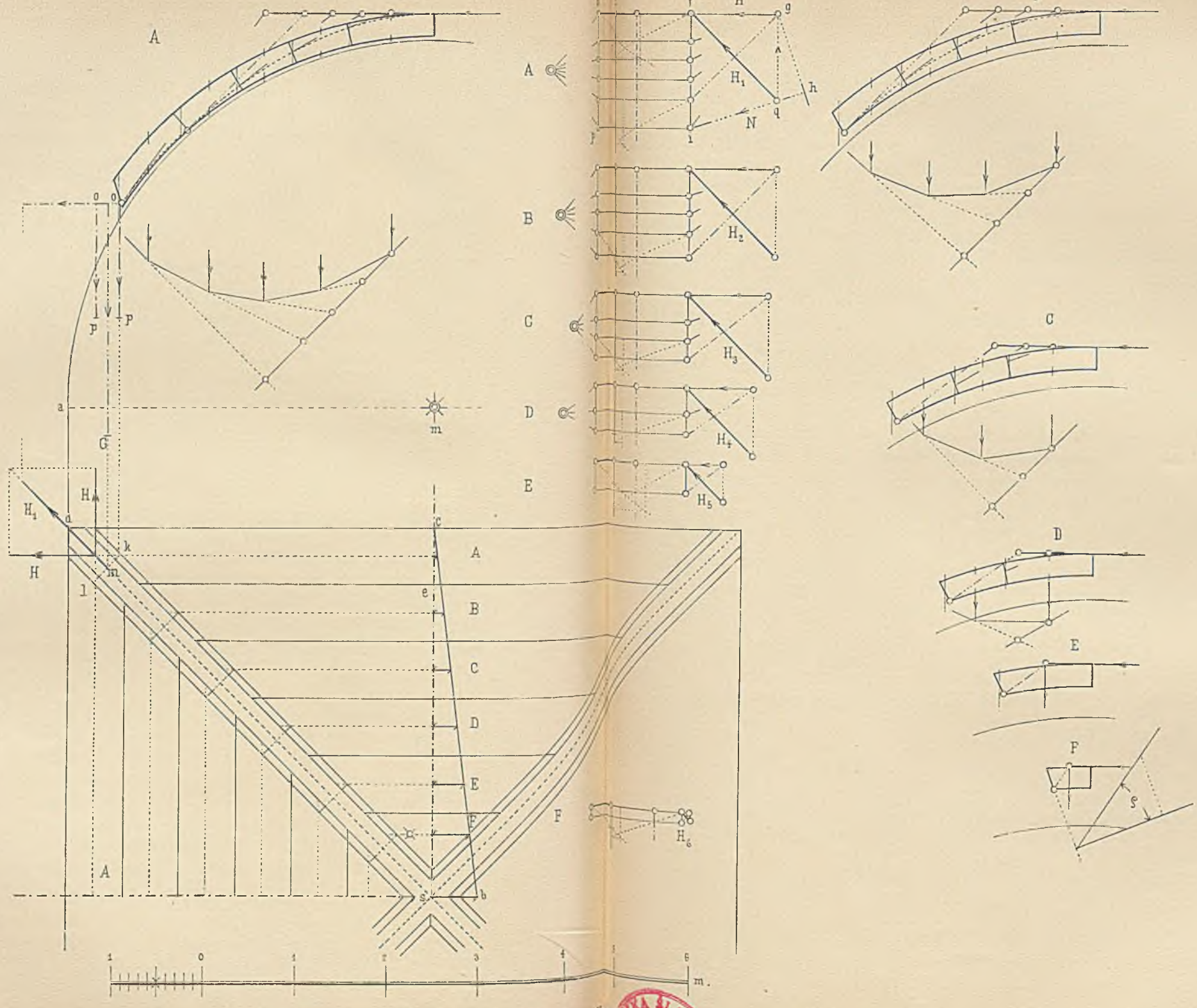
α) der Gewölbkappen,
β) der Gratbogen und
γ) der Widerlager an den Ecken des Gewölbes.

Hierzu kommt noch bei der beſonderen Einwölbungsart der cylindriſchen Kreuzgewölbe auf Schwalbenſchwanzverband die Unterſuchung der Stabilität der Stirnmauern des Gewölbes.

α) Stabilität der Gewölbkappen.

128. Verfahren.

Bei der Einwölbung der Gewölbkappen auf Kuf zerlegt man jede Kappe, einſchlieſslich ihrer Belaſtung, durch lotrechte und parallel zu ihrer Stirnmauer geſtellte Ebenen in einzelne ſchmale Elementarſtreifen. Dieſelben bilden kleine



Stabilitätsunterſuchung eines cylindriſchen Kreuzgewölbes über quadratiſchem Grundriſs.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

Tonnengewölbe, die ihr Widerlager an den Gratbogen finden, welche die Kappen voneinander fcheiden. Die ftatifche Unterfuchung jedes einzelnen Elementarftreifens kann alfo ganz in derfelben Weife, wie beim Tonnengewölbe in Art. 17 (S. 41) gezeigt wurde, erfolgen.

Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanzverband zerlegt man jede derfelben, einfchliefslich ihrer Belaftung, in Elementarftreifen, welche durch lotrechte und rechtwinkelig zum Grat geftellte Ebenen begrenzt find und fich auf der Scheitellinie jeder Kappe aneinander lehnen. Jeder Elementarftreifen ift alsdann im allgemeinen ein fchmales einhüftiges Gewölbe, deffen Stabilität nach dem in Art. 27 (S. 68) Gefagten geprüft werden kann.

Die befondere Unterfuchung der Gewölbkappen foll nach diefen allgemeinen Grundlagen an einzelnen Beifpielen gezeigt werden. 129. Beifpiel 1.

Beifpiel 1. Der Grundrifs eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung (fiehe die nebenftehende Tafel) fei ein Quadrat von 8 m Seitenlänge. Die Stirnbogen find für alle vier Seiten Halbkreife mit dem Halbmeffer $m\,a$. Die Stechungshöhe des Gewölbes ift $s\,b$. Die Einwölbung erfolge mit Backfteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 auf Kufverband. Die Breite der felbftändig aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,1 ausgeführten Gratbogen $d\,s$ fei zu 0,40 m gewählt. Von einer befonderen fremden Belaftung des Gewölbes ift Abftand genommen. Ift folche vorhanden, fo wird das Wefen der Unterfuchung an fich nicht geändert. Die Elementarftreifen A, B . . . F der einzelnen Kappen mögen eine fonft beliebig genommene Breite befitzen; hier ift denfelben eine gleiche Breite $c\,e$ gegeben.

130. Rauminhalt prismatifcher Körper.

Um von vornherein die für die einzelnen Elementarftreifen bei den auf graphifchem Wege zu beftimmenden Gewichtsftrecken noch durch genau und deutlich darzuftellende Linien zu erhalten, felbft wenn die Breiten diefer Streifen voneinander abweichen oder an fich ziemlich fchmal genommen find, oder wenn felbft das Eigengewicht der Streifen verfchieden wäre, kann ein einfaches Zufammenfügen einzelner graphifcher Konftruktionen in Anwendung gebracht werden. Da diefe Konftruktionen auch fpäter bei der ftatifchen Unterfuchung von Kuppelgewölben, bezw. von Kreuzgewölben mit bufigen Kappen benutzt werden, fo foll hier gleich eine allgemeine Behandlung der für die vorliegenden Zwecke erforderlichen graphifchen Ausmittelung der Linienwerte für den Inhalt prismatifcher Körper, bezw. der Gewichtswerte derfelben eintreten.

Ein prismatifcher Körper von der Breite b Met., der Höhe h Met. und der Dicke gleich 1 m befitzt den körperlichen Inhalt

$$V = b\,.\,h\,.\,1 \text{ Kub.-Met.} \quad \ldots \quad 129.$$

Soll diefer Wert von V dargeftellt werden durch die Mafszahl einer Linie x, multipliziert mit einer beliebig gewählten Mafszahl B (Bafiszahl, bezw. Bafis) einer anderen Linie, fo mufs

$$b\,.\,h\,.\,1 = B\,x, \quad \ldots \quad 130.$$

oder

$$\frac{x}{h} = \frac{b}{B} \quad \ldots \quad 131.$$

fein. Wie in Art. 24 (S. 57) angegeben, kann hiernach x bei gegebener Bafis B in bekannter Weife konftruiert werden. Befitzt nun ein prismatifcher Körper K (Fig. 196) eine Breite b Met., eine Höhe h Met. und eine mittlere Dicke d Met., fo ift fein Inhalt

$$v = b\,h\,d \text{ Kub.-Met.} \quad \ldots \quad 132.$$

Soll nunmehr diefer Wert durch die Mafszahl einer Linie w, multipliziert mit der feftgefetzten Bafiszahl B, dargeftellt werden, fo ift

$$v = b\,h\,d = B\,w \quad \ldots \quad 133.$$

zu fetzen. Da aber nach Gleichung 130: $b\,h = \frac{B\,x}{1}$ ift, fo wird auch

$$\frac{B\,x}{1}\,d = B\,w, \quad \ldots \quad 134.$$

woraus

$$\frac{x}{1} = \frac{w}{d} \quad \ldots \quad 135.$$

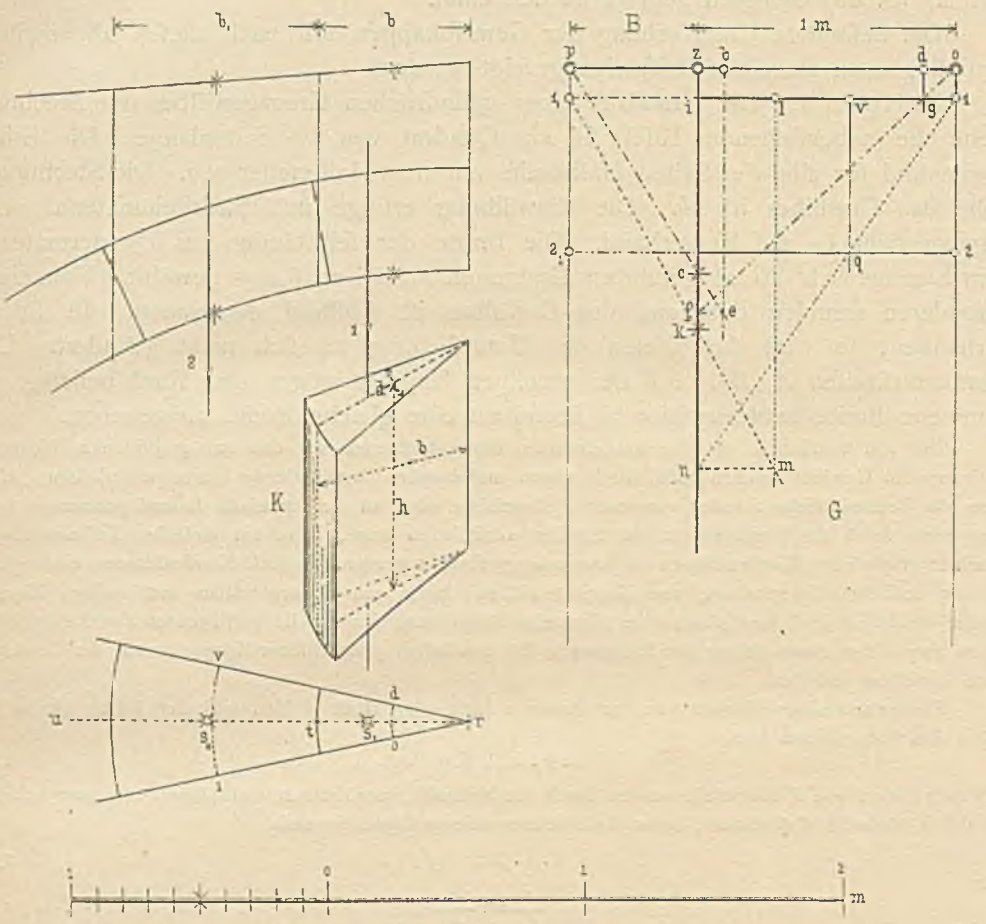
folgt. Sobald x gezeichnet ift, kann hiernach w gleichfalls durch Zeichnung gefunden werden. Beachtet man, dafs, je kleiner die Bafis B genommen wird, die Länge x und danach auch die Länge w defto gröfser erhalten wird, fo kann in jedem Falle ein entfprechend deutlicher Plan für jene Linienwerte angefertigt werden. Ift weiter γ Tonnen das Gewicht von 1 Kub.-Met. des betrachteten Körpers, deffen Inhalt durch $B w$ ausgedrückt wird, fo ift fein Gewicht

$$G = B w \gamma \text{ Tonnen.} \quad \ldots \quad 136.$$

In der Zeichnung ift die Bafis $B = p z = 0{,}5$ m. Die Strecke $z o$ ift gleich 1 m zu nehmen.

Durch p, z und o werden lotrechte Linien gezogen. Trägt man auf der Linie $p o$ die Breite $b = p b$ des Körpers ab, zieht man alsdann die Lotrechte $b e$, fchneidet man auf der z-Linie die Strecke $z c$ gleich

Fig. 196.



der Höhe h des Körpers ab und zieht man durch p und c einen Strahl, bis derfelbe gehörig verlängert die durch b geführte Lotrechte in e fchneidet, fo ift $b e$ gleich dem Werte x der Gleichung 131. Nimmt man nunmehr auf der z-Linie die Strecke $z f = b e = x$, trägt man die mittlere Dicke d des Körpers auf der Linie $p o$ von o aus als $o d = d$ ab und zieht man durch den Punkt d die Lotrechte, fo erhält man nach Führung des Strahles $o f$ fofort auf diefer Lotrechten den Schnitt g und in der Strecke $d g$ den Linienwert w. Denn es ift

$$\frac{z f}{1} = \frac{d g}{o d}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{x}{1} = \frac{w}{d},$$

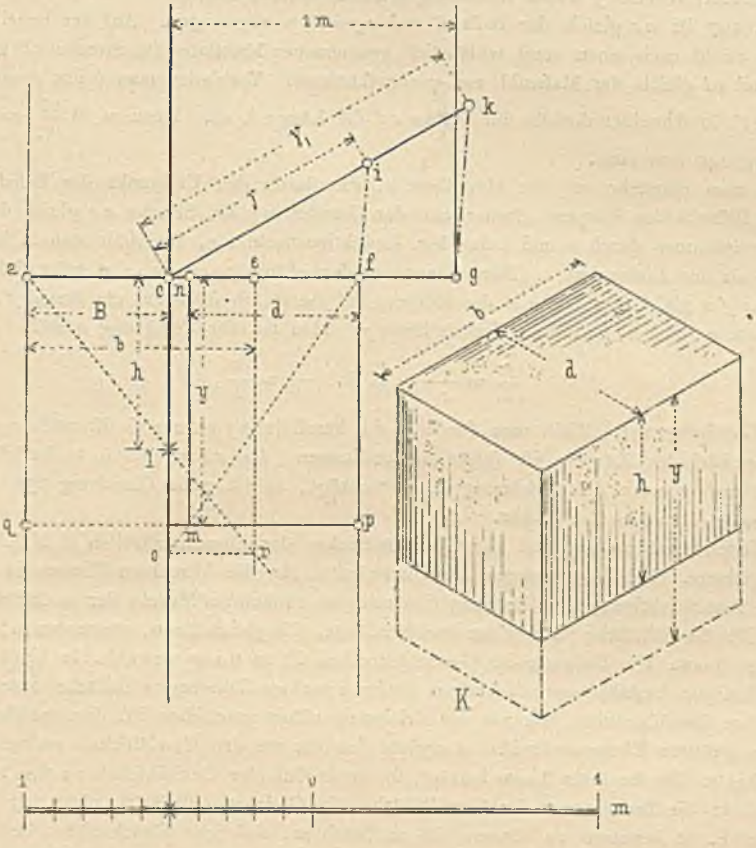
entfprechend der Gleichung 135. Zieht man durch g die Parallele $1 1$, zu $p o$, fo ift auch $o 1 = p 1 = w$.

Fährt man unter Benutzung der Linie $1 1$, in gleicher Weife, wie aus der Zeichnung erfichtlich, zur Beftimmung des Linienwertes $w = v q = 1 2 = 1, 2$, für einen zweiten Körper fort, fo erhält man die Aneinanderreihung der für den Inhalt der Körper mafsgebenden Strecken.

Nach der Zeichnung iſt $o\,r = w = 0{,}11$ m. Da $B = 0{,}50$ m, ſo iſt nach Gleichung 133 $v = 0{,}5 \cdot 0{,}11 = 0{,}055$ cbm. Wiegt 1 cbm $1{,}6$ t, ſo iſt nach Gleichung 136: $G = 0{,}055 \cdot 1{,}6 = 0{,}088$ t $= 88$ kg. Hiernach iſt der Plan G auch ohne weiteres als Gewichtsplan, bezw. als Kräfteplan zu verwerten.

Sind die Inhalte, bezw. die Gewichte von einer Reihe nacheinander zuſammengefügter Körper, welche verſchiedene Eigengewichte beſitzen, in einem Gewichtsplane zuſammenzutragen, ſo ſind die einzelnen Gewichtsſtrecken auf ein und dasſelbe Eigengewicht, welches irgend einem einzigen gewählten Körper angehört, zurückzuführen. Dann kann die Beſtimmung der Gewichtsſtrecken nach Fig. 197 in folgender Weiſe geſchehen.

Fig. 197.



Der Körper K, deſſen Inhalt $V = b\,h\,d$ Kub.-Met. iſt, beſitze ein Gewicht γ Tonnen für 1 cbm. Alsdann iſt das Gewicht desſelben

$$G = b\,h\,d\,\gamma \text{ Tonnen.} \quad \ldots \quad 137.$$

Iſt nun das zu Grunde zu legende Gewicht, welches für alle Körper bei der Ermittelung der Gewichtsſtrecken eingeführt werden ſoll, gleich γ Tonnen für 1 cbm, iſt ferner der geſuchte Linienwert y von einer ſolchen Gröſse, daſs der Körper, welchem dieſe Strecke y zukommt, unter Multiplikation mit der feſtgeſetzten Baſiszahl B in ſeinem Inhalte v, entſprechend der Gleichung 133, durch $B\,y$ ausgedrückt erſcheint, ſo iſt ſein Gewicht G_1 zu berechnen als

$$G_1 = B\,y\,\gamma \text{ Tonnen.} \quad \ldots \quad 138.$$

Soll nun G_1 dieſelbe Gröſse wie G darſtellen, ſo muſs nach den Gleichungen 137 u. 138

$$b\,h\,d\,\gamma_1 = B\,y\,\gamma$$

werden. Da nach Gleichung 130: $b\,h = B\,x$ zu ſetzen iſt, ſo folgt auch $B\,x\,d\,\gamma_1 = B\,y\,\gamma$ oder

$$x\,d\,\gamma_1 = y\,\gamma.$$

Hieraus entſpringt der Ausdruck

$$\frac{x\,d}{y} = \frac{\gamma}{\gamma_1} \quad \ldots \quad 139.$$

Setzt man $\frac{\gamma}{\gamma_1} = \lambda$, d. h. auch

$$\frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{\lambda}{1}, \quad \ldots \quad 140.$$

ſo läſst ſich λ konſtruieren.

Nachdem λ beſtimmt iſt, ergiebt ſich nach Gleichung 139: $\frac{x\,d}{y} = \lambda$ nunmehr der Ausdruck

$$\frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda}, \quad \ldots \quad 141.$$

wonach die geſuchte Strecke y durch Zeichnung ermittelt werden kann.

In Fig. 197 iſt $a\,c$ gleich der Baſis B und $c\,g = 1^{\,m}$ abgetragen. Auf der beliebig durch c gezogenen Linie $c\,k$ iſt nach einem ſonſt willkürlich genommenen Maſsſtabe die Strecke $c\,k$ gleich der Maſszahl von γ_1 und $c\,i$ gleich der Maſszahl von γ abgeſchnitten. Verbindet man k mit g und zieht zu $k\,g$ die Parallele $i\,f$, ſo ſchneidet dieſelbe im Stücke $c\,f$ die Länge λ ab. Denn es iſt $\frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{c\,f}{1} = \frac{\lambda}{1}$, wie nach Gleichung 140 ſein muſs.

Nimmt man nunmehr auf der Hauptlinie c, die durch den Endpunkt der Baſisſtrecke B geht, $c\,l$ gleich der Höhe h des Körpers, ferner auf der Geraden $a\,g$ die Strecke $a\,e$ gleich der Breite b des Körpers, und zieht man durch a und l den ſog. Reduktionsſtrahl $a\,r$, ſo erhält man in bekannter Weiſe die Länge $e\,r$ als den Linienwert x. Nimmt man auf der c-Linie $c\,o = e\,r = x$, trägt ſodann aber von f aus die Strecke $f\,n$ gleich der Dicke d des Körpers auf $f\,a$ ab, ſo ſchneidet ein Strahl $f\,o$ die Lotrechte für n im Punkte m, und $n\,m$ iſt die geſuchte Linie y. Man hat der Zeichnung gemäſs

$$\frac{y}{d} = \frac{c\,o}{c\,f}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda},$$

entſprechend Gleichung 141. Zieht man durch m die Parallele $p\,q$ zu $a\,g$, ſo iſt auch $a\,q = f\,p = y$.

Das Gewicht des Körpers iſt ſofort zu beſtimmen. Da $c\,i = \gamma = 1{,}6^{\,t}$ darſtellt, $B = 0{,}50^{\,m}$ genommen iſt und y nach der Zeichnung $0{,}86^{\,m}$ beträgt, ſo iſt nach Gleichung 138 dieſes Gewicht $G_1 = 0{,}50 \cdot 0{,}86 \cdot 1{,}6^{\,t} = 0{,}688^{\,t} = 688^{\,kg}$.

131. Beiſpiel 1, Fortſetzung.

Nach dieſen Ausführungen ſind die Gewichtsſtrecken der Elementarſtreifen A bis F auf der Tafel bei S. 223 beſtimmt. Die Austragungen der Querſchnitte für die lotrechten Ebenen in der Mitte der Streifen unter Berückſichtigung der Stechung ſind mit den einfachſten Mitteln der darſtellenden Geometrie zu bewirken. Die Gewölbſtärke iſt zu einer Backſteinlänge, alſo gleich $0{,}25^{\,m}$, angenommen; die Breite der Streifen beträgt $0{,}60^{\,m}$. Die Baſis $o\,z$ der Gewichtsſtrecken iſt zu $0{,}50^{\,m}$ gewählt. In hinlänglich beſchriebener Weiſe ſind die Stabilitätsunterſuchungen dieſer einzelnen Tonnengewölbſtücke unter Annahme des möglich kleinſten Gewölbſchubes, wie aus der Zeichnung näher zu erſehen iſt, durchgeführt.

Für den gröſsten Elementarſtreifen A ergiebt ſich der für den Gewölbſchub maſsgebende Wert der Linie $g\,f$ zu $0{,}95^{\,m}$. Da die Baſis $0{,}50^{\,m}$ beträgt, ſo würde ſich der Gewölbſchub zu $0{,}95 \cdot 0{,}50 = 0{,}475^{\,qm}$ ergeben. Um für die Berechnung der Gewölbſtärke die Gleichungen 48 (S. 46) u. 53 (S. 47), bezw. die Tabelle auf S. 62 benutzen zu können, iſt zu beachten, daſs jene Gleichungen, bezw. jene Tabelle unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit (gleich $1^{\,m}$) aufgeſtellt ſind. Würde alſo der Streifen A ſtatt einer Breite von $0{,}60^{\,m}$ eine ſolche von $1^{\,m}$ beſitzen, ſo würde ſich der Gewölbſchub ergeben zu

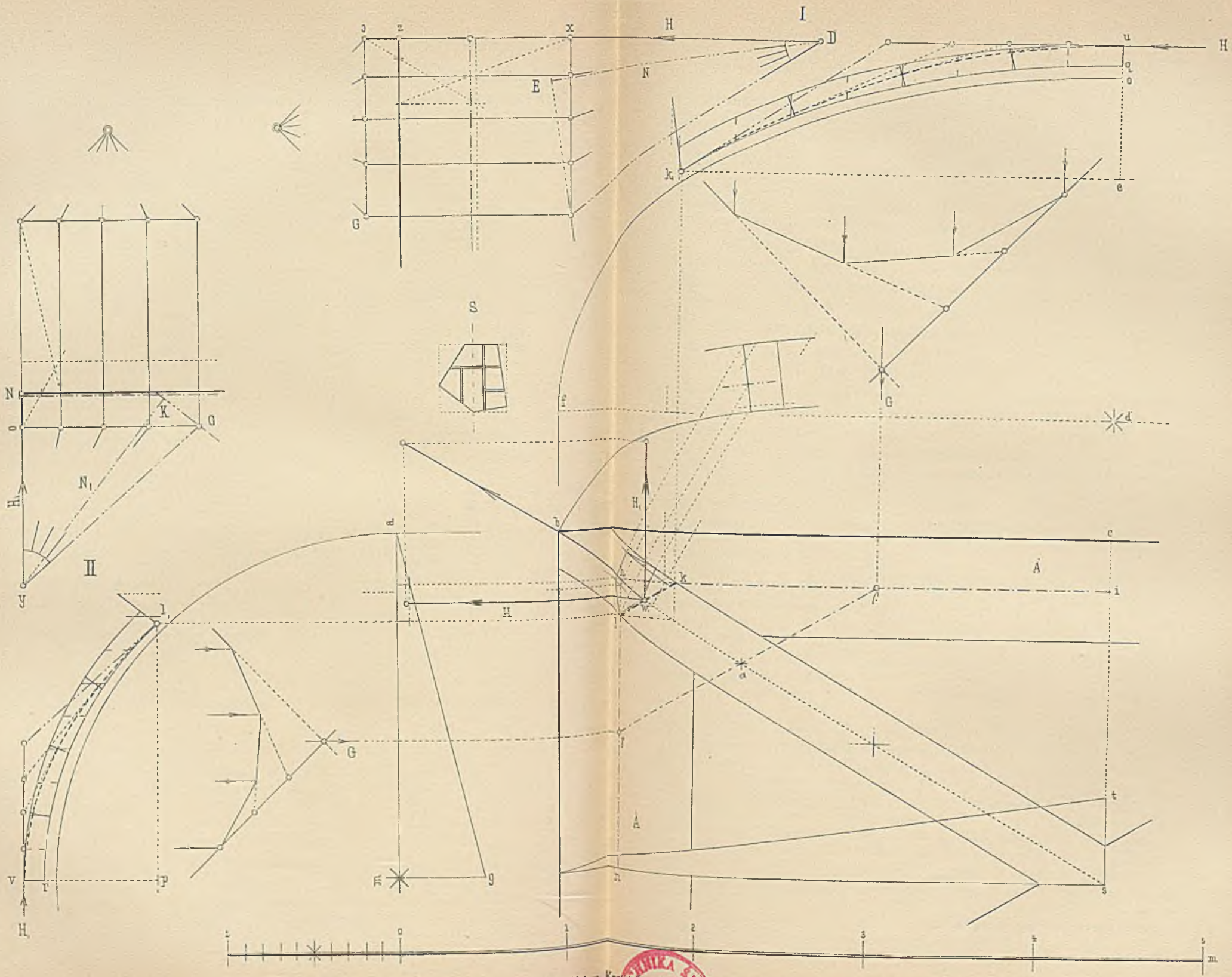
$$H = \frac{1}{0{,}6} \cdot 0{,}475 = 0{,}79 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 62 erfordert dieſer Gewölbſchub nicht ganz eine Backſteinlänge als Gewölbſtärke.

In gleicher Art findet man den Normaldruck des Streifens A für die Widerlagsfuge unter Verwertung der Linie $h\,i = 1{,}40^{\,m}$ zu

$$N = \frac{1}{0{,}6} \cdot 1{,}40 \cdot 0{,}50 = 1{,}16 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Auch für dieſe Zahl giebt die Tabelle auf S. 62 keine über $0{,}25^{\,m}$ gehende Gewölbſtärke. Die für die Kappen angenommene Gewölbſtärke iſt alſo ausreichend. Da alle übrigen Gewölbſtreifen kleineren Gewölbſchüben unterliegen, die Prüfung der ſämtlichen Streifen den Gleichgewichtszuſtand gegen Drehen und gegen Gleiten (Reibungswinkel ρ bei F) bekundet, ſo können die Gewölbkappen als ſtabil gelten. Der Einfluſs, welcher von den Gewölbſtreifen durch ihre Gewichte und ihre Gewölbſchübe auf den Grat ausgeübt wird, iſt ohne weiteres auf den Streifen A bei m zu erkennen. Gegen den Grat treten die beiden hier gleichen Streifen A mit einem Gewölbſchube $g\,i$ des Gewichtsplanes A. Die Angriffspunkte k und l



Stabilitätsunterſuchung eines cylindriſchen Kreuzgewölbes über rechteckigem Grundriſs.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

derfelben liegen am Grat in einer wagrechten Linie kl. Zerlegt man die in k und l angreifenden Gewölbfchübe gi in ihren lotrechten Kräfteebenen je in eine wagrechte Seitenkraft $H = gf = qg$ und in eine lotrechte Seitenkraft $fi = op$, fo laffen fich zunächft H und H zu einer wagrechten Mittelkraft H_1 zufammenfetzen, welche nunmehr in der lotrechten Mittelebene ds des Gratbogens liegt und deren Angriffspunkt nach m in die wagrechte Linie kl zu legen ift. Diefes Zufammenfetzen der Kräfte H ift im Gewichtsplane durch das Kräftedreieck qgf vorgenommen. Sodann laffen fich auch die lotrechten, in k und l wirkenden Kräfte op zu einer einzigen Mittelkraft G, hier gleich $2op$, zufammenfetzen, deren Richtung gleichfalls durch m geht, fo dafs nunmehr der Gratbogen aufser feinem Eigengewichte vor allen Dingen in dem Punkte m, deffen Lage in jedem Falle leicht ermittelt werden kann, vom Streifen A durch die Kräfte H_1 und G beanfprucht wird. Auf demfelben Wege find, wie in den Kräfte- oder Gewichtsplänen der einzelnen Streifen angegeben, auch alle von den Elementarftreifen herrührenden und für den Gratbogen in Rechnung tretenden Kräfte aufzufinden. Von diefen Kräften wird bei der Beftimmung der Stärke der Gratbogen unter 3 Gebrauch gemacht werden.

132. Beifpiel 2.

Beifpiel 2. Der Grundrifs eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung (fiehe die nebenftehende Tafel) fei ein Rechteck von 4,00 m Breite und 6,90 m Länge. Die Stirnbogen der fchmalen Seiten find Halbkreife mit dem Halbmeffer ma; diejenigen der langen Seiten hingegen, da fämtliche Randbogen eine gleich grofse Pfeilhöhe erhalten follen, find Halbellipfen mit der halben grofsen Achfe bc, bezw. fd und der halben kleinen Achfe $do = ma$. Die Stechungshöhe des Gewölbes ift $mg = st = 0{,}50$ m. Die Einwölbung foll auf Kufverband mit Backfteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 erfolgen. Die Grate find gleichfalls aus Backftein von $1\frac{1}{2}$ Stein Breite und $1\frac{1}{2}$ Stein Höhe mit entfprechenden Widerlagsflächen für die Gewölbkappen herzurichten.

Da es für die Beftimmung der Gewölbftärke ausreichend ift, die am weiteften gefpannten Elementarftreifen von je zwei an einem Gratbogen zufammentretenden Kappen ftatifch zu unterfuchen, fo find hier die beiden Elementarftreifen A und A_1, welche unmittelbar an den Stirnbogen der Seiten des Rechteckes liegen, in Betracht gezogen. Die lotrechten Mittelebenen, welche zugleich Kräfteebenen der Streifen find, ftehen parallel zu den Stirnebenen. Sie fchneiden fich in einer lotrechten Linie, welche die Gratlinie über bs in einem Punkte trifft, deffen wagrechte Projektion h wird. Bei diefer Beftimmung der Kräfteebenen, welche durch die voneinander abhängige Zerlegung der Kappen in ihre Elementarftreifen bedingt ift, entftehen bei einem rechteckigen Grundrifs ftets zwei am Grat zufammenlaufende Streifen von verfchiedener Breite, wobei aber das Verhältnis der Breite b des fchmalen Streifens A zur Breite B des anliegenden Streifens A_1 immer durch

$$\frac{b}{B} = \frac{cs}{bc} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 142.$$

auszudrücken ift. Auch für die Weite der Elementarftreifen ergiebt fich ein Zufammenhang, indem aus leicht erfichtlichen Gründen

$$\frac{ki}{ln} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 143.$$

wird. Da nun aufserdem vermöge der Geftaltung der Laibungsflächen der cylindrifchen Kappen auch beim Vorhandenfein einer Stechung die Anfchlufspunkte k_1, bezw. l_1 der mittleren Wölblinien folcher Streifen A und A_1 an der Widerlagsfläche am Grat eine gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhalten, fo ift die gerade Verbindungslinie diefer Punkte, deren wagrechte Projektion kl ift, auch eine wagrechte Linie. Ferner ift zu beachten, dafs die Pfeilhöhen eq und pr infolge der regelrechten Ausmittelung der mittleren Wölblinie der Streifen A und A_1, wie folche nach der grundlegenden Geftaltung (fiehe Art. 122, S. 215) der Gewölbflächen zu gefchehen hat, einander gleich werden. Ift nun die Stärke beider Elementarftreifen, wie bei der Ausführung der Fall, wiederum diefelbe, fo ift auch $eu = pv$, d. h. die höchften Punkte einer gedachten Scheitelfuge der fymmetrifch gebildeten kleinen Tonnengewölbe, welche für die Elementarftreifen nur zur Hälfte berückfichtigt zu werden brauchen, liegen in einer wagrechten Ebene. Weiter ift zu berückfichtigen, dafs, wenn F die Gröfse der mittleren Schnittfläche des längeren Streifens A und f diejenige der mittleren Schnittfläche des kürzeren Streifens A_1 ift, auch in Abhängigkeit von der Geftaltung des Gewölbes

$$\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 144.$$

wird. Bei gleicher Stärke d der Elementarſtreifen wird der Inhalt V des Körpers A von der Breite b gleich bF und der Inhalt V_1 des Körpers A_1 von der Breite B gleich Bf; mithin iſt

$$\frac{V}{V_1} = \frac{bF}{Bf},$$

d. h. unter Anwendung der Gleichungen 142 u. 144

$$\frac{V}{V_1} = \frac{cs}{bc} \cdot \frac{bc}{cs} = 1$$

oder

$$V = V_1 \quad \ldots \quad 145.$$

Demnach ſind bei gleichem Wölbmaterial auch die Gewichte G der beiden Gewölbſtreifen A und A_1 einander gleich. Hieran würde auch nichts geändert, wenn beide Gewölbſtreifen A und A_1 eine das Verhältnis $\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs}$ nicht umgeſtaltende fremde Belaſtung über dem Rücken aufzunehmen hätten. Das Gewicht G wirkt im Abſtande βk vom Widerlagspunkte k, der Mittellinie des Streifens A, während das gleiche Gewicht G des Streifens A_1 im Abſtande γl vom Widerlagspunkte l, der Mittellinie des Streifens A_1, angreift. Wieder iſt zu beachten, daſs

$$\frac{\beta k}{\gamma l} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \quad 146.$$

iſt. Entſprechend Gleichung 38 (S. 43) ergiebt ſich der Gewölbſchub H des Streifens A als

$$H = G \frac{\beta k}{eu} \quad \ldots \quad 147.$$

und der Gewölbſchub H_1 des Streifens A_1 als

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{pv},$$

oder da, wie vorhin angegeben, $pv = eu$ iſt,

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{eu} \quad \ldots \quad 148.$$

Aus den Gleichungen 147 u. 148 erhält man ſofort $\frac{H}{H_1} = \frac{\beta k}{\gamma l}$, d. h. nach Gleichung 146

$$\frac{H}{H_1} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \quad 149.$$

Die auf die Widerlagsflächen der Streifen am Gratbogen treffenden Gewölbſchübe zerlegen ſich für den Streifen A im Punkte k_1, bezw. k in die lotrechte Seitenkraft G und in die wagrechte Kraft H, ebenſo für den Streifen A_1 im Punkte l_1, bezw. l in eine lotrechte Seitenkraft ebenfalls gleich G und in die wagrechte Kraft H_1. Die aus G und G entſpringende Mittelkraft gleich $2G$ geht durch den Halbierungspunkt w_1 der wagrechten Geraden kl. Der Punkt w_1 iſt aber ein Punkt der lotrechten Gratebene bs, welche die Bogenlinie des Grates enthält. Setzt man die durch k, und l_1, bezw. k und l gehenden wagrechten Kräfte H und H_1 im Verfolg ihrer Lage in h zu einer Mittelkraft zuſammen, ſo fällt vermöge der Beziehung 149 dieſe Mittelkraft gleichfalls in dieſe Richtungsebene bs des Gratbogens. Da ſchlieſslich h die gleiche Höhe über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes wie der Punkt w_1 beſitzt, ſo folgt, weil der Angriffspunkt der Mittelkraft aus H und H_1 in ihrer Richtung von h nach w_1 verlegt werden darf, daſs der Gratbogen in vorteilhafter Weiſe in ſeiner Richtungsebene bs, welche zugleich Kräfteebene des Grates ſein ſoll, in dem ermittelten Punkte w_1 durch die lotrechte Mittelkraft $2G$ und die wagrechte Mittelkraft aus H und H_1, welche von den Gewölbdrücken der Elementarſtreifen A und A_1, herrühren, beanſprucht wird. Würde man in gleicher Weiſe für alle entſprechend geordneten Elementarſtreifen der an einem Grat zuſammentretenden Gewölbkappen die Ermittelung der Kräfte durchführen, ſo würde auch hieraus eine Beanſpruchung des Grates in ſeiner Kräfteebene bs ſich kennzeichnen.

Dieſes für die Konſtruktion, bezw. für die Geſtaltung und praktiſche Ausführung der cylindriſchen Kreuzgewölbe über rechteckigen Grundriſſen äuſserſt wichtige Ergebnis, deſſen Erzielung bei der Durchführung derartiger Gewölbe eigentlich zur Forderung erhoben werden muſs, hat ſich in einem anderen Gewande auch durch die in Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 485, S. 453[20]) dieſes »Handbuches« geführten Unterſuchungen herausgeſtellt.

Die auf üblichem Wege angeſtellte ſtatiſche Unterſuchung der Gewölbſtreifen A und A_1 unter Berückſichtigung des möglich kleinſten Horizontalſchubes iſt aus den Plänen *I* und *II* der Tafel bei S. 227 zu erſehen.

[20]) 2. Aufl.: Art. 279, S. 263; 3. Aufl.: Art. 285, S. 298.

Nach der Zeichnung erhält man für die Strecke Dx im Plane I die Länge von $1{,}60^{\,m}$, für die Strecke yo im Plane II die Länge von $0{,}93^{\,m}$. Hiernach ist $\frac{Dx}{yo} = \frac{1{,}60}{0{,}93} = 1{,}72$.

Da nun bc als halbe Rechteckseite gleich $\frac{6{,}9}{2} = 3{,}45^{\,m}$ und $cs = \frac{4}{2} = 2^{\,m}$ ist, so würde $\frac{bc}{cs} = \frac{3{,}45}{2} = 1{,}725$ sein; folglich sind die gemessenen Strecken Dx und yo in recht guter Uebereinstimmung erhalten.

Die Breite des Streifens A ist zu $0{,}60^{\,m}$ angenommen, und somit ergiebt sich die Breite des Streifens A_1 in Uebereinstimmung mit der Zeichnung nach Gleichung 142 zu $B = 0{,}60 \cdot \frac{3{,}45}{2} = 1{,}035^{\,m}$. Da die Dicke der Wölbstreifen $qu = rv$ für beide Stücke dieselbe ist, so erhält man auch die Gewichtsstrecken, bezw. Flächenwerte oder Körperinhalte in beiden Plänen I und II als oG in der Zeichnung von gleicher Gröfse trotz verschiedener Breite der Lamellen der einzelnen Gewölbflächen, wie es nach der Rechnung, entsprechend Gleichung 145, sein soll. Der Horizontalschub H ergiebt sich für den Streifen A, da die Basis oz zur Reduzierung der Kräfte (Gewichte) gleich $0{,}20^{\,m}$ gewählt wurde, als $H = 1{,}60 \cdot 0{,}20 = 0{,}32$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met., während der Horizontalschub des Streifens A_1 sich zu $H_1 = 0{,}93 \cdot 0{,}20 = 0{,}186$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. bestimmt.

Um die Gewölbstärke berechnen zu können, ist, wie im Beispiel 1, der Horizontalschub der Streifen wiederum bei jedem derselben für eine Tiefe gleich der Längeneinheit, also gleich $1^{\,m}$, zu ermitteln. Hiernach wird der für den Streifen A von der Breite $0{,}60^{\,m}$ zu beachtende Gewölbschub

$$\mathfrak{H} = \frac{1}{0{,}60} \cdot 0{,}32 = 0{,}533 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

und der für den Streifen A_1 geltende Gewölbschub

$$\mathfrak{H}_1 = \frac{1}{1{,}72} \cdot 0{,}186 = 0{,}108 \text{ Quadr.-Met., bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 62 erfordert der Gewölbschub $\mathfrak{H}$ des Hauptstreifens der weitesten Kappe eine Stärke, welche zwischen $\frac{1}{2}$ Stein und 1 Stein als Durchschnittswert liegt, während für einen Hauptstreifen der schmalen Kappe, dem Gewölbschube $\mathfrak{H}_1$ entsprechend, eine Gewölbstärke von $\frac{1}{2}$ Stein völlig genügt.

Für den Normaldruck $\mathfrak{N}$, bezogen auf die Tiefe gleich $1^{\,m}$, wird für die Widerlagsfuge des Hauptstreifens der weitesten Kappe am Grat, da DE im Plan I gleich $1{,}74^{\,m}$, also $N = 1{,}74 \cdot$ Basiszahl $= 1{,}74 \cdot 0{,}2 = 0{,}348$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. ist,

$$\mathfrak{N} = \frac{1}{0{,}9} \cdot 0{,}348 = 0{,}38 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 62 erfordert dieser Druck eine Gewölbstärke von nicht ganz $\frac{1}{2}$ Stein. Läfst man, da der wagrechte Schub $\mathfrak{H}$ dieses Streifens eine etwas gröfsere Gewölbstärke erfordert als der Normaldruck $\mathfrak{N}$, bei sehr gutem Backsteinmaterial eine etwas stärkere Pressung hier als zulässig gelten, so kann auch die $6{,}90^{\,m}$ weite Kappe des untersuchten Gewölbes mit $\frac{1}{2}$ Stein Stärke, wie in der Zeichnung angenommen ist, beibehalten werden.

Der Normaldruck $\mathfrak{N}_1$ der schmalen Kappe wird, da yA im Plane II zu $1{,}38^{\,m}$ gefunden ist, berechnet als

$$\mathfrak{N}_1 = \frac{1}{1{,}72} \cdot 1{,}38 \cdot 0{,}2 = 0{,}16 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Da dieser Wert nach der Tabelle auf Seite 62 keine gröfsere Dicke als $\frac{1}{2}$ Stein beansprucht, so bleibt diese schon für $\mathfrak{H}_1$ festgesetzte Stärke der schmalen Kappe gültig. Der Verlauf der eingezeichneten Mittellinien des Druckes in den Plänen I und II der Tafel bei S. 227 ergiebt Gleichgewichtszustand gegen Drehung und, da die resultierenden Pressungen in den einzelnen Teilfugen der Streifen mit der Senkrechten zu diesen Fugen stets Winkel einschliefsen, welche kleiner bleiben als der Reibungswinkel ρ des Materials ($\operatorname{tg}\rho$ etwa $= 0{,}7$), auch Gleichgewichtszustand gegen Gleiten. Auf den letzteren Punkt ist namentlich hinsichtlich der Widerlagsfugen am Grat zu achten, da, falls sich hier beim Auffinden der Mittellinie des Druckes ein Gleiten bekunden sollte, die Neigung der Anfatzfläche der Wölbstreifen am Grat S so weit abzuändern ist, dafs alsdann kein Gleiten mehr möglich wird.

Hätte man den Hauptstreifen der weitesten Kappe 1 Stein stark ausführen wollen, während der

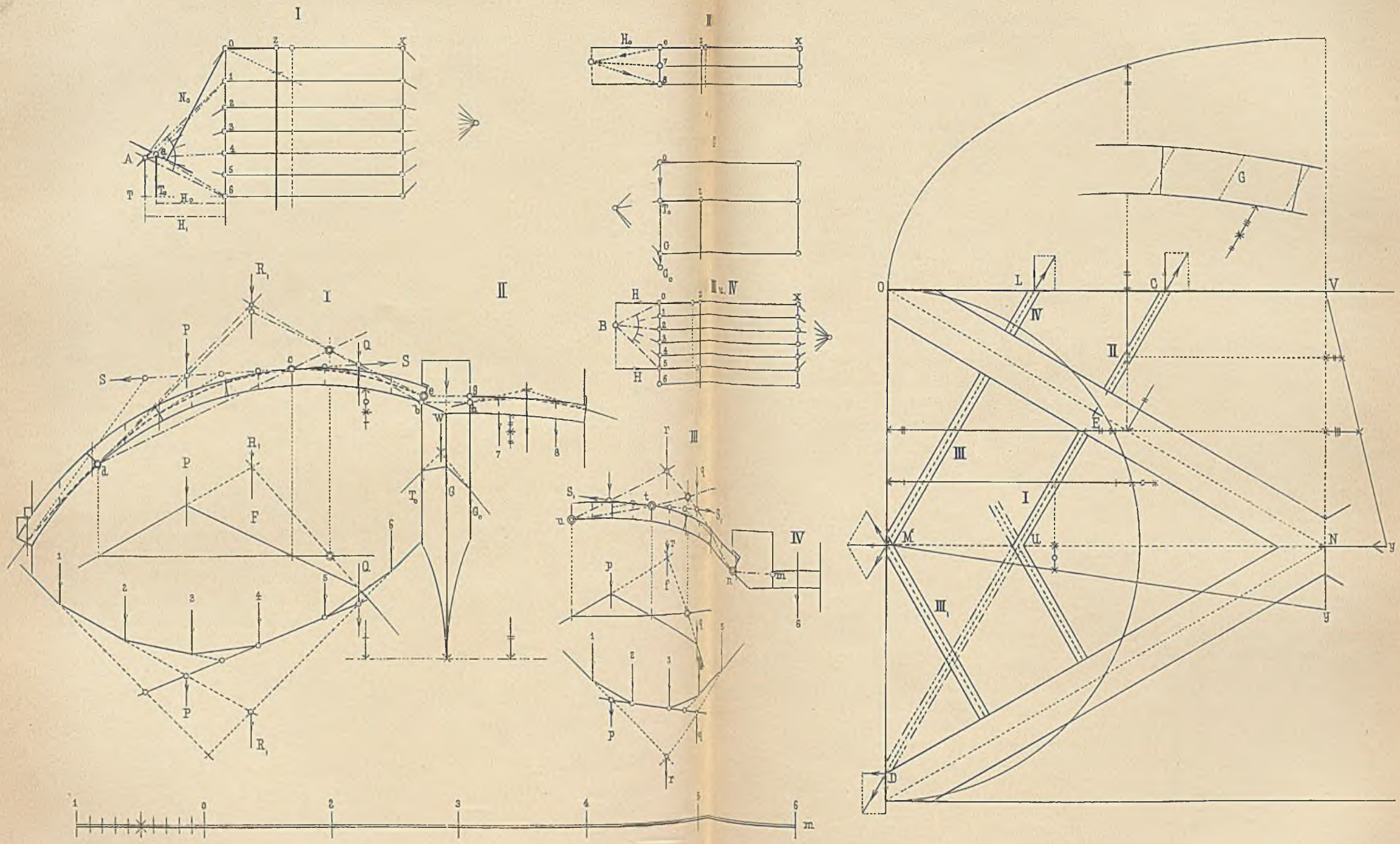
zugehörige Hauptſtreifen der antretenden ſchmalen Kappe nur $^1/_2$ Stein ſtark verbliebe, ſo hätte eine Uebermauerung dieſes letzteren Stückes in der Art vorgenommen werden müſſen, daſs die Gewichte, bezw. Flächen oder Inhalte der Streifen das mehrfach erwähnte, in Gleichung 144 ausgeſprochene Verhältnis beibehalten konnten. Im anderen Falle würde der Gratbogen durch die Gewölbdrücke nicht in ſeiner Richtungsebene bs in der oben geforderten günſtigen Weiſe beeinflufst, ſondern leicht Verſchiebungen, bezw. Verdrehungen ausgeſetzt werden können.

Cylindriſche Kreuzgewölbe mit oder ohne Stechung werden ſehr häufig auf Schwalbenſchwanzverband eingewölbt. Hierbei ſollen, wie bei der Ausführung der Kreuzgewölbe (unter 3) noch näher gezeigt werden wird, die einzelnen Wölbſtreifen oder Zonenlagen in ihren Stirnflächen Normalebenen des Gratbogens angehören. Die wagrechten Projektionen der Wölblinien dieſer Zonen treten als Schnittlinien jener Ebenen mit den cylindriſchen Kappenflächen im allgemeinen als elliptiſche Linien auf, welche in ihrem Anfangselemente an der wagrechten Projektion der Gratlinie eine Tangente beſitzen, deren wagrechte Projektion keine Senkrechte zur Grundriſslinie des Gratbogens iſt. Aufserdem treffen ſich, wie in Art. 62 (S. 137) bei den Kappengewölben angeführt iſt, die einzelnen einander zugehörigen Streifen, ſobald die Scheitellinie einer Kappe erreicht wird, in einer ſog. Schnäbelung über dieſer Linie. Wie die auf Schwalbenſchwanzverband eingewölbten gewöhnlichen Kappengewölbe in den einzelnen Wölbſtreifen ihren Gewölbſchub ſowohl auf die Widerlagsmauern als auch auf die Stirnmauern übertragen, ſo wird auch bei den nach dieſem Verbande gewölbten cylindriſchen Kreuzgewölben von den einzelnen Wölbzonen nunmehr ein Gewölbſchub auf die Gratbogen und auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern des Gewölbes überführt, ſo daſs Gratbogen und Randbogen, bezw. Stirnmauern in erſter Linie als Widerlager dieſer Kappen auftreten. Die ſtatiſche Unterſuchung, welche in einigen weſentlichen Geſichtspunkten ſich der in Fig. 121 (S. 138) für ein gewöhnliches Kappengewölbe durchgeführten Behandlung anſchlieſst, ſoll im Nachſtehenden vorgenommen werden.

133. Beiſpiel 3.

Beiſpiel 3. Der Grundriſs eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Stechung (ſiehe die nebenſtehende Tafel) ſei wiederum ein Rechteck von 6,90 m Länge und 4,00 m Breite. Die Stirnbogen der kurzen Seiten ſind Halbkreiſe vom Halbmeſſer $MO = MD$. Die Randbogen der langen Seiten ſind Halbellipſen mit einer halben groſsen Achſe gleich VO und einer halben kleinen Achſe gleich MO. Die Stechungshöhe iſt $Ny = 0{,}50$ m. Die Grate ſind aus Backſtein $1^1/_2$ Stein breit und $1^1/_2$ Stein ſtark ſelbſtändig auszuführen; die Kappen ſind $^1/_2$ Stein ſtark im Schwalbenſchwanzverband zu wölben.

Wenngleich für die Beſtimmung der Richtung der einzelnen Wölbſchichten die Annahme der oben bezeichneten Normalebenen zum Gratbogen G maſsgebend ſein würde, ſo kann man doch, um die Stabilitätsunterſuchung der Gewölbkappen nicht zu verwickelt zu geſtalten, mit für die Praxis hinreichender Genauigkeit annehmen, daſs die einzelnen dünnen Wölbſtreifen durch ſenkrechte Ebenen begrenzt ſind, welche rechtwinkelig zur lotrechten Richtungsebene ON des Gratbogens ſtehen. Die einzelnen Gewölbſtreifen bilden alsdann wiederum, wie beim Kappengewölbe in Fig. 121 (S. 138), einhüftige Gewölbe, welche ihr Widerlager am Grat und an den Randbogen oder Stirnmauern des Kreuzgewölbes finden. Somit tritt der Fall ein, daſs ſich zwei im allgemeinen verſchieden geſtaltete und belaſtete Gewölbſtücke gegen ein beſonderes Gewölbe, den Gratbogen, legen, welcher für dieſelben ein gemeinſchaftliches Widerlager abgiebt, während das andere Widerlager an einem beſonderen Baukörper auftritt, mag derſelbe nun geſchloſſen oder unter den Stirn-



Stabilitätsunterſuchung eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Schwalbenſchwanzverband.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwice

bogen des Gewölbes offen gehalten ſein. Für den Grat werden ſich demnach ähnliche Beziehungen geltend machen müſſen, wie bei dem in Art. 79 (S. 154) behandelten Gurtbogen zwiſchen Kappengewölben. Aber auch für den Gewölbſchub, welcher auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern von den einzelnen Wölbſtreifen übertragen wird, werden die Vorausſetzungen, welche beim Kappengewölbe in Fig. 121 (S. 138) zur Sprache gebracht wurden, hier wiederum zu machen ſein. Dies gilt hauptſächlich von der Fortpflanzung des Gewölbſchubes der über der Scheitellinie der Kappen zuſammentretenden, geſchnäbelten Schichten. Hierfür eine Summierung der in der Scheitellinie durch Zerlegen der Schübe zu bildenden wagrechten Kräfte vorzunehmen, erſcheint ebenſo unſtatthaft, wie bei jenem gewöhnlichen Kappengewölbe. Denn ſchlieſslich iſt die Kappe des Kreuzgewölbes auch nur ein gewöhnliches Kappengewölbe. Dächte man ſich die Widerlager, welche durch die Gratbogen als Begrenzung einer ſolchen Kappe gebildet werden, als ſtabile Bogenſtellung äuſserſt lang fortgeführt, ſo gelangt man wiederum zu dem berechtigten Schluſſe, daſs die einfache Summierung jener der Scheitellinie zugewieſenen wagrechten Kräfte einen Schub für den Randbogen von äuſserſt bedenklicher Gröſse liefern müſste, was in Rückſicht auf das in Art. 62 (S. 137) Geſagte als unzuläſſig angeſehen werden darf. Aber auch ſchon bei Kreuzgewölben von üblichen und durchaus nicht auſsergewöhnlichen Weiten würde durch die erwähnte Summierung jener Preſſungen in der Scheitellinie eine Beanſpruchung der Randbogen in ihrer höchſten Stelle wachgerufen, welche für die Durchbildung derſelben als ſelbſtändige oder offene, nicht etwa noch übermäſsig durch Uebermauerung belaſtete Stirn- oder Schildbogen (Gurtbogen) ſo nachteilig würde, daſs die Einwölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanzverband beim Kreuzgewölbe ohne weiteres als vollſtändig verwerflich hingeſtellt werden müſste. Der Erfahrung nach iſt jedoch die geſchilderte Beanſpruchung der als Gurtbogen durchgeführten Randbogen bei dieſem Wölbverbande gar nicht ſo gewaltig, daſs ihre Breite im Vergleich mit den übrigen Gewölbteilen unverhältnismäſsig groſs genommen werden müſste. Infolge hiervon ſind die mehrfach erwähnten, zu Fig. 121 (S. 138) gegebenen Erörterungen auch hier bei der Stabilitätsunterſuchung des Kreuzgewölbes am Platze.

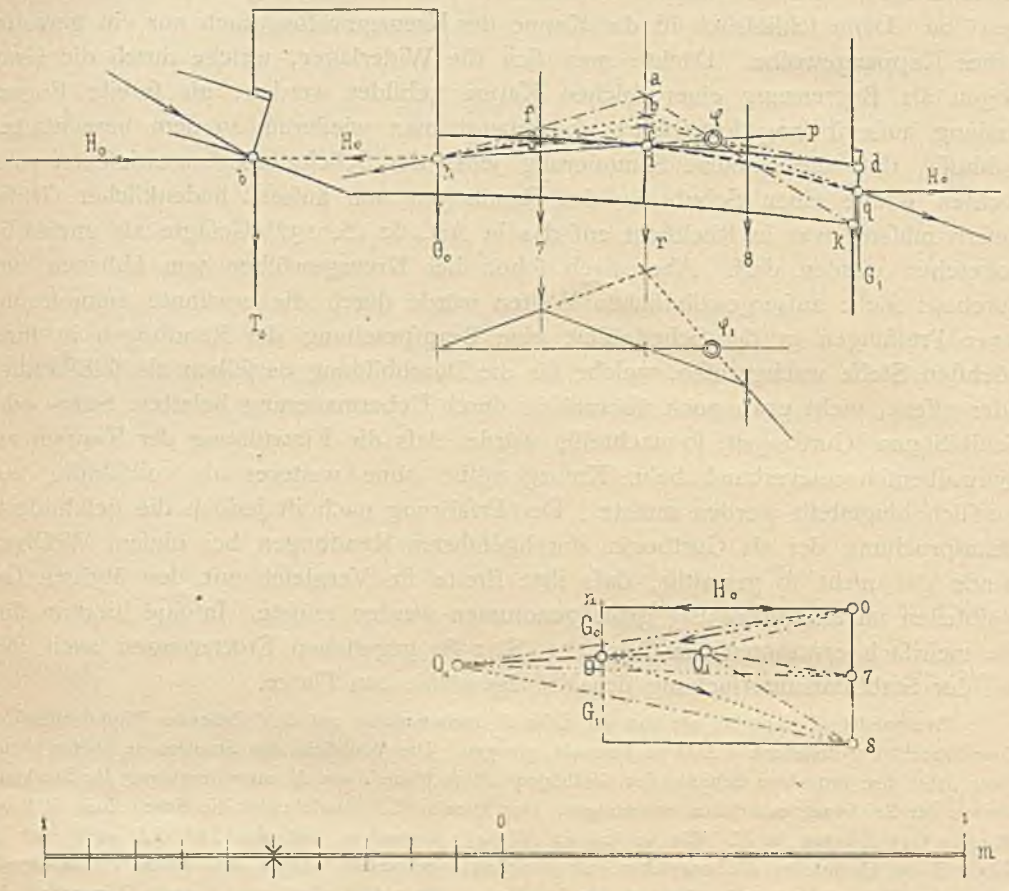
Demgemäſs iſt zunächſt ein von der Ecke D rechtwinkelig auf ON ſtehender Wölbſtreifen mit einer lotrechten Mittelebene CED in Betracht gezogen. Die Wölblinie des Streifens in dieſer Mittelebene nebſt dem lotrechten Schnitte des Gratbogens iſt im Plane I und II unter Beachtung der Stechung, wie aus der Zeichnung zu erſehen, ausgetragen. Der Streifen ED überſchreitet die Scheitellinie MN der ſchmalen Gewölbkappe in U. Wie in Art. 62 (S. 143) angegeben, ſoll der Teil UD auch hier als Nebenteil des Hauptteiles EU angeſehen und wiederum angenommen werden, daſs dieſem Nebenteile die Aufgabe zu Teil wird, den Gewölbſchub des Streifens in ſeiner Geſamtheit von E nach D innerhalb der Gewölbkappe zu übertragen. (Vergl. den Plan II in Fig. 121, S. 138.)

Die Stärke des Gewölbſtreifens iſt gleich $0{,}12^{\,m}$. Die Breite desſelben könnte beliebig gewählt werden. Da jedoch ſpäter zur Beſtimmung der Gewölbdicke ein Gewölbſchub für die Tiefe des Streifens gleich $1^{\,m}$ in Frage kommt, ſo ſoll, da in Wirklichkeit eine Zone ED nur eine Backſteindicke gleich $0{,}085^{\,m}$ beſitzt, zunächſt für die Tiefe gleich $1^{\,m}$ die ſtatiſche Unterſuchung angeſtellt und danach die Gröſse der auf die Widerlager am Grat-, bezw. am Randbogen kommenden Gewölbſchübe für die Tiefe gleich $0{,}065^{\,m}$ dieſer Zone berechnet werden. Dementſprechend ſind die Flächen-, bezw. Gewichtswerte für I und II ſo beſtimmt, daſs die Baſis $oz = 0{,}40^{\,m}$ gewählt und die Strecke zx in den zugehörigen Gewichtsplänen gleich $1^{\,m}$ beibehalten iſt.

Bei den beiden ſich gemeinſchaftlich gegen den Gratbogen legenden einhüftigen Gewölbſtücken I und II wird das gröſsere Stück I im allgemeinen einen gröſseren Gewölbſchub auf den Gratbogen ausüben als das kleinere Stück II. Letzteres wird alſo die Rolle eines Strebe- oder Abſteifungsbogens für den Gratbogen übernehmen müſſen, um ſchlieſslich einen von ſeinem Gewicht und der ihm vom gröſseren

Stücke *I* zugefügten Preſſung erzeugten Druck auf ſein Widerlager am Randbogen fortzupflanzen. Die zur Prüfung des Gleichgewichtszuſtandes des ganzen Streifenſyſtems erforderliche Unterſuchung wird durch diejenige des Stückes *I* eingeleitet. Eine im Sinne des in Art. 27 (S. 68) Geſagten angeſtellte Vorunterſuchung des einhüftigen Gewölbſtückes *I* giebt eine durch die Punkte *b*, *c* und *d* gehende, hier nicht weiter eingetragene Minimaldrucklinie, welche unterhalb *d* noch eben in der Gewölbfläche verbleibt. Der Gewölbdruck in *b* iſt bei dieſer Drucklinie gleich *a b* des Gewichtsplanes *I*. Die lotrechte Seitenkraft dieſes Druckes iſt gleich T_0 und die wagrechte Seitenkraft desſelben iſt H_0. Die lotrechte Kraft, bezw. das Gewicht T_0 belaſtet in *b* den Gratbogen. Derſelbe tritt alſo mit als Träger dieſer Laſt auf. Die wagrechte Seitenkraft H_0 ſucht den Gratbogen ſeitlich zu verſchieben. Dieſem Verſchieben hat das Ge-

Fig. 198.



wölbſtück *II* nebſt dem Widerlager am Randbogen Widerſtand zu leiſten. In ihrer Richtung fortgeſetzt, trifft ſie die Widerlagsfläche, bezw. Widerlagsfuge des Stückes *II* am Gratbogen im Punkte *h*. Dieſes Stück *II* iſt vermöge ſeiner Geſtaltung, da dasſelbe im allgemeinen nicht aus zwei ſymmetriſchen Hälften mit ſymmetriſcher Belaſtung beſteht, wiederum ein einhüftiges Gewölbe. Für die ſtatiſche Unterſuchung desſelben ſind, auſser ſeiner Form, ſein Gewicht und die wagrechte Seitenkraft H_0 eines in *h* wirkſamen Gewölbſchubes maſsgebend, welcher für den Gleichgewichtszuſtand eine Mittellinie des Druckes hervorrufen muſs, die innerhalb der Gewölbfläche verbleibt.

Um die Lage und Gröſse, bezw. Richtung dieſes in *b* thätigen Schubes zu finden, iſt, dem allgemeinen Wege entſprechend, welcher bei der ſtatiſchen Unterſuchung einhüftiger Gewölbe einzuſchlagen iſt, zunächſt eine Mittellinie des Druckes (Fig. 198) ermittelt, welche durch den Punkt *h*, einen Punkt *i* der Rückenlinie, d. h. einen Bruchfugenpunkt, welcher durch eine Vorunterſuchung feſtgelegt iſt und durch den tiefſten Punkt *k* der Widerlagsfuge am Randbogen geht. Hierbei iſt der durch *h* und *i* geführte Strahl *hp* als Polarachſe mit dem in bekannter Weiſe zu findenden Fixpunkt φ benutzt. Die

äufserſten Seiten ah und ak gehören einem Seilpolygon für die Gewichte 7 und 8 mit der Reſultierenden r an, welches durch die drei Punkte h, i und k geht. Zieht man im Gewichtsplane oO_1 parallel zu ah und $8O_1$ parallel zu ak, ſo wird O_1 Schnittpunkt, ſo daſs man in oO_1 Gröfse und Richtung des Gewölbdruckes in h und in $O_1 8$ Gröfse und Richtung des Gewölbdruckes in k erhält. Die mit Hilfe des Poles O_1 zu konſtruierende Mittellinie des Druckes mit den Punkten h, i und k bliebe zwar innerhalb der Gewölbfläche; die wagrechten Seitenkräfte von oO_1, bezw. $O_1 8$ ſind aber kleiner als die vom Stücke I einwirkende wagrechte Kraft H_0, ſo daſs beim Vorhandenſein der Gewölbdrücke oO_1 und $O_1 8$ im Stücke II das letztere nicht im ſtande ſein würde, dem Gewölbſchube des Stückes I zu widerſtehen. Das Stück II muſs fähig erſcheinen, einen gröfseren Gewölbſchub aufzunehmen. Nimmt man zum Feſtlegen eines gröfseren Gewölbſchubes den höchſten Punkt d der Widerlagsfuge dk des Stückes II unter Beibehaltung der Punkte h und i und der Polarachſe hp zur Ermittelung einer neuen Mittellinie des Druckes an, welche nun durch die Punkte h, i und d gehen ſoll, ſo erhält man in bekannter Weiſe, da bei dieſer Ermittelung der Fixpunkt φ ſeine Lage nicht ändert, die Lage der geſuchten Gewölbſchübe in db und bh. Zieht man jetzt im Gewichtsplane oO_{11} parallel zu bh und $8O_{11}$ parallel zu db, ſo wird O_{11} der Pol für ein durch die Punkte h, i und d für die Gewichte 7 und 8 zu legendes Seilpolygon, und man erhält in oO_{11} die Gröfse, bezw. den Sinn des Gewölbdruckes in h und in $O_{11}8$ den Gewölbdruck in d. Ob die Mittellinie des Druckes für dieſe Gewölbdrücke innerhalb der Gewölbfläche bleibt oder dieſelbe verläſst, iſt hier gleichgültig, weil der Zeichnung nach die wagrechten Seitenkräfte von oO_{11} und $O_{11}8$ ſchon viel gröfser als H_0 erſcheinen. Derart grofse Gewölbſchübe für das Stück II erfordert aber der Gleichgewichtszuſtand des ganzen Syſtems nicht, weil dieſelben nur ſolche Gröfse beſitzen ſollen und auch nur nötig haben, bis ihre wagrechten Seitenkräfte genau der Kraft H_0 entſprechen.

Dieſe noch unbekannten Gewölbſchübe findet man unter Anwendung eines bekannten Satzes der graphiſchen Statik, wonach für die beiden Seilpolygone, welche in hfi und hgi in ihren erſten beiden Seiten hf, fi, bezw. hg, gi durch die feſten Punkte h und i gehen, die Verbindungslinie $O_1 O_{11}$ der Pole O_1 und O_{11} ihrer zugehörigen und gleichen Kräftepolygone, hier die Gewichtsſtrecke $O_1 8$, eine Parallele zu der durch h und i gelegten Polarachſe hp ſein muſs. Zieht man $O_1 O_{11}$, ſo iſt dieſelbe thatſächlich parallel zu hp. Trägt man die wagrechte Linie $on = H_0$ ab, ſo ſchneidet die durch n parallel zu $o8$ geführte Gerade die Linie $O_1 O_{11}$ in O, und dieſer Schnitt liefert den Pol eines dritten Seilpolygons, welches ebenfalls in ſeinen erſten beiden Seiten durch die Punkte h und i gehen muſs, in ſeiner dritten Seite aber auch durch den Fixpunkt φ geht. Hiernach findet man nun ohne weiteres in oO den geſuchten Gewölbſchub in h und in $O8$ den Gewölbſchub, welcher für das Widerlager am Randbogen des Stückes II in Frage kommt.

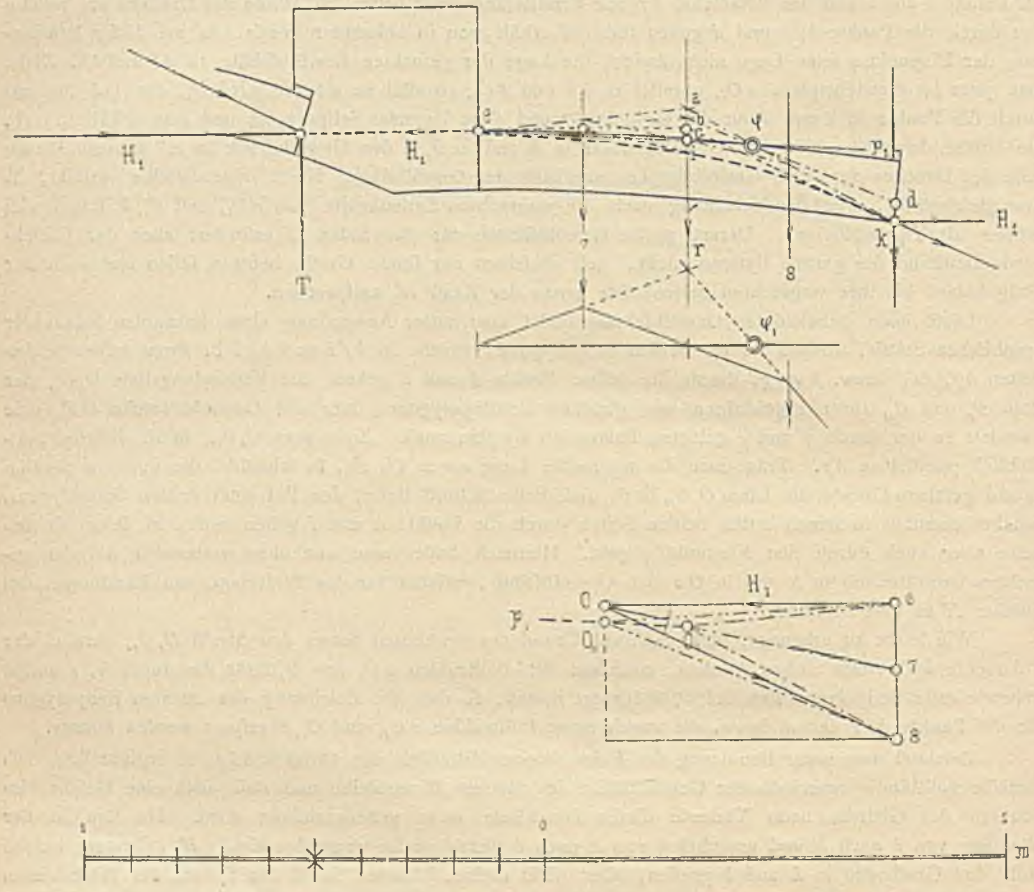
Wie leicht zu erkennen, hätte man auf Grund des erwähnten Satzes den Strahl $O_1 O_{11}$ parallel der Polarachſe hp bereits ziehen können, nachdem die Polſtrahlen oO_1 und $O_1 8$ für das durch h, i und k gehende erſte Seilpolygon den Pol O_1 feſtgelegt hatten, ſo daſs die Zeichnung des zweiten Seilpolygons für die Punkte h, i und d, bezw. die zugehörigen Polſtrahlen oO_{11} und $O_{11}8$ erſpart werden konnte.

Zeichnet man unter Benutzung des Poles O eine Mittellinie des Druckes hiq, ſo ergiebt ſich, daſs dieſelbe vollſtändig innerhalb der Gewölbfläche des Stückes II verbleibt und daſs auch eine Gefahr hinſichtlich des Gleitens beim Verlaufe dieſer Drucklinie nicht gekennzeichnet wird. Da nun in der Richtung von b nach h und umgekehrt von h nach b gleich grofse wagrechte Kräfte H_0 auftreten, welche wohl den Gratbogen in h und b preſſen, aber nicht drehen können, ſo iſt das Syſtem der Wölbſtreifen im Gleichgewicht, vorausgeſetzt, daſs auch der Gratbogen für ſich dem Gleichgewichtszuſtande entſprechend hergeſtellt iſt.

Sollte bei der ſtatiſchen Unterſuchung des gröfseren Gewölbſtückes I, wie zuweilen der Fall, ſich eine Mittellinie des Druckes ergeben haben, die nach der Tafel bei S. 230 mit einem Gewölbſchube in e übereinſtimmt, deſſen wagrechte Seitenkraft die Gröfse H_1 beſitzt und, durch die Punkte e, c und d gehend, in e einen Punkt im Widerlager am Gratbogen enthält, welcher in einer Wagrechten ge liegt, die durch den höchſten Punkt g der Widerlagsfuge des Stückes II im Querſchnitte des Grates geführt werden kann, ſo ſind offenbar g und e, wie auch b und h, Grenzpunkte für die Lage der Angriffspunkte von Gewölbſchüben, deren wagrechte Seitenkräfte von gleicher Gröfse in einer ſolchen wagrechten Linie in einander entgegengeſetzter Richtung wirken und ſomit für ſich eine ſeitliche Ausweichung oder eine Drehung des Gratbogens nicht hervorrufen können. Sind dieſe Grenzpunkte e und g einmal in Betracht zu ziehen, ſo kann nach Fig. 199 die ſtatiſche Unterſuchung des Gewölbſtückes II nach demſelben Verfahren, wie bei Fig. 198 beſchrieben, vorgenommen werden. Hat man auch hierbei zunächſt die neue Polarachſe ep, durch einen angenommenen Bruchfugenpunkt c geführt, ſo ergiebt ſich meiſtens ſchon bei der Zeichnung eines erſten Seilpolygons mit den äufserſten Strahlen ea und ak die Erkenntnis, daſs die mit dieſem Seilpolygon in Abhängigkeit

ſtehende Mittellinie des Druckes eine Bruchfuge anzeigt, welche nicht nach c, ſondern oft und ſo auch hier äuſserſt nahe an den Punkt e fällt, ſo daſs die im vorliegenden Plane ſchon faſt wagrechte Polarachſe ep, und ebenſo der faſt wagrechte äuſserſte Strahl eb eines zweiten Seilpolygons cbd, welchem als Gewölbſchub in e die vorgeſchriebene wagrechte Seitenkraft H_1 zukommt, ſich überhaupt der wagrechten Richtung ſehr ſtark nähern. Alsdann kann man mit hinreichender Genauigkeit die Mittellinie des Druckes unter Benutzung eines in e ausſchlieſslich wagrecht liegenden Gewölbſchubes $H_1 = oO$ zeichnen und prüfen, ob dieſelbe dem geforderten Gleichgewichtszuſtande entſpricht. In Fig. 199 erfüllt dieſelbe als ek

Fig. 199.



dieſe Forderung. Wäre ſolches nicht der Fall, ſo muſs die Geſtaltung der Wölbſtreifen durch Abänderung der Stechungshöhe, bezw. der Stärke der Wölbſtreifen oder der Belaſtung derſelben einer neuen Anordnung unterzogen werden.

Genau ſo, wie die auf der Tafel bei S. 230 in der Richtung CD genommenen Wölbſtreifen I und II unterſucht ſind, werden auch alle übrigen Gewölbſtreifen auf ihre Stabilität geprüft. In der Zeichnung iſt noch der Streifen III näher berückſichtigt und das Erforderliche ſofort zu erkennen. Für den Streifen IV treten ähnliche Beziehungen auf, wie ſolche für den Streifen II ſich geltend machten.

Für die Berechnung der Gewölbſtärke wird ſelbſtredend derjenige Elementarſtreifen benutzt, deſſen Gewölbſchub die gröſste wagrechte Seitenkraft liefert. Auf der Tafel iſt der Streifen I als ſolcher anzuſehen. Für denſelben iſt $H_0 = 0{,}53^{\,m}$ gefunden. Da die Baſis $oz = 0{,}40^{\,m}$ gewählt, die Tiefe des Gewölbſtreifens für die ſtatiſche Unterſuchung gleich $1^{\,m}$ angenommen war, ſo ergiebt ſich der für die Gewölbſtärke maſsgebende Wert zu

$$H_0 = 0{,}53 \cdot 0{,}4 = 0{,}212 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 62 iſt für $H = 0{,}2$ eine Gewölbſtärke von ½ Stein gleich $0{,}12^{\,cm}$ erforderlich.

Diefe Stärke kann nun auch für $H_0 = 0{,}212$ hier beibehalten werden. Der Normaldruck für die Widerlagsfuge am Randbogen bei D ergiebt fich, da N_0 nach dem Gewichtsplane I gleich 1 m ift, als

$$N_0 = 1 \cdot 0{,}1 = 0{,}1 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Für diefen Wert reicht alfo nach jener Tabelle die Gewölbftärke von $^1/_2$ Stein ebenfalls aus.

Um die Kräfte zu beftimmen, welche bei den auf Schwalbenfchwanzverband eingewölbten Kreuzgewölben auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern kommen, hat man wie bei den gewöhnlichen Kappengewölben nach den Angaben zu Fig. 121 (S. 138) zu verfahren. Hier wäre z. B. die wagrechte Seitenkraft der bei M zufammentretenden Wölbfchichten III und III_1 nach dem Gewichtsplane III und IV auf der Tafel für die Tiefe gleich 1 m diefer Streifen, da II zu $0{,}35$ m gemeffen ift,

$$H = 0{,}35 \cdot 0{,}4 \cdot 1 = 0{,}14 \text{ cbm}.$$

Da 1 cbm Backfteinwölbung 1600 kg wiegt, fo ift $H = 324$ kg. Der Elementarftreifen III ift aber nur $0{,}065$ m (Backfteindicke) breit; mithin kommt für denfelben ein wagrechter Schub von $324 \cdot 0{,}065 = \backsim 21$ kg in Rechnung. Derfelbe Schub wird vom Streifen III_1 nach M gebracht. Beide fetzen fich, wie in der Zeichnung angegeben, zu einer wagrechten Mittelkraft zufammen, deren Gröfse im vorliegenden Falle, da der Winkel $OML = 30$ Grad ift, ebenfalls 21 kg betragen würde. Beftimmt man, wie fchon früher in Art. 62 (S. 137) in ausreichender Weife erörtert, die auf die Randbogen kommenden, aus den Elementarftreifen refultierenden Kräfte, ermittelt die Höhenlagen ihrer Angriffspunkte über der Kämpferebene mit Hilfe der feftgelegten Stirnlinien des Kreuzgewölbes, fo kann man fich leicht ein Bild von der Beanfpruchung der Randbogen derartiger, auf Schwalbenfchwanzverband ausgeführter Gewölbe verfchaffen, foweit folches für die Praxis erforderlich ift. Die Beanfpruchungen der Gratbogen durch die lotrechten und wagrechten Seitenkräfte der Gewölbfchübe der einzelnen Streifen werden unmittelbar bei den ftatifchen Unterfuchungen, wie aus den Gewichtsplänen auf der Tafel bei S. 230 zu erkennen ift, mit klargelegt.

β) Stärke der Gratbogen.

134. Kreuzgewölbe mit Kufverband.

Die Stabilitätsunterfuchung der Gratbogen der cylindrifchen Kreuzgewölbe, mögen diefelben auf Kuf- oder auf Schwalbenfchwanzverband zu wölben fein, läfst fich immer unter Benutzung der Grundlagen ausführen, welche für die ftatifche Unterfuchung der Tonnengewölbe mafsgebend waren.

Sind die von den Kappen auf die Gratbogen überführten Gewölbdrücke bekannt geworden, ift das Gewicht der Gratbogen, einfchliefslich einer etwa vorhandenen Belaftung durch Uebermauerung oder durch Einzellaften u. f. w., beftimmt, fo läfst fich, diefen äufseren, die Gratbogen angreifenden Kräften entfprechend, ein den Gleichgewichtszuftand bewirkendes Syftem von inneren wachgerufenen Kräften ermitteln und danach die Stärke, bezw. der Querfchnitt der Gratbogen feftftellen.

Bei den auf Kuf gewölbten Kappen werden die auf die Gratbogen ausgeübten Gewölbdrücke nach gehöriger Vereinigung und dann nach entfprechender Zerlegung bei regelrechter Geftaltung des Gewölbes im allgemeinen lotrechte und wagrechte Kräfte liefern, welche, wie in den in Art. 129 u. 130 angeführten Beifpielen 1 u. 2 gezeigt ift, in der lotrechten Richtungs- oder Kräfteebene des zugehörigen Gratbogens liegen.

Bei den auf Schwalbenfchwanzverband ausgeführten Kreuzgewölben find die wagrechten Seitenkräfte jener Gewölbdrücke, wie aus dem in Art. 133 gegebenen Beifpiele 3 zu entnehmen ift, bei einer fachgemäfsen Anordnung der cylindrifchen Laibungsflächen für fich im Gleichgewicht, fo dafs für den Gratbogen alsdann nur die lotrechten Seitenkräfte feiner Gewölbdrücke in Betracht zu ziehen find.

Für das in Art. 129 (S. 223) bezeichnete Kreuzgewölbe mit Kufverband ift in der umftehenden Tafel die Stabilitätsunterfuchung für den aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,1 t für 1 cbm herzuftellenden Gratbogen G auf graphifchem Wege vorgenommen. Derfelbe bildet die Hälfte eines fymmetrifch geftalteten und

ſymmetriſch durch lotrechte und wagrechte Kräfte beanſpruchten Diagonalbogens, tritt alſo als die Hälfte eines einfachen, ſchmalen Tonnengewölbes auf, deſſen Gewölbſchub in einer angenommenen Scheitelfuge eine wagrechte Lage in der Kräfteebene beſitzt.

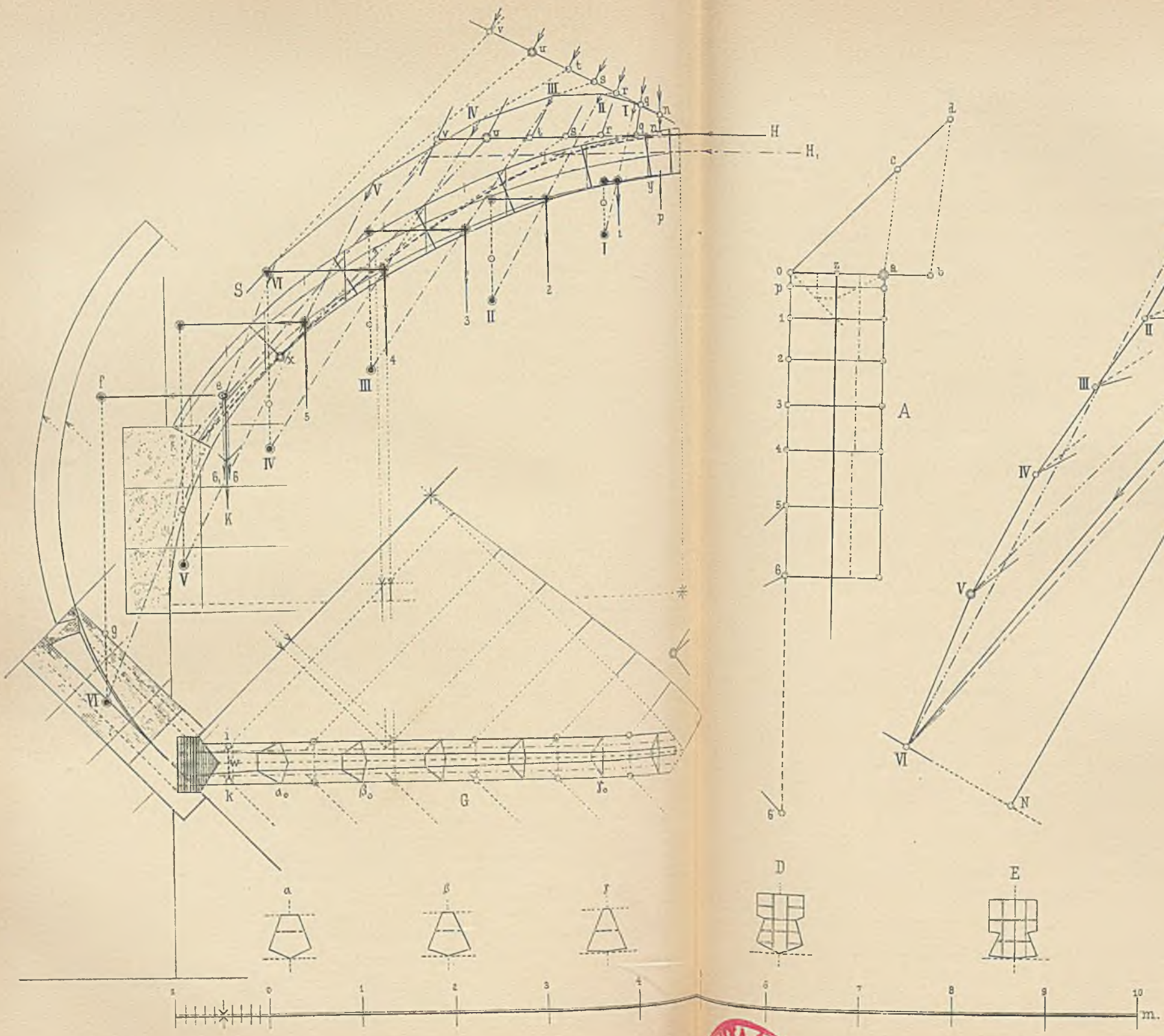
Zunächſt iſt nach Ausmittelung der inneren Wölblinie des Gratbogens mit Hilfe des grundlegenden Halbkreiſes und der angenommenen Stechungshöhe, ſowie nach Beſtimmung der Normalſchnitte α, β, γ, deren wagrechte Projektionen α_0, β_0, γ_0 ſind, das Gewicht der einzelnen Teilſtücke des Grates im Plane *A* graphiſch dargeſtellt.

Für dieſe Darſtellung ſind die Teilſtreifen im Anſchluſſe an die Zerlegung der am Grat zuſammentreffenden beiden Gewölbkappen in ihre Elementarſtreifen entſprechend begrenzt genommen. Dieſe Einteilung in Streifen iſt aus dem Grund- und Aufriſs des Gratbogens zu erſehen. Sie beſtimmt im Abſtande ihrer Teillinien die Breite der Gratſtücke, wonach die mittlere Höhe derſelben in bekannter Weiſe aus dem Aufriſs zu entnehmen iſt. Die Gratbogenſtücke ſind ſeitlich durch die Widerlagsflächen der Elementarſtreifen der Kappen begrenzt. Die geraden Erzeugenden dieſer Flächen gehören den verſchiedenen Normalebenen des Gratbogens an; ſie beſitzen verſchiedene Neigungen zur Wagrechten, und infolge hiervon iſt die mittlere Dicke der Gratbogenſtücke gleichfalls voneinander abweichend. Die Normalſchnitte α, β, γ u. ſ. f. dienen zur Ausmeſſung der einzelnen mittleren Dicken. Da endlich das Eigengewicht des Grates 2,4, das Eigengewicht des Wölbmaterials aber 1,6 beträgt, ſo iſt auch das Gewicht der Teilſtücke des Grates auf das Eigengewicht des Wölbmaterials zurückzuführen, damit ohne weiteres, neben Gleichartigkeit in der Behandlung der zu verwertenden Kräfte, die ſchon auf der Tafel bei S. 223 erhaltenen Gewölbdrücke der Elementarſtreifen, alſo auch die für den Grat beſtimmten reſultierenden wagrechten und lotrechten Seitenkräfte derſelben in Benutzung zu nehmen ſind. Nach den Erörterungen zu Fig. 197 (S. 225) iſt im Plane *A* die Strecke $oc = 1{,}60$ m, die Strecke $od = 2{,}40$ m aufgetragen und ſonſt ganz nach dem in Art. 130 (S. 223) gegebenen, unter Beibehaltung der Baſis $oz = 0{,}50$ m, die Ermittelung der Gewichtsſtrecke $o6$ vorgenommen. Vereinigt man nun zunächſt die reſultierenden lotrechten Seitenkräfte der Kappendrücke mit dem Gewichte der zugehörigen Gratſtücke, ſo erhält man die Mittelkraft aller am betreffenden Gratſtücke lotrecht wirkenden Kräfte. So wirkt z. B. das Gewicht 6_1 gleich der Strecke 56, in der Mittellinie des letzten Teilſtückes; die Gewölbdrücke der zugehörigen Kappenſtreifen greifen in *i*, bezw. *k* an; das reſultierende Gewicht 6_1 gleich der Strecke 66_1, aus beiden Drücken hat ſeinen Angriffspunkt in der Mitte *w* von *ik* in der Kräfteebene des Grates. Bei dieſem Stücke iſt, da *ik* nicht mit der mittleren lotrechten Teillinie desſelben zuſammenfällt, die Mittelkraft K_1 gleich der Strecke 56_1, ihrer Lage nach noch näher beſtimmt, was bei den übrigen Teilſtücken hier nicht nötig wird.

Setzt man dieſe lotrechten Mittelkräfte eines jeden Stückes mit den reſultierenden wagrechten Seitenkräften der Gewölbdrücke, welche aus den zugehörigen Elementarſtreifen der Kappen entſpringen, zuſammen, was leicht möglich iſt, da auch dieſe wagrechten Kräfte in der Kräfteebene des Grates liegen, aufſerdem bei der ſtatiſchen Unterſuchung jener Elementarſtreifen vollſtändig nach Lage, Gröſse und Sinn bekannt geworden ſind (vergl. die Tafel bei S. 223), ſo erhält man nunmehr für jedes Gratſtück die für die Stabilitätsunterſuchung in Rechnung zu ſtellende Hauptreſultierende. So iſt z. B. *ef* die reſultierende wagrechte Kraft der Gewölbſtreifen für das letzte Teilſtück des Grates. Da die lotrechte Reſultierende $K = 56_1 = fg + gVI$ gefunden iſt, ſo giebt das Kräftedreieck *efVI* in *eVI* die Hauptreſultierende für dieſes Stück. In gleicher Weiſe iſt für die übrigen Teilſtücke, wie in der Zeichnung deutlich hervorgehoben iſt, jede zugehörige Hauptreſultierende feſtgelegt.

Beim erſten höchſten Teilſtücke des Gratbogens iſt im vorliegenden Falle keine wagrechte und keine lotrechte Kraft von den Elementarſtreifen vorhanden, ſo daſs nur eine lotrechte Kraft *p* gleich der Strecke *op* als Gewicht dieſes Gratſtückes im Schwerpunkte desſelben wirkend auftritt.

Trägt man die gefundenen Hauptreſultierenden *op*, *pI*, *III* u. ſ. f. bis *VI* zu einem Kräftezuge *oVI*, wie hier im Plane *B*, jedoch unter Benutzung eines kleineren, ſonſt beliebig gewählten Maſsſtabes geſchehen, zuſammen, zeichnet man unter Annahme eines Poles *O* das Seilpolygon *S* für jene Kräfte, ſo läſst ſich genau ſo, wie für lotrecht gerichtete Kräfte, eine Mittellinie des Druckes für den Gratbogen darſtellen. In der Zeichnung iſt der höchſte Punkt der Fuge *y* als Angriffspunkt eines etwa möglich kleinſten wagrechten Gewölbſchubes angenommen. Die mit dem gefundenen Horizontalſchube *H*, gleich der Strecke *lo*, im Plane *B* gezeichnete Mittellinie des Druckes zeigt im Punkte *x* eine Bruchfuge an, bleibt aber in ihrem Verlaufe ganz innerhalb der Kräftefläche des Gratbogens. Da auch keine Gefahr gegen Gleiten ſich erkennbar macht, ſo iſt der gewählte Gratbogen ſtandfähig. Wollte man eine Mittel-



Stabilitätsunterſuchung des Gratbogens eines cylindriſchen Kreuzgewölbes mit Kufverband.

linie des Druckes eintragen, welche thunlichſt durch die Mitten der Teilfugen des Grates geht, ſo würde dieſer ein Horizontalſchub H, zukommen.

Die für die Beſtimmung der einzelnen Drucklinien eintretenden, durch Zeichnung zu ſchaffenden Gebilde ſind aus der Tafel zu erſehen.

Nach Ausmeſſung der Kraftſtrecke lo und der für den Normaldruck der Widerlagsfuge entſtehenden Kraftſtrecke lN des Planes B läßt ſich bei einer gewählten Breite des Gratbogens ſeine Stärke (Höhe) berechnen.

Wäre der Gratbogen aus Backſtein ausgeführt, ſo hätte man, da $lo = 3{,}40$ m und die Baſis nach wie vor $0{,}50$ m beträgt, bei einer Breite von 2 Stein gleich $0{,}51$ m den Gewölbſchub $\mathfrak{H}_0$, bezogen auf eine Tiefe (Breite) des Gratbogens von der Längeneinheit (1 m), ſofort als

$$\mathfrak{H}_0 = 3{,}40 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}51} = 3{,}33 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Dieſem Werte entſpricht nach der Tabelle auf S. 62 eine Gewölbſtärke von 2 Stein in genügender Weiſe, ſo daſs die Anordnung des Grates nach D und E in der Zeichnung erfolgen könnte. Der Normaldruck $\mathfrak{N}_0$ ergiebt ſich, da $lN = 14$ m gefunden iſt, als

$$\mathfrak{N}_0 = 14 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}51} = 13{,}71 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

In jener Tabelle überſchreitet dieſer Wert den bei einer Stärke von 2 Stein aufgeführten Normaldruck N von $11{,}07$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met., ſo daſs bei einem Gratbogen aus Backſtein bei dem hier unterſuchten Gewölbe mit quadratiſchem Grundriſs und $8{,}00$ m Spannweite eine Verſtärkung um $\frac{1}{2}$ Steinlänge vom Scheitel nach dem Widerlager angezeigt iſt.

Der Gratbogen ſoll aber aus Quadermaterial vom Eigengewicht $2{,}4$ beſtehen. Die durchſchnittliche mittlere Breite oder die Dicke desſelben, welche jetzt in Rechnung kommt, iſt jedoch nach den Normalſchnitten α, β, γ nur gleich $0{,}30$ m. Für die Berechnung der Stärke des Gratbogens ſind die Linienwerte $lo = 3{,}40$ m und $lN = 14$ m des Planes B maſsgebend. Dieſelben ſind jedoch unter Zurückführung des Eigengewichtes $2{,}4$ des Quadermaterials auf $1{,}6$ des Wölbmaterials erhalten. Aus dieſem Grunde iſt die Ermittelung des wagrechten Druckes $\mathfrak{H}$, im höchſten Punkte der Scheitelfuge y und des Normaldruckes $\mathfrak{N}$, in der Widerlagsfuge über dem Anfänger des Grates unter Berückſichtigung des Verhältniſſes von $1{,}6 : 2{,}4$ vorzunehmen. Danach erhält man, da die Baſis $oz = 0{,}50$ m unverändert bleibt, jetzt

$$\mathfrak{H}_1 = 3{,}40 \cdot \frac{1{,}60}{2{,}40} \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}30} = 3{,}77 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N}_1 = 14 \cdot \frac{1{,}60}{2{,}40} \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}30} = 15{,}55 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Setzt man in Gleichung 45 (S. 45) ſtatt H den Wert $\mathfrak{H}_1$, ſo ergiebt ſich die geſuchte Stärke des aus Quadern anzufertigenden Gratbogens als

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - 3{,}77)\,3{,}77} = 0{,}43 \text{ m},$$

und führt man in Gleichung 51 (S. 46) für N die Gröſse $\mathfrak{N}_1$ ein, ſo erhält man

$$d_1 = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 15{,}55)\,15{,}55} = 0{,}50 \text{ m}.$$

Auch hiernach iſt die Vornahme einer allmählichen Verſtärkung des Gratbogens vom Scheitel nach dem Widerlager zweckmäſsig.

In der Zeichnung war die Stärke des Gratbogens ſchätzungsweiſe zu $0{,}50$ m angenommen. Die Rechnung erfordert keine Vermehrung derſelben, ſo daſs die ſtatiſche Unterſuchung des Grates abgeſchloſſen werden kann.

135. Kreuzgewölbe mit Schwalbenſchwanzverband.

In gleicher Weiſe würde auch die Beſtimmung der Gratſtärke für ein Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundriſs und Einwölbung auf Kuf getroffen werden können. Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanzverband bleiben die Grundlagen für die ſtatiſche Unterſuchung der Gratbogen ebenfalls beſtehen. Nur iſt hierbei zu beachten, daſs, wie früher bereits bemerkt, von den einzelnen Gewölbſtreifen der Kappen, alſo hier der an einem und demſelben Grat liegenden

Kappenhälften, im allgemeinen auf den Gratbogen nur lotrecht wirkende Belaſtungen, wie z. B. T_0 und G_0 auf der Tafel bei S. 230, übertragen werden, welche alsdann mit dem Gewichte G des zugehörigen Gratſtückes unmittelbar zu einer lotrecht wirkenden Reſultierenden W zuſammenzuſetzen ſind. Durch eine leicht zu treffende Geſtaltung der Querſchnittsfläche des Gratbogens und der damit verbundenen Schwerpunktslage desſelben iſt dahin zu ſtreben, daſs die ſämtlichen derartigen Reſultierenden für alle Teilſtücke in eine und dieſelbe lotrechte Ebene innerhalb des Grates fallen, welche alsdann die Kräfteebene des Gratbogens bildet.

136. Kreuzgewölbe ohne Gratbogen.

Sind bei Kreuzgewölben von geringer Weite beſondere Gratbogen nicht vorhanden, ſo iſt offenbar auch keine Stabilitätsunterſuchung für einen Grat vorzunehmen. Wohl aber machen ſich in der Ebene des Zuſammenſchnittes der Kappen, alſo in der Ebene der Gratlinie, Kräfte der Elementarſtreifen der Kappen in ähnlicher Weiſe geltend, wie bei den Kreuzgewölben mit beſonderen Gratbogen. Dieſe Kräfte ſind bei der Beſtimmung der Widerlagsſtärke der Gewölbe ohne ſelbſtändigen Grat ebenſo in Betracht zu ziehen, wie bei den mit Gratbogen verſehenen Kreuzgewölben.

γ) Stärke der Widerlager.

137. Kreuzgewölbe mit Gratbogen.

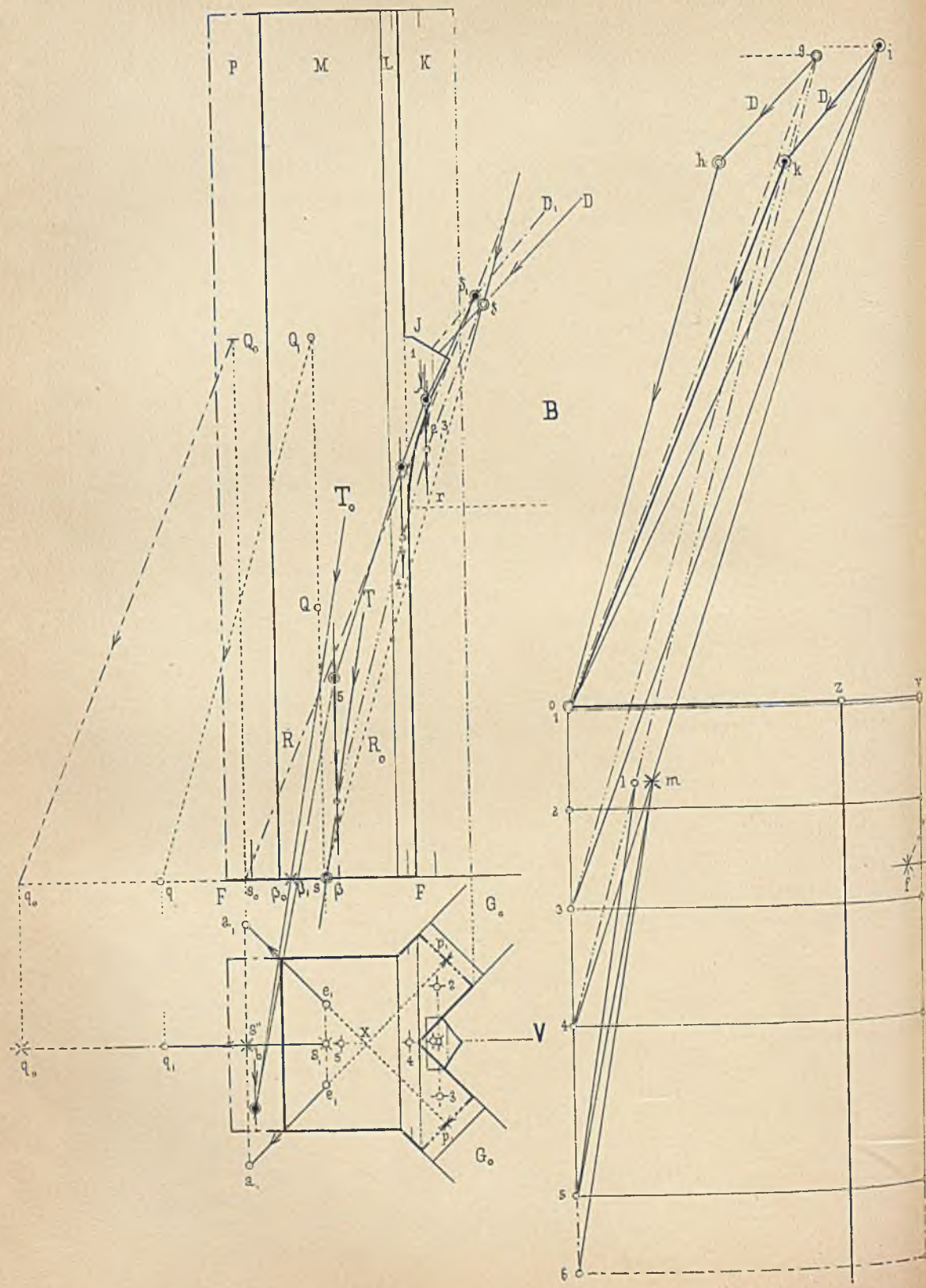
Bei den offenen Kreuzgewölben ſind die Stirnmauern durch Oeffnungen freigehalten, welche unterhalb des Randbogens der Kappen mit Gurtbogen abgeſchloſſen werden, deren Wölblinien den Stirnlinien des Gewölbes meiſtens entſprechend gekrümmt gewählt werden. Die Gurtbogen finden mit den Kreuzgewölben ſelbſt ein gemeinſchaftliches Widerlager an den Eckpfeilern des überwölbten Raumes. Dieſe Eckpfeiler ſind die Stützkörper des Wölbſyſtems. Die Stärke derſelben hängt bei den offenen Kreuzgewölben alſo gleichzeitig von den Gewölbdrücken der ihnen zugewieſenen Gurtbogen und von den in den Gratbogen der Kreuzgewölbe wirkenden Gewölbſchüben ab. Die Vereinigung dieſer beiden Gruppen von Kräften mit dem Gewichte der Widerlagspfeiler bildet den Ausgangspunkt für die ſtatiſche Unterſuchung und Beſtimmung der Stärke dieſer Stützkörper. Die maſsgebenden Grundlagen für ſolche Unterſuchungen ſind bereits in Art. 24 (S. 57) beim Tonnengewölbe gegeben. Die Anwendung derſelben bei den Widerlagern der offenen cylindriſchen Kreuzgewölbe ſoll auf der nebenſtehenden Tafel gezeigt werden. Das hier gewählte Kreuzgewölbe entſpricht in ſeinen Abmeſſungen und Anordnungen der in Art. 129 (S. 223) als Beiſpiel 1 gegebenen Gewölbanlage. Die halbkreisförmigen Gurtbogen G_0 ſamt ihrer Aufmauerung ſollen aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 beſtehen, wie ſolches auch für die Gratbogen jenes Gewölbes vorgeſehen war.

Zuerſt iſt im Plane *A* der nebenſtehenden Tafel, unter Einführung einer beliebig gewählten Baſis $oz = 3^{\,m}$, der feſten Länge $zv = 1^{\,m}$ und der Tiefe $vw = 0{,}80^{\,m}$ der beiden gleichen und gleich belaſteten Gurtbogen G_0 von je $6^{\,m}$ Spannweite, die Gewichtsſtrecke oQ einer Hälfte dieſer ſymmetriſch geformten und belaſteten Tonnengewölbe bis zu der durch p geführten Lotrechten py ermittelt. Sodann iſt in bekannter Weiſe der Horizontalſchub H_0 im höchſten Punkte der Scheitelfuge, bezw. der Gewölbſchub S, welcher auf die Widerlagsfuge am Anfänger des Gurtbogens kommt, beſtimmt. Berechnet man die Stärke des Gurtbogens, ſo ergiebt ſich, da $ao = H_0 = 1{,}25^{\,m}$ miſst, der in Gleichung 45 (S. 45) für H einzuſetzende Wert

$$H_0 = 1{,}25 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0{,}80} = \infty\, 4{,}7 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Hiernach wird

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - 4{,}7)\,4{,}7} = \infty\, 0{,}48^{\,m}.$$



Stabilitätsunterſuchung des Widerlagers für ein cylindriſches Kreuzgewölbe mit Gratbogen.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA Gliwice

Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge ist $a\alpha = 3{,}20$ m bestimmend. Man erhält

$$N_0 = 3{,}20 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0{,}80} = 12 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Für N in Gleichung 51 (S. 46) diese Zahl 12 eingesetzt, giebt

$$d_1 = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 12)\,12} = 0{,}44 \text{ m}.$$

Der Gurtbogen ist also 0,48 m stark zu nehmen. In der Zeichnung war auf Grund einer nach Art. 19 (S. 50) geführten Voruntersuchung diese Stärke angenommen.

Der Gewölbschub S, abhängig von dem hier möglichen kleinsten Horizontalschube H_0, nimmt einen kleinsten noch zulässigen Grenzwert an. Gehörig erweitert schneidet die Richtung von S die Grundebene pf des Stützkörpers in e im Abstande pe von der Lotrechten py. Für die Bestimmung der Widerlagsstärke ist nach Art. 23 (S. 59) aber dieser Gewölbschub besser abhängig zu machen von einem Horizontalschub H_1, welcher im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und mit der Belastung des Gurtbogens eine Resultierende S_1 erzeugt, welche durch den Mittelpunkt der Kämpferfuge geht. Auch dieser Gewölbschub $S_1 = cQ$ für den Horizontalschub $H_1 = co$ ist auf der nebenstehenden Tafel bestimmt. Derselbe trifft die Grundebene pf des Widerlagskörpers im Punkte f.

Jeder der beiden Gurtbogen G_0 liefert also als Beanspruchung des Eckpfeilers des Kreuzgewölbes diese Gewölbschübe S, bezw. S_1. Werden zunächst die beiden Gewölbschübe S betrachtet, so liegen ihre Angriffspunkte in der Grundebene des Eckpfeilers nach dem Plane B der nebenstehenden Tafel je für sich in den Punkten e, ihrer Kräfteebenen, und p,e, ist gleich pe des Planes A. Die lotrecht durch e, gerichtete Seitenkraft des Schubes S ist gleich dem Gewichte oQ und die wagrecht in e, nach e,a, gerichtete Seitenkraft von S ist gleich $H_0 = ao$. Setzt man die beiden lotrechten und gleich grofsen Seitenkräfte oQ der Schübe S beider Gurtbogen zu einer Mittelkraft gleich $2oQ$ zusammen, so liegt ihr Angriffspunkt im Halbierungspunkte s, der Geraden e,e, und weiter in der Richtung der lotrechten Kräfteebene V des Gratbogens des Kreuzgewölbes. Setzt man ferner die beiden wagrechten Seitenkräfte $H_0 = ao$ in x in der Grundebene des Eckpfeilers zu einer Mittelkraft zusammen, so liegt dieselbe gleichfalls in der Ebene V. Die Gröfse dieser Mittelkraft findet man einfach als bo des Kräftedreieckes bao, worin $ba = ao = H_0$ ist. Verlegt man den Angriffspunkt x dieser Mittelkraft in ihrer Richtung nach s, und setzt man zum Schlufs $s,q, = sq = bo$ mit $sQ, = 2oQ$ zu einer Mittelkraft Q,q im Plane B zusammen, so erhält man in dieser Mittelkraft, welche wiederum in der Kräfteebene V des Gratbogens liegt, der Gröfse und dem Sinne nach den Druck, welcher von den beiden Gurtbogen G_0 auf den Eckpfeiler des Kreuzgewölbes kommt. Dieser Druck ist in seiner Abhängigkeit vom kleinsten möglichen Horizontalschub H_0 ebenfalls am kleinsten.

Genau so ist unter Benutzung des gröfseren Horizontalschubes $co = H_1$ der gröfsere resultierende Druck $Q_0 q_0$ zu bestimmen. Für denselben ist $s_0 q_0 = do$ des Planes A und $s_0 Q_0$ wiederum gleich $2oQ$. Da der Angriffspunkt des Druckes Q,q in s, der Grundfläche des Eckpfeilers liegt, die lotrechte Projektion dieses Punktes in s erhalten wird, so giebt der durch s parallel zu Q,q gezogene Strahl R_0 die wirkliche Lage jenes Druckes in der Kräfteebene V.

Für den gröfseren Druck $Q_0 q_0$ ist der Angriffspunkt s_0 in der Grundfläche der Mittelpunkt der geraden Linie a,a_0, wofür $p,a, = pf$ des Planes A sein mufs. Die lotrechte Projektion s_0 des Angriffspunktes ist ein fester Punkt für die zu $Q_0 q_0$ parallel gezogene Gerade R_0, welche gleichfalls die wirkliche Lage des gröfseren Druckes $Q_0 q_0$ in der Kräfteebene V bestimmt. In dieser Ebene herrscht nun weiter der von den Gewölbkappen auf ihren zugehörigen Grat übertragene gesamte Druck, welcher schliefslich vom Gratbogen auf den Eckpfeiler weiter geführt wird.

Nach den zur Tafel gehörigen Ermittelungen kann zunächst wieder der gefundene kleinere vom Gratbogen auftretende Druck D und sodann der gröfsere am Gratbogen bestimmte Druck D_1 in Betracht gezogen werden.

Nach dem Plane B auf der Tafel bei S. 236 ist D mit Hilfe der Kraftstrecke lVI, dagegen D_1 unter Verwertung der Strecke mVI festzulegen. In jener Abbildung ist $lVI = 14{,}40$ m und die Basis $oz = 0{,}50$ m, mithin die Kraftstrecke mit einer Mafszahl $14{,}40 \cdot 0{,}50 = 7{,}20$ behaftet. Dort waren die Gewichte auf Wölbmaterial vom Eigengewichte 1,6 zurückgeführt.

Bei der jetzt anzustellenden Untersuchung ist jedoch Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 zu berücksichtigen. Hiernach ist also die Mafszahl 7,20 durch Multiplikation mit $\frac{1{,}6}{2{,}4}$ als $7{,}20 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} = 4{,}80$ für Quadermaterial zu erhalten. Da endlich in der nebenstehenden Tafel die Basis zu 3 m festgelegt war, so ergiebt sich die im Kräfteplane B einzutragende Kraftstrecke D zu $\frac{4{,}80}{3} = 1{,}60$ m gleich der Strecke gh.

Für die gröfsere Kraftftrecke D_1, gleich der Strecke ik, findet man die zugehörige Mafszahl, da mVI im Plane B der Tafel bei S. 236: $14{,}7^{\,m}$ mifst, nunmehr durch den Ausdruck

$$D_1 = 14{,}70 \cdot \frac{0{,}50}{3} \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} = 1{,}63^{\,m}.$$

Unter Benutzung der Neigungswinkel $olVI$, bezw. $omVI$ zur Wagrechten und der Lage der Angriffspunkte der Drücke lVI, bezw. mVI in der Widerlagsfuge am Anfänger des Gratbogens auf der genannten Tafel find die Drücke D und D_1 für fich eingetragen. Aus der Zufammenfetzung von $D = gh$ und $K_0 = ho$ in $\overline{\delta}$ des Planes B erhält man go als kleineren Gefamtdruck für den Eckpfeiler, während durch die Zufammenfetzung von $D_1 = ik$ und $K = ko$ in $\overline{\delta}$, der gröfsere Gefamtdruck für diefen Pfeiler durch io dargeftellt wird.

Nach der Ermittelung diefer Drücke kann nun die Stabilitätsunterfuchung des Eckpfeilers, welcher hier gleichfalls aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 beftehen foll, ganz nach dem in Art. 24 (S. 57) Gegebenen unter Berückfichtigung der aus der Zeichnung zu erfehenden Streifenteilung und Gewichtsbeftimmung derfelben ohne weitere Schwierigkeiten vorgenommen werden.

Für den kleineren Druck D tritt der Teilftreifen M als Grenzftreifen ein. Das Gewicht desfelben ift zur Vermeidung einer zu langen Kräfteftrecke in ein Viertel feiner wirklichen Länge als Strecke 45 dargeftellt. Um dennoch die fehlerlofe Richtung der Mittelkraft T aus dem Kräftezuge gh, ho, $o5$ zu erhalten, ift $l4$ gleichfalls ein Viertel der Länge des Strahles $g4$ zu nehmen. Der Strahl $l5$, welcher für den ihm parallelen Strahl T beftimmend wird, giebt jene Mittelkraft in ein Viertel ihrer Gröfse an. Diefe Endrefultierende fchneidet die Fufsfläche des Eckpfeilers im umringelten Punkte β. Derfelbe liegt von der Aufsenkante des Streifens M fo weit ab, dafs, wenn die Grundfläche des Pfeilers hier näherungsweife als ein Rechteck angefehen wird, der Punkt β eben an der Grenze des fog. inneren Drittels diefes Rechteckes bleibt. Für den kleinften Druck D würde alfo der Eckpfeiler mit den Teilftreifen K, L und M als ftandfähig gelten können.

Für den gröfseren Druck D_1 dagegen, welcher zur Herbeiführung eines üblichen Sicherheitsgrades für die Standfähigkeit diefes Eckpfeilers als wirkfam angefehen werden foll, genügt die eben ermittelte Stärke nicht mehr in dem Mafse, dafs eine Endrefultierende 5β, parallel $m5$, innerhalb jenes inneren Drittels bleibt. Danach ift noch eine neuer Teilftreifen P hinzuzufügen. Das Gewicht desfelben ift als Strecke 56 wiederum in ein Viertel der wirklichen Länge gezeichnet, und ebenfo ift $m4$ gleich ein Viertel der Länge $i4$. Die Endrefultierende für den Kräftezug ik, ko, $o6$ ift nunmehr das Vierfache von $m6$. Ihre Lage T_0 parallel $m6$ im Pfeiler ift leicht zu beftimmen. Diefe Refultierende trifft die Fufsfläche desfelben im Punkte β_0, welcher das innere Drittel des neuen Pfeilers mit den Teilftreifen K, L, M und P nicht überfchreitet, fo dafs hiermit die Pfeilerftärke beftimmt ift. Die Breite FF beträgt $2{,}10^{\,m}$.

Die Spannweite des Diagonalbogens ift bei dem quadratifchen Grundrifs des hier unterfuchten Kreuzgewölbes von $8^{\,m}$ Seitenlänge gleich $8\sqrt{2} = \infty\, 11{,}30^{\,m}$; folglich ergiebt fich das Verhältnis der Widerlagsftärke zu diefer Weite des ganzen Gratbogens zu $\frac{2{,}10}{11{,}30}$ als nahezu gleich $\frac{1}{5}$. Beim kleineren Drucke D ift die Widerlagsftärke gleich $1{,}50^{\,m}$, fo dafs nun jenes Verhältnis in $\frac{1{,}50}{11{,}30}$, d. h. in $\frac{1}{7{,}5}$ umgewandelt würde.

Bei diefer Angabe einer Verhältniszahl von Widerlagsftärke zur Spannweite eines ganzen Grat- oder Diagonalbogens mufs aber, wenn diefelbe überhaupt Wert haben foll, offenbar die Tiefe des Widerlagers mit beachtet werden. Diefelbe richtet fich, wie aus dem Grundrifs des Eckpfeilers zu erfehen ift, teilweife nach der Tiefe der Gurtbogen G_0. Im allgemeinen follte die Tiefe der Eckpfeiler nicht unter $\frac{2}{3}$ der in der Richtung V der Gratlinie angetragenen Stärke herabfinken.

138. Kreuzgewölbe ohne Gratbogen.

Die Stabilitätsunterfuchung der Eckpfeiler für Kreuzgewölbe mit felbftändigen Gratbogen und rechteckigem Grundrifs ift auf dem eben befchriebenen Wege gleichfalls auszuführen. Bei Kreuzgewölben ohne befondere Gratbogen ift bei der Beftimmung der Widerlagsftärke das in Art. 136 (S. 238) Gefagte ohne weiteres zu verwerten. Hierbei fällt das fonft vom Gratbogen herrührende Gewicht einfach fort. Drücke, wie D, bezw. D_1, refultieren allein aus den Gewölbdrücken der in der Gratlinie zufammengefügten Elementarftreifen der Kappen. Das Wefen in der

ſtatiſchen Unterſuchung der Eckpfeiler für derartige Gewölbe wird dadurch nicht geändert.

139. Pfeiler für vier Gurtbogen.

Treten gegen einen Zwiſchenpfeiler in vollſtändig ſymmetriſcher Anordnung und Belaſtung vier Gurtbogen und vier Gratbogen ſymmetriſch liegender Kappen einer Kreuzgewölbanlage, ſo werden alle wagrechten Seitenkräfte der Drücke, welche von den Gurtbogen und Gratbogen auf den Pfeiler kommen, aufgehoben. Derſelbe wird dann nur durch lotrechte Kräfte beanſprucht. Die ſtatiſche Unterſuchung derſelben wird danach äuſserſt einfach, kann aber im Sinne des in Art. 137 (S. 238) Geſagten vorgenommen werden.

Bei einer Beanſpruchung der Eck- oder Zwiſchenpfeiler einer unſymmetriſchen Kreuzgewölbanlage iſt die Stabilitätsunterſuchung der Stützkörper ſchrittweiſe von Gurtbogen zu Gurtbogen, ſowie von Gratbogen zu Gratbogen zur Ermittelung der Reſultierenden der den Stützkörper angreifenden äuſseren Kräfte nach den Methoden der graphiſchen Statik, wenn auch etwas mühevoll, doch ohne ſehr erhebliche Schwierigkeiten, vorzunehmen. Die Endreſultierende dieſer angreifenden Kräfte im Raume, wobei ſich unter Umſtänden ein Kräftepaar geltend machen kann, iſt mit dem Gewichte des Pfeilers dann weiter zu vereinigen, um Aufſchluſs über die Standfähigkeit des Stützkörpers zu erhalten. Durch Uebermauerung der Gewölbzwickel, bezw. der Stützkörper muſs dahin geſtrebt werden, ein etwa ſich zeigendes Kräftepaar in ſeiner Wirkung wieder aufzuheben.

δ) Empiriſche Regeln für die Gewölbſtärke.

140. Stärke der Kappen.

Sollte bei gröſseren Kreuzgewölbanlagen auch ſtets eine gewiſſenhafte ſtatiſche Unterſuchung und danach die Berechnung der Gewölbſtärke ſtattfinden, ſo hat man doch bei den in der Praxis ſo häufig zur Ausführung gelangten und noch vielfach angewandten cylindriſchen Kreuzgewölben der Erfahrung im allgemeinen entſprechend die folgenden Regeln für die Beſtimmung der Gewölbſtärke aufgeſtellt.

Die Stärke der Kappen der halbkreisförmigen, bezw. elliptiſch-cylindriſchen Kreuzgewölbe, welche aufser ihrem eigenen Gewichte beſondere Belaſtungen nicht aufzunehmen haben, kann bei der Verwendung von gutem Backſteinmaterial, einem fehlerfreien, nicht zu langſam bindenden Mörtel und unter der Vorausſetzung einer ſorgfältigen Ausführung bei einer Spannweite bis zu 6 m ½ Stein, bei einer Weite bis zu 9 m ½ Stein im Scheitel und 1 Stein am Widerlager betragen. Geht die Spannweite über 9 m hinaus, ſo giebt man den Kappen zweckmäſsig durchweg 1 Stein Stärke.

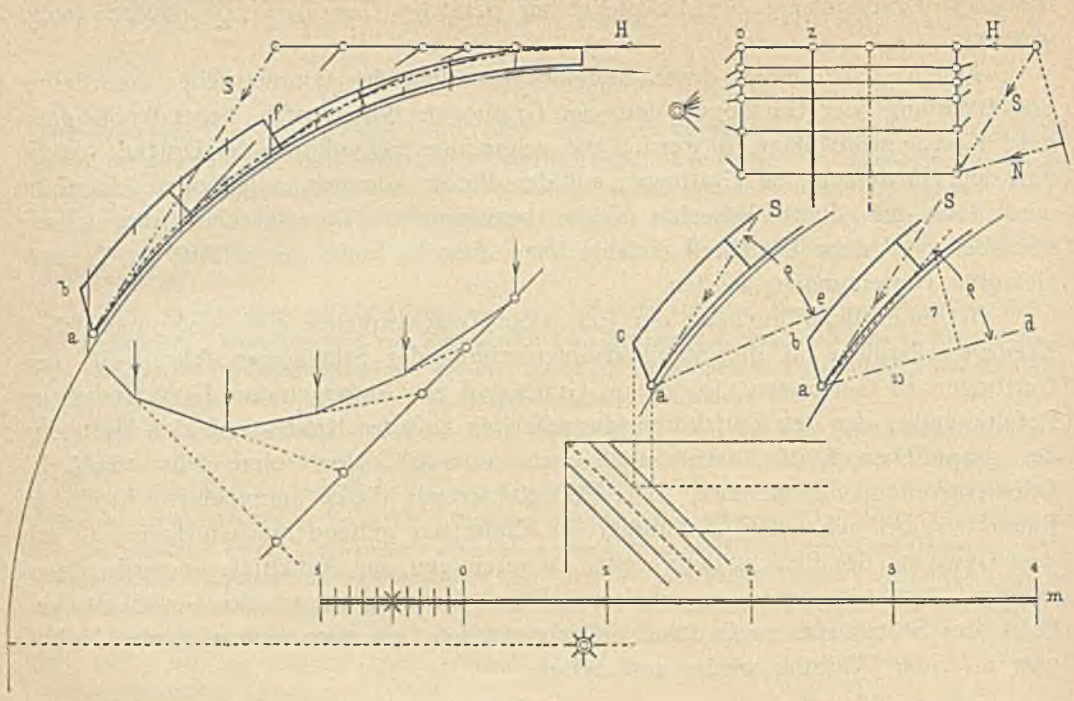
Im Hochbauweſen kommen Kreuzgewölbe, welche gröſsere Kappenſtärken als 1 Stein erfordern, ſelten vor.

Bei Kreuzgewölben, deren Kappen aus hinreichend feſten und lagerhaften Bruchſteinen oder aus gutem Quadermaterial einzuwölben ſind, kann die Kappenſtärke ungefähr gleich $\frac{1}{25}$ ihrer Spannweite genommen werden.

Daſs dieſe nach empiriſchen Regeln angegebenen Stärken unter Umſtänden noch einer Prüfung auf ihre Stichhaltigkeit unterzogen werden ſollten, mag durch Fig. 200 nachgewieſen werden.

Für das in Art. 129 (S. 223) gegebene Beiſpiel 1 iſt bei dem mitgeteilten Kreuzgewölbe eine Spannweite von 8 m vorhanden. Hiernach könnte den vorhin angeführten Abmeſſungen zufolge eine Stärke der Kappen gleich ½ Stein im Scheitel und 1 Stein bei den Schichten in der Nähe des Widerlagers genommen werden. Die in der Zeichnung vorgeführte ſtatiſche Unterſuchung eines derartigen, an

Fig. 200.



der Stirnmauer liegenden gröfsten Kappenftreifens, deffen Breite hier wiederum zu 0,60 m angenommen ift, ergiebt für die Berechnung feiner Stärke, da $H = 0{,}55$ m und $N = 0{,}76$ m gefunden werden, bei der Bafis $o z = 0{,}50$ m

$$\mathfrak{H} = 0{,}55 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}60} = \backsim 0{,}46 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N} = 0{,}76 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}60} = 0{,}633 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Ein Vergleich diefer Werte für $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{N}$ mit den in der Tabelle auf S. 62 enthaltenen Gröfsen H und N zeigt, dafs $\mathfrak{H}$ eine etwas gröfsere Stärke als $^1/_2$ Stein, $\mathfrak{N}$ aber für die Stärke am Widerlager noch keine Dicke von 1 Stein fordert.

Da $N = 0{,}6$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. in jener Tabelle eine Stärke von $^1/_2$ Stein geftattet, fo kann man auch unter Zulaffung einer etwas gröfseren Preffung im Scheitel für $\mathfrak{H} = 0{,}46$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. die Stärke von $^1/_2$ Stein füglich gelten laffen, und die Kappe in der nach der empirifchen Regel empfohlenen Weife mit einer Verftärkung nach dem Widerlager geftalten.

Wohl aber follte dabei noch geprüft werden, ob, bei der oft fteil gehaltenen Anarbeitung der Widerlagsfläche am Grat, die Richtung des hier wirkenden Gewölbfchubes S mit der Winkelrechten zur Fuge $a b$ die Gröfse des zuläffigen Reibungswinkels ρ nicht überfchreitet.

Nach der urfprünglichen Annahme der Widerlagsfuge $a b$ ift hier der Winkel $S a d$ gröfser als der Winkel ρ. Hieraus folgt, dafs die Widerlagsfuge, wie z. B. $a c$, fo gerichtet fein foll, dafs der Winkel $S a c$ mindeftens gleich dem Winkel ρ wird, d. h. diefe Widerlagsfuge foll, um das Gleiten des Streifens am Grat zu unterdrücken, überall nicht zu fteil geftellt werden.

Aufserdem fei darauf hingewiefen, dafs zur geeigneten Erzielung einer ftetigen Zunahme der Gewölbftärke vom Scheitel bis zum verftärkten Anfatze in der Kappe ein Ausgleich des Zwickels f durch Beton oder durch Ausfüllung mit Kalkmörtel und Steinbrocken anzuraten ift.

141. Stärke der Grate.

Cylindrifche Kreuzgewölbe von geringer Spannweite, welche etwa 3,00 m bis 3,50 m beträgt, erhalten, wenn keine fremde Belaftung in Rechnung zu bringen ift, recht oft weder eine Verftärkung im Grat, noch befondere, felbftändig ausgeführte Gratbogen. Ihre Kappen fchneiden in der Ebene der Gratlinie zufammen. Solche Gewölbe find Deckenbildungen mehr untergeordneter Art. Wird die Spannweite

gröfser als 3,50 m oder hat das Gewölbe noch eine Belaftung durch Sandfchüttung oder durch einen darüber befindlichen Fufsboden aufzunehmen, fo tritt bis zu Spannweiten von 6 m, je nach den obwaltenden Umftänden, entweder eine Gratverftärkung, worüber unter 3 bei der Ausführung der Kreuzgewölbe noch das Nötige gefagt werden foll, oder die Einführung felbftändiger Gratbogen ein.

Bei gröfseren Spannweiten ift das Herrichten folcher Gratbogen ftets zweckmäfsig. Bei den cylindrifchen Kreuzgewölben erhalten diefe Gratbogen unterhalb der Wölbfläche keine befonders gegliederten Anfätze (Profile); fie laufen vielmehr meiftens in eine Schneide aus, welche dem Zufammenfchnitt der angrenzenden Kappenflächen angehört. Die einzelnen geradlinigen Erzeugenden der Widerlagsflächen der Kappen haben vom Fufse des Gratbogens bis zum Scheitel desfelben verfchiedene Neigungswinkel zur fenkrechten Richtungsebene des Grates. Infolge hiervon wechfelt in jedem Normalfchnitt desfelben auch feine mittlere Breite. Damit der Gratbogen durch die mittels Abfchrägung feiner Seitenflächen zu gewinnenden Widerlagsflächen nicht zu fehr in feinem Verbande, bezw. feinem auf Druck beanfpruchten Körper gefchwächt wird, darf feine Breite nicht zu gering bemeffen werden.

Bei Spannweiten der Kappen bis etwa 4 m beträgt diefelbe bei Gratbogen aus Backftein mindeftens 1 Stein, die Höhe oder Stärke des Grates hierbei gleichfalls wenigftens 1 Stein. Bei gröfseren Spannweiten bis etwa 9 m ift die Breite der Gratbogen 1½ Stein, unter Umftänden 2 Stein, ihre Stärke 1½ Stein bis 2 Stein zu nehmen. Sind Gratbogen innerhalb der Spannweiten der Kappen von 4 m bis 9 m bei 1½ Stein Breite im Scheitel 1 Stein ftark angenommen, fo find diefelben nach dem Widerlager auf 1½ Stein zu verftärken.

Bei Kreuzgewölben über 9 m Spannweite giebt nur die ftatifche Unterfuchung des Wölbfyftems Aufichlufs über die zu wählenden Stärken der Gratbogen, bezw. der Gewölbkappen. Werden bei Backfteinkappen bis etwa 6 m Spannweite ftatt der eigentlichen Gratbogen nur Gratverftärkungen eingeführt, welche mit dem Mauerwerk der Kappen im Verbande ftehen, fo ift diefe Verftärkung bei einer Breite von mindeftens 1 Stein in ihrer Gefamthöhe, einfchliefslich der Kappenftärke über der inneren Gratlinie, gleichfalls nicht unter 1 Stein zu nehmen. Gratbogen aus genügend feften Bruchfteinen oder Quadern follten bei kleineren Kreuzgewölben bis 6 m Weite nicht unter 0,20 m Breite und 0,25 bis 0,30 m Stärke, bei gröfseren Gewölben aber eine Breite von 0,30 bis 0,40 m mit einer Höhe von 0,30 bis 0,50 m erhalten.

142. Widerlagsftärke.

Bei den offenen cylindrifchen Kreuzgewölben aus Backftein, Bruchftein oder Quadern kann unter Berückfichtigung des Verhältniffes der Breite zur Dicke des Widerlagskörpers wie 1 : 1, bezw. 2 : 3 (vergl. Art. 137, S. 240) die Stärke der Eckpfeiler in der Richtung der Gratebene etwa zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$ der Weite des ganzen Gratbogens gewählt werden. Hierbei ift die Höhe des Widerlagers von feiner Fufsfläche bis zur Kämpferebene etwa gleich 3 m vorausgefetzt. Bei einer Höhe über 3 m ift jene Stärke um etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ des ganzen Höhenmafses zu vergröfsern.

Bei den gefchloffenen cylindrifchen Kreuzgewölben ift die Stärke der Mauerkörper an den Ecken des Raumes in der Richtung der Gratebene fchätzungsweife zu $\frac{1}{7}$ der Spannweite des ganzen Gratbogens zu fetzen. Bei einer Widerlagshöhe über 3 m ift diefe Stärke ebenfalls entfprechend zu vergröfsern.

Die flachen Kreuzkappengewölbe erhalten in den meiſten Fällen eine Gewölbſtärke von $^1/_2$ Stein und Gratverſtärkungen oder Gratbogen von 1 bis zu $1^1/_2$ Stein Breite mit 1 bis $1^1/_2$ Stein Höhe.

Dieſelben Abmeſſungen gelten gewöhnlich auch für nicht ſehr ſtark belaſtete anſteigende Kreuzgewölbe. Die Stärke der Widerlager dieſer zuletzt erwähnten beiden Arten von Kreuzgewölben wird am beſten durch eine ſtatiſche Unterſuchung feſtgeſtellt.

ε) Verankerungen.

143. Sichtbare Verankerungen.

Wenngleich die Stärke der Widerlager, d. h. der Eck- und Zwiſchenpfeiler der cylindriſchen Kreuzgewölbe, von vornherein ſo groſs genommen werden ſollte, daſs dieſelben im ſtande ſind, dem vollen Gewölbſchube mit ausreichender Sicher-

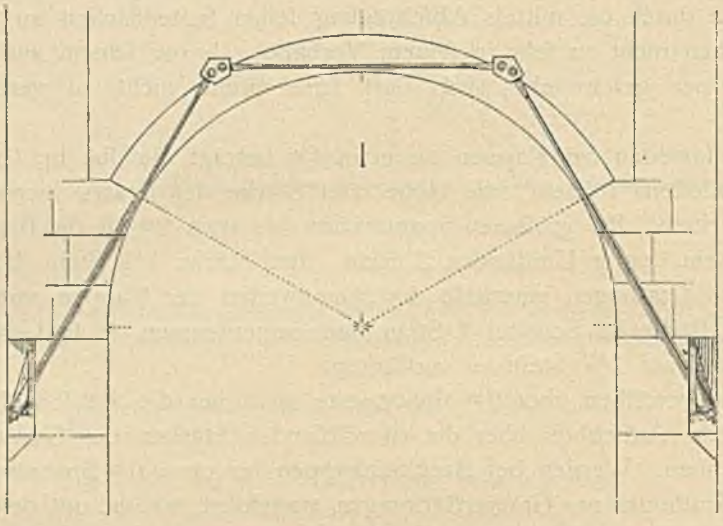


Fig. 201.

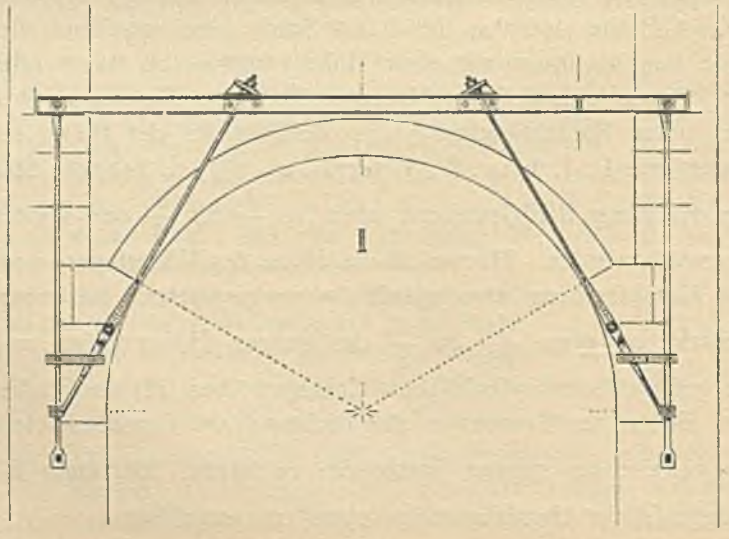


Fig. 202.

heit zu widerſtehen, ſo können doch Umſtände eintreten, welche eine beſondere Verankerung und damit eine Verſtärkung der Widerlagskörper, namentlich der Eckpfeiler, erforderlich machen. Immerhin dürfen dieſe Verankerungen bei Kreuzgewölben nur als Notbehelfe angeſehen werden.

Die aus Flach- oder Rundeiſen beſtehenden Ankerſtangen würden ihre günſtigſte Lage in der Kämpferebene oder wenig darüber in der Richtung der Gratlinien erhalten, um damit dem Schube der Gratbogen am beſten begegnen zu können. Eine ſolche Anordnung würde auch in wahrheitsgetreuer Weiſe auf den eigentlichen Zweck der Verankerung hinweiſen. Ebenſo könnten bei offenen Kreuzgewölben zur Verankerung der Eckpfeiler und auch der Zwiſchenpfeiler die einzelnen Gurtbogen durch Ankerſtangen, welche in der Kämpferebene angebracht würden, kräftig verſpannt werden. Für dieſe einfachen Verankerungen gilt das in Art. 59 (S. 128) beim Kappengewölbe über Verſtärkung ſeiner Widerlager Geſagte ebenfalls.

144. Unſichtbare Verankerungen.

Kommen auch derart angebrachte Verankerungen bei Bauwerken älterer und neuerer Bauperioden vor, ſo können dieſelben doch in manchen Fällen bei ihrer tiefen Lage unter dem Gewölbſcheitel ſtörend ſein. Alsdann ſind die Verankerungen der Grat-, bezw. Gurtbogen nicht mehr ſichtbar zu laſſen, ſondern in das Innere dieſer Wölbkörper zu verlegen. Derartige Verankerungen zeigen Fig. 201. u. 202. Bei der Anordnung *I* iſt ein Gelenkſyſtem gebildet, um das zweckmäſsige Einleiten von Zugſpannungen, hervorgerufen vom Gewölbſchube am Widerlager der Grat- oder Gurtbogen, in die einzelnen Teile zu bewirken. Für die Berechnung der Querſchnitte der Zugſtangen, Ankerplatten u. ſ. f. iſt es aber zweckmäſsig, von einem Gewölbſchube auszugehen, welcher einer Maximaldrucklinie im Grat-, bezw. Gurtbogen angehört, ſonſt jedoch nach dem in Art. 59 (S. 128) Vorgetragenen zu verfahren. Die beſſere Verankerung *II*, welche in ihrer aus der Zeichnung deutlich zu erkennenden Anordnung einer von *Durm* bei einem Tonnengewölbe mit Stichkappen ausgeführten Ankerkonſtruktion [21]) entſpricht, läſst ſich auch bei Kreuzgewölben verwenden.

3) Ausführung der cylindriſchen Kreuzgewölbe.

145. Material.

Die Kappen und die Gratbogen der cylindriſchen Kreuzgewölbe ſind Beſtandteile eines Tonnengewölbes. Ihre Ausführung hat alſo nach den Vorſchriften zu geſchehen, welche in Kap. 11, unter c mitgeteilt ſind. Selbſt die von den Römern geſchaffenen, mit groſsen Spannweiten behafteten Kreuzgewölbe, welche im allgemeinen aus Backſteinmaterial in Verbindung mit Guſswerk aus Steinbrocken und Mörtel beſtanden [22]), hatten die Ausführung der ähnlich hergeſtellten Tonnengewölbe zur Grundlage.

Für die Kreuzgewölbe der Jetztzeit werden Backſteine, möglichſt leichte, aber dennoch hinreichend feſte, lagerhafte Bruchſteine und unter beſonderen Verhältniſſen leicht zu bearbeitende Quader zur Einwölbung verwendet. Als Bindemittel dient fehlerfreier Kalkmörtel, verlängerter Zementmörtel oder Zementmörtel allein. Das über dieſe Materialien beim Tonnengewölbe in Art. 31 (S. 78) Mitgeteilte trifft auch beim Kreuzgewölbe zu.

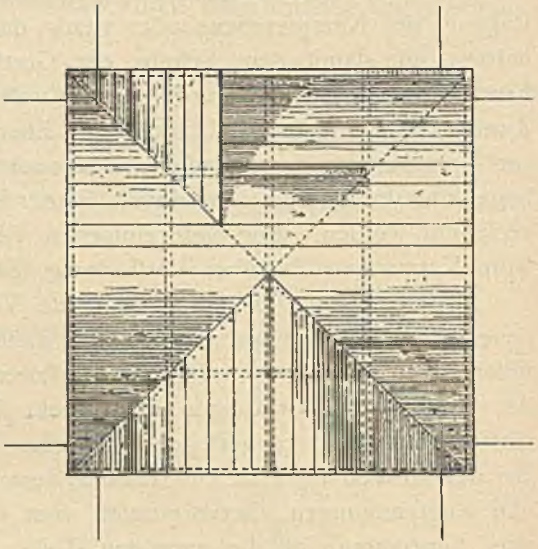
146. Lehrgerüſte.

Cylindriſche Kreuzgewölbe werden im allgemeinen auf einer durch Lehrgerüſte unterſtützten Schalung eingewölbt.

[21]) Siehe: Durm, J. Der neue Friedhof in Karlsruhe. Zeitſchr. f. Bauw., S. 3 u. Bl. 1—9.
[22]) Siehe Teil II, Band 2 dieſes »Handbuches«.

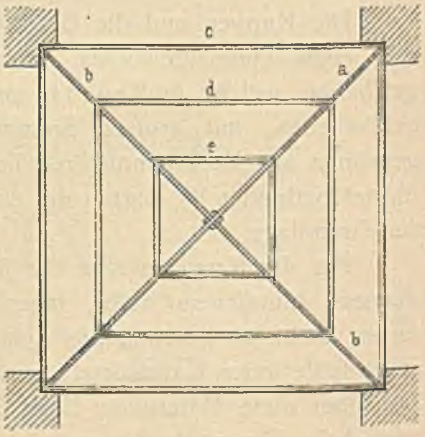
Kleine Gewölbe, bis etwa 4 m Weite, ohne Stechung können, wie in Art. 33 (S. 80) angegeben ift, nach Art eines Tonnengewölbes mit rechtwinkelig angefügten Stichkappen eingefchalt werden (Fig. 203). Hierbei werden an den Stirnen des Kreuzgewölbes einfache Lehrbogen oder auch gewöhnliche Wölbfcheiben als Randbogen aufgeftellt. Zwei einander gegenüberliegende Randbogen tragen eine durchgehende Schalung, welche die Mantelfläche eines gewöhnlichen Tonnengewölbes liefert. Beträgt der Abftand diefer Randbogen über 2 m, fo wird zur befferen Unterftützung der Schalung noch eine Wölbfcheibe oder ein Lehrbogen in der Mitte zwifchen den Randbogen aufgeftellt. Auf der Schalung find die Gratlinien unter Anwendung einer gefärbten Schnur genau und deutlich vorzureifsen. Von denfelben aus erfolgt die weitere Einfchalung der an das Gewölbe tretenden Querkappen bis zu den hierzu gehörigen Lehrbogen oder Wölbfcheiben an den beiden anderen Randbogen. Auch diefe Schalung kann nach Erfordernis noch durch Wölbfcheiben unterftützt werden, welche alsdann ihr Lager auf der erften Hauptfchalung finden. Je forgfältiger diefe zweite Schalung bezüglich der Gratlinien vorgenommen ift, um fo fchärfer kommen die Grate nach der Ausführung des Gewölbes zum Ausdruck.

Fig. 203.



Gröfsere Kreuzgewölbe, namentlich folche, welche Stechung erhalten follen, müffen in anderer Weife eingerüftet werden. Sowohl für die Gratbogen, als auch für die Gewölbkappen werden befondere Lehrbogen aufgeftellt. Nach Fig. 204 ift mit *a* ein ganzer, von einer Ecke zur gegenüberliegenden Ecke durchgeführter Lehrbogen für einen Gratbogen bezeichnet. Der Lehrbogen des anderen Grates befteht aus zwei Teilen *b*, welche fich gegen den Lehrbogen *a* fetzen und an demfelben fachgemäfs befeftigt werden. Wie beim Kloftergewölbe in Art. 97 (S. 182) angeführt, werden diefe Gratlehrbogen auch hier an ihrer Kreuzungsftelle durch einen Pfoften (Mäkler, Mönch) unterftützt. Für die Kappen werden Randlehrbogen *c* und bei gröfserer Länge der Kappen noch in Entfernungen von 1,00 m bis 1,50 m Zwifchenbogen *d*, *e* aufgeftellt. Diefes Bogenfyftem nimmt dann die Schalbretter oder die Schallatten auf. Sie find zur Erzielung einer fcharfen Gratlinie in ihrem Lager auf jedem Gratbogen genau zufammenzufchneiden, fo dafs ihre Fuge hier der Wölblinie des Grates vollftändig entfpricht. Das Austragen der oberen Begrenzungslinien der verfchiedenen Lehrbogen erfolgt

Fig. 204.



in der bei der Ausmittelung der Hauptſtücke des Kreuzgewölbes gezeigten Weiſe. Die Konſtruktion der Lehrbogen geſchieht nach den in Art. 33 (S. 80) gegebenen Mitteilungen. Ebenſo ſind die Unterlagerungen, Ausrüſtungsvorrichtungen und die Schalung des geſamten Lehrgerüſtes, wie beim Tonnengewölbe in Art. 35 bis 38 (S. 84 u. ff.) beſchrieben, auch für cylindriſche Kreuzgewölbe in Anwendung zu bringen. Offene Kreuzgewölbe erhalten für ihre Gurtbogen ſelbſtredend gleichfalls eine Ausrüſtung.

Sollen cylindriſche Kreuzgewölbe aus Backſtein oder unter Umſtänden auch aus leichtem Tuffſtein auf Schwalbenſchwanzverband errichtet werden, ſo kann, wenn die Einwölbung von geſchickten Maurern ausgeführt wird, die Einſchalung der Gewölbflächen ganz fehlen. Nur für die Grate werden Lehrbogen aufgeſtellt, und hierüber ſind alsdann bei gröſseren Gewölben die Gratbogen, welche mit entſprechenden Widerlagsflächen für die Kappen zu verſehen ſind, ſelbſtändig herzuſtellen, oder bei kleineren Gewölben unter Berückſichtigung einer Gratverſtärkung gleichzeitig mit der Kappenwölbung anzufertigen. Für die Anſätze der Kappen an den Stirnen ſind nach Fig. 205 entweder wie bei *I* an den Gurtbogen, bezw. an den Stirnmauern die Widerlagsflächen angearbeitet oder wie bei *II* Verzahnungen gelaſſen, ſo daſs hierdurch eine Lehre für das aus freier Hand zu bewirkende Wölben der Kappen vorhanden iſt. Als weitere Lehre dient zweckmäſsig ein Scheitelbrett, welches in ſeiner Oberkante die Scheitellinie vom höchſten Punkte der Randbogen bis zum Gewölbſcheitel angiebt. Ueber dieſem Brette, welches gehörig unterſtützt iſt, ſchneiden ſich dann die zuſammengeſtochenen Schichten der Kappen.

Fig. 205.

I

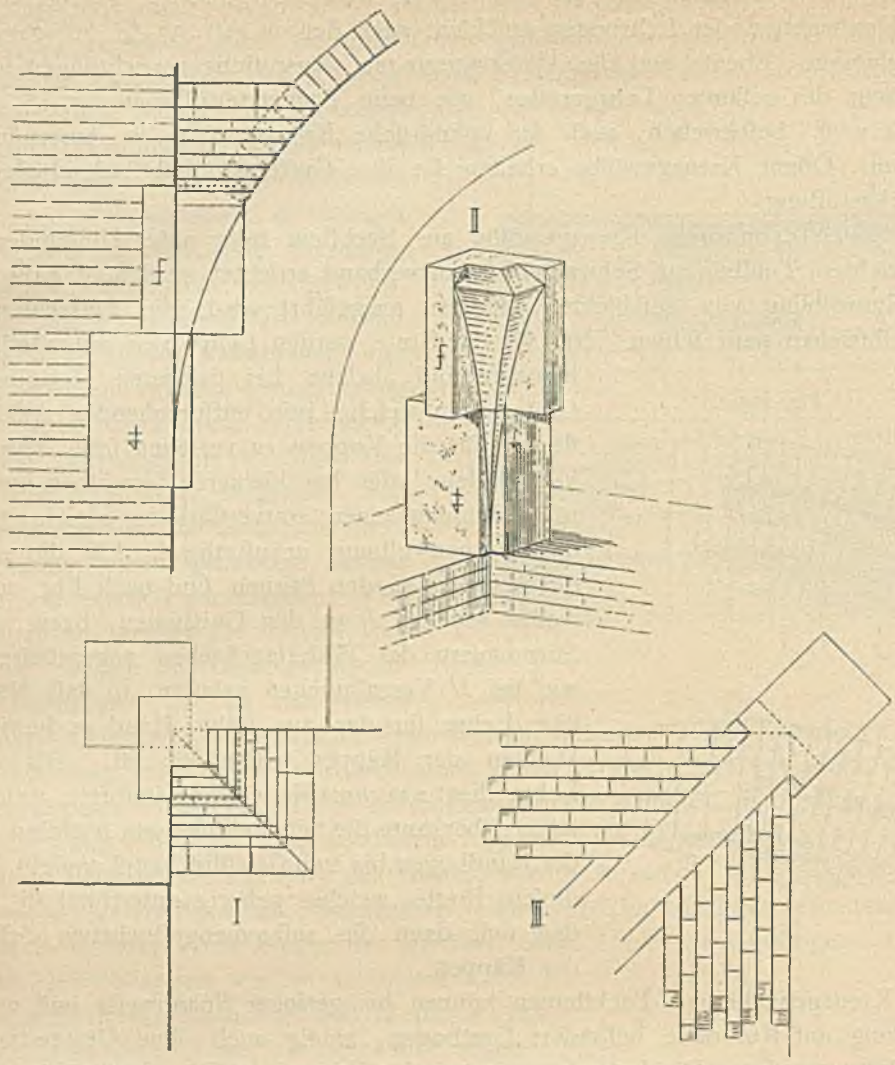
II

147. Kreuzgewölbe aus Backſteinen.

Kreuzgewölbe aus Backſteinen können bei geringer Spannweite und mäſsiger Belaſtung auf Kuf ohne beſondere Gratbogen, häufig auch ohne Gratverſtärkung, ausgeführt werden. Die Lagerfugenkanten der Kappen laufen, gleichgültig, ob das Gewölbe eine Stechung erhält oder nicht, in ihrer wagrechten Projektion parallel mit den Achſen der Kappen; ſie ſind, wie Fig. 206 bei *I* zeigt, in den einzelnen Schichten auf Verband zu ordnen und an der Gratlinie gegenſeitig zu überbinden, ſo daſs nach der Richtung dieſer Linie eine Fugenebene nicht eintritt. Die Anfänger an den Ecken des Gewölbes werden durch Auskragen in wagrechten Schichten hergeſtellt, bis eine geeignete Fuſsfläche für die Gratſteine gewonnen iſt. Weit beſſer wird jedoch der Anfänger, wie in *II* gegeben, aus feſtem Quadermaterial angefertigt. In jedem Falle iſt zu beachten, daſs gleich bei der Ausführung der Mauerkörper, welche demnächſt die herzuſtellenden Kreuzgewölbe begrenzen, dieſe Anfänger von der einen oder der anderen Art an richtiger Stelle ſchon mit eingefügt werden, damit von Anfang an ein geſicherter, kräftig im Mauerwerk eingebundener Gewölbfuſs für jede Kappe vorhanden iſt. Sollen die Grate eine Verſtärkung erhalten, ſo kann nach Fig. 207 auch hierbei der Verband auf Kuf angewendet werden.

Sind für gröſsere und etwa ſtärker belaſtete Gewölbe ſelbſtändige, gleichfalls auf Kuf gewölbte Gratbogen herzurichten, welche alsdann ein geeignet angearbeitetes

Fig. 206.

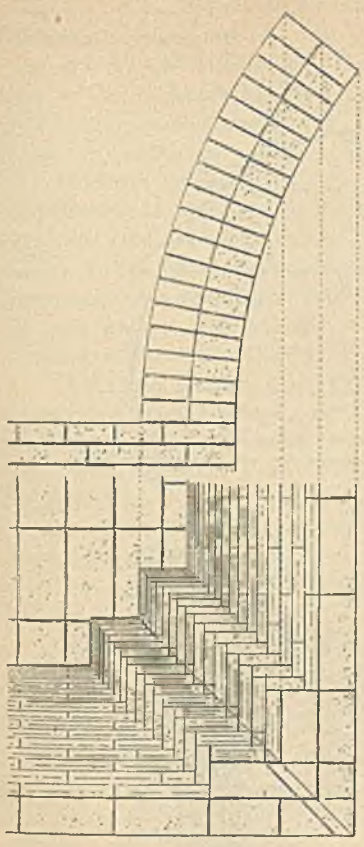


Widerlager für die Kappen bekommen, ſo wird hierdurch am Verbande der Kappen nichts geändert, ſelbſt wenn dieſelben einer gröſseren Belaſtung halber ſtatt ½ Stein 1 Stein ſtark werden müſsten.

Beim Vorhandenſein von beſonderen Gratbogen kann auch die Einwölbung der Kappen im *Moller*'ſchen Verbande nach der Anordnung *III* in Fig. 206 ſtattfinden.

In den weitaus meiſten Fällen wird die Einwölbung der Kappen der cylindriſchen Kreuzgewölbe aus Backſtein auf Schwalbenſchwanzverband vorgenommen. Ein einigermaſsen weit geſpanntes Gewölbe erhält dann am beſten immer ſelbſtändig auf Kufverband ausgeführte Gratbogen. Bei ſtrenger und ſachgemäſser Durchführung der Wölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanzverband ſollen die einzelnen Lagerflächen der Wölbſchichten Ebenen angehören, welche rechtwinkelig zur Richtungsebene des Gratbogens und ſenkrecht zur Wölblinie desſelben ſtehen. Die Schnittlinien dieſer ſog. Normalebenen des Grates mit den Kappenflächen bilden die Wölblinien der Schichten. Die jeder Schicht zugehörige Widerlagsfuge, bezw. Widerlagsfläche

Fig. 207.



am Grat- und am Randbogen ſoll winkelrecht zu den entſtehenden Wölblinien gerichtet ſein. Die für dieſe Forderungen notwendigen zeichneriſchen Ermittelungen ſind in Fig. 208 angeſtellt.

Für das Kreuzgewölbe ſei der Halbkreis P Stirnbogen der einen Seite; der Randbogen U der anſtoſsenden Seite iſt die halbe Ellipſe mit der groſsen Halbachſe δu und der kleinen Halbachſe $\delta\delta_1$, gleich dem Halbmeſſer γu, bezw. $\gamma\gamma_1$ des Halbkreiſes P. Die wagrechte Projektion des Gewölbſcheitels iſt s; die Geraden $s\gamma$ und $s\delta$ ſind die wagrechten Projektionen der geraden Scheitellinien für die mit einer Stechung $d\,b$ verſehenen Kappen A und B. Die Richtungsebene des Gratbogens von der Breite $\alpha\beta$ iſt Rs.

Nach den in Art. 122 (S. 215) gemachten Mitteilungen iſt auf dem aus der Zeichnung erſichtlichen Wege die lotrechte Projektion $a s_1$ der Wölblinie des Grates (Gratlinie) erhalten. Dieſelbe gehört hier einer Ellipſe mit den halben konjugierten Durchmeſſern $a\,b$ und $b\,s_1$ an. Sollen die reellen Achſen dieſer Ellipſe gefunden werden, ſo kann man ſich des in Art. 16 (S. 37) bei Fig. 39 angegebenen Verfahrens bedienen.

Für den beliebig angenommenen Punkt f der Gratlinie iſt mit Hilfe des halben Stirnbogens $c s_1$, entſprechend dem grundlegenden Halbkreiſe P, die Tangente T feſtgelegt. Die in f auf T errichtete Lotrechte giebt in NE die Spur der vorhin bezeichneten Normalebene zum Grat in der lotrechten Projektionsebene, während das in E auf $a\,d$ errichtete Lot EF die Spur jener Normalebene in der wagrechten Kämpferebene beſtimmt.

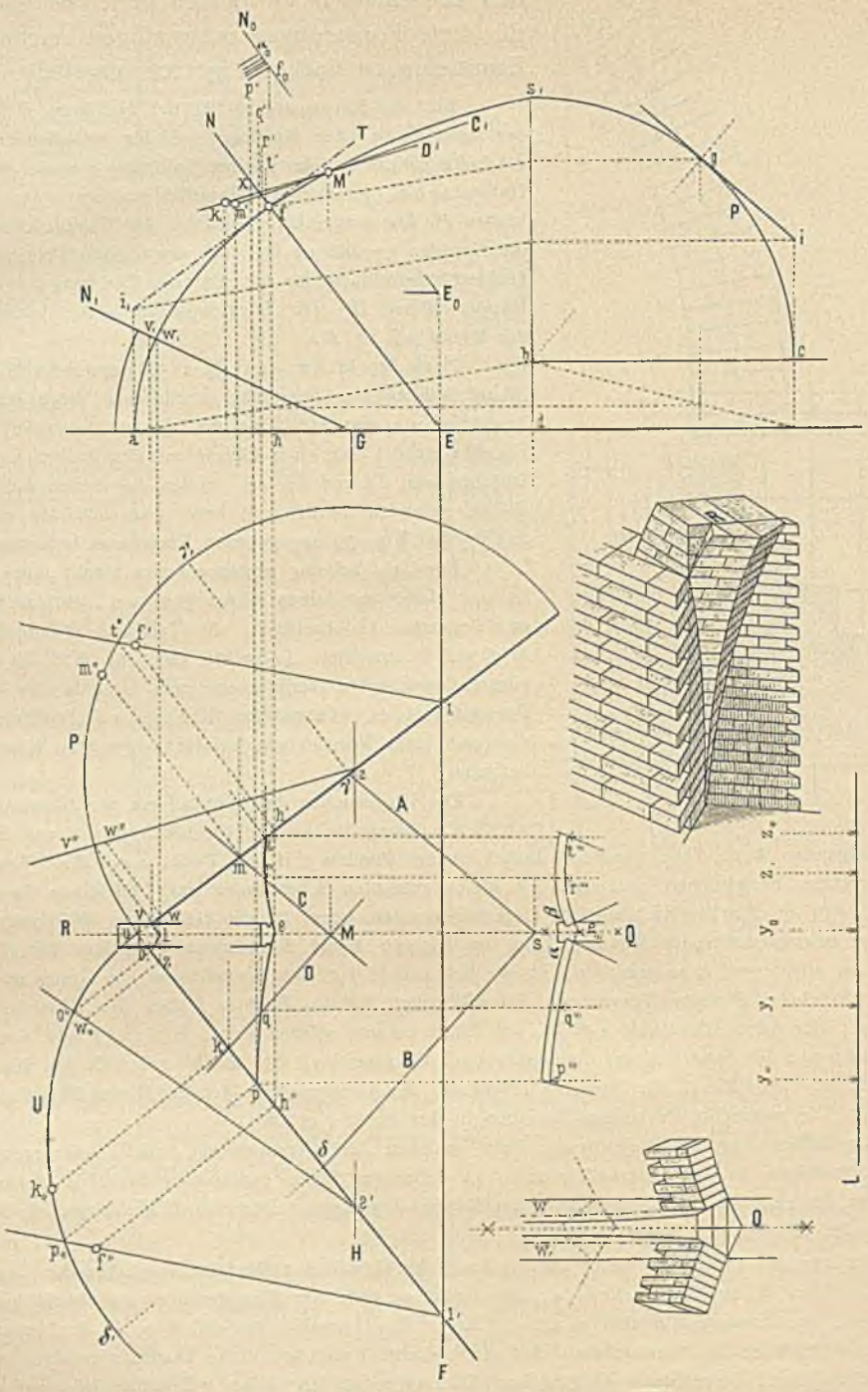
Die Projektionen der Schnittlinien der Normalebene in f mit den Laibungsflächen der Gewölbkappen A und B ergeben ſich in folgender Weiſe. Die wagrechte Projektion des Punktes f iſt der Punkt e auf Rs. Von e laufen die wagrechten Projektionen $e\,r\,t$ und $e\,q\,p$ dieſer geſuchten Schnittlinien aus. Dieſelben ſind von Bedeutung, weil ſie für die Richtung der Lagerfugenkanten, bezw. für die Geſtalt der Wölblinien der am Gratbogen zuſammentretenden Wölbſchichten der Kappen A und B maſsgebend werden. Um den Grenzpunkt t am Stirnbogen P zu ermitteln, iſt die Schnittlinie $1\,t''$ der Normalebene des Grates mit der lotrechten Stirnebene P unter Verwertung der Höhenlage $h\,f$ des Punktes f über der Kämpferebene $a\,d$ gezeichnet. Für dieſe Schnittlinie $1\,t''$ iſt, wie ſofort erkannt werden kann, $h_1 f_1 = h\,f$ und der Punkt 1 der Schnittpunkt der Spur EF auf der verlängerten Geraden $u\gamma$. Der Strahl $1 f_1$ trifft den Stirnbogen P im Punkte t''. Derſelbe iſt die lotrechte Projektion des Grenzpunktes der erwähnten Wölblinie in der Kappe A. Die wagrechte Projektion desſelben iſt der Punkt t auf $u\gamma$.

Zur Beſtimmung der Projektionen eines zwiſchen den Grenzpunkten e und t gelegenen Punktes ſolcher Schnittlinie iſt der innerhalb e und t an beliebiger Stelle genommene Strahl $m\,M$ parallel zur wagrechten Projektion γs der Scheitellinie der Kappe A gezogen. Derſelbe iſt die wagrechte Projektion einer geraden Erzeugenden dieſer Kappe.

Die lotrechte Projektion dieſer der Stechung des Gewölbes entſprechend anſteigenden Erzeugenden iſt $m, M_,$, wobei $M_,$ auf der Gratlinie $a\,s$, der Punkt $m_,$ über der Kämpferebene $a\,d$ ebenſo hoch liegen muſs als $m_{,,}$ am Stirnbogen P über m auf $u\gamma$ liegt. Die lotrechte Projektion $m, M_,$ der benutzten Erzeugenden durchſtöſst die Normalebene. Auf die lotrechte Projektion dieſes Durchſtoſspunktes in NE iſt durch die punktierte Lotrechte r, hingewieſen. Die wagrechte Projektion r desſelben liegt auf $m\,M$, und ſomit iſt der Linienzug $e\,r\,t$ für die Kappe A ermöglicht. Auf demſelben Wege ergiebt ſich der Zeichnung gemäſs der zugehörige Linienzug $e\,q\,p$ für die Kappe B, wie überhaupt mehrerer ſolcher Linien im Wölbgebiete $\gamma\,s\,\delta\,u$.

Die weiteren Wölbgebiete, welche ſtets durch die Scheitellinien der einzelnen Kappen getrennt werden, ſind in gleicher Weiſe für ſich zu behandeln. Auf dieſen Scheitellinien treffen ſich, dem Weſen des Schwalbenſchwanzverbandes nach, die einzelnen Schnittlinien der entſprechenden Normalebenen der Gratbogen.

Fig. 208.



Soll der Gratbogen für die Bogenlänge $a\,w$, in wagrechten Backfteinfchichten ausgeführt werden oder bis dahin reichend einen Anfänger aus Quadern erhalten, fo ift zur richtigen Beftimmung der Widerlagsfläche des Grates in der Höhe w, wiederum eine Normalebene, deren Spuren N, G und $G\,H$ find, zu führen, um danach die Projektionen $l\,v$ und $l\,o$, bezw. w, v, der vorderen Kantenlinien der Fufsfläche bei w, zu finden.

Um den wirklichen Querfchnitt des Gratbogens und die wirkliche Geftalt der Wölblinien aus-

zutragen, welche dem Normalfchnitte mit den Spuren NE und EF zukommen, ift die erforderliche Zeichnung in Q gegeben.

Für die Wölblinien ift $y_0 = Ef$, $z_, = Er_,$, $z_{,,} = Et$, über der rechtwinkelig zu Rs geführten Linie L, welche danach eine Spur der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes darftellt, abgetragen und dabei y_0 in der Richtung Rs, $z_,$ in der durch r parallel zu Rs gezogenen Linie u. f. f. feftgelegt. Ebenfo ift $y_, = Eq$, und $y_{,,} = Ep$, genommen.

Hiernach erhält man in $f_{,,,} r_{,,,} t_{,,,}$ und in $f_{,,,} q_{,,,} p_{,,,}$ die wirkliche Geftalt jener Wölblinien für die Kappenfchicht in A und B. Da die Breite $\alpha\beta$ und die Höhe des Gratbogens gegeben find, fo läfst fich, fobald die wirkliche Stärke der Wölbfchichten oberhalb der Wölblinien angefetzt ift, mit Leichtigkeit die richtige Stellung der Widerlagsfugen fenkrecht zu den betreffenden Wölblinien am Grat und an den Stirnmauern oder Randbogen eintragen und auch der wirkliche Querfchnitt des Gratbogens, wie bei Q und beim Bilde R vom Anfänger des Grates gezeigt ift, feftftellen. Die lotrechte Projektion $a_0 f_0$ des Gratfchnittes ift in der Richtung $E_0 N_0$ parallel EN nach der Ausmittelung in Q befonders gezeichnet.

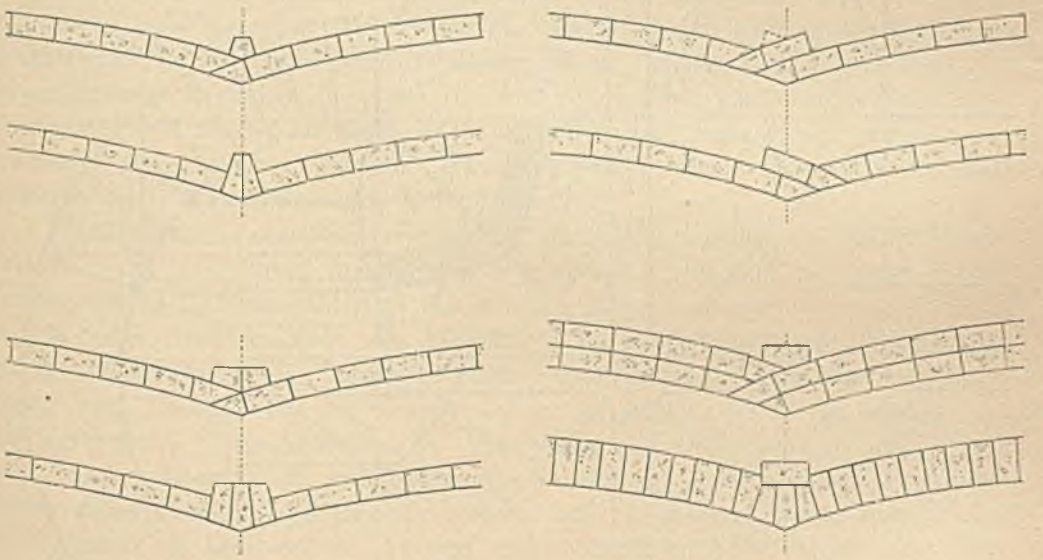
Läfst man nach der Darftellung in O die Widerlagsflächen am Grat nicht in der Form von Falzen, fondern als Flächen auftreten, welche vom Anfatze der Kappen aus nach dem Rücken des Gratbogens vollftändig durchgeführt werden, fo ergiebt fich für den Gratkörper am Rücken zwifchen den gefamten beiden Widerlagsflächen w und $w_,$ in jedem Normalfchnitte eine andere Breite, weil die Neigungswinkel der verfchiedenen Normalebenen zur wagrechten Kämpferebene in ihrer Gröfse ftets voneinander abweichen. Diefem Umftande ift bei der Ausführung der Gratbogen dadurch Rechnung zu tragen, dafs mehrere Normalfchnitte für den Grat ermittelt werden. Diefe Arbeit ift im befonderen notwendig, fobald die Gratbogen für auf Schwalbenfchwanzverband ausgeführte Kreuzgewölbe aus Quadern hergeftellt werden follen.

Die gegebenen Ermittelungen der fog. Normalfchnitte der Gratbogen finden auch bei Kreuzgewölben über beliebig angeordneten regelmäfsigen oder unregelmäfsigen Grundriffen Anwendung.

148. Gratverftärkungen.

Für Kreuzgewölbe ohne felbftändige Gratbogen find Gratverftärkungen ftets zu empfehlen. Namentlich find diefelben beim Schwalbenfchwanzverbande gleich in

Fig. 209.



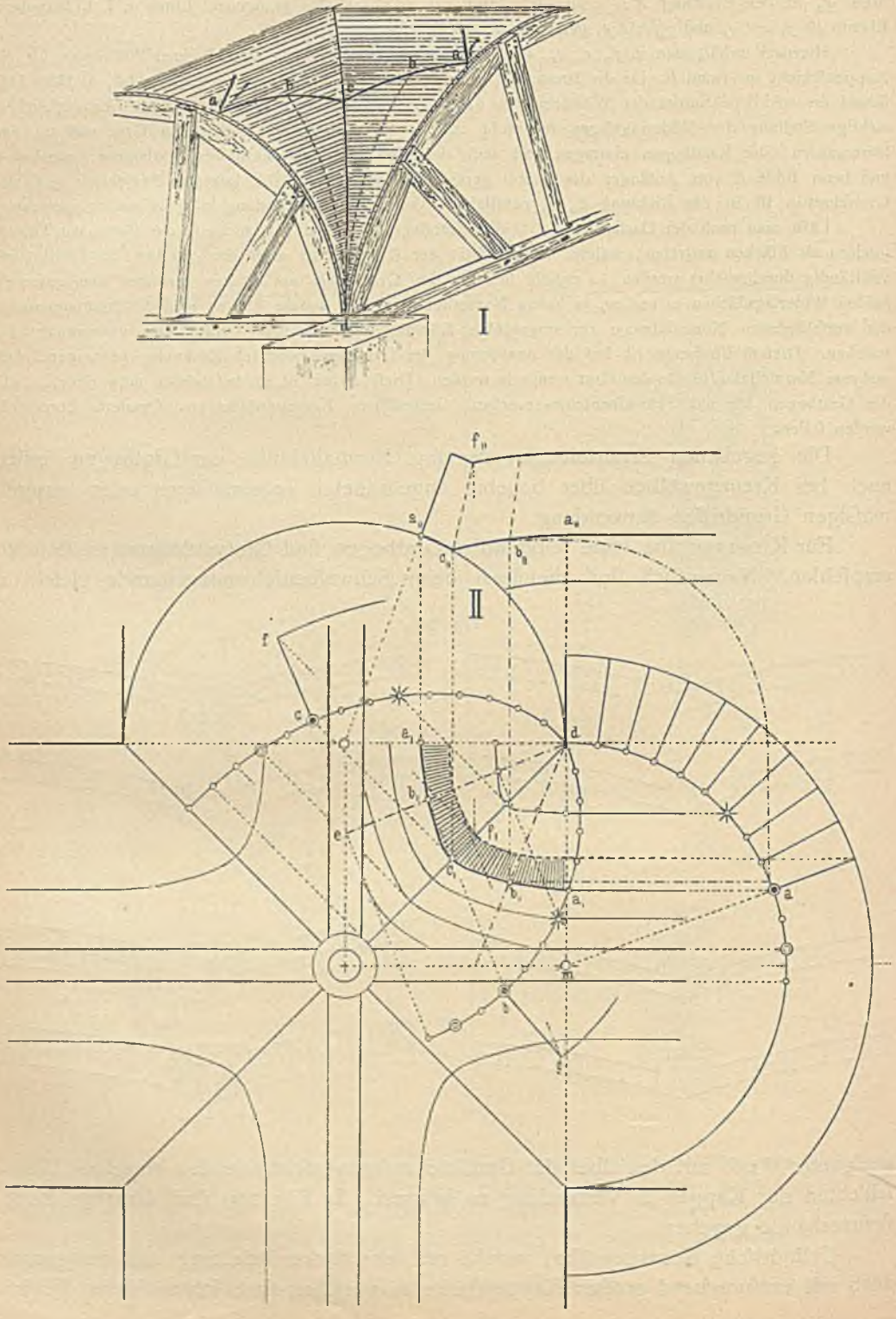
geeigneter Weife mit den über der Gratlinie zufammenfchneidenden einzelnen Wölbfchichten der Kappen in Verbindung zu bringen. In Fig. 209 find derartige Backfteinverbände gegeben.

149. Befondere Verbandarten.

Cylindrifche Kreuzgewölbe, welche mit fehr ftarker Belaftung und demgemäfs auch mit entfprechend grofser Kappenftärke zu verfehen find, können beim Fehlen

ſelbſtändiger Gratbogen oder der Gratverſtärkungen in einem beſonderen Kufverbande hergeſtellt werden, wobei die wagrechten Projektionen der Lagerfugenkanten von

Fig. 210.



zwei zuſammengehörigen Wölbſcharen der benachbarten Kappen nach einem beſtimmten Geſetze gebildete krumme Linien ſind. Ein derartiger Verband iſt für quadratiſche Kreuzgewölbe aus Backſtein von 3 Stein Stärke bei einigen Feſtungswerken in Mainz [23]) in Anwendung gebracht (Fig. 210).

Für das Feſtlegen der Lagerfugenkanten gilt das Geſetz, wonach, entſprechend *I* in Fig. 210, vom Fuſspunkte *d* der Gratbogen aus die unveränderliche Bogenlänge *da*, deren Endpunkt *a* irgend einer Lagerfuge des Stirnbogens angehört, an der Laibungsfläche der zuſammentretenden Kappen nach der Darſtellung *I* ſo um *d* gedreht wird, daſs dieſe Bogenlänge ſtets auf der Wölbfläche verbleibt und mit dem Endpunkte *a* die Lagerfugenkanten *abc* und *cba* beſchreibt. Mit Hilfe einer in *d* befeſtigten Schnur laſſen ſich derart gebildete Lagerfugen auf der Schalung des Kreuzgewölbes für alle Kappen leicht und ſo weit erforderlich vorreiſsen. Der Plan *H* in Fig. 210 giebt die geometriſche Ermittelung ſolcher Lagerfugen. Für den Fugenpunkt *a* am Stirnbogen iſt *da* die zugehörige Bogenlänge. Für den durch *d* mit der beliebigen lotrechten Ebene *de* geführten Kappenſchnitt iſt die Bogenlänge *db* ebenfalls gleich jener Bogenlänge *da*. Dasſelbe gilt auch für den Gratbogen, wobei Bogenlänge *dc* gleich Bogenlänge *da* genommen iſt. Hiernach ergiebt ſich die dem Teilpunkte *a* zukommende Lagerfugenkante in der wagrechten Projektion als ein Linienzug a, b, c, b, a, und in der lotrechten Projektion als $a_{,,} b_{,,} c_{,,} a_{,,}$. Die letztere Darſtellung zeigt ein allmähliches Niederſinken der Lagerfugen von den Stirnbogen nach dem Gratbogen. Dieſes Fallen der Fugen, welches bei ungeputzten Gewölben der Beobachtung nicht entzogen wird, ſchädigt das Anſehen der Kappen aber durchaus nicht.

Die den einzelnen Lagerfugenkanten angehörenden Lagerfugenflächen werden am zweckmäſsigſten als Normalflächen ausgeführt, d. h. die geraden Erzeugenden derſelben ſollen Normalen wie *cf*, *bg* u. ſ. f. in den betreffenden Bogenelementen *c*, *b* u. ſ. f. ihrer Schnittkurven ſein. Die übrige Anordnung der Lagerfugen bei den durchgeführten, geradlinig begrenzten Schluſsſteinſchichten iſt aus der Zeichnung zu entnehmen.

150. Zwickelausmauerung.

Bei den Kreuzgewölben bilden ſich oberhalb des Rückens und des Gewölbfuſses an den Ecken des überwölbten Raumes ſtets trichterartige Vertiefungen. Die Ausfüllung dieſer ſchachtartigen Zwickel mit Backſteinmauerwerk oder Grobmörtel (Beton) ſollte bei halbkreisförmigen, bezw. halbelliptiſchen Kreuzgewölben immer ſtattfinden, weil eine ſolche Ausfüllung für die Stabilität dieſer Kreuzgewölbe im allgemeinen günſtig wirkt. Die Zwickelausmauerung oder -Füllung kann etwa bis zu ein Drittel der Wölbhöhe der Gratbogen reichen. Bei Kreuzkappengewölben oder bei anſteigenden Kreuzgewölben wird das Anbringen der Zwickelausmauerung jedoch zweckmäſsig erſt auf Grund einer Stabilitätsunterſuchung entſchieden, um hiernach, namentlich bei gröſseren Anlagen, etwaige Vorteile oder unter Umſtänden auch Nachteile dieſer Zwickelfüllungen klarzuſtellen.

Hinſichtlich der Zeit der Ausführung der Kreuzgewölbe aus Backſtein, der Vornahme der Ausrüſtung derſelben u. ſ. f. iſt auf das in Kap. 11, unter c beim Tonnengewölbe Geſagte wieder zu verweiſen.

151. Kreuzgewölbe aus Bruchſteinen.

Bei den Kreuzgewölben des Mittelalters iſt Bruchſteinmaterial, ſelbſt wenn dasſelbe oft gar keine ſehr lagerhafte Beſchaffenheit beſaſs, in ausgiebiger Weiſe zur Verwendung gelangt. Bei den Kreuzgewölben der Jetztzeit jedoch iſt vermöge des weit verbreiteten Ziegelmaterials die Verwertung der Bruchſteine als Wölbſteine mehr in den Hintergrund gedrängt. Nur in Gegenden, in welchen zu billigen Preiſen dünnſchichtige lagerhafte Bruchſteine oder hinreichend feſte, aber leichte und unſchwer zu bearbeitende Abarten der vulkaniſchen Tuffe zu gewinnen ſind, werden Kreuzgewölbe aus dieſem Material hergeſtellt. Der Verband im Mauerwerk der Kappen entſpricht im weſentlichen der Anordnung der aus Backſtein ausgeführten Gewölbe.

Bei weniger lagerhaften und weniger regelmäſsig geſtalteten Bruchſteinen findet

[23]) Siehe: Deutſche Bauz. 1869, S. 259.

meiſtens eine Wölbung auf Kuf Anwendung, während bei ſehr lagerhaften, nicht zu groſsen Bruchſteinen mit vorwiegend regelmäſsiger Form auch eine Mauerung auf Schwalbenſchwanzverband vorgenommen werden kann.

Für Kreuzgewölbe aus Bruchſteinen iſt in Rückſicht auf das leicht erfolgende Setzen (Senken) der Kappen die Annahme einer Stechung von etwa $^1/_{20}$ der gröſsten Gratbogenweite vorteilhaft. Die Ausführung dieſer Gewölbe erfolgt ſtets auf einer vollen Einrüſtung mit Schalung. Auf die Verwendung eines ſehr guten Mörtels, welcher die Fugen im Kappenmauerwerk vollſtändig füllt, iſt beſonders zu achten.

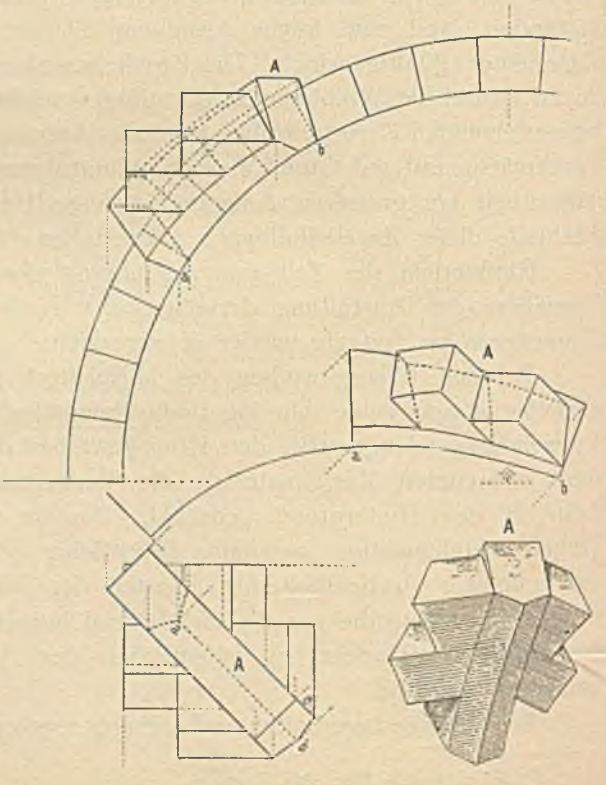
In einigen Gegenden iſt es üblich, die Wölbſteine trocken auf der Schalung zu verſetzen und ſchlieſslich mit flüſſigem Mörtelbrei zu vergieſsen. Dieſe Einwölbungsart erfordert verhältnismäſsig wenig Zeit, wohl aber die gröſste Aufmerkſamkeit einerſeits hinſichtlich der Vermeidung zu dicker Mörtelbänder, andererſeits in Rückſicht auf das Herbeiführen einer vollſtändigen Ausfüllung der ſämtlichen Fugen und einer innigen Verkittung der einzelnen Steine durch den benutzten Mörtel.

Die Ausführung erfolgt, gleichgültig, welche Verbandart für das Gewölbe gewählt wird, wie beim Kreuzgewölbe aus Backſtein, gleichzeitig und gleichmäſsig fortſchreitend, von allen Gewölbfüſsen an den Ecken des Raumes aus anfangend, bis zum Schluſs des Gewölbes. Für die Ausfüllung der Gewölbzwickel iſt Art. 150 (S. 253) zu beachten.

152. Kreuzgewölbe aus Quadern.

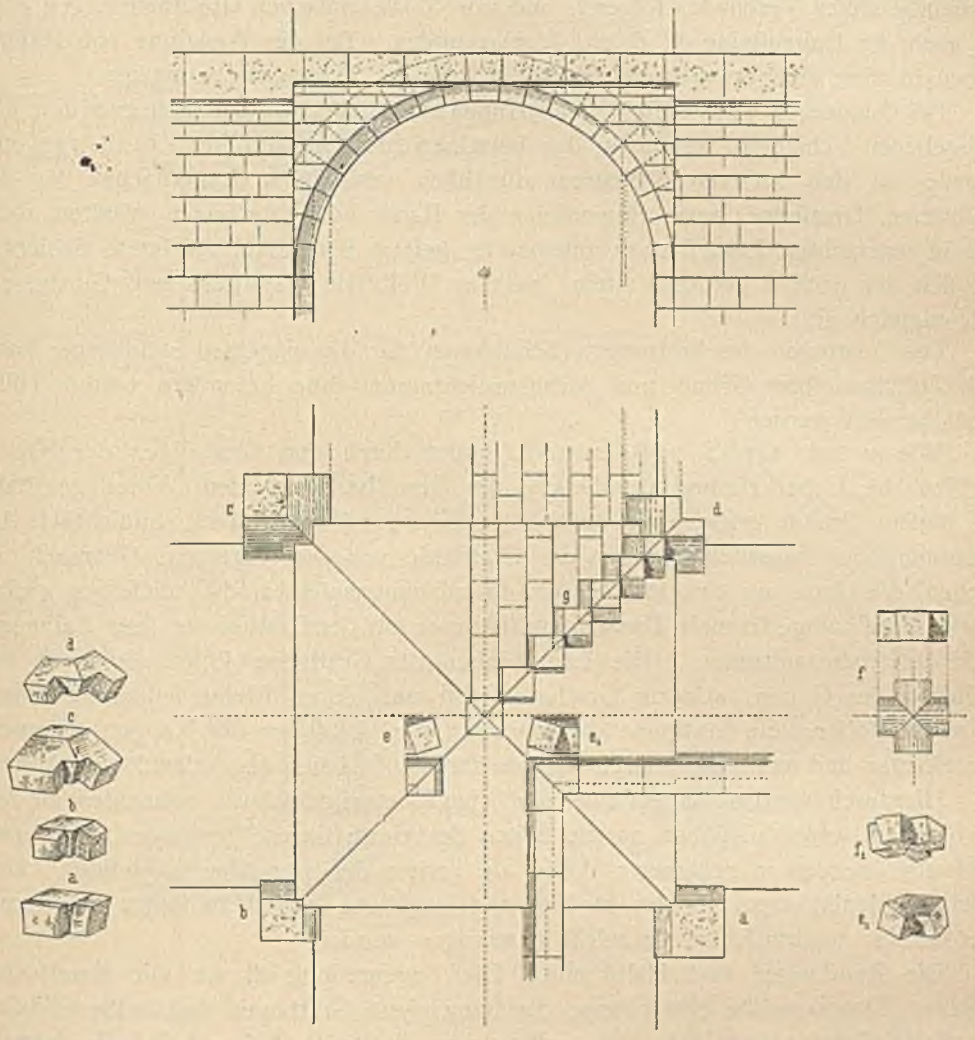
Für cylindriſche Kreuzgewölbe aus Quadern tritt bei den Wölbſteinen eine beſondere Bearbeitung nach genau beſtimmten Brettungen ein, welche, je nach der Geſtalt des Gewölbes, in mehr oder weniger einfacher Weiſe nach Feſtlegen eines zu Grunde gelegten Fugenſchnittes auszutragen ſind. Um das Mühſame im Bearbeiten dieſer Wölbſteine nicht unnötig zu ſteigern, erhalten Kreuzgewölbe aus Quadern in der Regel keine Stechung; auch behält man in den Kappen meiſtens und auch zweckmäſsig den Verband auf Kuf bei. Infolge hiervon nehmen die Kappenſteine die Form der Wölbſteine der einfachen geraden Tonnengewölbe an, ſo daſs nur für die eigentlichen Gratſteine ein beſonderer Steinſchnitt ſich geltend macht. Das unvermittelt eingeführte Zuſammentreten der Kappenſteine in einer Fugenfläche, welche der lotrechten Ebene der Gratlinie folgt, wie ſolches beim Fehlen ſelbſtändiger Gratſteine ſich ergeben würde, iſt nicht gut, weil die in der Gratebene zuſammenſtoſsenden Wölbſteine ſtets an einer Seite eine ſcharfe Schneide erhalten, welche bei Werkſtücken möglichſt vermieden werden ſoll.

Fig. 211.



Dieſer Miſsſtand würde bei den Wölbſteinen auch nicht beſeitigt ſein, wenn die Grate, wie Fig. 211 angiebt, aus beſonderen ſelbſtändigen Werkſtücken *A* als für ſich beſtehende ſchmale Tonnengewölbe mit regelrechtem Fugenſchnitte *a*, *b* u. ſ. f. ausgeführt würden, da ihre lotrechte Seiten nur Schmiegflächen bieten, gegen

Fig. 212.



welche ſich die mit den Schneiden bei *c* dennoch behafteten Wölbſteine der Kappen legen.

153. Quadergewölbe über quadratiſchem Grundriſs.

Um Wölbſteine zu ſchaffen, welche ſich mit lotrechten Stoſsflächen und mit zur Laibungsfläche der Kappen ſenkrecht ſtehenden Lagerflächen an die Wölbkörper der Grate ſetzen, ſind die einzelnen Gratſteine dieſer Forderung entſprechend im Fugenſchnitt zu behandeln.

Eine derartige Anordnung iſt in Fig. 212 für ein cylindriſches Kreuzgewölbe über einer quadratiſchen Grundfläche gegeben. Die Gratſteine können, wie *g*, bezw. *e* zeigt, frei von beſonderen, in die einzelnen Kappen reichenden Anſätzen bleiben oder, wie e_1, bezw. *f* und f_1 erkennen läſst, mit derartigen Anſätzen verſehen werden. In letzterem Falle entſtehen ſog. Hakenſteine, wobei der Schluſsſtein f_1 des ganzen

Gewölbes die Kreuzform mit ihren vier Armen als Haken annimmt. Dieſer letztere Fugenſchnitt bedingt einen gröſseren Materialaufwand für die Gratſteine als der erſtere, da bei der Bearbeitung der Hakenſteine ein gröſserer Teil der Werkſtücke als überflüſſig fortgenommen werden muſs.

Die Wölbſteine der Kappen ſind regelrecht auf Kufverband zu ordnen. Der Fugenlage dieſes Verbandes folgend, ſind ſowohl die einfachen Gratſteine e, g u. ſ. f., wie auch die Hakenſteine e_1, f_1 u. ſ. f. auszubilden. Bei der Annahme von Hakenſteinen iſt eine über etwa 20 cm gehende Länge der Haken zu vermeiden.

Bei Quadergewölben beſtehen die Anfänger zweckmäſsig aus mehreren in a, b, c angegebenen Schichten, welche in den einzelnen Steinen nach Art. 147 (S. 247) nur ſchmale, in den höheren Schichten allmählich verbreiterte Lagerflächen für die Wölbſteine, Gratſteine, bezw. Bogenſteine der Rand- oder Gurtbogen erhalten, ſonſt aber in wagrechten Lagerflächen aufeinander geſetzt ſind. Auf die letzte Schicht c legt ſich der nach d geformte Stein, welcher Wölbſtein, Gratſtein und Gurtbogenſtein zugleich iſt.

Das Austragen der Brettungen (Schablonen) für die einzelnen Steinkörper kann nach Feſtlegen ihrer Grund- und Aufriſsprojektionen ohne beſondere weitere Hilfsmittel bewirkt werden.

Wie in Art. 127 (S. 221) erörtert, findet durch den Gratkörper der Kreuzgewölbe die Ueberlieferung der Drücke des Gewölbes nach dem Widerlager ſtatt. Aus dieſem Grunde erſcheint es auch bei Quadergewölben ratſam, hinſichtlich der Anordnung des Fugenſchnittes für die Gratſteine von der Vorſchrift Gebrauch zu machen, die Grate aus einzelnen Steinen ſo zuſammenzuſetzen, daſs dieſelben gleichſam als ſelbſtändige ſchmale Tonnengewölbkörper mit der Gratlinie in ihrer Laibungsfläche verſehen auftreten. Die Lagerflächen der Gratſteine ſollen dieſerhalb zur Wölblinie des Grates, alſo zur Gratlinie ſelbſt und deren Ebene ſenkrecht ſtehen. Aufserdem ſollen dieſe Gratſteine aber auch für die Wölbſteine der Kappen geeignete Lagerflächen und namentlich durchweg lotrechte Stoſsflächen als Anſatzflächen bieten.

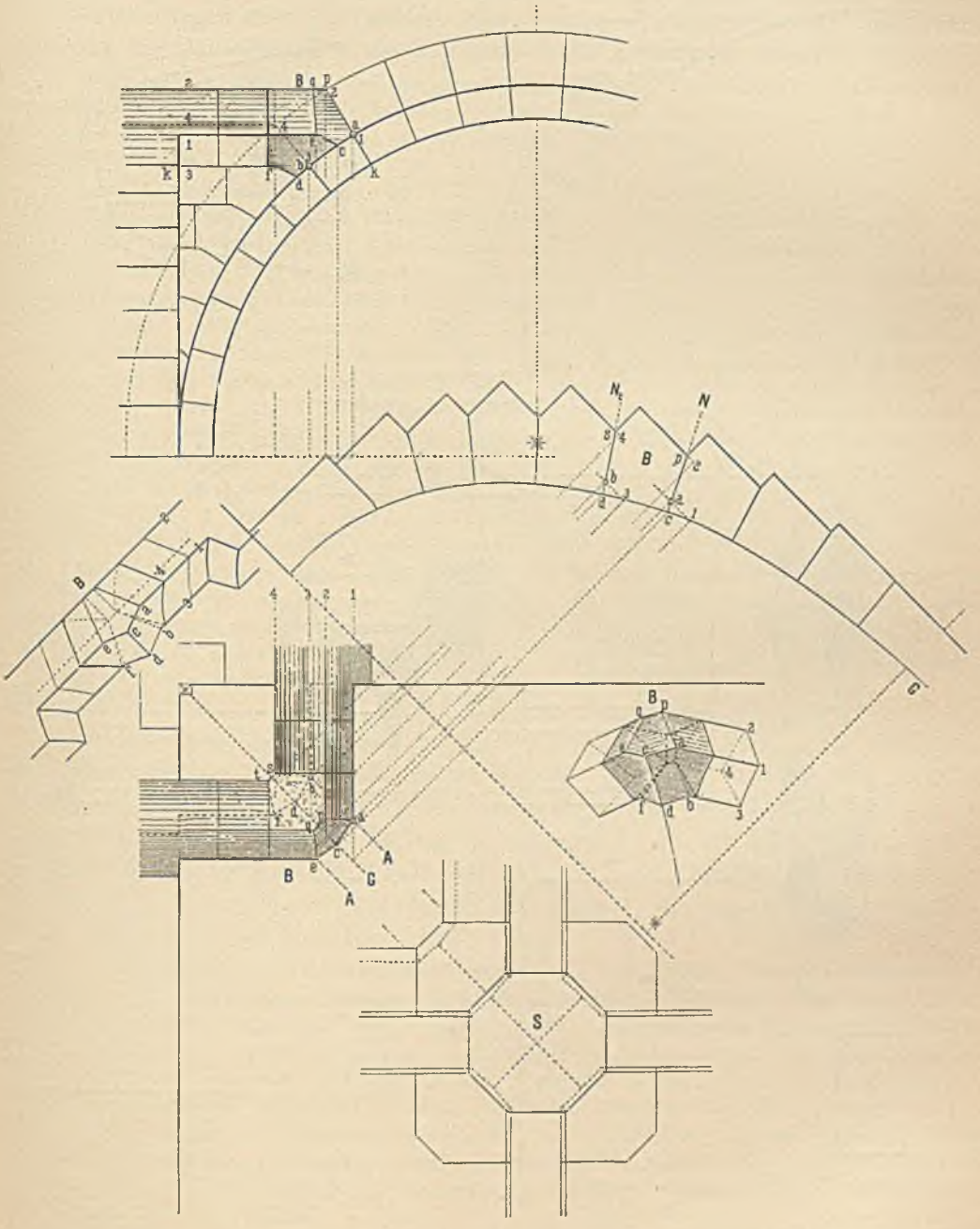
Hierdurch werden Hakenſteine und ebenſo etwaige ſcharfe Schneiden an den Wölbſteinen, ſoweit dieſelben an die Seiten der Grate treten, vermieden; die Grate ſelbſt aber werden in geeigneter Weiſe als Träger des Gewölbes eingeführt. Den geſtellten Bedingungen iſt der in Fig. 213 gegebene Fugenſchnitt für ein Kreuzgewölbe mit quadratiſchem Grundriſs unterzogen worden.

Die Randbogen ſind Halbkreiſe. Die Fugenteilung iſt für alle Randbogen dieſelbe. Das Gewölbe erhält keine Stechung; ſeine Gratbogen ſind halbe Ellipſen. Für die Wölbſteine der Grate iſt in erſter Linie die Breite $AA = 2\,GA$ als normale Breite der unteren Begrenzung der vorhin bezeichneten Lagerfugenfläche der Gratſteine feſtzuſetzen. Wenngleich dieſe Breite beliebig groſs gewählt werden kann, ſo iſt doch zur Vermeidung des Zuſammenſchneidens der noch näher zu beſtimmenden, von a und e ausgehenden Schnittlinien der normalen Lagerflächen am Gratſtein mit den Lagerflächen der eigentlichen Kappenſteine die Entfernung AA unter Berückſichtigung der Teilung der Stirnbogen nicht zu gering zu nehmen. Im allgemeinen wird die Breite $AA = 25$ bis 30 cm genommen.

Um die Projektionen irgend eines Gratſteines, z. B. von B, zu beſtimmen, hat man zu beachten, daſs die wagrechte Lagerkante 1 eines Kappenſteines mit der Lagerfuge $1\,2$ die in A parallel zur Richtungsebene G des Grates gedachte ſenkrechte Ebene im Punkte a trifft. Führt man durch a die Normalebene N zu der Gratlinie G, ſo ſchneidet dieſelbe dieſe Gratlinie in c und die Laibungsflächen der Kappen nach den Linien ca, bezw. ce. Dieſe Schnittlinien können nach den Angaben in Art. 147 (S. 249) näher

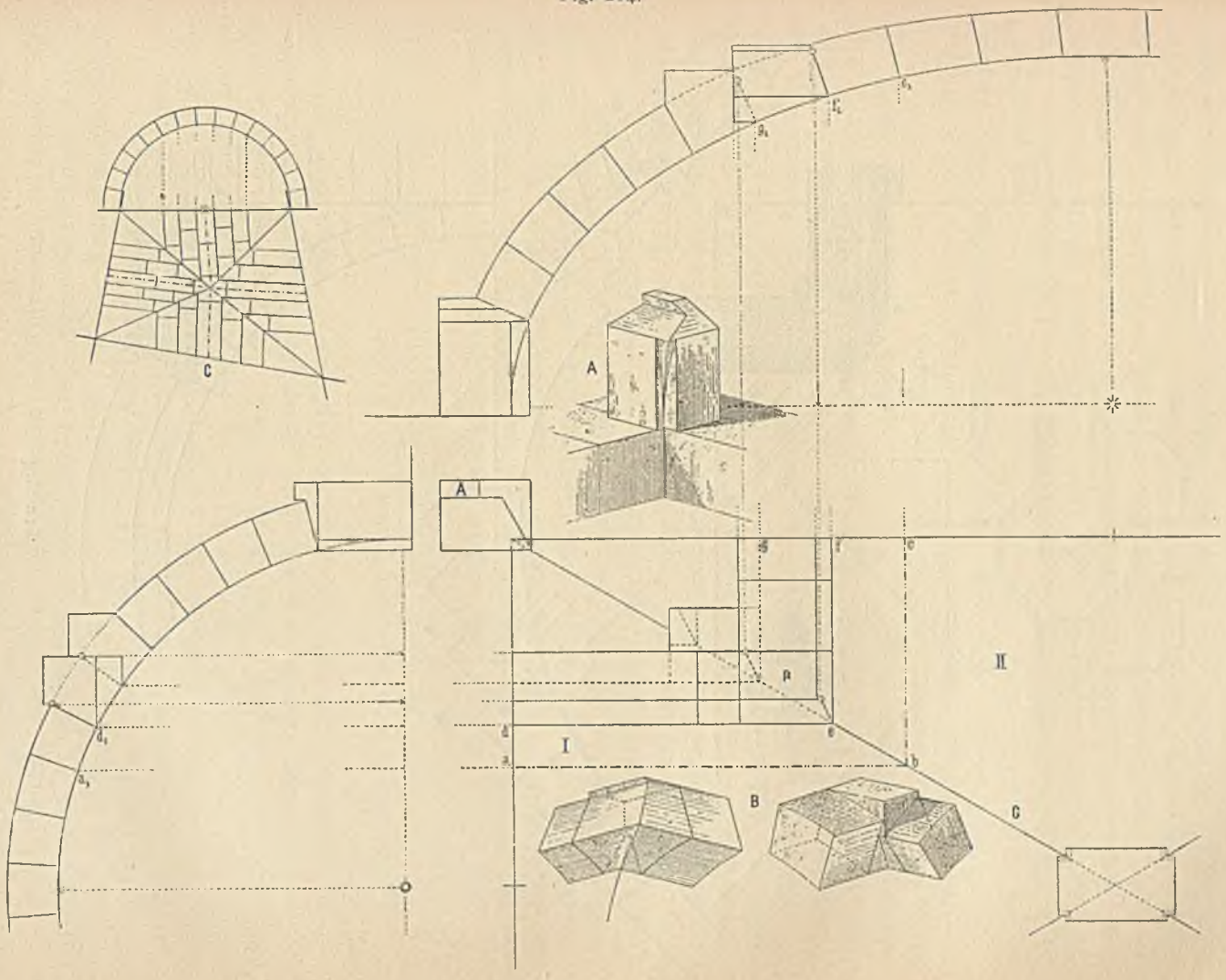
feſtgelegt werden. Die wagrechte Erzeugende *2* der Lagerfugenfläche *1 2* trifft die Normalebene *N* im Punkte *p*, ſo daſs, wie aus der Zeichnung zu erkennen, *a p*, bezw. *e q* die Schnittlinien der normalen Lagerfläche für *N* mit den Lagerflächen der Kappenſteine werden. Begrenzt man den Gratſtein *B* oben durch eine den Punkt *p* enthaltende wagrechte Ebene, ſo iſt hiermit auch die Rückenfläche dieſes Steines

Fig. 213.



beſtimmt. Für die zweite normale Lagerfläche *b d f t s* desſelben iſt die Normalebene N_1 maſsgebend. Dieſelbe iſt durch den Punkt *b* zu führen, in welchem die Lagerkante *3* der Lagerfuge *3 4* des betrachteten Kappenſteines die vorhin erwähnte Ebene *A* trifft. Die Beſtimmung der Schnittfläche *b d f t s* erfolgt genau in der für die Schnittfläche *a c e q p* angegebenen Weiſe. Führt man durch die Punkte *s*

Fig. 214.



bezw. t lotrechte, parallel zu den Stirnen der am Gratſtein B zuſammenſtoſsenden Kappen genommene Ebenen, ſo ergeben ſich die Stoſs- oder Anſatzflächen für die angrenzenden Kappenſteine. Oberhalb der Geraden ts wird der Gratſtein lotrecht abgeſchnitten. Aus der Zeichnung ſind die ſämtlichen Projektionen dieſes Steines, welche für das Anfertigen ſeiner Brettungen maſsgebend werden, zu entnehmen. Bei der Anwendung des beſchriebenen Fugenſchnittes nehmen ſowohl die Gratſteine, deren Projektionen der Reihe nach feſtzulegen ſind, als auch der Schluſsſtein im Grundriſs eine polygonale Geſtalt an.

154. Quadergewölbe über rechteckigem Grundriſs.

Bei Kreuzgewölben aus Quadern über einem rechteckigen Grundriſs kann nach Fig. 214 der Fugenſchnitt in der folgenden Weiſe angeordnet werden.

Teilt man den Randbogen der kürzeren Seite, welcher hier als Halbkreis angenommen iſt, in eine ungerade Anzahl gleich groſser Wölbſteine ein und legt man, den Teilpunkten a_1, d_1 u. ſ. f. entſprechend, die wagrechten Projektionen der ihr zugehörigen Lagerkanten ab, de u. ſ. f. parallel mit der Scheitellinie der kleinen Gewölbkappe I feſt, ſo kann man die auf der Gratlinie G liegenden Punkte b, e u. ſ. f. als Ausgangspunkte für die wagrechten Projektionen der Lagerfugenkanten bc, ef u. ſ. f. der breiteren Kappe II annehmen. Dieſe Kanten laufen parallel mit der Scheitellinie dieſer Kappe. Da dem Kreuzgewölbe keine Stechung gegeben iſt, ſo ſind ſämtliche Lagerfugenkanten wagrechte Linien. Der Randbogen der Kappe II iſt eine halbe Ellipſe. Die Lagerfugenkanten bc, ef u. ſ. f. haben in der wagrechten Projektion einen gröſseren Abſtand als die Lagerkanten ab, de u. ſ. f. der Kappe I, und infolge hiervon werden, da die Lagerkanten bc, ef u. ſ. f. die Teilungen der Wölbſteine am elliptiſchen Randbogen der Kappe II bedingen, die Wölbſteine dieſer Kappe in ihrer wagrechten Projektion breiter als bei den zugehörigen Wölbſteinen der Kappe I. Aus leicht erſichtlichen Gründen werden aber auch die Bogenlängen e_1f_1, f_1g_1 u. ſ. f. für die einzelnen Wölbſchichten der Kappe II verſchieden groſs, ſo daſs der Randbogen derſelben eine ungerade Anzahl ungleich groſser Teilungen erhält. Bei dieſer Anordnung geſtaltet ſich der Fugenſchnitt für die einzelnen Gratſteine, mögen dieſelben hakenförmige Anſätze erhalten oder frei von denſelben bleiben, äuſserſt einfach. Die Ermittelung der Projektionen eines beliebig gewählten Gratſteines B, welcher noch durch eine perſpektiviſche Darſtellung in ſeiner Vorder- und Rückſeite näher verdeutlicht iſt, ergiebt ſich ohne weitere Ausführungen aus der Zeichnung. Ebenſo iſt die Durchbildung des Anfängers leicht zu erkennen. In derſelben Weiſe kann der Fugenſchnitt, wie die Zeichnung in C angiebt, auch für unregelmäſsige Kreuzgewölbe eingeführt werden. Die Lagerfugenkanten ſind in der wagrechten Projektion parallel zu den Scheitellinien der zugehörigen Kappen zu legen, während die Stoſsfugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten unter Beobachtung eines regelrechten Verbandes der Wölbſteine zu nehmen ſind.

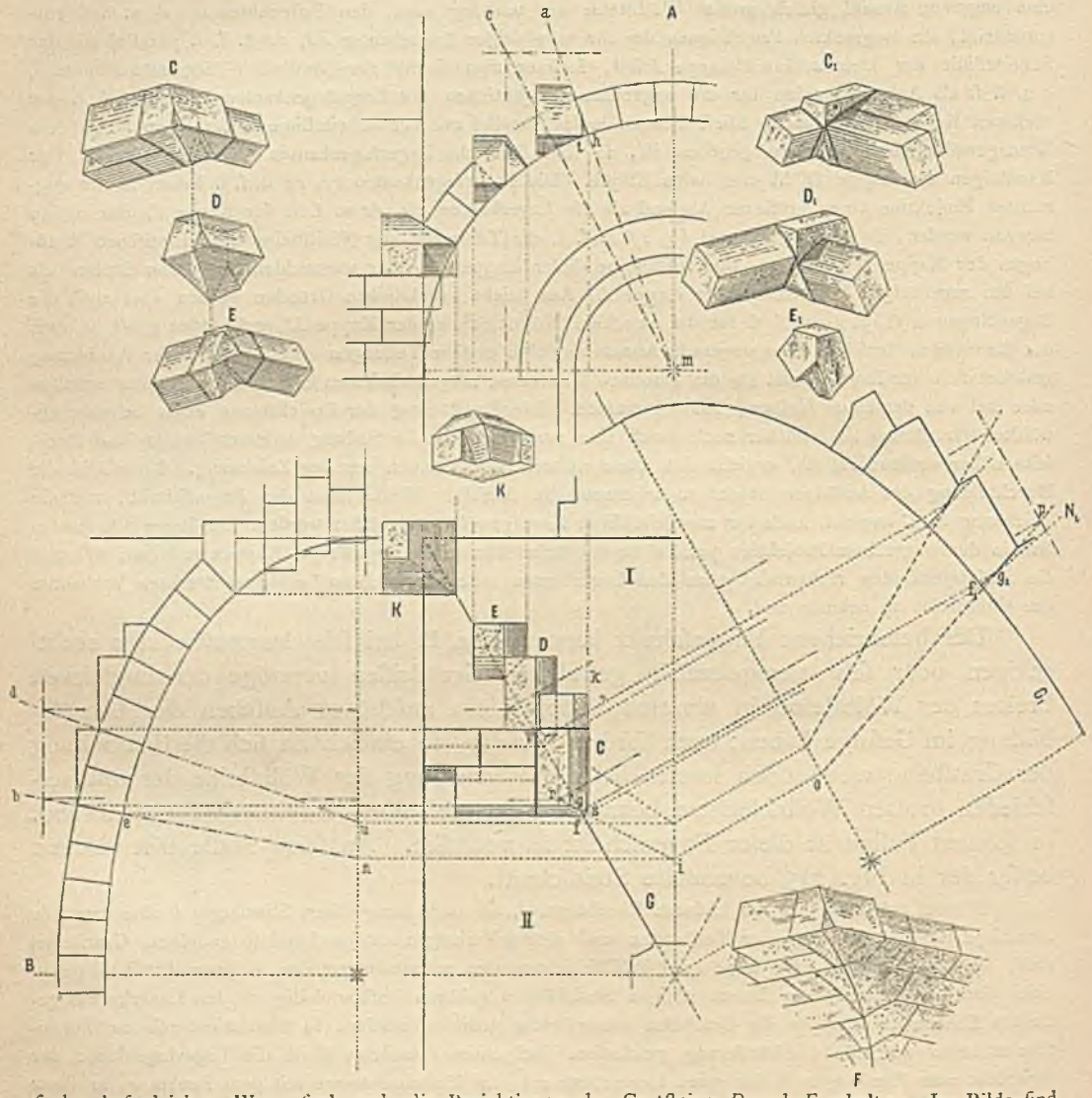
Der beſchriebene Fugenſchnitt kann aber z. B. bei ſehr langgeſtreckten rechteckigen oder ſehr unregelmäſsig geſtalteten Grundriſſen vermöge der ungleichen Breiten der Wölbſteine in einzelnen Kappen ein unſchönes Anſehen der Gewölbbildung im Gefolge haben; auch fordert derſelbe, ſo einfach an ſich die Bearbeitung der Gratſteine wird, doch immer bei der Herrichtung der Wölbſteine der mit verſchieden groſsen Wölbſchichten behafteten Kappen einen erhöhten Arbeitsaufwand. In ſolchen Fällen iſt dieſer Fugenſchnitt zu verlaſſen. An ſeine Stelle tritt alsdann beſſer der in Fig. 215 behandelte Steinſchnitt.

Hierbei erhält ſowohl der kleinere Randbogen A, als auch der gröſsere Stirnbogen B eine ungerade Anzahl je für ſich gleich groſser Teilbreiten und dieſen Teilungen entſprechend ſo geordnete Gratſteine, daſs, je nach Wunſch, eine oder zwei Wölbſchichten der zuſammentretenden Kappen I und II gegen einen Gratſtein treten. Die hierzu nötigen Stoſsflächen gehören rechtwinkelig zu den Lagerkanten geſtellten Ebenen an. Sollten die Gratſteine hakenförmig gebildet werden, ſo wird hierdurch am Fugenſchnitt keine weſentliche Abänderung geſchaffen. Bei einem Gratſteine C iſt die Lagerfugenkante der ſenkrecht zum Randbogen B ſtehenden Lagerebene nb, im Zuſammenhange mit dem Punkte e, in ihrer wagrechten Projektion bis zum Punkte f auf der Grundriſsprojektion G des Gratbogens fortgeführt. Dieſer Lagerkante liegt die Lagerfugenkante k, welcher einer Lagerfugenebene ma, alſo dem Punkte h der Kappe II angehört, am nächſten.

Die Ebenen ab und ma liefern eine gerade Schnittlinie, deren wagrechte Projektion als ir, wie aus der Zeichnung zu erſehen iſt, beſtimmt wird. Die Lagerfugenkanten, welche den Punkten e und h angehören, haben aber im allgemeinen eine voneinander verſchiedene Höhenlage über der Kämpferebene des Gewölbes, ſo daſs die Gerade ir nicht durch den Punkt f geht. Am Gratſtein C liegt die durch f gehende Lagerkante der Kappe II tiefer als die Lagerkante k der Kappe I. Führt man nun durch den

tiefer gelegenen Punkt f am Gratbogen eine Normalebene, welche in der Hilfsprojektion G_1 als $f_1 N_1$ entſpringt, ſo ſchneidet dieſelbe von den beiden über k und f liegenden Lagerflächen ein mehr oder weniger groſses, ſenkrecht zum Gratbogen ſtehendes Flächenſtück ab. Die Projektionen dieſes Stückes laſſen ſich unter Beachtung der Projektion op, welche der Schnittlinie ir entſpricht, im Hinblick auf die Zeichnung leicht ermitteln, ſobald nur noch nach dem in Art. 147 (S. 249) Vorgeführten die Projektionen fs und th der Schnittlinie, welche die Normalebene $f_1 N_1$ auf der Kappe I hervorruft, berückſichtigt werden. In derſelben Weiſe ergiebt ſich auch die Grundriſsprojektion der Normalſchnittfläche v am Gratſteine C, wofür die nötigen zeichneriſchen Durchführungen noch näher in Fig. 215 mit angegeben

Fig. 215.



ſind. Auf gleichem Wege ſind auch die Projektionen der Gratſteine D und E erhalten. Im Bilde ſind dieſe Steine in Vereinigung mit den anſtoſsenden Gewölbſteinen der Kappen ſowohl von der Vorderſeite, wie in C, D, E, als auch von der Rückſeite, wie in C_1, D_1, E_1, noch beſonders gegeben. Die Darſtellung F zeigt das Zuſammenfügen der Gratſteine mit den Kappenſteinen, während K dem oberen Stücke des Gewölbanfängers angehört, welcher unterhalb K hier aus wagrecht übereinander liegenden Schichten ausgeführt iſt.

Das Verſetzen der Quader bei Kreuzgewölben, das Einführen des Mörtels u. ſ. w. folgt dem in Art. 51 (S. 106) Geſagten.

b) Gotiſche Kreuzgewölbe.

155. Weſen.

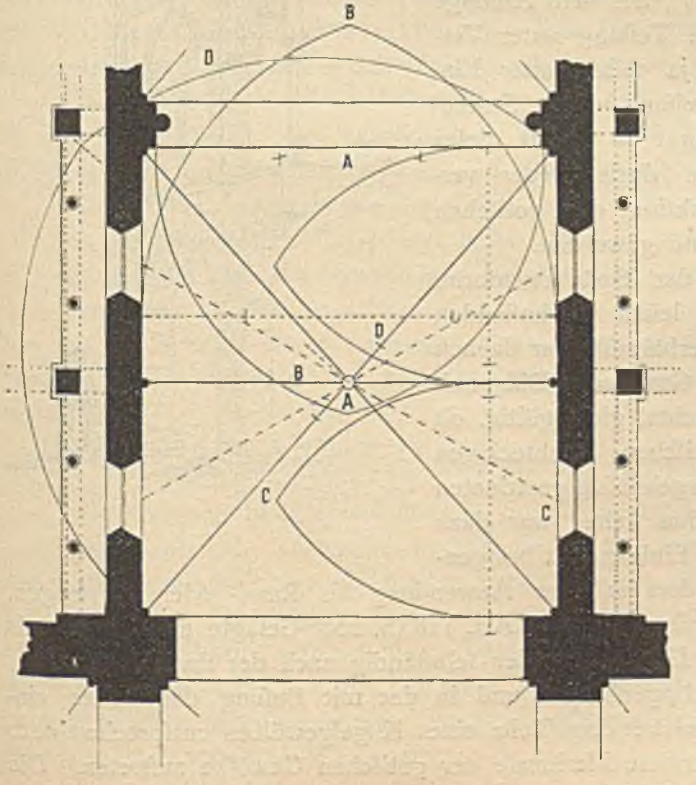
Das Weſen der gotiſchen Kreuzgewölbe, wodurch ſich dieſelben von allen anderen Gewölben unterſcheiden, iſt hinſichtlich ihrer Geſtaltung in Art. 118 (S. 208) durch einige allgemeine Grundzüge gekennzeichnet, welche ihre Ableitung in der Betrachtung der weiteren Entwickelung des romaniſchen Kreuzgewölbes gefunden haben.

Die beſondere Bildung dieſer in der Baukunſt eine hervorragende Stellung einnehmenden Gewölbe hat aber noch mannigfache und wichtige Punkte zu berückſichtigen, welche die kunſtvolle Technik in der Anlage und Ausführung dieſer Gewölbkörper an ſich und in ihrem Zuſammenhange mit den zugehörigen Widerlagsteilen näher berühren.

Die Kreuzgewölbe der Blütezeit der Gotik bekunden ein beſonders in den Vordergrund tretendes Beſtreben, welches darauf gerichtet war, die Wölb- und Widerlagsmaſſen ſo zu gliedern und unter Beſeitigung von ängſtlichen Teilungen beim Zerlegen gröſserer zu überwölbender Räume ſo zu geſtalten, daſs unter dem Aufwande aller Sorgfalt beim Schaffen der mit ſicherer Standfähigkeit behafteten Bauwerke kein Teil derſelben einen verletzenden Ueberfluſs an Material zeigen ſollte. Konſtruktionsſyſtem und Form ſind in eine innige, ſich gegenſeitig bedingende Verbindung gebracht, gerecht und wohl geordnet.

Als ein weſentliches Hilfsmittel zur Erzielung dieſer Verbindung iſt die Verwendung des Spitzbogens anzuſehen. Weſentlicher aber noch iſt bei den gotiſchen Gewölben die Teilung des Gewölbfeldes durch ſelbſtändige Gurt-, Grat- oder Rippenkörper. Dieſe bilden in ihrer geſamten Anordnung ein eigentliches Tragſyſtem; ſie nehmen zwiſchen ſich die beſonders gewölbten Kappenſtücke auf und übertragen die Geſamtlaſt der Deckenbildung auf einzelne beſtimmte Stützpunkte. Dieſe Punkte bedingen die weitere Ausbildung der Widerlagskörper, welche im allgemeinen als Freiſtützen geſtaltet werden können. Sie beſonders ſtandfähig herzurichten, ohne dabei an Material zu verſchwenden, iſt eine vorwiegende Bedingung. An den hauptſächlichſten Stützpunkten angelegte Strebepfeiler oder mit Strebe-

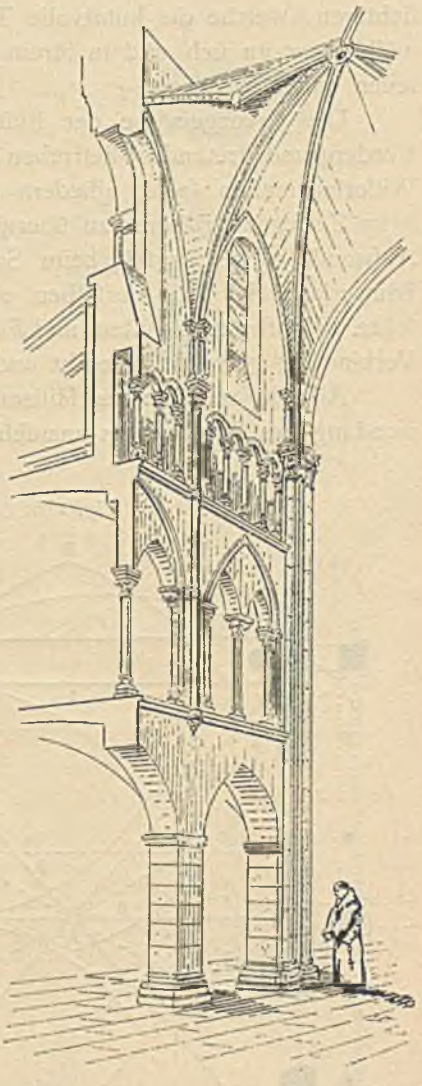
Fig. 216.



pfeilern verbundene, frei aufſteigende Strebebogen entſprechen jener Bedingung. So entſteht ein vollſtändig gegliedertes Gewölb- und Stützenſyſtem, welches an und für ſich und unabhängig von dem zwiſchen den Stützen einzufügenden Mauerwerke der Umfangs- oder Scheidemauern des zu überdeckendem Raumes, den eigentlichen Kern des ganzen Bauwerkes bildet.

Im Gefolge hiervon ſteht die freie Auflöſung der Maſſen. Die Umfangsmauern, wenig oder gar nicht vom Gewölbſchube berührt, bedürfen keiner erheblichen Stärke; ſie können in ausgiebigſter Weiſe durchbrochen oder, mit Oeffnungen verſehen, ſich dem geſamten Organismus des Bauwerkes einfügen. Immer behält die Konſtruktion des Gewölb- und Stützenſyſtems die Herrſchaft. Bei dem gewiſſenhaften Abwägen der Maſſen, möglichſt entſprechend den in ihnen wachgerufenen Kräften, iſt in Abhängigkeit von der Konſtruktion die Form des Bauwerkes abzuleiten, zu gliedern und kunſtgerecht zu bilden.

Fig. 217.



Iſt auch bei den ſechsteiligen Kreuzgewölben (vergl. Art. 117, S. 206) aus der Mitte des XII. Jahrhunderts eine Teilung des Gewölbfeldes durch Kreuzrippen mit durchlaufender Mittelrippe mehrfach, in Deutſchland namentlich im rheiniſchen Uebergangsſtil, vorgenommen; iſt auch, wie z. B. beim Hauptgewölbe des Domes zu Limburg an der Lahn (Fig. 216 u. 217), aus dem Anfange des XIII. Jahrhunderts, dieſe Teilung unter Verwendung von Spitzbogen, ja ſelbſt unter Einführung der ſeitlichen Abſteifung durch Strebebogen zum Ausdruck gelangt — ſo iſt dieſes Wölbſyſtem im allgemeinen doch wieder verlaſſen und für die Konſtruktion der gotiſchen Gewölbe nicht durchſchlagend geworden.

Die Schmiegſamkeit der Spitzbogenform, welche einen zweckmäſsigen, leicht zu ſchaffenden Zuſammenhang der Höhenverhältniſſe der danach geſtalteten einzelnen Gurt-, Grat- oder Diagonalbogen untereinander ermöglichte, gleichgültig, ob das Gewölbe über quadratiſchen, rechteckigen oder mehr oder weniger unregelmäſsig geordneten Grundriſſen ausgeführt werden ſollte, war dazu angethan, die ſchwieriger in Einklang zu bringenden Halbkreisbogen, beſonders in ihrer Anwendung als Rand- oder Stirnbogen, zu verdrängen. Unter Hinweis auf das in Art. 118 (S. 208) Geſagte möge nochmals betont werden, daſs in der Herrichtung der ſelbſtändig nach der ſtatiſch günſtigen Spitzbogenlinie gebildeten Rippenkörper und in der mit Buſung dazwiſchen eingewölbten Kappenſtücke, welche dem Teile eines Kugelgewölbes entſprechen oder demſelben ähnlich ſind, beſondere Merkmale der gotiſchen Gewölbe auftreten. Die

Rippenkörper gehören ſchmalen Streifen eines cylindriſchen Gewölbes, bezw. eines Tonnengewölbes an, während die Kappenſtücke im allgemeinen ſphäriſchen, bezw. ſphäroidiſchen Gewölben zuzuweiſen ſind.

Im folgenden ſollen die Geſtaltungen der gotiſchen Kreuzgewölbe eingehender beſprochen werden.

1) Einfache gotiſche Kreuzgewölbe.

156. Bezeichnungen.

Für die Geſtaltung und Darſtellung eines einfachen gotiſchen Kreuzgewölbes möge zunächſt ein ſolches über einem quadratiſchen und einem rechteckigen Grundriſſe, unter Angabe der Bezeichnungen ſeiner Beſtandteile, Berückſichtigung finden. Die Grundriſsfigur bildet das Gewölbfeld oder das Gewölbjoch. Die Diagonalen des Gewölbfeldes ſind die wagrechten Projektionen der Diagonal- oder Kreuzbogen. Ueber den Seitenlinien des Gewölbfeldes erheben ſich die Rand- oder Stirnbogen. Treten mehrere Gewölbfelder im Grundriſs zuſammen, ſo werden die Randbogen, welche die einzelnen Joche voneinander ſcheiden, auch Gurtbogen oder Scheidebogen genannt. Sind die Randbogen unterhalb ihrer Laibung durch volles Mauerwerk oder durch Mauerwerk mit beſonders darin angelegten Oeffnungen geſchloſſen, ſo führen ſie den Namen Schildbogen.

Erhalten die erwähnten Bogen eine vor der eigentlichen Gewölbfläche ausladende, einfach oder reich gegliederte Anordnung, ſo heiſsen ſie allgemein Rippen. Man unterſcheidet nach der Stellung derſelben Kreuzrippen, Gurtrippen und Schildbogenrippen. Spannweite, Pfeilhöhe, Pfeilverhältnis, Scheitel, Schluſsſtein entſprechen auch hier den früher in Art. 3 (S. 2) gegebenen Erklärungen. Die zwiſchen dem als Skelett des ganzen Gewölbkörpers auftretenden Rippenſyſteme eingefügten Gewölbſtücke heiſsen Gewölbkappen oder kurz Kappen. Sie finden ihr Widerlager an den Rippenkörpern. Das Pfeilverhältnis der Wölblinie einer Kappenſchicht kennzeichnet das Maſs der Buſung oder des Buſens der Kappe.

157. Darſtellung.

Von Wichtigkeit für die Darſtellung des einfachen gotiſchen Kreuzgewölbes iſt die Ausmittelung der bezeichneten Bogen hinſichtlich der Höhenlage ihrer Scheitelpunkte zu einander in Bezug auf eine gemeinſchaftliche Kämpferebene.

Hierbei ſind vorzugsweiſe drei Fälle zu unterſcheiden:

α) die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen liegen ſämtlich in gleicher Höhe;

β) die Scheitel der Randbogen liegen tiefer als der Scheitel der Kreuzbogen, und

γ) der Scheitel der Kreuzbogen liegt tiefer als der Scheitel der Randbogen. Hierbei können im beſonderen auch die Scheitel der Randbogen noch in verſchiedener Höhe liegen.

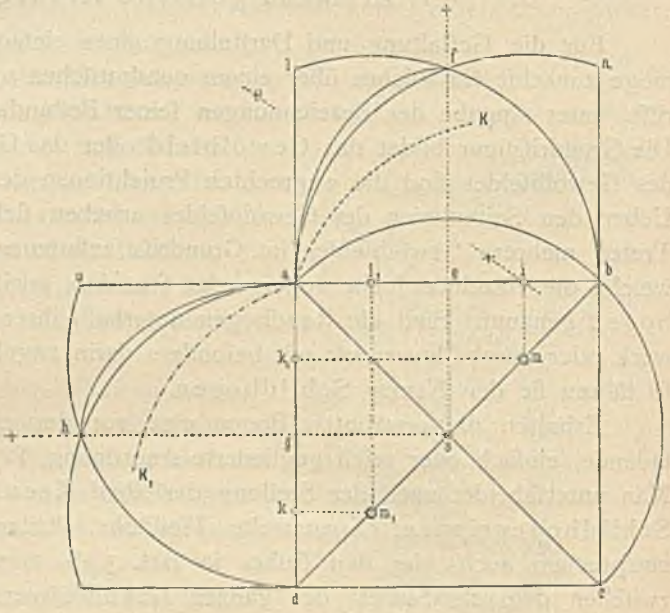
α) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen.

Als Ausgang für die Beſtimmung der Form der Randbogen dient der Kreuz- oder Diagonalbogen. Derſelbe bedingt in erſter Linie die allgemeine Höhenlage des Scheitelpunktes des zu bildenden Kreuzgewölbes. Seine Bogenlinie iſt ein Halbkreis oder ein Spitzbogen. Letzterer wird häufig und zweckmäſsig als ein nur mäſsig vom Halbkreis abweichender ſtumpfer Spitzbogen behandelt, deſſen Pfeilhöhe demnach wenig mehr beträgt als ſeine halbe Spannweite. Bei hoch anſtrebenden Kreuzgewölben tritt ſtatt dieſes ſtumpfen Spitzbogens der mehr oder weniger ſteil geformte Spitzbogen als Kreuzbogen auf.

158. Quadratiſcher Grundriſs.

Iſt in Fig. 218 das Quadrat $abcd$ der Grundriſs des Gewölbfeldes und wird ein Diagonalbogen über ac, bezw. bd als Halbkreis mit dem Halbmeſſer sa gewählt, ſo iſt hierdurch die Scheitelhöhe des Kreuzgewölbes über der wagrechten Kämpferebene gleichfalls in sa gegeben. Die ihr gleichen Höhen ef, bezw. gh ſollen für die als Spitzbogen zu konſtruierenden Randbogen afb, bezw. ahd beibehalten werden. Die Mittelpunkte der einzelnen Schenkel der Randbogen ergeben ſich in bekannter Weiſe in i, i_1, bezw. k, k_1. Bemerkt ſei, daſs bei dieſer Darſtellung der Kreuz- und Randbogen die Halbmeſſer $ai = bi_1 = ak = dk_1$ nach einer einfachen geometriſchen Beziehung gleich $^3/_4$ der Seitenlänge ab des quadratiſchen Grundriſſes ſind. Die entſtehende Bogenform iſt nicht ungünſtig. (Vergl. Art. 9, S. 15.)

Fig. 218.



Die zwiſchen den Schenkeln der Randbogen und den halben Diagonalbogen liegenden Kappen können ohne weiteres reine Kugelflächen als Laibung erhalten.

Auf Grund der in Art. 118 (S. 209) gegebenen Entwickelungen iſt m als Schnitt des Lotes im auf ab und des Lotes sm auf ac der Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenteiles aes und der um m mit dem Halbmeſſer ma beſchriebene Kreis K ein größter Kreis dieſer Fläche. Ebenſo iſt m_1 als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenteiles ags mit dem größten Kreiſe K_1 zu beſtimmen. Die nach gs, bezw. es genommenen lotrechten Kugelſchnitte liefern ſofort die als Kreisbogen vorhandenen Scheitellinien lf, bezw. oh, deren Mittelpunkte in i_1, bezw. k_1 bereits beim Feſtlegen der Randbogen erhalten wurden.

Bei dieſer Ausmittelung der Beſtandteile des hier behandelten Kreuzgewölbes zeigt ſich ein inniger geometriſcher Zuſammenhang derſelben untereinander. In konſtruktiver Beziehung tritt eine Vereinigung der nach Art ſchmaler Tonnengewölbe herzurichtenden Kreuz- und Stirnrippen mit Kugelgewölbſtücken der Kappen auf, wodurch zugleich die Buſung der Kappenſchichten feſtgelegt iſt.

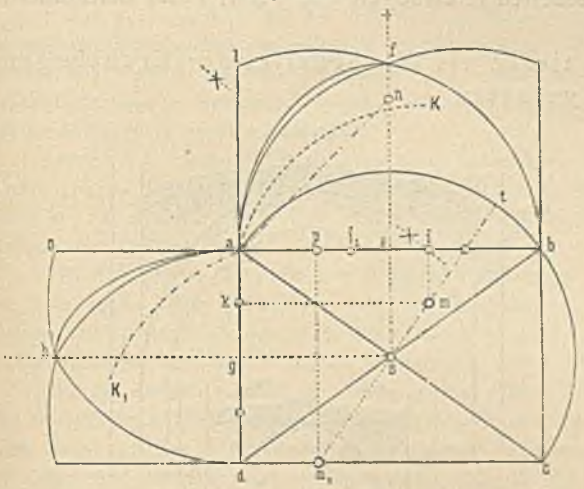
Soll bei der Aufrechterhaltung der Form der Rippen für die Wölbung der Kappen eine von der Kugelfläche abweichende Buſung angenommen werden, ſo daſs die Wölbfläche nach einem anderen, mit gewiſſer Freiheit aufzuſtellenden Geſetze zu einer ſphäroidiſchen Fläche auszubilden iſt; oder ſoll unter Umſtänden bei der Einführung einer geraden Scheitellinie für die Kappen gar keine Buſung ſich geltend machen — ſo entſtehen hierdurch keine nennenswerten Schwierigkeiten. Hiervon wird bei der Ausführung der Kappenmauerung gotiſcher Gewölbe noch näher die Rede ſein. Immerhin erſcheint aber die beſprochene einfache Geſtaltung der Kappenſtücke nach Kugelflächen, welche in unmittelbarem und innigem Zuſammenhange mit der Form des Gewölbgerippes ſtehen, als folgerichtig, auch in Rückſicht auf ihre Stabilitätsunterſuchung und Ausführung als zweckmäſsig.

Würde für den Kreuzbogen ſtatt des Halbkreiſes ein mehr oder weniger hoher Spitzbogen gewählt und alsdann ſeine Pfeilhöhe für die Scheitelhöhe der Randbogen zu Grunde gelegt, ſo erleiden die maſsgebenden Entwickelungen hinſichtlich der Feſtſtellung der Form dieſer Randbogen und der Kugelflächen der Kappen keine Aenderung.

159. Rechteckiger Grundriſs.

Bei dem Gewölbfelde mit rechteckigem Grundriſs $abcd$ (Fig. 219) ſei der Diagonalbogen über ac, bezw. bd wiederum ein Halbkreis mit dem Halbmeſſer sa. Hierdurch iſt die Scheitelhöhe $st = sa$ beſtimmt und danach die Höhe der Randbogen $ef = gh = st$ genommen.

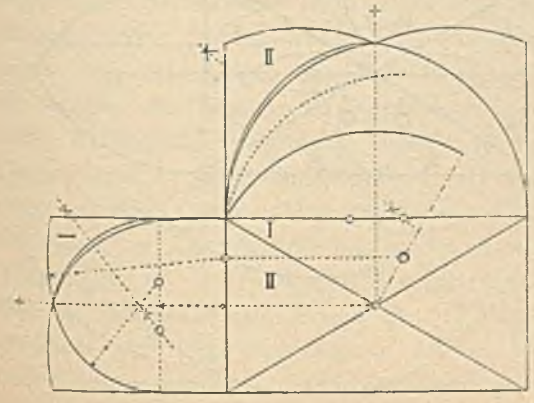
Fig. 219.



Die Mittelpunkte des Randbogens afb der langen Seite des Rechteckes werden in i, bezw. i_1 gefunden; die Mittelpunkte für den Randbogen ahd liegen in den Endpunkten a, bezw. d der kleinen Seite des Rechteckes. Dieſer Randbogen umſchlieſst alſo ein gleichſeitiges Dreieck.

Bei einem rechteckigen Grundriſs tritt dieſe Lage der Mittelpunkte des Randbogens der kleinen Seite bei gleicher Höhenlage der Scheitel von Rand- und Kreuzbogen ſtets ein, ſobald letzterer ein Halbkreis iſt und ſobald zugleich die Länge der kleinen Seite ad des Rechteckes gleich der Hypotenuſe an eines rechtwinkeligen und gleichſchenkeligen Dreieckes genommen wird, deſſen Katheten ea und en gleich der halben groſsen Rechteckſeite ab ſind. Bei dieſen Abmeſſungen wird der Randbogen der groſsen Seite ein ziemlich ſtumpfer, aber ſonſt nicht ungünſtig geformter Spitzbogen, während der Randbogen der kleinen Seite verhältnismäſsig ſchlank gebildet erſcheint. Würde die Seite ad kleiner als an werden, ſo würden die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens unter der Annahme der gleichen Scheitelhöhen für ſämtliche Hauptbogen des Kreuzgewölbes nunmehr über a und d hinausfallen und ſomit einen ſehr ſteil aufſteigenden Spitzbogen bedingen. Das hier angegebene Verhältnis der Seitenlängen des Gewölbfeldes kann als ein Grenzmaſs inſofern angeſehen werden, als bei ſehr ſchmalen, rechteckigen Gewölbfeldern zur Vermeidung eines ſehr ſteilen Spitzbogens der kleinen Rechteckſeite oft vorteilhafter ein ſtumpferer Randbogen, wie in Fig. 220 gewählt werden müſste, welcher zur Erzielung der vorgeſchriebenen gleichen Höhenlage ſeines Scheitels mit den Scheitelpunkten des Kreuzbogens und des Randbogens der langen

Fig. 220.



Rechteckſeite eine Stelzung zu erfahren hätte. Alsdann erhielten die Kappen *II* der ſchmalen Seiten bei der Beobachtung einer Bufung ſphäroidiſche Laibungsflächen, während bei dem in Fig. 219 angenommenen Verhältniſſe der Breite zur Länge des Gewölbfeldes ſich für dieſe Kappen ebenſowohl, alſo auch für die Kappen der langen Seite, die Laibungen als Kugelflächen geſtalten laſſen. Ohne weitere Bedingungen zu ſtellen, ergeben ſich die Mittelpunkte dieſer Kugelflächen in m für die Kappe ase mit dem gröſsten Kreiſe K und in m_1 für die Kappe asg mit dem gröſsten Kreiſe K_1; auch ſind hiernach in hinlänglich gekennzeichneter Weiſe die Scheitellinien über se und sg als die um k, bezw. p beſchriebenen Kreisbogen ho, bezw. fl zu beſtimmen.

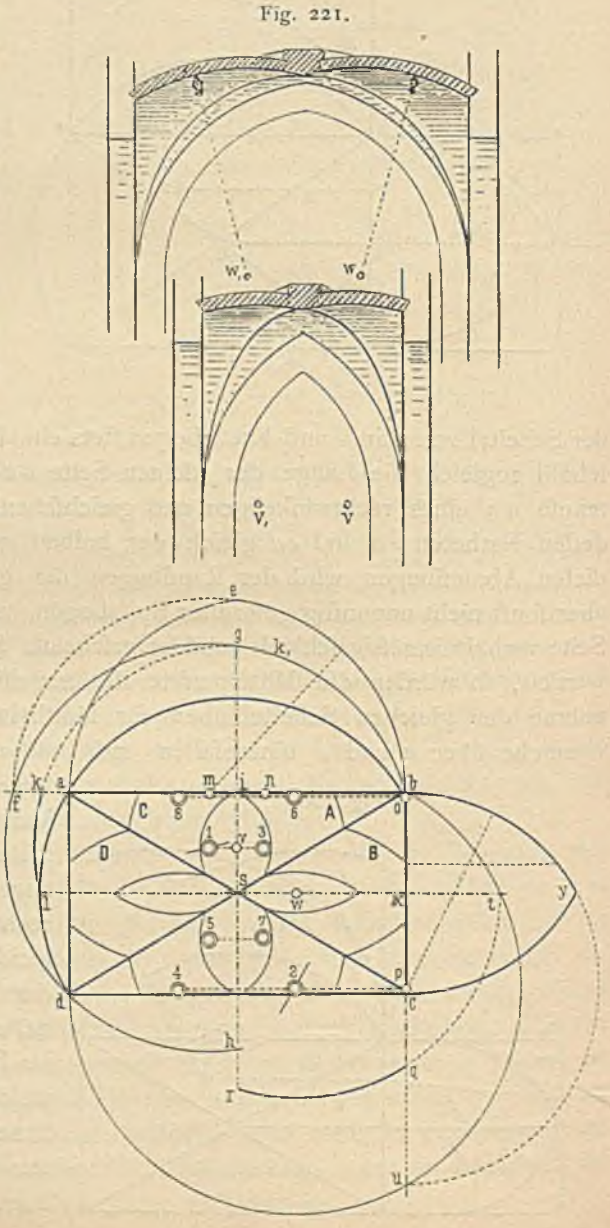
β) Die Scheitel der Randbogen tiefer als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen.

160. Rechteckiger Grundriſs: gleiche Halbmeſſer.

Für das Austragen der Randbogen gelten nach Annahme der Form der Kreuzbogen dieſelben Grundlagen, ſowohl für quadratiſche, als auch für rechteckige Gewölbfelder.

Um zwiſchen dem Diagonal- und Randbogen einen einfachen Zuſammenhang zu erhalten, ſind bei vielen Kreuzgewölben des gotiſchen Bauſtils die ſämtlichen Bogen der Rippen mit gleichem Halbmeſſer geſchlagen. Die hierdurch bedingten Gewölbanordnungen ſollen für ein rechteckiges Gewölbfeld $abcd$ nach Fig. 221 getroffen werden.

Fig. 221.



Die kleine Seite bc des Rechteckes ſei noch etwas gröſser als die Hälfte bs einer Diagonale bd. Der Diagonalbogen ſei der Halbkreis dab, ſo daſs $sb = sd$ der für die Geſtaltung der Randbogen beſtimmende Halbmeſſer wird. Trägt man $bm = an = sb$ auf der langen Seite ab von den Ecken b und a aus ab, ſo ſind m und n die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens bea. Beſtimmt man in gleicher Weiſe die Punkte p und o auf der kleinen Seite bc durch $bp = co = sb$, ſo ſind dieſe Punkte Mittelpunkte des kleinen Randbogens byc. Beide Randbogen werden Spitzbogen mit den

Höhen ie, bezw. xy über der Kämpferebene. Diese Höhen sind unter sich verschieden und stets kleiner als die Scheitelhöhe des Kreuzbogens.

Giebt man den Kappen reine Kugelflächen zur Laibung, welche unmittelbar von den festgelegten Kreuz- und Randbogen in Abhängigkeit gesetzt werden, so ist der Punkt *1* als Schnitt der nicht weiter gezeichneten Lote in *s* auf bs und in *m* auf ab der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenstück über isb. Der gröfste Kreis derselben enthält in der Kämpferebene die Punkte b, g, f, d, h. Ebenso ist der Punkt *2* als Schnitt von Loten in *s* auf bs und in *p* auf bd als Mittelpunkt der Kugelfläche für den Kappenteil über xsb zu ermitteln. Der gröfste Kreis dieser Fläche besitzt in der Kämpferebene die Punkte b, t, u, d. In entsprechender Weise wird *3* als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück isa, *4* als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück lsa gefunden, so dafs hiernach auch leicht die Punkte *5*, *6*, *7* und *8* als Mittelpunkte der übrigen Kugelflächen anzugeben sind. Weiter ergiebt sich unter Benutzung der Mittelpunkte der einzelnen Kugelflächen in *v* der Mittelpunkt für den Kreisbogen kl der Scheitellinie über is mit dem Halbmesser vg, sowie in *w* der Mittelpunkt des Kreisbogens qr der Scheitellinie über xs mit dem Halbmesser wt. Nach diesen Ausmittelungen sind Längen- und Querschnitt des Gewölbkörpers leicht darzustellen.

Führt man durch das Gewölbe wagrechte Schnitte, so entstehen auf den Laibungsflächen der Kappen Kreisbogen als Schnittlinien, deren wagrechte Projektionen wie in *A* aus *1*, in *B* aus *2*, in *C* aus *3*, in *D* aus *4* u. s. f. zu beschreiben sind. Diese Schnittlinien kennzeichnen die vorspringende Eckbildung der Kappen am Diagonalbogen.

Wird die kleine Seite des rechteckigen Gewölbefeldes gleich der Länge bs, so wird der Randbogen ein Spitzbogen, dessen Mittelpunkte mit den Eckpunkten b und d zusammenfallen. Ist die Länge der kleinen Seite geringer als die Länge der halben Diagonale bd, so treffen die Mittelpunkte des Randbogens in der Verlängerung von be über die Eckpunkte b und c hinaus.

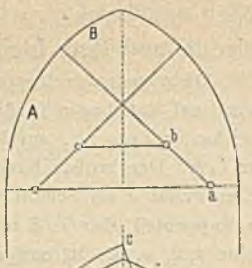
Infolge hiervon entsteht ein steiler, lanzettförmiger Spitzbogen für die Seite bc. In Rücksicht auf den weniger schlanken Spitzbogen der langen Seite und unter Beachtung der Form des Abschlusbogens einer Oeffnung, welche in einer etwa anzulegenden Stirnmauer bc angebracht werden sollte, kann aber ein derart steil aufsteigender Randbogen nicht immer als günstig erscheinen. Bei der Anwendung gleicher Halbmesser für Kreuz- und Randbogen bei quadratischem Gewölbfelde tritt die Verschiedenheit der Randbogen nicht ein. Dieselben haben wohl eine tiefere Scheitellage als der Kreuzbogen, aber sonst unter sich gleiche Scheitelhöhen. Letzteres ist bei einem rechteckigen Gewölbfelde nicht der Fall. Der Randbogen der kleinen Seite erhält dabei stets eine geringere Höhe als der Randbogen der grofsen Seite.

Das eigentliche Wesen der Gestaltung der Randbogen erleidet keine Aenderung, wenn für den Kreuzbogen an die Stelle eines Halbkreises ein Spitzbogen tritt, dessen Halbmesser für die Bildung der Randbogen als gegebene Gröfse benutzt wird.

Die Annahme gleicher Halbmesser für die Bogenform des Rippensystems bietet den Vorteil eines gleichartig gebildeten Auslaufes der Bogenansätze von ihrem gemeinschaftlichen Stützpunkte an den Ecken des Gewölbfeldes. Die Ausführung der Gewölbanfänge wird hierbei erleichtert; auch wird bei profilierten Rippenkörpern ein regelmäfsiges Loslösen der einzelnen Gliederungen am Anfänger ermöglicht. Die unmittelbare Abhängigkeit der Scheitelhöhen der einzelnen Bogen von dem einmal festgesetzten Halbmesser kann jedoch ab und an für eine besonders geplante Gewölbanordnung störend wirken. So kann die Forderung gestellt werden, den Randbogen des rechteckigen Gewölbfeldes gleiche Scheitelhöhen zu geben und dennoch die Ansätze der Kreuz- und Randbogen mit gleichem Halbmesser zu schlagen. Um dieser Bedingung zu genügen, kann nach Fig. 223 beim Innehalten des bestimmten Halbmessers ac der Randbogen *A* der grofsen Seite durch einen Randbogen *B* ersetzt werden, dessen Mittelpunkt b auf der gehörig verlängerten Geraden ca so tief unter der Kämpferlinie angenommen wird, bis die gewünschte Scheitelhöhe des Randbogens *B*, entsprechend der Scheitelhöhe des Randbogens der kleinen Seite, über der Kämpferebene erzielt ist. Hierdurch entsteht der schon in Art. 9 (S. 17) erwähnte gedrückte Spitzbogen. Ist die Verschiebung ab der Mittelpunkte für *A* und *B* nicht erheblich, so ist ein derart geformter Spitzbogen, obgleich durch seine

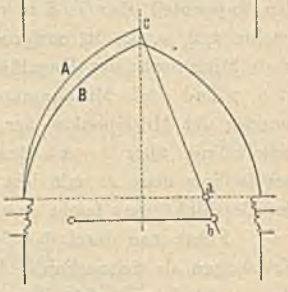
Verbindung mit dem anſtoſsenden Kreuzbogen und dem Randbogen der kleinen Rechteckſeite nicht vollſtändig regelmäſsig zu bildende Gewölbanfänger entſtehen, ſehr wohl zu benutzen.

Fig. 222.



Bei dieſem gedrückten Spitzbogen ſteht die Tangente im Kämpferpunkte nicht ſenkrecht zur Kämpferebene. Mit der lotrechten Begrenzungslinie des ſtützenden Widerlagers ergiebt ſich im Anſatzpunkte des Spitzbogens ein ſtumpfer Winkel oder ein Knick. Aus dieſem Grunde führt ein ſolcher Bogen auch die Bezeichnung Knickbogen.

Fig. 223.

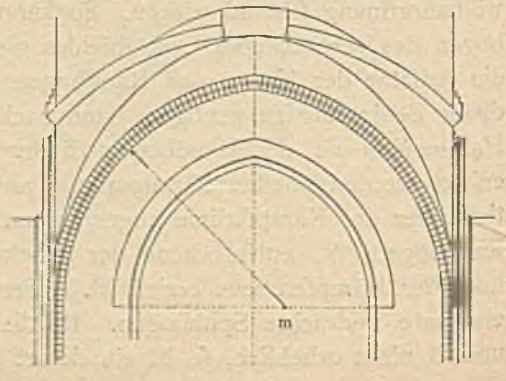


Soll ein Knickbogen vermieden werden, ſo kann, wenn bei der Forderung der Einſchränkung der Scheitelhöhe des groſsen Randbogens noch die Bedingung der Benutzung gleich groſser Halbmeſſer für die Anſätze der Kreuz- und Randbogen geſtellt wird, ein aus zwei ſymmetriſchen Korbbogen zuſammengeſetzter Spitzbogen in Anwendung kommen.

In Fig. 222 iſt ein derartiger Spitzbogen gegeben. Der Anſatzbogen *A* iſt mit gegebenem Halbmeſſer um den in der Kämpferebene liegenden Mittelpunkt *a* beſchrieben. Durch *a* iſt ein ſonſt beliebiger, hier unter einer Neigung von 45 Grad zur Wagrechten angenommener Strahl gezogen, welcher im Schnitte mit dem Bogen *A* den Endpunkt dieſes Bogens beſtimmt. Auf dieſem Strahle wird der Punkt *b* als Mittelpunkt des mit *A* vereinigten Kreisbogens *B* ſo ermittelt, daſs dieſer Bogen durch den feſten Scheitelpunkt des Randbogens geht.

Bei dem ſtarren Innehalten eines gleichen Halbmeſſers, ſei es für die ganzen Kreuz- und Randbogen, ſei es nur für die Anfänge derſelben, wird namentlich bei verhältnismäſsig ſchmalen rechteckigen Gewölbfeldern die Geſtaltung des Gewölbes oft mit einem Zwange behaftet, welcher das harmoniſche Zuſammenwirken der einzelnen Beſtandteile verwiſcht. Weit wichtiger als das Anklammern an einzelne Konſtruktionsregeln ſind hier das richtige Abwägen der Höhen der Scheitel zu einander und die maſsvolle Bildung von Bogenformen, welche, unter ſich in Vergleich gebracht, keine zu groſse Abweichung im Schwunge ihrer Linien aufweiſen. Hierbei kann, als Gruppen angeſehen, je für ſich entweder die ſtumpfere oder die ſchlankere, ſteilere Bogenform vorherrſchend werden. In den meiſten Fällen reicht hierfür der gewöhnliche Spitzbogen aus. Bei der Schmiegſamkeit ſeiner Form kann derſelbe ſowohl in äſthetiſcher, als auch in ſtatiſcher Beziehung mit Leichtigkeit den gewünſchten oder vorgeſchriebenen Verhältniſſen angepaſst werden. In beſonderen Fällen iſt der eigentliche Spitzbogen durch eine Stelzung in zweckmäſsige Höhenlagen mit ſeinem Scheitel zu bringen.

Fig. 224.



Sehr oft und voll berechtigt werden die Randbogen, wenn ſie als Schildbogen dienen, nach einem Spitzbogen um *m* (Fig. 224) geformt, welcher der Bogenlinie

des oberen Abſchluſſes der in der Schildmauer angelegten gröſseren Licht- oder Thüröffnung konzentriſch iſt. Liegt der Kämpfer der Oeffnung höher als der Kämpfer des Schildbogens, ſo erfährt dieſer Bogen eine Stelzung.

γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer als die Scheitel der Randbogen gelegen.

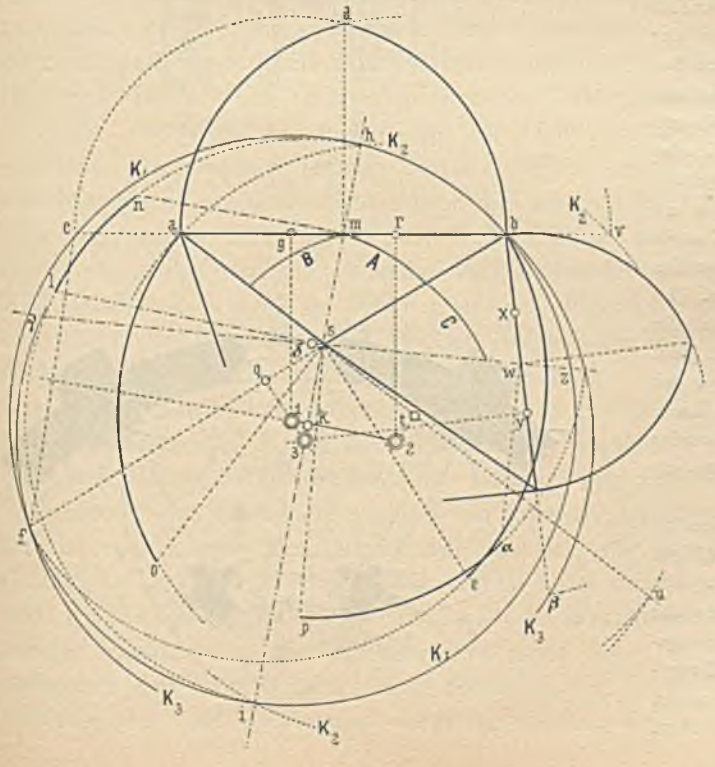
161. Verſchiedenheit.

Bedingen bauliche Verhältniſſe bei der Anordnung der Kreuzgewölbe für den eigentlichen Gewölbſcheitel eine tiefere Lage, als den Scheitelpunkten eines oder mehrerer Randbogen zugewieſen werden muſs, ſo kann die Geſtaltung der einzelnen Randbogen unter Beachtung der in den Fällen α und β gegebenen Erörterungen auch hier ohne Schwierigkeit vorgenommen werden. Meiſtens geht man hierbei wieder von einem gewählten Kreuzbogen aus. Sind die Höhen der Randbogen einmal feſtgeſtellt, ſo iſt hiernach eine ſchickliche Form des Kreuzbogens zu nehmen, damit ein gut geordnetes, in feinen Linien nicht in ſchreiendem Widerſpruch ſtehendes Bogen- und Kappenſyſtem dargeſtellt werden kann. Umgekehrt kann man bei dieſer Entwickelung auch von der Form des höchſten oder irgend eines anderen Randbogens ausgehen und danach die Kreuzbogen, ſowie die übrigen Randbogen feſtlegen. Der Spitzbogen, an ſich oder geſtelzt, liefert dabei wiederum ein weſentliches Hilfsmittel.

162. Unregelmäſsiges Gewölbfeld.

Iſt ein einfaches gotiſches Kreuzgewölbe über einem unregelmäſsigen Gewölbfelde herzurichten, ſo iſt die wagrechte Projektion des Gewölbſcheitels zweckmäſsig der Schwerpunkt der Grundriſsfigur. Läſst ſich durch die Ecken einer vier- oder mehrſeitigen, völlig unregelmäſsigen Grundriſsfigur ein Kreis legen, ſo kann auch der Kreismittelpunkt, wenn derſelbe nicht zu weit vom Schwerpunkte der Fläche entfernt liegt, als Grundriſsprojektion des Gewölbſcheitels angenommen werden. Die wagrechten Projektionen der Gratbogen, welche jetzt die Stelle der Kreuzbogen über regelmäſsigen Gewölbfeldern vertreten, ſind gerade Linien, welche von der Grundriſsprojektion des Gewölbſcheitels nach den Ecken des Gewölbfeldes gezogen werden. Das Austragen der Grat- und Randbogen erfolgt in ihren weſentlichen Grundlagen ebenſo, wie bei den einfachen Ge-

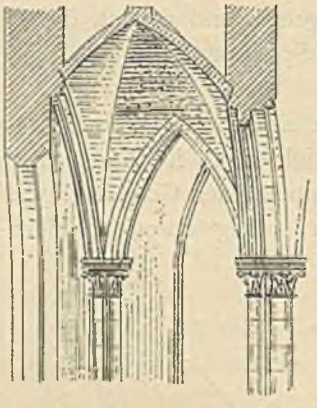
Fig. 225.

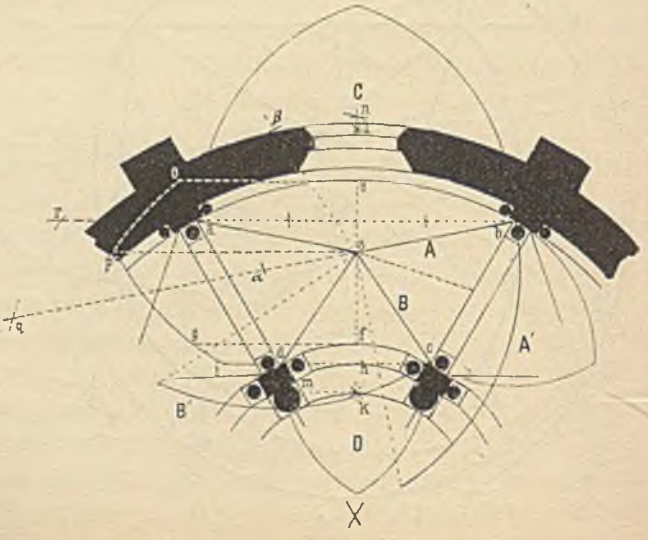


wölben über rechteckigen Gewölbfeldern. Das Nähere hierfür soll durch Fig. 225 angegeben werden.

Dieselbe kennzeichnet einen Teil eines unregelmäfsigen Gewölbfeldes mit den Ecken a, b und der Grundrifsprojektion s des Gewölbscheitels. Danach sind sa und sb die wagrechten Projektionen von Gratlinien, welche die Gewölbkappe asb mit dem Randbogen über ab begrenzen. Die wagrechten Projektionen der Scheitellinien der Kappen gehen von s nach den Mitten der Seitenlinien. Die Geraden sm, bezw. sw entsprechen dieser Lage. Der Gratbogen über bs sei der Kreisbogen be, dessen Mittelpunkt in q auf der Verlängerung von bs angenommen wurde. Hierdurch ist die Höhe se des Gewölbscheitels über der Kämpferebene festgelegt. Die Randbogen mögen hier eine geringere Scheitelhöhe erhalten. Nach Annahme der Höhe md des Randbogens adb sind g und r als Mittelpunkte der Bogenschenkel bd und ad ermittelt. Auf ganz ähnlichem Wege ist der zweite, in b antretende Randbogen mit den Mittelpunkten x und y zu gestalten. Der Gratbogen über as mufs die Höhe so gleich se besitzen. Hiernach ist derselbe als Kreisbogen ao mit dem Mittelpunkte in t, welcher auf der Verlängerung von as liegt, zu zeichnen. Sollen die Kappenstücke A, B, C u. s. w. in ihren Laibungen Kugelflächen angehören, welche von den angrenzenden Grat- und Randbogen sofort abhängig gemacht werden, so werden in der genügend beschriebenen und aus der Zeichnung noch weiter zu ersehenden Weise der Punkt 1 als Mittelpunkt der Kugelfläche A mit dem gröfsten Kreise K_1, der Punkt 2 als Mittelpunkt der Kugelfläche B mit dem gröfsten Kreise K_2 und der Punkt 3 als Mittelpunkt der Kugelfläche C mit dem gröfsten Kreise K_3 gefunden. Unter Benutzung dieser gröfsten Kreise erhält man die Form der Scheitellinie über ms als Schnittlinie der beiden Kugelflächen K_1 und K_2 in dem Kreisbogen nl. Derselbe ist ein Stück vom Kugelkreise $h\eta i$, dessen Mittelpunkt k offenbar Halbierungspunkt der Geraden hi der Schnittpunkte h und i der gröfsten Kreise K_1 und K_2, oder auch einfach der Fufspunkt des von 1, bezw. auch von 2 auf die verlängerte Gerade ms gefällten Lotes sein mufs. Beide Beziehungen sind in der Zeichnung zu erkennen. Um den Bogen nl der Scheitellinie über ms austragen zu können, hätte man also entweder nur den gröfsten Kreis K_1 oder nur den gröfsten Kreis K_2 nötig gehabt. Zur Bestimmung der Scheitellinie αp über ws, welche der Kappe C angehört, genügt demnach auch der gröfste Kreis K_3 der Kugelfläche C allein. Das vom Mittelpunkt 3 desselben auf die Verlängerung von ws gefällte Lot giebt den Fufspunkt δ. Der Schnitt z der erweiterten Geraden sw mit dem Kreise K_3 liefert mit δ in δz den Halbmesser des um δ beschriebenen Kreisbogens αp jener Scheitellinie.

Fig. 226.





Das angegebene Verfahren ist für alle Kappen des unregelmäfsigen Gewölbfeldes weiter anzuwenden. Ein wagrechter Schnitt durch das Gewölbe würde Kreisbogen auf den Laibungsflächen ergeben, welche in ihrer Grundrifsprojektion als A um 1, als B um 2, als C um 3 u. s. w. zu beschreiben wären.

Ift der Grundrifs des Gewölbfeldes ein Ringftück *abcd* (Fig. 226), fo können die erörterten Grundlagen für die Ausmittelung der Grat- und Randbogen, bezw. der Kugelflächen der Kappen ebenfalls Platz greifen. In der Darftellung ift *s* der Schwerpunkt der Grundrifsfläche; die von *s* nach den Ecken derfelben gezogenen geraden Linien find die wagrechten Projektionen der Gratbogen. 163. Ringförmiges Gewölbfeld.

Ift die Scheitelhöhe des Gewölbes feftgeftellt, fo werden derfelben entfprechend die Gratbogen wie A_1 für A aus α, B_1 für B aus β u. f. f. als Kreisbogen gefchlagen. Für die Kappenflächen *aebs* und *cfds* ift die Geftaltung mit Hilfe von ideellen Randbogen *C* über der Sehne *ab* des Kreisbogens *aeb*, bezw. *D* über der Sehne *cd* des Kreisbogens *cfd* leicht vorzunehmen. Je nach der Höhe, welche man für diefe Bogen im allgemeinen verfchieden grofs annehmen kann, im befonderen aber in jedem vorliegenden Falle den baulichen Verhältniffen entfprechend wählt, entftehen mehr ftumpfe oder mehr fchlanke Spitzbogen als Hilfsbogen. Die Randbogen der geraden Seiten *ad* und *bc* find ohne weiteres in fchicklicher Form auszutragen. Unter Benutzung des Hilfbogens über *ab* und des Gratbogens über *A* ift *m* als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenftückes über *ebs* mit dem durch *b*, *n*, *r*, *q* gehenden gröfsten Kreife in der früher angegebenen Weife gefunden und hierauf die Scheitellinie *ep* über *es* als Kreisbogen mit dem Halbmeffer *kn* gefchlagen. Für das Kappenftück über *cfs* wird β der Kugelmittelpunkt und der um *l* mit *lp* befchriebene Kreisbogen *pg* die lotrechte Projektion der Scheitellinie über *fs*. Führt man den Kreisbogen über *g* bis *i* auf dem Lote *hi* zu *sk* fort, fo mufs *hi* genau der Höhe des ideellen Randbogens über *cd* entfprechen. Die nach *ab*, bezw. *cd* vorhandenen cylindrifchen Begrenzungsflächen durchfchneiden die antretenden Kugelflächen der Kappen nach krummen Linien, deren lotrechte Projektionen, da die Kugelflächen vollftändig beftimmt find, äufserft einfach ermittelt werden können. Sollen ftatt der einfachen Gratkörper bei einem folchen Gewölbe Gratrippen und ebenfo an den übrigen, gekrümmten oder geraden Seiten des Gewölbfeldes Gurtrippen, bezw. Schildbogenrippen angeordnet werden, fo ift die weitere Durchbildung derfelben nach den in der Zeichnung vorgenommenen Ausmittelungen der Kurve, welcher ein Rippenkörper zu folgen hat, ohne Schwierigkeit zu bewirken.

2) Mehrteilige gotifche Kreuzgewölbe.

(Stern- und Netzgewölbe.)

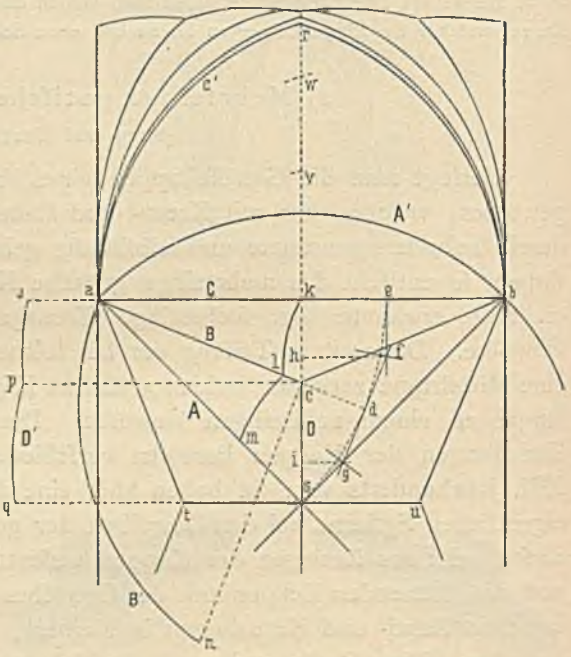
Zerlegt man die Gewölbkappen eines urfprünglich einfachen gotifchen Kreuzgewölbes, welches nur mit Kreuz- und Randbogen, bezw. Rippen auftritt, weiter durch befonders geordnete und felbftändig gebildete Zwifchenbogen, bezw. Zwifchenrippen, fo entfteht das mehrteilige gotifche Kreuzgewölbe. Schon das in Art. 117 (S. 206) erwähnte fog. fechsteilige Kreuzgewölbe erfcheint als ein mehrteiliges Gewölbe. Die weitere Teilung der bei folchen Anlagen vorweg noch nicht durch eine Mittelrippe zerlegten beiden gröfseren Kappen führt beim Einfügen einer folchen Rippe zu einem achtteiligen Gewölbe. Die bei diefen Gewölbarten eingeführten Zerlegungen der Kappen kommen verfchiedentlich bei Bauwerken des XII. und XIII. Jahrhunderts vor; fie haben aber eine allgemeine Anwendung im Sinne eines eigentlichen Syftems bei den Gewölben der gotifchen Baukunft nicht gefunden. Bei diefen geht das Zerlegen der Kappen wefentlich durch Zwifchenrippen vor, welche, von den ftützenden Eckpunkten des Gewölbes aus geführt, eine Teilung der Kappen zwifchen Rand- und Kreuzbogen in kleinere, weniger weit gefpannte Gewölbftücke bewirken. Diefe Zwifchenrippen oder Nebenrippen (Liernen) find wiederum tragende Beftandteile des Gewölbes. Aufserdem tritt zur weiteren Ausbildung des Rippenfyftems häufig eine Verbindung des Scheitels der einzelnen, für fich zufammengeführten Zwifchenrippen mit dem Scheitel der Hauptrippen (Kreuz-, bezw. Gurt- oder Schildbogenrippen) durch Scheitel- oder Firftrippen ein. Diefe bezwecken die weitere Verfpannung des Rippenwerkes unter fich. Je forgfältiger ein mafsvolles, geregeltes und von Willkür freies Einfügen von Rippenkörpern ftattfindet, um fo wohlthuender und gediegener wirkt die Anlage des mehrteiligen Kreuzgewölbes. 164. Grundgedanke.

Durch derartige Geſtaltungen entſtehen die Stern- und Netzgewölbe, deren Körper oft ein ſehr reich entwickeltes Rippenwerk als Gliederung erhalten. Ihre Benennung iſt in Rückſicht auf das geometriſche Muſter entſtanden, welches durch das Zuſammenfügen des Rippenſyſtems entſpringt. Solange der Grundſatz befolgt wird, eine edle und ſchöne Formgeſtaltung dieſer Gewölbe mit den für dieſelben geltenden ſtatiſchen Geſetzen, welche vorſchreiben, daſs das geſamte Rippenſyſtem ſowohl in ſich ſelbſt ſchon mit ſeinen Stützpunkten, als auch mit den dazwiſchen liegenden Kappen in ſtabilem Gleichgewichtszuſtande befindlich ſein ſoll, in Einklang zu bringen, bleibt auch das eigentliche Weſen des gotiſchen Kreuzgewölbes, wonach jeder Bauteil desſelben den jedesmal vorgeſchriebenen Bedingungen ſtreng entſprechend auszubilden iſt, gewahrt. Starren Handwerksregeln darf hierbei ein gröſseres Gefolge nicht eingeräumt werden; vielmehr hat ein geregeltes künſtleriſches Schaffen ſtets die Oberhand zu behalten. Als eine Unterſtützung für eine in dieſem Sinne zu bewirkende Geſtaltung der mehrteiligen Kreuzgewölbe ſollen im folgenden einige Entwickelungen gegeben werden, welche für die Grund- und Aufriſsbildung derartiger Gewölbe Anhaltspunkte bieten können.

165. Einfaches Sterngewölbe: quadratiſcher Grundriſs.

Iſt die Grundriſsfigur des Gewölbfeldes ein Quadrat, ſo können alle Bogen der Gewölbrippen als Kreisbogen mit gleichem Halbmeſſer beſchrieben werden. Derjenige Bogen, deſſen Halbmeſſer als maſsgebend für alle übrigen Bogen angenommen wird, führt den Namen Prinzipalbogen. Meiſtens wird hierfür ein Bogen, welchem der gröſste Halbmeſſer zukommt, gewählt, wie auch ſonſt die Form dieſes Bogens, ob Halbkreis, ob Spitzbogen oder Flachbogen, beſchaffen ſein mag.

Fig. 227.



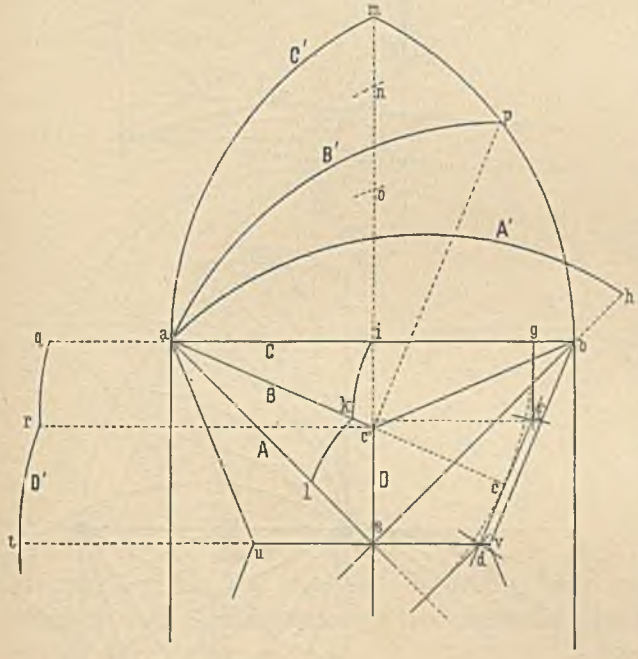
Bei dem quadratiſchen Gewölbfelde in Fig. 227 iſt die Hälfte A_1 des Diagonalbogens als Prinzipalbogen genommen. Derſelbe iſt hier ein Viertelkreis ab mit dem Halbmeſſer sa, alſo der ganze Kreuzbogen ein Halbkreis mit s als Mittelpunkt. Die geraden Linien ac, at, bc, bu u. ſ. f. ſind die wagrechten Projektionen der Zwiſchenrippen. Die Punkte c oder t, u, über welchen die Scheitel der einzeln unter ſich zuſammentretenden Zwiſchenrippen liegen, ſind hier als im Schnitt der Halbierungsſtrahlen ac, bezw. bc u. ſ. f. der Winkel bas, bezw. abs u. ſ. f. befindlich, angenommen, können aber auch als Schwerpunkte der Dreiecksflächen asb u. ſ. f., welche zwiſchen den Kreuz- und Randbogen im Grundriſs entſtehen, beſtimmt werden. Die Geraden sc oder st, su u. ſ. f. geben die Lage der Scheitelrippen an.

Beſchreibt man um a mit dem Halbmeſſer as des Prinzipalbogens A_1 einen Kreisbogen se, ſo erhält man im Schnitte d desſelben mit der verlängerten Geraden ac den Mittelpunkt für den Kreis-

bogen B_1 der Zwifchenrippe über B mit dem Halbmeffer $da = sa$ und in cu die Höhe des Scheitels der Rippen ac und bc über der wagrechten Kämpferebene, während im Schnitte e des Kreisbogens se mit der Seite ab des Quadrats der Mittelpunkt des Schenkels C_1 des Spitzbogens über ab gefunden wird. Für das Austragen der Scheitelrippe über cs hat man zu beachten, dafs vermöge des gemeinfchaftlichen, in der Kämpferebene liegenden Ausgangspunktes a die für A und B vorhandenen Kreisbogen A_1 und B_1, deren Mittelpunkte s und d gleichfalls der Kämpferebene angehören, die Kappenfläche über acs als reine Kugelfläche geftaltet werden kann. Der Mittelpunkt g diefer Kugelfläche ift der Schnitt der in s auf as und in d auf ad errichteten Lote. Der mit ga um g befchriebene gröfste Kreis fchneidet die Verlängerung der Grundrifsprojektion cs der Scheitelrippe im Punkte v. Der Fufspunkt i des von g auf sv gefällten Lotes gi wird der Mittelpunkt für den Kreisbogen D_1 der Scheitelrippe. Der zugehörige Halbmeffer ift gleich iv.

Die Scheitellinie op über kc ift ein Kreisbogen, welcher, um h mit dem Halbmeffer hw befchrieben, einer Kugelfläche zwifchen den Kreisbogen B_1 und C_1 zugewiefen wird. Der Mittelpunkt f diefer zweiten Kugelfläche ift der Schnitt der Lote in d zu ad und in e zu ab; ihr Halbmeffer ift fa, und ihr in der Kämpferebene vorhandener gröfster Kreis fchneidet die Verlängerung von kc in w. Sollte ftatt der einfachen Scheitellinie op eine Scheitelrippe eingefetzt werden, fo beftimmt der Bogen op die Geftaltung derfelben. Nach dem Austragen der einzelnen Rippenbogen ift der Aufrifs oder, wie in der Zeichnung gefchehen, der fenkrecht in der Richtung tu genommene Schnitt des Gewölbes ohne weiteres darzuftellen.

Fig. 228.



Ein wagrecht gelegter Schnitt ergiebt z. B. Kreisbogen ml, befchrieben um g, und lk, befchrieben um f auf den zugehörigen Laibungsflächen der Kappen.

166. Rechteckiger Grundrifs.

Ift (Fig. 228) der Prinzipalbogen über as der Schenkel A_1 eines Spitzbogens mit dem Halbmeffer ga, fo bleibt der einzufchlagende Weg für das Austragen der fämtlichen Kreuz-, Zwifchen-, Stirn- und Scheitelrippen unter Anwendung diefes feften Halbmeffers, fowie für die Ausmittelung der Kugelflächen der Kappen derfelbe wie vorhin. Aus der Zeichnung ift das Nähere fofort erfichtlich.

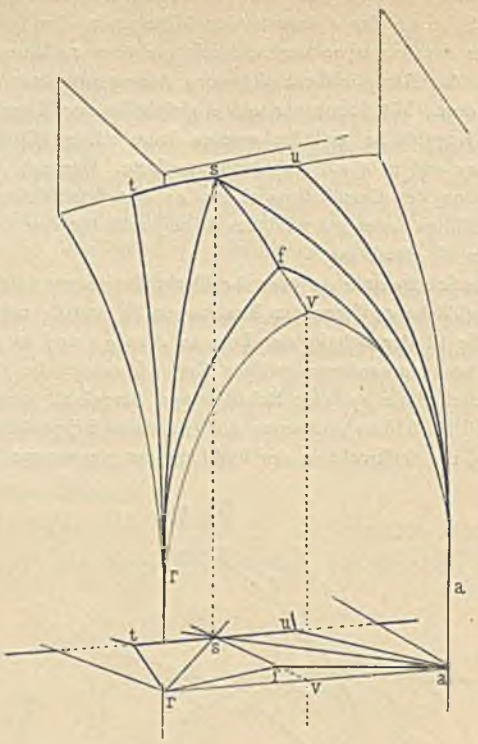
Auch bei einem rechteckigen Gewölbfelde kann unter Beibehaltung desfelben Halbmeffers nach der gleichen Grundlage die Beftimmung der Form der Rippen und Kappen erfolgen.

Eine folche Darftellung giebt Fig. 229 mit dem Prinzipalbogen C über einer halben Diagonale rs, deffen Halbmeffer gleich der Länge der kleinen Seite ra des rechteckigen Gewölbfeldes genommen ift.

Zur weiteren Erklärung der Zeichnung diene, dafs die Mittelpunkte der Bogen A, B, C, D und E durch Schlagen eines Kreifes um r mit dem Halbmeffer ra in a, b, c, d, e gefunden find, dafs der Reihe nach 1, 2, 3, 4 die Mittelpunkte der Kugelflächen für die Kappenftücke I_1, 2_1, 3_1, 4_1 mit den zugehörigen gröfsten Kreifen k_1, k_2, k_3, k_4 werden und dafs endlich auf Grund der Beftimmtheit diefer Kugelflächen die Mittelpunkte der Scheitelbogen F, G, H, J leicht in f_1, g_1, h_3, i_4 ermittelt werden können. Würde bei einer vorgefchriebenen Stärke der Kappe I_1, welche durch den um 1 konzentrifch k_1 gefchlagenen Kreisbogen q angegeben ift, die Einwölbung nach konzentrifchen Ringfchichten vorgenommen, fo würde om die Grundrifsprojektion einer folchen Wölbfchicht bedingen. Der Aufrifs, fowie das nach der Richtung

tu gegebene Bild vom halben Gewölbe dienen zur Verdeutlichung der Gewölbgeſtaltung.

Fig. 229.



Der Umſtand, daſs bei der Anwendung eines und desſelben Halbmeſſers für ſämtliche Kreuz-, Rand- und Zwiſchenbogen die Scheitelhöhe und die Form der Randbogen der kleinen Seite eines rechteckigen Gewölbfeldes in Rückſicht auf den groſsen Randbogen oder in Bezug auf die Höhen und Formen der übrigen Bogen in der einen oder der anderen Weiſe nicht günſtig werden, giebt oft Veranlaſſung, die Geſtaltung ſolcher Gewölbe nach feſtem Halbmeſſer aufzugeben, vorausgeſetzt, daſs man zur Erzielung einer beſtimmten Höhe für die kleineren Randbogen nicht etwa die in Art. 160 (S. 268) erwähnten Knickbogen oder geſtelzte Bogen anwenden will. Aehnliche Verhältniſſe könnten ſich ſelbſt bei Zwiſchenrippen in der an der kleinen Rechteckſeite liegenden Hauptkappe geltend machen, ſo daſs auch für dieſe Rippen eine Abänderung des feſten Halbmeſſers rätlich ſein würde.

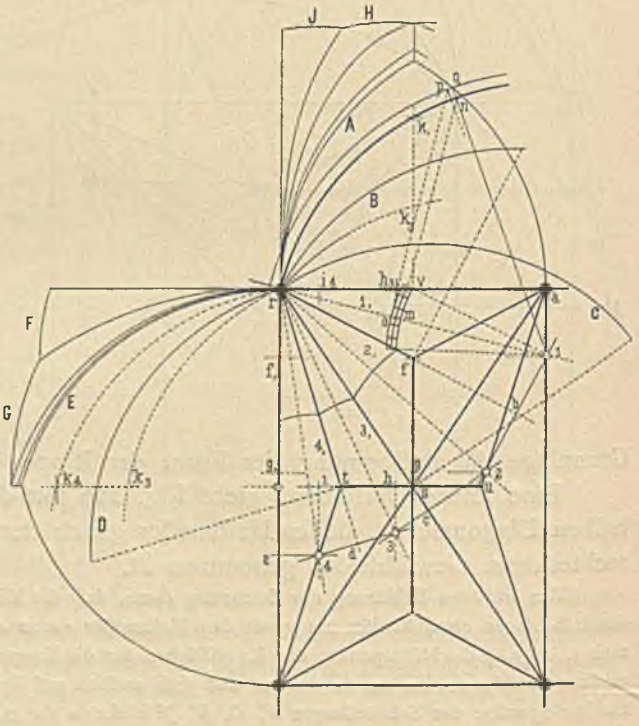
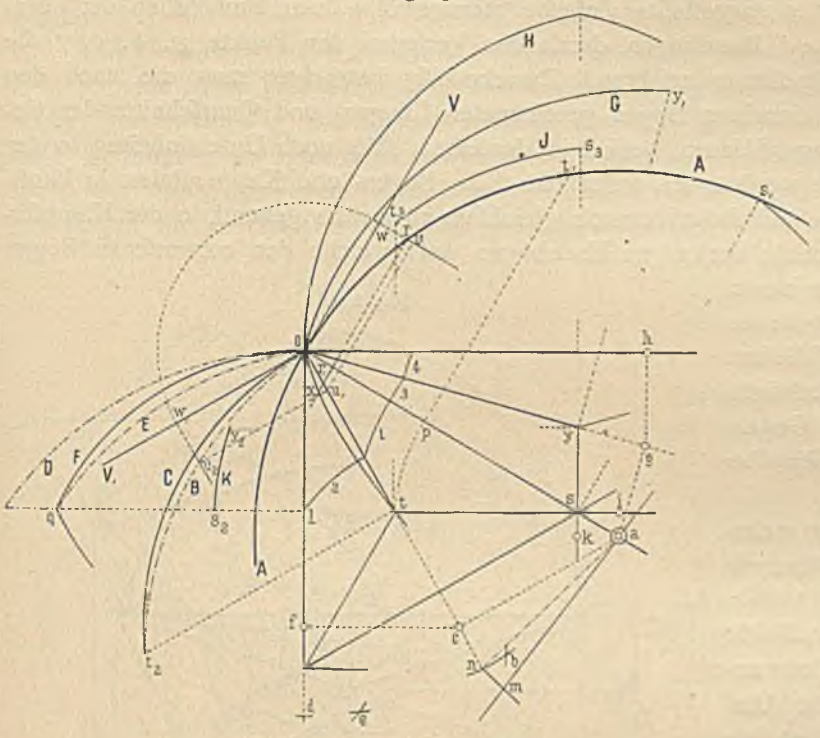


Fig. 230 ſoll hierüber Aufſchluſs geben. Der Prinzipalbogen *A* des hier verhältnismäſsig ſchmalen rechteckigen Gewölbfeldes gehört der Hälfte eines ſpitzbogigen Diagonalbogens an. Sein Mittelpunkt iſt *a*, alſo ſein Halbmeſſer gleich *a o*. Würde man dieſen Halbmeſſer in $d\,o = a\,o$ für den Randbogen der kleinen Seite beibehalten, ſo entſtände hier ein reichlich ſteiler Spitzbogen mit Bogenſchenkeln *D*. Wollte man die Höhe dieſes Bogens verringern und etwa gleich $l\,q$ nehmen, ſo iſt der mit dem Halbmeſſer

$d o = a o$ aus o und q beſtimmte Kreuzriſs e der Mittelpunkt des Knickbogens E. Zur Vermeidung dieſes Knickbogens, aber zur Erzielung lotrechter Anſätze ſämtlicher Bogen in ihren Anfängen und endlich zur Einführung von Scheitelhöhen für die Rand- und Zwiſchenbogen, welche unter ſich in geregelte Beziehung gebracht ſind, kann man ſich des Prinzipalbogens A, ohne gleiche Halbmeſſer für die Rippenbogen zu benutzen, in der folgenden Weiſe bedienen.

Sind die wagrechten Projektionen y und t der Scheitelpunkte der Zwiſchenbogen feſtgelegt, hier in y auf dem Halbierungsſtrahle des Winkels $h o s$, in t dagegen als Schwerpunkt der Dreiecksfläche zwiſchen der kleinen Rechteckſeite und den angrenzenden beiden Grundriſslinien der Kreuzbogen, ſo fälle man vom Mittelpunkte a des Prinzipalbogens A im Grundriſs das Lot $a g$ auf die Verlängerung von $o y$, ferner von g das Lot $g h$ auf die groſse Rechteckſeite; ebenſo das Lot $a c$ auf die Verlängerung von $o t$ und das Lot $c f$ auf die kleine Rechteckſeite. Betrachtet man die Fuſspunkte g, h, c, f dieſer Lote als Mittelpunkte der zugehörigen Bogen G, H, C, F, wofür die Halbmeſſer ſich ſofort als $g o$, $h o$, $c o$, $f o$ ergeben, ſo gelangt man zu Bogenformen, welche auch hinſichtlich ihrer Scheitelhöhen in den meiſten Fällen in einem ſchicklichen Verhältniſſe zu einander ſtehen.

Fig. 230.



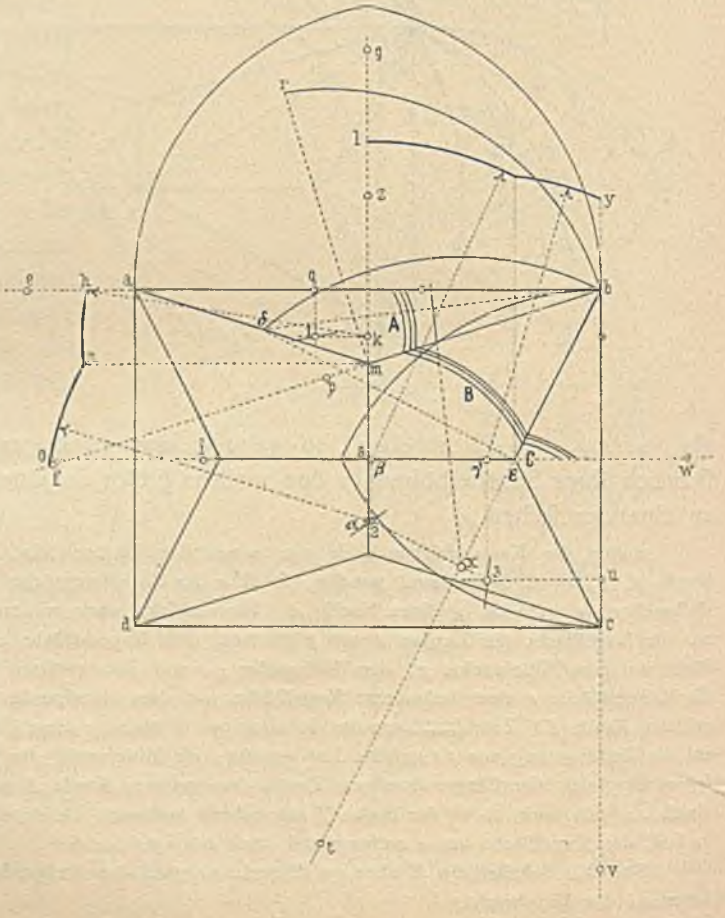
Sollen die Kappenflächen Teile von reinen Kugelflächen ſein, welche durch die ausgetragenen Bogen A, G, H, C, F beſtimmt werden, ſo iſt a der Mittelpunkt der Kappenflächen 1 und 3 mit dem Halbmeſſer $a o$ und dem gröſsten Kreiſe A. Hieraus folgt ohne weiteres, daſs die Kreuzrippe über $o s$ nur die Kugelfläche der Kappen 1 und 3 gliedert. Die Kappenfläche 4 gehört einer beſonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte g, dem Halbmeſſer $g o$ und dem gröſsten Kreiſe G an. Ebenſo entſpricht die Kappenfläche 2 einer beſonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte c, dem Halbmeſſer $e o$ und dem gröſsten Kreiſe C. Zum Austragen der Scheitelrippe $\mathfrak{J}$ über $t s$ dient die Kugelfläche um a. Das von a auf die Verlängerung von $t s$ gefällte Lot ergiebt i als Mittelpunkt des Bogens $\mathfrak{J}$. Der Halbmeſſer desſelben iſt gleich der Länge eines von i nach dem gröſsten Kreiſe A gezogenen Strahles. Da $s s_3$ auch gleich $s s_1$ ſein muſs, ſo iſt der Bogen $\mathfrak{J}$ ausreichend beſtimmt. Beſchreibt man um a den Kreisbogen $t p$, ſo ſind, der Kugelfläche um a entſprechend, auch $t t_3 = p t_1 = t t_2$.

Für die Scheitellinie K über $s y$ iſt $s s_2 = s s_1$ und der Fuſspunkt k des von a auf $y k$ gefällten Lotes $a k$ der Mittelpunkt.

Hätte man unter der Annahme der Höhe $t t_3 = p t_1 = t t_2$ für den Zwifchenbogen über $o t$ einen Knickbogen mit dem Halbmeffer $a o$ des Prinzipalbogens fchlagen wollen, fo liefert der aus o und t_2 mit $a o = d o$ gezeichnete Kreuzrifspunkt b, welcher um eine Strecke gleich $m n$ unter der Kämpferebene liegen würde, den Mittelpunkt diefes Knickbogens B. Ein Vergleich desfelben mit dem vorhin ausgetragenen Bogen C giebt nur mäfsige Abweichungen an. Führt man durch die Gewölbkappe t einen wagrechten Schnitt zv, bezw. $z_1 v_1$, fo ift der um a befchriebene Kreisbogen $r_1 x$ die Grundrifsprojektion der Schnittlinie. Würde die Bedingung geftellt, dafs eine von o nach t_2 aufftei gende Zwifchenrippe einer cylindrifchen Fläche mit einem Knickbogen B als Leitlinie angehören follte, welche für Punkte wie r und n_2 gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhielte, fo würde eine gewundene Zwifchenrippe entftehen, deren wagrechte Projektion als eine krumme Linie $o x t$ leicht beftimmt werden könnte. Derart gewundene Rippen kommen bei gotifchen Gewölben hier und dort wohl vor; fie find im allgemeinen aber unfchön und können nur in ganz befonderen Fällen eine gewiffe, meiftens jedoch nur geringe Berechtigung in Rückficht auf die ftatifchen Verhältniffe der beiden von folchen gewundenen Bogen getragenen Kappen haben.

Das in Fig 230 dargeftellte einfache Sterngewölbe kann hinfichtlich der Form feiner Zwifchen- und Randbogen durch das Verlegen der Punkte g, h, c, f die mannigfachfte Abänderung erfahren. Zweckmäfsig betrachtet man die nach den Austragungen der einzelnen Bogen gezeichneten Längen- und Querfchnitte des Gewölbes als vorläufige Skizzen, beffert in denfelben, falls noch Unfchönheiten in der Geftaltung erblickt werden, aus freier Hand die Bogen- und Kappenlinien in künftlerifcher Weife ein und fucht hiernach, gleichfam rückwärts gehend, in der Kämpferebene die Mittelpunkte derjenigen Kreisbogen auf, welche den entworfenen Bogen thunlichft nahe kommen und an deren Stelle zu treten haben. Auf diefem Wege ift die berechtigte Freiheit bei der Geftaltung folcher Gewölbe gewahrt.

Fig. 231.



167. Einfaches Netzgewölbe.

Fehlen in einem mehrteiligen Kreuzgewölbe, wie bei der in Fig. 231 über einem rechteckigen Felde gegebenen Darftellung angenommen ift, die Diagonalbogen, fo ändert fich der Gang des Austragens der Rand-, Zwifchen- und Scheitelbogen nicht. Nach den gemachten Mitteilungen find, nachdem die Höhen der Scheitelpunkte der Randbogen und der Zwifchenbogen, wofür z. B. $m r = \varepsilon \delta$ genommen ift, feftgeftellt wurden, die einzelnen, aus der Zeichnung fofort zu erkennenden Ausmittelungen der Beftandteile vorzunehmen.

Bemerkt ſei nur, daſs *1* der Mittelpunkt der Kugelfläche *A* und *g* ein Punkt ihres gröſsten Kreiſes iſt, während *2* und *w*, *3* und *i* für die Kugelflächen *B*, bezw. *C* als Mittelpunkte und Punkte zugehöriger gröſster Kreiſe in Betracht kommen.

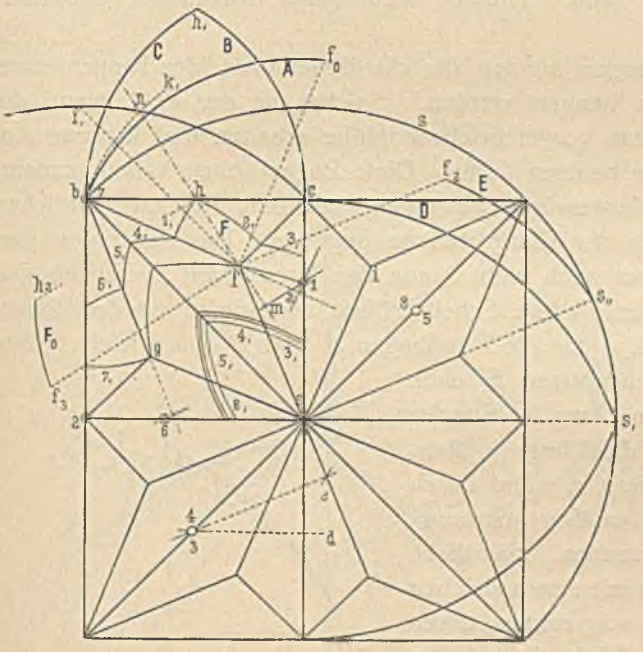
Die im Grundriſs gegebene Anordnung des Rippenſyſtems, wonach bei dem Fehlen der Kreuzrippen eine Abänderung des einfachen Sterngewölbes eintritt, zeigt die einfachſte Geſtaltung eines Netzgewölbes.

168. Mehrgliedrige Sterngewölbe.

Wird das Rippenſyſtem des einfachen Sterngewölbes durch Hinzunehmen einer gröſseren Zahl von Zwiſchen-, Scheitel- und Nebenrippen als ein erweiterter tragender Gerüſtkörper für die Kappenwölbung geſtaltet, und entſpricht dabei die Grundriſsbildung des Rippenwerkes der Form eines mehr- oder vielſtrahligen Sternes, ſo entſteht das mehrgliedrige Sterngewölbe. Dasſelbe wird oft Sterngewölbe ausſchlieſslich genannt.

Die Grundlage der Entwickelung dieſes Gewölbes bietet das einfache gotiſche Gewölbe mit ſeinen Diagonalbogen. Die weitere Teilung der Hauptkappen desſelben durch Vervielfältigung der Rippen bedingt die Bildung des oft mannigfaltig und reich geſtalteten Sterngewölbes. Hierdurch unterſcheidet ſich dasſelbe von dem ſpäter zu berückſichtigenden mehrfach gegliederten Netzgewölbe. Die Austragungen der Bogen für die Rippen des mehrgliedrigen Sterngewölbes können in derſelben Weiſe vorgenommen werden, wie beim einfachen Sterngewölbe gezeigt iſt.

Fig. 232.



Als Beiſpiel ſoll hier ein Sterngewölbe, deſſen Grundlage ein achtteiliges Kreuzgewölbe bildet, in Fig. 232 dienen. Der Grundriſs iſt ein Quadrat, deſſen Seiten acht Stützpunkte des Gewölbes enthalten, ſo daſs an jeder Seite des Quadrats zwei Randbogen entſtehen. Die Diagonalbogen mögen Halbkreiſe ſein.

Hierdurch iſt die Scheitelhöhe des ganzen Gewölbes gleich dem Halbmeſſer *s b* beſtimmt. Die parallel zu den Seiten durch die Stützen *c* und *2* geführten Teilrippen gehen durch den Gewölbſcheitel, haben alſo eine Höhe $s s_1 = s b$. Ihre Bogenlinie iſt ein Spitzbogen, wofür die Mittelpunkte, wie *d* für *D*, auf bekanntem Wege gefunden werden können. Die Randbogen ſind Spitzbogen mit den Schenkeln *B* und *C*, beſchrieben aus *b* und *c*. Zwiſchenrippen wie *b f*, *c f* u. ſ. f. halbieren in ihrer Grundriſslage die Winkel *c b s*, *b c s* u. ſ. f., ſo daſs nach dem Feſtlegen der Schnittpunkte *f*, bezw. *g*, die Lage der Scheitelrippen *f s*, *g s* u. ſ. f. im Grundriſs vorgeſchrieben wird.

Wird hiernach die geometriſche Grundriſsfigur des Rippenwerkes des ganzen Gewölbes vervollſtändigt, ſo entſteht die Form eines achtſtrahligen Sternes. Setzt man die Höhe $f f_1$ der Zwiſchenbogen über *b f*, bezw. *2 g* u. ſ. f. gröſser als die Höhe $h h_1$ der Randbogen und kleiner als die Scheitelhöhe des geſamten Gewölbes z. B. in der Weiſe feſt, daſs der Punkt *2* Mittelpunkt für den Bogen $c f_1$ wird, ſo läſst ſich hiernach auch der Bogen *A* über *b f* mit der Höhe $f f_0 = f f_1$ nebſt ſeinem Mittelpunkte *a* darſtellen.

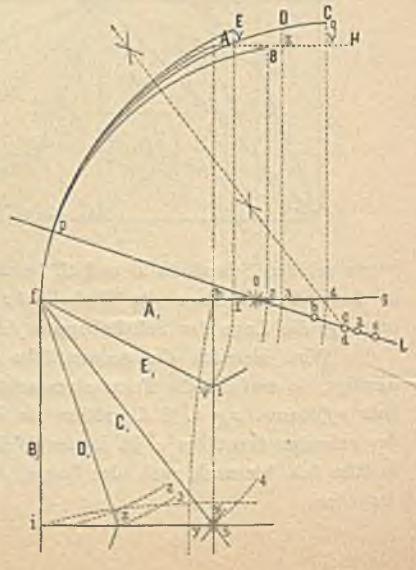
Nach diesen Bestimmungen sind alle übrigen noch erforderlichen Austragungen leicht zu bewirken. Setzt man wiederum voraus, dafs die Laibungsflächen aller Kappen gesetzmäfsig entstehenden Kugelflächen zwischen ihren zugehörigen Rippen angehören sollen, so wird der Schnitt 1 des Lotes $c1$ auf bc und des Lotes $a1$ auf ba der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe 1_1 mit dem um 1 beschriebenen gröfsten Kreise k_1, dessen Halbmesser gleich $1b$ ist. Die Scheitellinie F_0 über F wird der Kreisbogen $h_2 f_3$ mit dem Mittelpunkte m, also dem Fufspunkte des von 1 auf hf gefällten Lotes und dem Halbmesser mn, welcher in der Richtung fh von m bis n auf dem gröfsten Kreise k_1 geführt wird. Der Bogen E der Scheitelrippe über fs ergiebt sich aus der Bestimmung der Kugelfläche der Kappe 3_1. Errichtet man im Mittelpunkte 2 des Bogens cf_1 über cf das Lot auf $c2$ und ebenso im Mittelpunkte d des Bogens D über cs das Lot auf cd, so ist der Schnittpunkt 3 dieser Lote der Mittelpunkt der Kugelfläche dieser Kappe. Ihr gröfster Kreis würde den Halbmesser $3c$ besitzen. Fällt man von 3 das Lot $3e$ auf die Verlängerung von fs, so ist e der Mittelpunkt des Kreisbogens E der Scheitelrippe über fs. Da ff_2 gleich ff_1, aufserdem auch $ss_{,,}$ gleich sb sein mufs, so ist der Bogen E überreichlich bestimmt. Sein Halbmesser ist ef_2, bezw. $es_{,,}$. Nach gleichen Mafsnahmen sind die Punkte 4, 5, 6, 7, 8 als Mittelpunkte der Kugelflächen der Kappen 4_1, 5_1 bis 8_1 aufgesucht. Wagrechte Ebenen rufen Schnittlinien auf diesen Kappenflächen hervor, welche, den Mittelpunkten entsprechend bezeichnet, im Grundrifs näher angedeutet sind.

Nach diesen Angaben können die Austragungen der Bestandteile eines Sterngewölbes, welches in anderer und in sonst beliebiger Weise angeordnet ist, besondere Schwierigkeiten nicht bereiten. Auch hier möge, wie in Art. 158 (S. 264), darauf hingewiesen werden, dafs, falls die einzelnen Kappen eine andere Bufung erhalten sollen, als die nach einer Kugelfläche gebildete Wölbung ergiebt, leicht auf Grund der ermittelten Kugelflächen eine Umwandelung derselben in besondere sphäroidische Flächen vorgenommen werden kann. Hierauf wird später Rücksicht genommen werden.

169. Korbbogen als Rippenbogen.

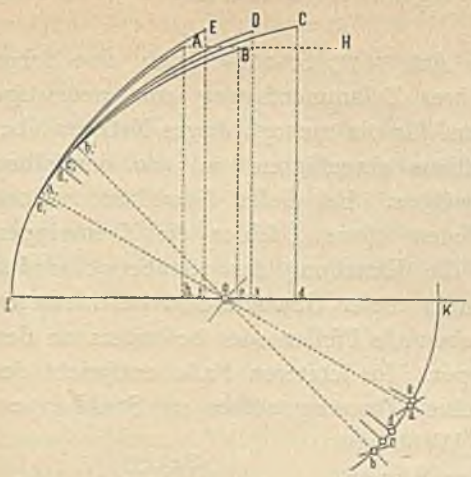
Statt der einfachen Kreisbogen können für die Bogenlinien der Rippen eines Sterngewölbes auch Korbbogen benutzt werden. Solches ist der Fall, wenn die einzelnen Rippenbogen eine genau vorgeschriebene Höhe erhalten und in ihren Anfängen stets gleichen Halbmesser besitzen sollen. Diese Bogenformen haben namentlich in der englischen Gotik Verwendung gefunden. Meistens ist den sämtlichen Bogen gleiche Scheitelhöhe über der Kämpferebene gegeben. Das Austragen derselben ändert sich im Wesen aber auch nicht, wenn den Kreuz- und Zwischenbogen in Bezug auf die Randbogen verschiedene Scheitelhöhen zugewiesen werden sollen. In Rücksicht hierauf ist in Fig. 233 für die Randbogen A und B eine gleiche Höhe festgesetzt, während der Zwischenbogen E diese Höhe um das Mafs v, der Bogen D um die Strecke z und der Hauptbogen C um die Länge y überschreitet. Die Höhenunterschiede v, z, y sind durch die im Grundrifs eingetragenen, mäfsig gekrümmten Hilfslinien hy und iy gewonnen. Sämtliche Bogen sind in ihren Anfängen fp mit einem gleichen Halbmesser po um den auf der wagrechten, durch den Kämpferpunkt p gehenden Linie fg beliebig genommenen Punkt o als Mittelpunkt beschrieben. Auf dem durch o und p geführten Strahle pL sollen die Mittelpunkte der übrigen Bogen liegen.

Fig. 233.



Um den oberen Teil vom Hauptbogen C zu erhalten, ist $f4 = f5$ auf fg abgetragen, in 4 das Lot $4q$ gleich der Höhe dieses Bogens auf fg errichtet und mit Hilfe von Kreuzrissen aus p und q der Strahl bestimmt, welcher in seinem Schnitte c mit pL den Mittelpunkt des Bogenstückes pC als Fortsetzung des Anfatzstückes fp ergiebt. Der Bogen fpq ist der gesuchte Korbbogen der Hauptrippe. In gleicher Weise

Fig. 234.



werden die Mittelpunkte a für A, b für B u. f. f. ermittelt.

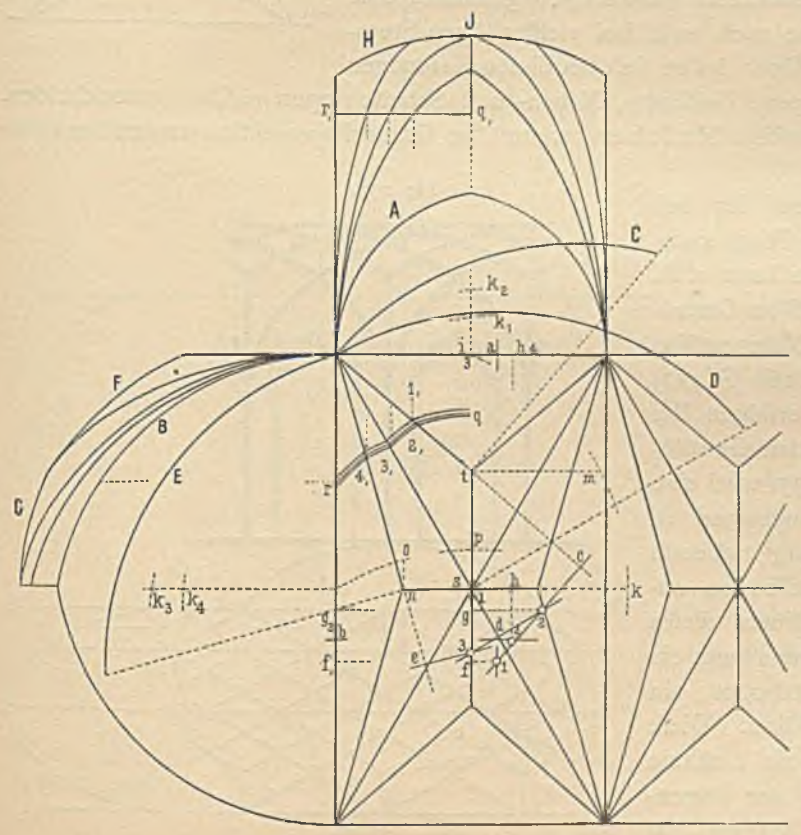
Bei dieſer Bildung der Korbbogen ſind im allgemeinen die oberen Bogenſtücke mit verſchiedenen Halbmeſſern verſehen, während alle Anſätze neben gleichen Halbmeſſern auch gleiche Bogenlängen aufweiſen.

Läſst man für die Bogenanſätze gleiche Halbmeſſer und ebenſo für die oberen Stücke der Bogen wiederum gleiche, aber den Scheitelhöhen entſprechende gröſsere Halbmeſſer einführen, ſo kann nach Fig. 234 das folgende Verfahren zum Austragen der Bogen benutzt werden.

Unter Annahme der Höhen der einzelnen Rippen iſt zunächſt o als Mittelpunkt für die Anſätze aller Bogen auf der wagrechten Linie fK gewählt. Um o iſt ferner mit beliebig groſsem Halbmeſſer, welcher in der Regel gleich of genommen wird, ein Kreisbogen K unterhalb fK geſchlagen. Behält man die Länge fK als Halbmeſſer der oberen Stücke der Rippenbogen bei, ſo liegen die Mittelpunkte derſelben auf dieſem Kreisbogen K.

Schnitte a, b u. f. f. der aus den Scheitelpunkten A, B u. f. f. von um A, B u. f. f. mit dem Halbmeſſer fK beſchriebenen Kreisbogen auf der Kreislinie K werden die Mittelpunkte der zugehörigen Korbbogenſtücke, deren Scheideſtrahlen, durch ao, bo u. ſ. f. geführt, die Vereinigungspunkte a_1, b_1 u. f. f. zwiſchen Anſatz- und Oberbogen der Rippen ergeben. Erſtere erhalten hierbei verſchieden groſse Bogenlängen.

Fig. 235.



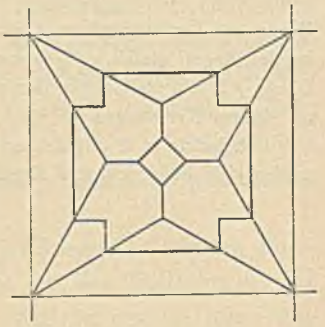
Mehrſtrahlige Sterngewölbe über unregelmäſsigem Grundriſs werden nach denſelben, für regelmäſsige Gewölbe gegebenen Grundlagen behandelt. Im übrigen iſt dabei das in Art. 168 (S. 277) Geſagte zu beachten. Werden mehrere nebeneinander liegende gleiche Gewölbjoche (Fig. 235) mit Sterngewölben verſehen,

ſo erfolgt die Geſtaltung derſelben in der genügend erörterten, in der Zeichnung näher erkennbaren Weiſe.

170. Mehrgliedriges Netzgewölbe.

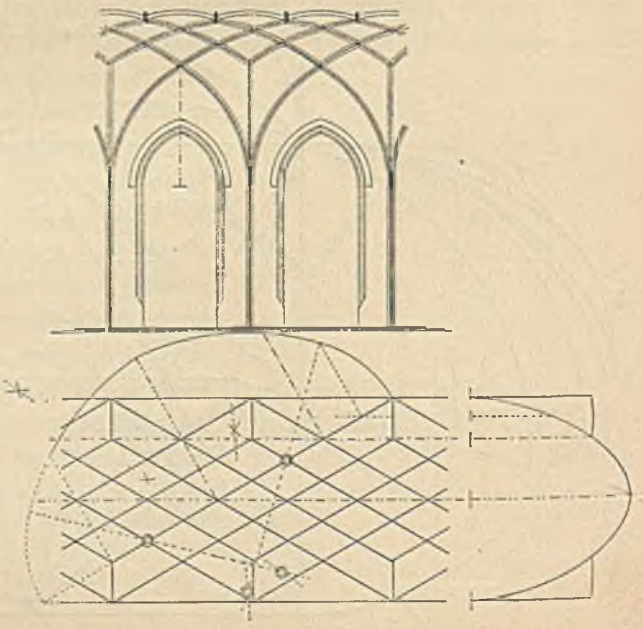
Wird ein einfaches Netzgewölbe (ſiehe Art. 167, S. 276) durch eine Schar von Rippengebilden vermehrt, welche in ihrer Zuſammenfügung eine netzartige Verbindung ergeben, ſo entſteht das Tragſyſtem für ein mehrgliedriges Netzgewölbe. Die ſelbſtändig in die Felder des Rippenſyſtems eingefügten und von demſelben geſtützten Kappen ſind das Füllwerk des Gewölbes. Bei dieſen Gewölben, welche zur Ueberdeckung langgeſtreckter Räume dienen können, fehlen die Kreuzrippen und meiſtens auch die Gurtrippen, ſo daſs die Einteilung des zu überwölbenden Raumes in Joche häufig fortfällt. Die Widerlager dieſer Gewölbe ſind bei kleineren Gewölbfeldern einzelne Pfeiler, bei längeren ebenfalls Pfeiler oder beſonders an den langen Umfangswänden angebrachte Stützkörper. Im letzteren Falle entſpricht der Querſchnitt dieſer Gewölbe häufig der Form eines Tonnengewölbes mit Stichkappen. Sie unterſcheiden ſich aber in bemerkbarer Weiſe von ſolchen Tonnengewölben durch die ſelbſtändige Rippenbildung, durch die beſondere Wölbung der Kappen, welche in ihrer Laibung mit Buſung verſehen, einer Tonnengewölbfläche nicht angehören und durch ihre eigenartige Geſtaltung, welche nicht von der Querſchnittsform des Gewölbes, ſondern von der Form eines beſtimmt angenommenen Rippenbogens abhängig gemacht wird.

Fig. 236.



Die Rippen ſolcher reich gegliederter Netzgewölbe werden in ihrer Geſamtheit Reihungen genannt, eine Bezeichnung, welche auch wohl bei vielſtrahligen Sterngewölben eintritt. Doch laſſen ſich bei dieſen Reihungen wiederum Hauptrippen, Zwiſchen-, Neben- und Scheitelrippen u. ſ. w. unterſcheiden. Die Kappenfelder heiſsen Maſchen, wenn ihre Grundriſsprojektion rautenförmig erſcheint.

Fig. 237.



Das Austragen der bei dieſen Gewölben in Frage kommenden Bogenlinien kann z. B. bei dem in Fig. 236 im Grundriſs dargeſtellten Netzgewölbe ganz in dem in Art. 168 (S. 277) angegebenen Sinne erfolgen. Bei einem langgeſtreckten Gewölbfelde, wie in Fig. 237, wird eine längſte, von Umfangswand zu Umfangswand ſchräg ziehende Rippe als Prinzipalbogen angenommen. Die Form dieſes grundlegenden Bogens kann ein Halbkreis, ein Spitzbogen, ein Korbbogen u. ſ. f. ſein. Dieſe Bogenform dient als Leitlinie für die Erzeugung der Bogenlinien aller übrigen Rippen. Mit

Hilfe gerader wagrechter Linien, welche parallel mit der wagrechten Scheitellinie des Gewölbes am Prinzipalbogen fortgeführt werden können, laſſen ſich in bekannter Weiſe und wie dies aus der Zeichnung ohne weiteres erſichtlich iſt, die nötigen Ausmittelungen ſchaffen.

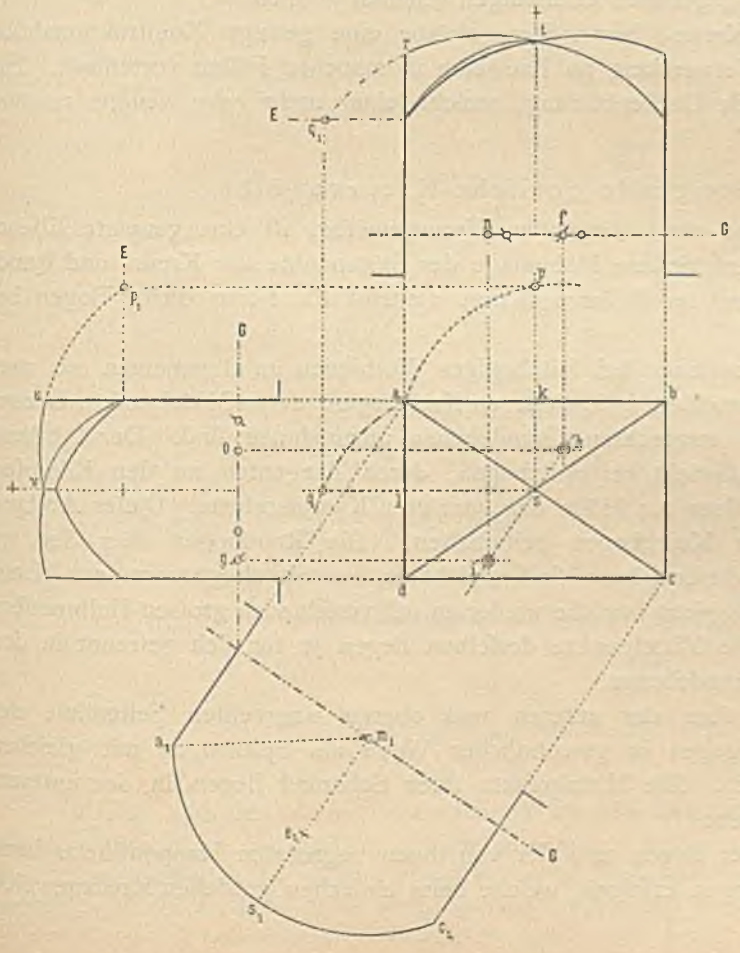
Wie nun auch die Grundriſsbildung der Reihungen auftreten ſoll, immer iſt dahin zu ſehen, daſs keine Anordnung getroffen wird, welche die Standfähigkeit des meiſtens in labilem Gleichgewichtszuſtande befindlichen Rippenkörpers an ſich ſchon ſtark beeinträchtigen könnte. Eine Verſpannung der Reihungen durch die eingefügten Kappen wird vermöge der ihnen zu erteilenden Buſung allerdings in gewiſſem Grade bewirkt.

3) Gotiſche Kreuzkappengewölbe.

171. Geſtaltung.

Liegen die Scheitel der Kreuz- und Randbogen bei einem einfachen gotiſchen Kreuzgewölbe im Vergleich mit ihren Spannweiten in geringer Höhe über der wagrechten Kämpferebene, ſo entſteht das Kreuzkappengewölbe oder das flache Kreuzgewölbe. Kreuz- und Randbogen können als flache Kreisbogen oder als flache Spitzbogen (Knickbogen) ausgebildet werden. Die Kappen, welche auch bei dieſen Gewölben Füllungen zwiſchen den tragenden Rippenkörpern ſind, können in ihren Laibungen Kugelflächen oder ſphäroidiſchen Flächen, ſeltener cylindriſchen Flächen angehören.

Fig. 238.



Für die Geſtaltung dieſer Gewölbe können die bei der Bildung des einfachen gotiſchen Kreuzgewölbes gegebenen Geſetze gleichfalls befolgt werden.

Für das rechteckige Gewölbfeld $a\,b\,c\,d$ (Fig. 238) möge die Bogenlinie der Kreuzrippe $a\,c$ ein flacher Kreisbogen mit dem Mittelpunkt m_1, dem Halbmeſſer $m_1\,a_1$ und der Pfeilhöhe $e_1\,s_1$ ſein. Die durch m_1 parallel zur Kämpferebene gelegte Mittelpunktsebene G heiſse die Grundebene. Die Randbogen über $a\,b$ und $a\,d$ mögen flache Spitzbogen ſein, welche, hier z. B. mit demſelben

Halbmeſſer $m_1 a_1$ des Kreuzbogens beſchrieben, ihre Mittelpunkte wie f, g in der Grundebene G beſitzen ſollen.

Hierdurch ſind bereits die ſämtlichen Bogen des Rippenwerkes beſtimmt. Sollen die Kappen nach reinen Kugelflächen gewölbt werden, ſo ſind die Mittelpunkte derſelben in der Grundebene aufzuſuchen. Für die Kappe $a s k$ wird offenbar nach den früher gemachten Mitteilungen der Punkt h, für die Kappe $a s l$ dagegen der Punkt i der zugehörige Mittelpunkt. Ein mit dem Halbmeſſer $h a$ um h beſchriebener Kreisbogen $a p$ gehört einem in der Kämpferebene E gelegenen Parallelkreiſe der Kugelfläche der Kappe $a s k$ an, während der mit dem Halbmeſſer $i a$ um i beſchriebene Kreisbogen $a q$ einem Parallelkreiſe der Kugelfläche der Kappe $a s l$ zukommt. Um die Scheitellinie über $l s$ zu erhalten, iſt der Punkt i nach n auf G und der Punkt q nach q_1 auf E zu projizieren und ſodann um n mit dem Halbmeſſer $n q_1$ der Kreisbogen $q_1 t$ zu ſchlagen. Das Stück $r t$ desſelben iſt die Scheitellinie über $l s$. In ähnlicher Weiſe wird $u v$ als Scheitellinie über $k s$ mit Benutzung der Projektionen h, o und p_1, p gefunden.

Hiernach iſt die Ausmittelung der Hauptbeſtandteile eines flachen Kreuzgewölbes, ſolange die Mittelpunkte der Rand- und Kreuzbogen in einer und derſelben Grundebene liegen, äußerſt einfach, auch ſelbſt dann noch, wenn dieſe Bogen mit ungleich großen Halbmeſſern beſchrieben ſind. Liegen die Mittelpunkte der Bogen nicht in einer und derſelben Grundebene, ſo hat das Austragen der Bogen ſelbſt an ſich keine Schwierigkeit; nur ſind dann die Laibungen der mit Buſung zu verſehenden Kappen nicht mehr reine Kugelflächen. Die Scheitellinien derſelben ſind vielmehr nach der beſonderen Geſtaltung der ſphäroidiſchen Flächen zu beſtimmen.

Das Rippen- und Kappengebilde für ein flaches Sterngewölbe würde man gleichfalls nach den angegebenen Grundlagen ſchaffen können.

Da die flachen Kreuz-, bezw. Sterngewölbe eine geringe Konſtruktionshöhe erfordern, ſo iſt ihre Verwendung im Bauweſen in manchen Fällen vorteilhaft. Sie liefern eine anſprechende Deckenbildung, welche einer mehr oder weniger reichen Ausſtattung fähig iſt.

4) Steigende gotiſche Kreuzgewölbe.

172. Geſtaltung.

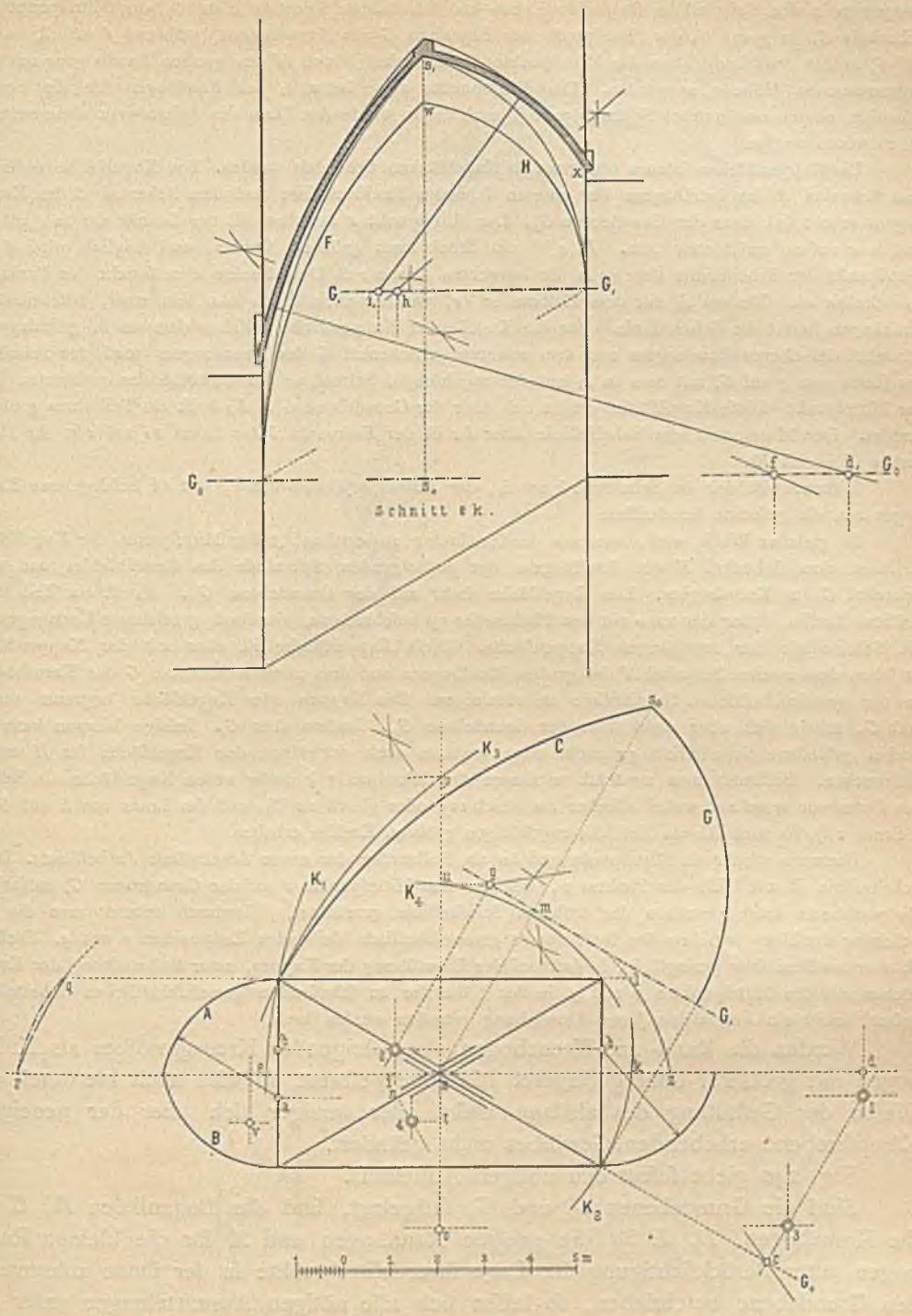
Die Kämpferebene eines ſteigenden Kreuzgewölbes iſt eine geneigte Ebene. Hierdurch wird eine verſchiedene Höhenlage der Stützpunkte der Kreuz- und Randbogen bedingt und damit im Zuſammenhange ſtehend die Form dieſer Bogen beeinflußt.

Die Kreuzbogen beſtehen bei ſpitzbogigen Wölblinien im allgemeinen aus zwei mit verſchiedenen Halbmeſſern beſchriebenen Kreisbogen, deren Mittelpunkte in zwei übereinander liegenden wagrechten Grundebenen anzunehmen ſind. Der Abſtand dieſer Grundebenen entſpricht bei Spitzbogen, deren Tangenten an den Kämpferpunkten lotrecht ſind, ſtets der Höhe der geneigten Kämpferebene. Dieſer Abſtand wird auch paſſend für Knickbogen beibehalten. Die Randbogen über der anſteigenden Seitenlinie dieſer Ebene ſind gleichfalls bei Spitzbogenform aus Kreisbogenſtücken zuſammengeſetzt, welche wiederum mit verſchieden großen Halbmeſſern geſchlagen werden. Die Mittelpunkte derſelben liegen je für ſich getrennt in den beiden bezeichneten Grundebenen.

Die Randbogen über der unteren und oberen wagrechten Seitenlinie der Kämpferebene ſind dagegen in gewöhnlicher Weiſe als Spitzbogen mit gleichen Halbmeſſern zu ſchlagen. Die Mittelpunkte ihrer Schenkel liegen in der unteren, bezw. oberen Grundebene.

Das Austragen der Bogen und der von ihnen begrenzten Kappenſtücke kann nach denſelben Grundlagen erfolgen, welche beim einfachen gotiſchen Kreuzgewölbe gegeben ſind.

Fig. 239.



In Fig. 239 ſind dieſe Austragungen für ein ſteigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbfelde vorgenommen.

In der Darſtellung des Schnittes $e\,k$ ſind G_0 und G_1 die Spuren der bezeichneten beiden Grundebenen. In der Grundriſsebene iſt der Kreuzbogen mit den Schenkeln C, G niedergelegt. Die parallelen Geraden G_{11} und G_1 beſtimmen hier die Lage der Spuren jener beiden Grundebenen. Die Höhe des

Gewölbes ſei vorgeſchrieben und als $s s_0 = s_{,,} s_,$ aufgetragen. Hiernach ergiebt ſich bei lotrechten Tangenten in den Fuſspunkten ſämtlicher Kreuz- und Randbogen ſofort in c auf $G_{,,}$ der Mittelpunkt des Schenkels C, in g auf $G_,$ der Mittelpunkt des Schenkels G des Kreuzbogens, während f auf G_0 und h auf $G_,$ in der Aufriſsprojektion die Mittelpunkte der Schenkel F und H des groſsen Randbogens mit der angenommenen Höhe $s_{,,} w$ werden. Die Mittelpunkte a, b, bezw. b_1 der Randbogen für die beiden ſchmalen, oberen und unteren Seiten können je nach der zu wählenden Form des Spitzbogens ohne weiteres angenommen werden.

Die Kappenflächen können wiederum als Kugelflächen behandelt werden. Die Kugelfläche zwiſchen dem Schenkel A des Randbogens der unteren ſchmalen Rechtecksſeite und dem Schenkel C des Kreuzbogens erhebt ſich über der Grundebene $G_{,,}$. Der Mittelpunkt 1 derſelben iſt der Schnitt der in c auf $G_{,,}$ und in a auf ab errichteten Lote. $K_1 e$ iſt ein Stück ihres gröſsten Kreiſes, und folglich wird d der Mittelpunkt der Scheitellinie über es in der lotrechten Ebene ed. Dem Punkte d entſpricht der Punkt d_1 im Schnitte ek. Ein um d_1 mit dem Halbmeſſer de, welcher auch gleich $d_1 s_1$ ſein muſs, beſchriebener Kreisbogen liefert die Scheitellinie. Für die Kugel- oder Kappenfläche zwiſchen dem um b_1 geſchlagenen Schenkel des oberen Randbogens und dem antretenden Schenkel G des Kreuzbogens wird der Schnitt 2 des Lotes von g auf $G_,$ mit dem in b_1 auf der zugehörigen Seitenlinie des Gewölbfeldes errichteten Lote der Mittelpunkt. Dieſe Kugelfläche erhebt ſich über der Grundebene $G_,$. $K_2 k$ iſt ein Teil ihres gröſsten Kreiſes. Der Mittelpunkt der Scheitellinie über ke iſt der Fuſspunkt i des Lotes $2i$ auf ek; ihr Halbmeſſer iſt gleich ik.

Hiernach iſt der im Schnitte ek um i_1, der Aufriſsprojektion von i, mit ik beſchriebene Kreisbogen $x s_1$ die geſuchte Scheitellinie.

In gleicher Weiſe wird, wie aus der Zeichnung zu erſehen, 3 der Mittelpunkt der Kugelfläche zwiſchen dem Schenkel F des Randbogens der aufſteigenden Seitenlinie des Gewölbfeldes und dem Schenkel C des Kreuzbogens. Die Kugelfläche ſteht auf der Grundebene $G_{,,}$. K_3 iſt ein Teil ihres gröſsten Kreiſes, daher der um o mit dem Halbmeſſer op beſchriebene, hier ſtark gezeichnete Kreisbogen qr die Scheitellinie der zugehörigen Kappenfläche. Dieſe Kappenfläche iſt aber mit der Kappenfläche zwiſchen dem zweiten Schenkel H des groſsen Randbogens und dem zweiten Schenkel G des Kreuzbogens an der gemeinſchaftlichen Scheitellinie zu vereinigen. Die Kappen- oder Kugelfläche, begrenzt von H und $G_,$ erhebt ſich aber nicht über der Grundebene $G_{,,}$, ſondern über $G_,$. Infolge hiervon kann die vorhin gefundene Scheitellinie qr nicht ohne weiteres auch derjenigen der Kugelfläche für H und G entſprechen. Beſtimmt man zunächſt wiederum den Mittelpunkt 4 dieſer neuen Kugelfläche als Schnitt des Lotes von n auf sn, wobei offenbar sn gleich mg oder gleich $s2$ iſt, und des Lotes von k auf $G, G,$ (Schnitt ek), ſo wird K_4 als Teil des zugehörigen gröſsten Kreiſes erhalten.

Hiernach wird t als Mittelpunkt und tu als Halbmeſſer der neuen Scheitellinie lz beſtimmt. Dieſe Scheitellinie iſt mit Hilfe des Punktes v, welcher dem Mittelpunkte t auf der Grundebene $G_,$ entſpricht, als punktierte Linie qr neben der früheren Scheitellinie gezeichnet. Hierdurch erkennt man die Abweichung derſelben zwiſchen den ſonſt immer gemeinſchaftlich bleibenden Endpunkten p und q. Dieſelbe iſt aber meiſtens ſehr geringfügig, ſo daſs bei der Einwölbung der Kappen, unter Beibehaltung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten 3 und 4, in der Nähe der zu ſchaffenden gemeinſchaftlichen Scheitellinie äuſserſt leicht ein Ausgleichen jener Abweichung getroffen werden kann.

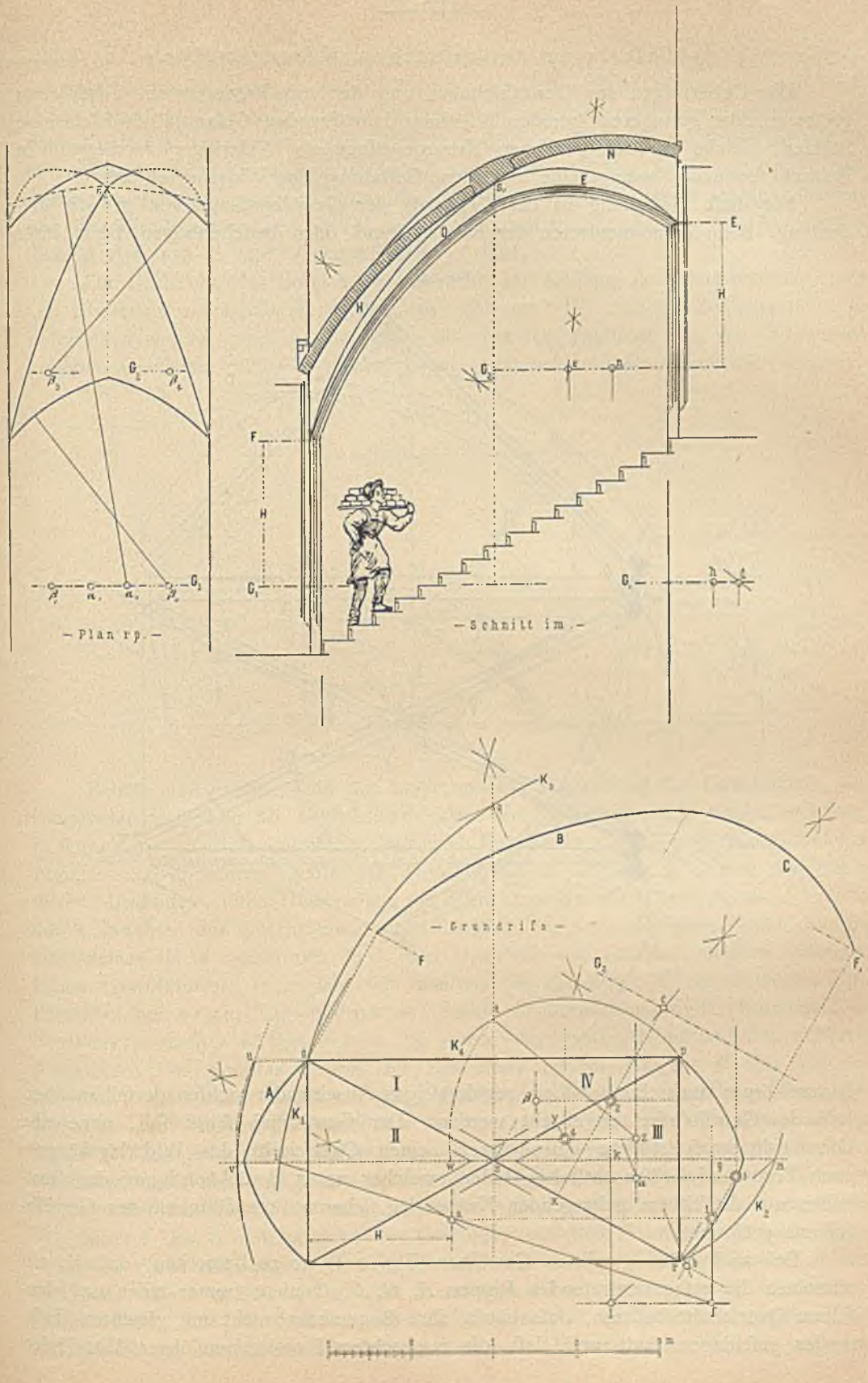
Werden die Rand- und Kreuzbogen eines ſteigenden Kreuzgewölbes als Knickbogen mit gröſserer oder geringerer Pfeilhöhe geformt, ſo wird auch hierdurch das Weſen der Geſtaltung des alsdann mehr oder weniger ſich über der geneigten Kämpferebene erhebenden Gewölbes nicht geändert.

Fig. 240 giebt ſofort den nötigen Aufſchluſs.

Sind die Grundebenen G_1 und G_2 feſtgelegt, ſind die Bogenlinien B, C für die Kreuzbogen, D, E für die groſsen Randbogen und A für die kleinen Randbogen unter Berückſichtigung der Lage ihrer Mittelpunkte in der ihnen zukommenden Grundebene beſchrieben, ſo laſſen ſich alle nötigen Ausmittelungen unter Benutzung der ſoeben und ferner in Art. 171 (S. 281) beim flachen Kreuzgewölbe gegebenen Erörterungen für das ganze Gewölbe bewirken.

Ein genaues Verfolgen der in der Zeichnung noch näher zu erſehenden Ausmittelungen, welche die Geſtaltung des behandelten Gewölbes deutlich erkennen laſſen, führt ohne Schwierigkeit zum Ziele.

Fig. 240.



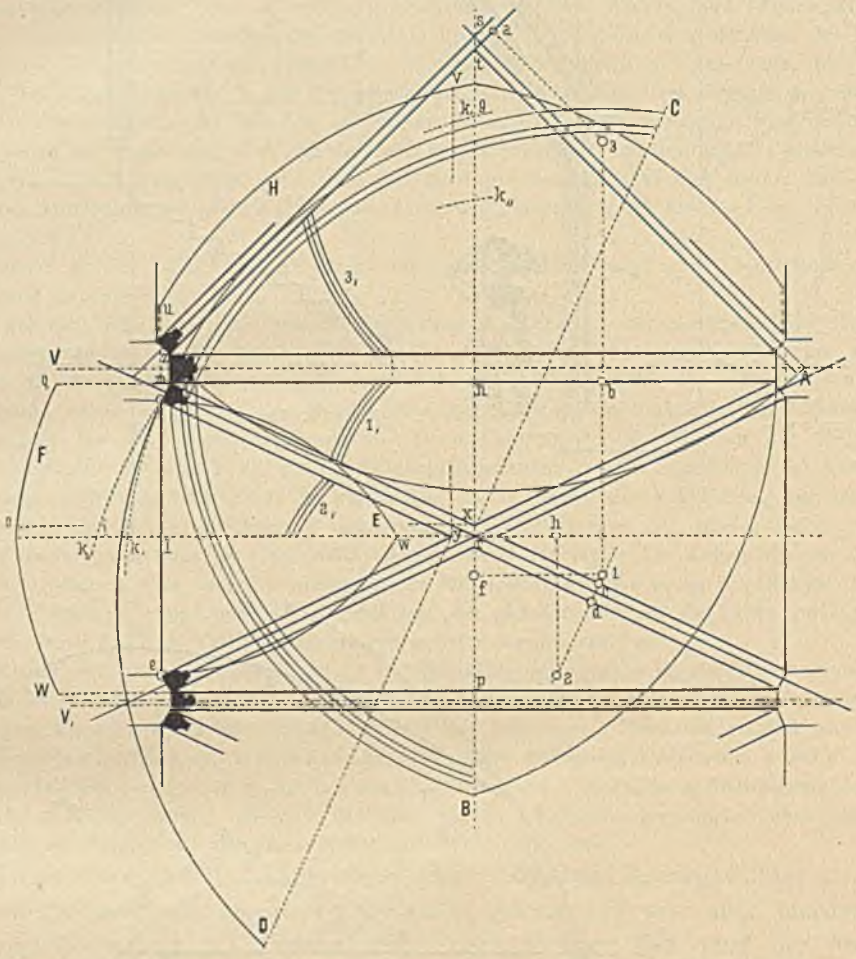
5) Widerlager der gotiſchen Kreuzgewölbe.

173. Allgemeines.

Das Uebertragen des Gewölbſchubes und der vom Eigengewicht nebſt einer gröſseren oder geringeren fremden Belaſtung herrührenden Geſamtlaſt auf einzelne Stützen, welche bei den gotiſchen Kreuzgewölben als Widerlager vorwiegend in Betracht kommen, bedingt eine beſondere Geſtaltung der Widerlagskörper.

Für dieſe Geſtaltung iſt der Grundriſs der Gewölbanfänge von gröſster Bedeutung. Beim Zuſammentreten der Kreuz-, Rand- oder Zwiſchenbogen, bezw. ihrer

Fig. 241.



Rippenkörper muſs thunlichſt ein regelmäſsiges Auseinanderwachſen derſelben oberhalb des Gewölbfuſses angeſtrebt werden. Der Gewölbfuſs ſelbſt ſoll, ohne eine übermäſsig groſse Fläche einzunehmen, einen Querſchnitt des Widerlagskörpers nach Form und Gröſse entſtehen laſſen, welcher unter Berückſichtigung der ſämtlichen auf die Stütze gelangenden Kräfte der ſicheren Standfähigkeit des Gewölbſyſtems entſpricht.

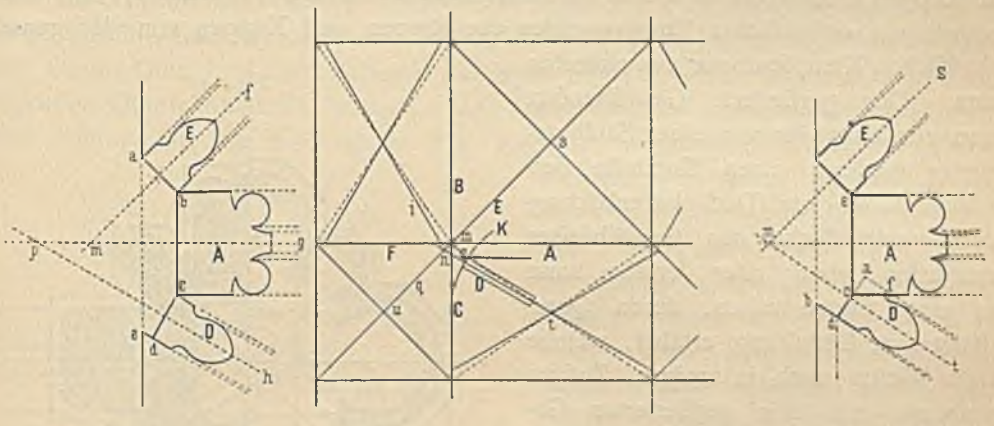
Bei aneinander gereihten Gewölben (Fig. 241) iſt zu bemerken, daſs im allgemeinen die zuſammentretenden Rippen *A*, *B*, *C*, *D* nicht immer einen und denſelben Querſchnitt beſitzen, daſs häufig ihre Bogenlinien nicht mit gleichem Halbmeſſer geſchlagen ſind, und daſs die wagrechten Projektionen ihrer Mittellinien

recht oft beim Zuſammentreten von verſchiedenartig im Grundriſs angeordneten Gewölbfeldern ungleich groſse Winkel zwiſchen ſich einſchlieſsen oder ſich auch nicht einmal in einem gemeinſchaftlichen Punkte der Kämpferebene treffen. Alle dieſe Umſtände beeinfluſſen die Entwickelung des Querſchnittes der Widerlagskörper in merkbarem Grade, auch ſelbſt dann, wenn, wie aus der Zeichnung ſofort entnommen werden kann, die Geſtaltung der Laibungen der Wölbkappen als Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1*, *2*, bezw. *3* und den gröſsten Kreiſen k_1, k_{11} u. ſ. f. nach dem in Art. 118 (S. 208) Geſagten bewirkt wird.

174. Querſchnittsbildung für einen Gewölbepfeiler.

Zur Erklärung des Ganges, welcher für die Bildung des Querſchnittes eines Gewölbpfeilers eingeſchlagen werden kann, ſoll nach Fig. 242 ein Zwiſchenpfeiler *m* beſprochen werden, welcher als Stütze für acht Rippenkörper von vier zuſammengelegten Gewölben mit teils quadratiſchem, teils rechteckigem Grundriſſe dient.

Fig. 242.

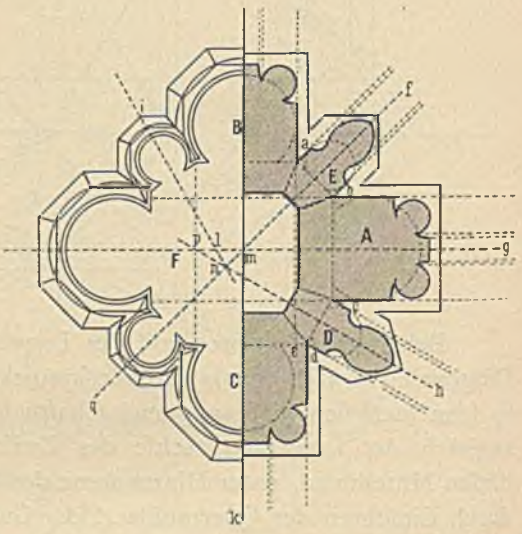


Behält man entſprechend der Lage und der Anordnung der Gewölbfelder die Diagonalen derſelben als Grundriſsprojektion der Mittellinien der Kreuzbogen bei, ſo ſchneiden ſich dieſe im gemeinſchaftlichen Eckpunkte *m* der Gewölbfelder, welcher zugleich der lotrechten Achſe des Zwiſchenpfeilers angehört. Ordnet man nach dieſen Mittellinien, unter Hinzunahme der Mittellinien der Gurtrippen *A*, *B*, *F* und *C*, durch Einführen der Querprofile *A* der Gurtrippe und *D*, *E* der Kreuzrippen, welche hier kleiner als *A* genommen ſind, den Grundriſs des für dieſe Rippen erforderlichen Gewölbfuſses, ſo ergiebt ſich meiſtens für die Rippe *D* ein unſchönes Einſchneiden bei *af* am Rippenkörper *A*. Sollte zur Vermeidung dieſes Einſchneidens der Punkt *a* nach *f* verlegt werden, ſo würde der groſse Uebelſtand des weiteren Vorrückens des Punktes *d* von der Seitenlinie des Gurtbogens *C* ſich geltend machen, ſo daſs auch hierbei ein gut gegliedertes Abzweigen der Rippe *C* von der Rippe *A* nicht entſtände. Durch eine Aenderung der Lage der Mittellinie *mt* der Rippe *C* kann jedoch eine beſſere Abzweigung derſelben erzielt werden. Zur Beſtimmung dieſer neuen Lage der Mittellinie der Rippe *C* kann man in der folgenden Weiſe verfahren. Beſchreibt man um die als nicht veränderlich geltende wagrechte Projektion *t* des Scheitelpunktes des Gewölbes zwiſchen *A* und *C* mit dem Halbmeſſer *tc* einen Kreisbogen *K*, ſo kann man die Breite *ad* der Rippe *D* derart einfügen, daſs *a* nach *c* gelegt und *d* auf den Kreisbogen *K*, nach *C* gerichtet, geſetzt wird. Die von *t* durch den Halbierungspunkt der Breite *cd* geführte Gerade *tn* iſt die neue Mittellinie für die Rippe *D*. Benutzt man dieſelbe nunmehr

als $p\,h$, parallel zu $n\,t$, beim Austragen der Fufsflächen A, E, D der zugehörigen Rippen in der vergröfserten Darftellung, fo laffen fich diefe Flächen in ihren vor den Laibungen der Kappen liegenden Gliederungen frei und ohne gegenfeitiges Einfchneiden entwickeln. Allerdings treffen fich die Mittellinien der einzelnen Bogen, zumal auch die neue Mittellinie i durch Verlegen entftehen mufs, nicht mehr in einem gemeinfchaftlichen Punkte m. Hierdurch entfteht in ftatifcher Beziehung der Uebelftand, dafs die Schübe der einzelnen Bogen unter Umftänden als Kräfte im Raume neben einem refultierenden Gefamtdrucke noch ein den Pfeiler auf Drehung beanfpruchendes Kräftepaar erzeugen. Wie das meiftens nicht fehr grofse Drehmoment diefes Kräftepaares durch eine in geeigneter Weife ausgeführte Ausmauerung der Gewölbzwickel thunlichft aufgehoben werden kann, wird bei der Stabilitätsunterfuchung der Pfeiler näher angegeben werden.

Bei der hier getroffenen Anordnung der zufammentretenden Rippen beginnen die Kappen unmittelbar in den in der Kämpferebene liegenden Punkten a, b, c, d u. f. f., fo dafs ein einheitliches Emporwachfen der Rippen und Kappen von der gemeinfchaftlichen Kämpferebene aus eintreten kann. Der gegliederte Gewölbanfatz kann nun entweder von einer Säule getragen werden, deren Kapitelle fich in ihrer Kelch- und Deckplattenbildung der Grundrifsfläche des Gewölbfufses anzupaffen haben; oder derfelbe kann auf einer Stütze ruhen, deren Querfchnitt eine Geftaltung erfährt, welche ihrem Wefen nach in innigem Zufammenhange mit dem gegliederten Gewölbanfatze bleibt. Hierdurch entfteht alsdann der gegliederte Pfeiler.

Fig. 243.

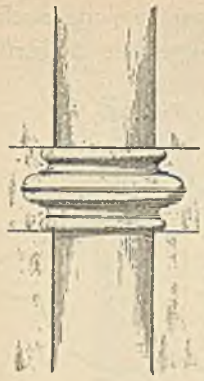


Den Ausmittelungen der Fufsflächen der Rippen entfprechend, ift in Fig. 243 die Geftaltung des Querfchnittes eines einfachen gegliederten Pfeilers gegeben. Um für die Rippen eine hinlängliche Auffatzfläche zu fchaffen, ift eine zweckdienliche Grundrifsform der Deckplatte für die Kapitellbildung am Pfeilerkörper, wie rechtsfeitig in der Zeichnung angegeben ift, zu entwerfen.

175. Eckige Pfeiler mit Dienften.

Zur Ueberführung des gegliederten Gewölbanfatzes nach dem eigentlichen Pfeiler, nur getrennt durch das Pfeilerkapitell, dienen befonders am Pfeilerkern angefügte Säulen. Der Querfchnitt derfelben geht meiftens über den Halbkreis hinaus. Die Säulen felbft führen den Namen Dienfte. Ihre Anordnung zeigt die Seite F in Fig. 243. Diefelben können fowohl bei gegliederten Pfeilern mit rundem Kern, als auch bei folchen mit eckigem Kern auftreten. Wie das ganze Kapitell den Pfeilerkern mit den Dienften verbindet, wobei jeder Dienft feine befondere Kapitellbildung erhält, fo find auch weiter die Dienfte und der Pfeilerkern durch eine gemeinfchaftliche, im Grundrifs vieleckig geftaltete Bafis, eine fog. Fufsung, vereinigt, auf welcher für jeden einzelnen Dienft wiederum eine befondere Bafis angeordnet ift. Meiftens erhalten die Gurt-, bezw. Scheidebogen Dienfte mit

Fig. 244.

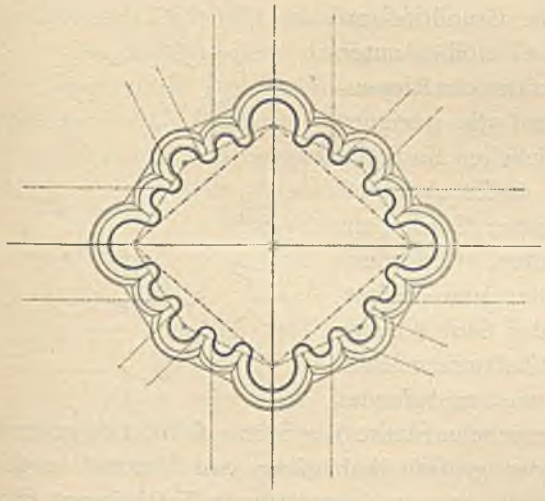


gröfserem Durchmeſſer als die Diagonal- oder Kreuzrippen. Die kräftigeren Dienſte heifsen alte, die ſchwächeren dagegen junge Dienſte.

Die in charakteriſtiſcher Weiſe bei dieſen gegliederten Pfeilern auftretenden Dienſte werden entweder bei jeder Pfeilerſchicht mit angearbeitet, oder ſie werden vielfach als ſelbſtändige cylindriſche Stäbe behandelt und in dichter Berührung an den Pfeiler gelehnt oder ſelbſt ſo angeordnet, daſs ſie den Pfeilerkern in geringer Entfernung frei als Säulchen umſtehen.

Die ſelbſtändigen Dienſte werden bei gröfserer Höhe aufser ihrer Verbindung mit der Baſis und dem Kapitell des Pfeilers oft noch mit dem Pfeilerkern durch ſog. Ringe, Bunde oder Gürtel (Fig. 244) in Zuſammenhang gebracht. Die Stärke und auch die Anzahl der Dienſte richtet ſich nach der Querſchnittsentwickelung der Gurt-, Scheide- und Kreuzrippen, welchen der gegliederte Pfeiler als Stütze zu dienen hat. Da die Gurt- und Scheidebogen häufig in ihrem vor dem eigentlichen Gewölbe liegenden Querſchnittsteile der Breite und Höhe nach eine ausgedehntere Entwickelung erfahren als die Kreuzrippen (Fig. 245), ſo verlangen erſtere an ſich ſtärkere Dienſte als letztere. Hierbei kann die Bildung des Bogenanſatzes auch ſelbſt eine Verbindung der Gurt-, bezw. Scheidebogen mit den Kreuzrippen im Gefolge haben, welche für die Kreuzrippen keine beſonderen Dienſte bedingt. Dieſe Rippen werden dann weſentlich durch den eigentlichen Kern des Pfeilers geſtützt.

Fig. 245.

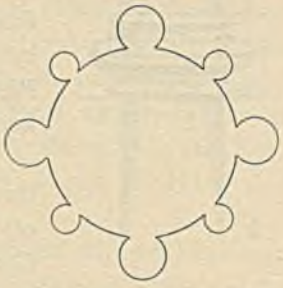


Iſt der Querſchnitt der Gurt- oder Scheidebogen in ſog. Ringen ſymmetriſch ſtaffelförmig nach oben verbreitert geſtaltet, ſo erhält auch wohl jede Staffel für ſich einen Dienſt. So würden für einen Querſchnitt von zwei Ringen drei Dienſte eingeführt werden können, von welchen der Dienſt des unteren breiteren Ringes ſtärker ſein ſoll als die danebenſtehenden Dienſte der beiden ſchmaleren Staffeln des oberen Ringes. Die Beobachtung der Querſchnittsbildung der Rippen und des danach zu ſchaffenden Grundriſſes des Gewölbanfängers bedingt demnach die Zahl, die Stellung und die Abmeſſung der Stärke der Dienſte des gegliederten Pfeilers und damit weiter die Grundform der geſamten Pfeilerbildung. In erſter Linie tritt für das Feſtlegen dieſer Grundform alſo die Bedingung auf, den gegliederten Pfeiler in zweckmäſsiger Weiſe als Stützenkonſtruktion herzurichten, wenn dabei auch eine völlig regelmäſsige Geſtaltung der Grundform aufgegeben werden muſs. Ob die erwähnte Bedingung mit einer regelmäſsig gebildeten Grundform des Pfeilers in Einklang zu bringen iſt, muſs in jedem einzelnen Falle einer beſonderen Ueberlegung vorbehalten bleiben.

Um die Grundform des Pfeilers möglichſt lebendig zu geſtalten, ſind die einzelnen

Dienſte häufig durch in den Kern des Pfeilers tretende Hohlkehlen verbunden, oder die ganze Grundform iſt durch Anwendung mehrfacher Profilierungen, welche auch ſelbſt eine Umwandelung des Kreisquerſchnittes der Dienſte im Gefolge hat, äufserſt reich und bewegt gebildet. Die Werke der gotiſchen Baukunſt bieten hierfür eine grofse Anzahl von Beiſpielen.

Fig. 246.



176. Rundpfeiler mit Dienſten.

Wird an Stelle der einfachen Säule eine ſolche mit angefügten Dienſten zum Stützen der Bogenanfänge des Gewölbes benutzt, ſo entſteht der Rundpfeiler mit Dienſten.

Der eigentliche Kern dieſer häufig gebrauchten Pfeiler iſt in ſeinem Querſchnitte durch einen Kreis (Fig. 246) oder durch eine ſonſtige in ſich zurückkehrende krumme Linie (Fig. 247) begrenzt. Die Beſtimmung der Zahl, Stellung und Stärke der Dienſte, ſowie das Feſtlegen der Form des Kernes dieſer mehr oder weniger reich gegliederten Rundpfeiler iſt nach den beim eckigen Pfeiler mit Dienſten gegebenen Erörterungen zu treffen.

177. Ungegliederte Pfeiler.

Die einfache Rundſäule oder der einfache, im Querſchnitt quadratiſch, rechteckig oder regelmäfsig vielſeitig geformte Pfeiler mit entſprechender Bildung des Kapitells und der Fufsung (Baſis) iſt, an und für ſich als Stütze des Bogenanfängers betrachtet, die Grundgeſtalt des ungegliederten Pfeilers. Geſtattet die Grundriſsform des Anfängers vom Rippenkörper des Gewölbes unter ſachgemäfsem Zuſammenziehen und Anordnen der Rippenprofile ein ungezwungenes Aufſetzen auf die geeignet umgrenzte Deckplatte des hiernach entwickelten Kapitells der Säule oder des Pfeilers, ſo wird in dieſer einfachen Stütze unter Beobachtung ihrer geeigneten Stärke ein ſchätzenswertes Konſtruktionsglied erhalten. Erfordern gröfsere Grundriſsflächen der Bogenanſätze eine weſentliche Vergröfserung des Durchmeſſers der Säule, bezw. des Pfeilers, ſo wird, wenn ein engeres Zuſammenziehen der Rippenprofile nicht möglich iſt, ein weit ausladendes Kapitell und unter Umſtänden eine übertriebene Stärke der Stütze ſelbſt ſich geltend machen. Wird auch zur Vermeidung der grofsen Anhäufung von Material in der Stütze und der Beſeitigung der hierdurch erzeugten ungünſtigen Erſcheinung derſelben die Bildung des gegliederten Pfeilers mit Dienſten angebahnt, ſo iſt doch häufig und namentlich bei den ungegliederten Pfeilern der Spätzeit der Gotik eine Umwandelung der Stützen der Bogenanfänge vorgenommen, wobei ſowohl auf das Einfügen eines Kapitells, als auch auf eine Verbindung mit Dienſten Verzicht geleiſtet wurde. Hierbei treten die verſchiedenſten Anordnungen auf. Die Rippen ſetzen ſich, aus den Mantelflächen der Stützen abzweigend, unmittelbar an den Körper derſelben, oder ſie werden mittelbar durch am Stützkörper vorhandene konſoleartige Auskragungen, bezw. durch kurze auf Auskragungen ſtehende Dienſte mit oder ohne Kapitell u. ſ. f. getragen. Dabei durchſchneiden (Fig. 248) die Mantelflächen des ungegliederten Pfeilers nicht allein die Seitenflächen der Rippenkörper, ſondern auch vielfach die Gewölbflächen der Kappen, ſo dafs im allgemeinen eine mehr nüchterne Anordnung beſteht, wenn nicht in geſchickter und künſtleriſcher

Fig. 247.

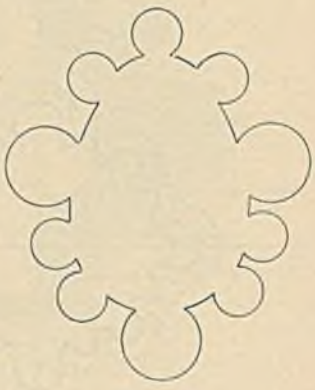
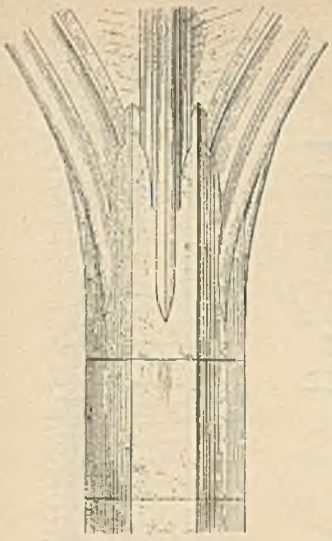


Fig. 248.



Weiſe für ein lebendiges Verweben des Bogenanſatzes mit dem Stützkörper geſorgt wird.

178. Wandpfeiler

Die Wandpfeiler ſind im weſentlichen Teile der freiſtehenden Pfeiler, welche ſo weit in Benutzung treten, daſs eine ſichere Auflagerung der Bogenanſätze an den Umfangsmauern des überwölbten Raumes erreicht wird. Ihre Anordnung und Grundform richten ſich alſo vorzugsweiſe nach der Durchbildung der gegliederten oder ungegliederten Pfeiler, ſoweit die Zahl der über den Wandpfeilern vorhandenen Teile des Bogenanſatzes dabei maſsgebend wird. Die Anordnung der Wandpfeiler kann in verſchiedener Weiſe getroffen werden. Dieſelben reichen entweder vom Fuſsboden bis zum Bogenanſatz, ſind dabei mit Dienſten verſehen, bezw. treten ohne Dienſte als Pfeilervorlagen mit geringerem Vorſprunge auf, welchem unter dem Bogenanſatze nur kurze Dienſte auf Auskragungen angefügt ſind, oder dieſelben endigen in geeigneter Höhe über dem Fuſsboden und ſind hier als beſondere Auskragungen gekennzeichnet. In jedem beſonderen Falle iſt die Durchbildung der Wandpfeiler in harmoniſcher Uebereinſtimmung mit den freiſtehenden Pfeilern anzuſtreben.

179. Strebepfeiler

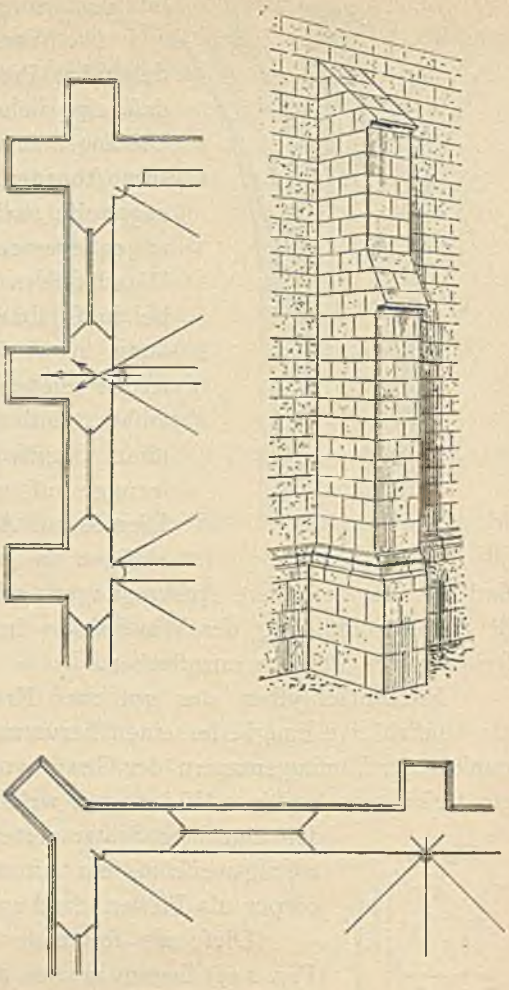
Im Stützenſyſtem des gotiſchen Kreuzgewölbes nehmen die Strebepfeiler als konſtruktive Bauglieder einen hervorragenden Rang ein. Die auf einzelne Stützpunkte der Umfangsmauern der Gewölbanlage übertragenen Gewölbſchübe erfordern ein beſonderes kräftiges Widerlager, welches in ſeiner ganzen Stärke für die zwiſchen den einzelnen Stützpunkten liegende Wand nicht nötig wird, ſondern vorzugsweiſe als ein mit der Wand in Verbindung ſtehender Mauerkörper als Pfeiler, Strebepfeiler genannt, anzuordnen iſt.

Fig. 249.

Dieſe als ſtützende Mauerkörper herzurichtenden Strebepfeiler (Fig. 249) liegen in der Regel, wie in *I*, aufsen an der Umfangsmauer; ſie können aber, wie bei *II*, auch teils innerhalb der Wand oder, wie bei *III*, ganz innerhalb des Raumes angebracht werden. In den gewöhnlichen Fällen ſtehen dieſelben rechtwinkelig zur Umfangsmauer; bei Mauerecken (Fig. 250) entweder in der Richtung jeder Mauerflucht oder allein in der Richtung der Halbierungslinie des inneren Winkels der zuſammentretenden Mauern. Für die Geſtaltung des Aufriſſes der Strebepfeiler lieſsen ſich, unter ausſchlieſslicher Berückſichtigung der günſtigſten Stabilitätsverhältniſſe und des damit verbundenen geringſten Materialaufwandes, mannigfache Geſichtspunkte feſtſtellen. Die gleichzeitige und nicht minder bedeutungsvolle Rückſicht auf die architektoniſche Ausbildung ſolcher Stützkörper bringt jene Geſichtspunkte jedoch in engere Grenzen. Im beſonderen ſind die Querſchnitts- und die Höhenentwickelungen der Strebepfeiler unter Beobachtung einer möglichſt günſtig im Inneren des Stützkörpers verlaufenden Mittellinie des Druckes vorzunehmen, welche ſich als Fortſetzung des auf den Strebepfeiler gelangenden reſultierenden Gewölbſchubes in Vereinigung mit den Gewichts-

anteilen des Mauerwerkes dieſer Widerlagskörper ermitteln läſst. Im allgemeinen wird hiernach eine von oben nach unten durch Abſätze verbreiterte Aufriſsform der Strebepfeiler geltend gemacht, deren weitere architektoniſche Behandlung im Einklange mit den ſtatiſchen Anforderungen in mannigfacher Art erfolgen kann. Einfache Abſchrägungen, Abdeckungen der Abſätze durch Geſimsſtücke, durch ſchräge Deckplatten, ſowie die Anordnung von Waſſerſchlägen, von ſatteldachartigen Ueberdeckungen, oder das Einführen reichen Schmuckes durch Fialen an der oberen Endigung oder an einzelnen Abſätzen des Strebepfeilers, das Anbringen von Figuren u. ſ. f. bieten hierfür, wie die Bauwerke des gotiſchen Stils in ausgiebiger Weiſe zeigen, eine Fülle von Hilfsmitteln dar.

Fig. 250.



Noch iſt für die folgerechte Entwickelung der Strebepfeiler die Höhenlage der Kämpferebene der Bogen der Lichtöffnungen in der zwiſchen den einzelnen Strebepfeilern befindlichen Umfangsmauer in Bezug auf die Kämpferebene der antretenden Gewölbe in Betracht zu ziehen. Liegt die Kämpferebene der Fenſterbogen bedeutend höher als der Gewölbfuſs, wie ſolches bei den Bauwerken der Gotik in Deutſchland und Frankreich in der Regel der Fall iſt, ſo wird hierdurch eine gröſsere Stärke der Strebepfeiler veranlaſst, als wenn, wie bei der Gotik in Italien ſich zeigt, die Kämpferebenen der Fenſterbogen und Gewölbe gemeinſam ſind. Hierbei iſt die Stärke der Strebepfeiler herabzuſetzen; der Strebepfeiler erſcheint alsdann mehr als eine äuſsere Mauervorlage oder Liſene.

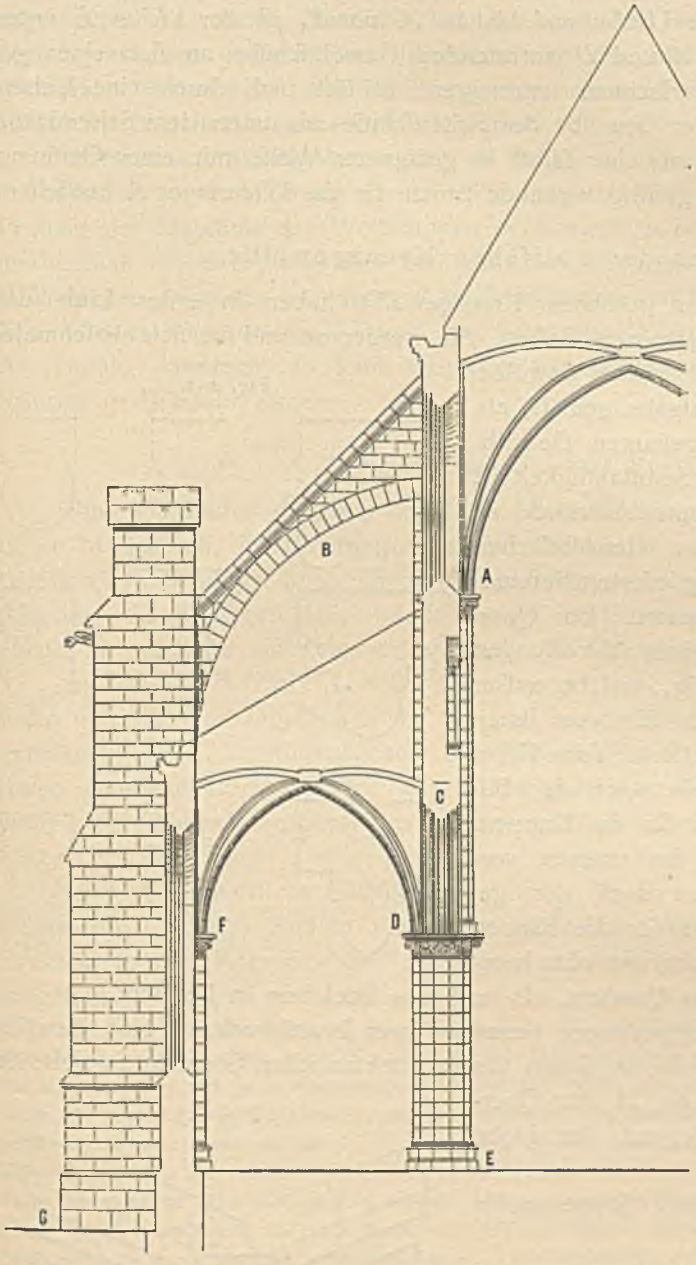
180. Strebebogen.

Ein bedeutungsvolles Bauglied iſt die bei der Anlage von gotiſchen Kreuzgewölben als wichtiges Strebeſyſtem eingeführte Vereinigung von Strebebogen oder Schwibbogen mit den Strebepfeilern.

Der Aufbau der gewölbten gotiſchen Baſilika forderte, wie in Fig. 251 angegeben, eine ſichere Abſtützung des vom Schube des Gewölbes A des Mittelſchiffes beanſpruchten Pfeilers C, bezw. E, ohne daſs, dieſem Gewölbſchube entſprechend, eine an ſich erhebliche Verſtärkung des Pfeilers vorgenommen werden durfte. Ebenſo beanſpruchte das in ſeiner Kämpferebene DF bedeutend tiefer als das Gewölbe des Mittelſchiffes gelegene Gewölbſyſtem der Seitenſchiffe beſondere Stützkörper. Das unter zweckmäſsiger Vergröſserung der Stärke dieſer Stützkörper entſtehende Widerlager geſtattete das Einfügen eines frei über das Gewölbſyſtem der Seitenſchiffe

und ihrem Dachwerke hinwegziehenden Bogens *B*, welcher als Strebe dem Gewölbfchube bei *A* Widerftand zu leiften und hierzu am Strebepfeiler *G* fein weiteres Widerlager zu erhalten hatte. Hierdurch wird in vorteilhafter Weife der Schub des Gewölbes des Mittelfchiffes auf die Strebepfeiler der Seitenfchiffe übertragen und damit gleichzeitig eine in Rückficht auf die Stabilität der Zwifchenpfeiler *E* günftig auftretende Konftruktion gefchaffen. Wie die Wirkungsweife eines derartigen Strebe- oder Schwibbogens näher beurteilt und wie eine möglichft günftige Form für feine Wölblinie ermittelt werden kann, wird fpäter bei der Stabilitätsunterfuchung desfelben gezeigt werden.

Fig. 251.



Konftruktion und Anordnung des Syftems der Strebepfeiler in Verbindung mit der Anlage der Strebebogen beeinflufsten als mächtiges Stützengebilde der gotifchen Kreuzgewölbe, wie aus der Betrachtung der einfchlägigen Bauwerke der Gotik fich ergiebt, eine architektonifche Entwickelung des Grundriffes, fowie des Aufbaues im Inneren und Aeufseren, welche die Schranken, die fich bei der Anlage der fonft bekannten Gewölbe einftellten, zu befeitigen vermochte. Nicht zu verkennen ift, dafs infolge diefes Konftruktionsmittels, wobei oft durch Anwendung von zwei und mehr Strebebogen, welche fich gegen gemeinfchaftliche Strebepfeiler fetzen, der wahre Zweck, die eigentlichen Stützpunkte der gewölbten Decke an den Umfangsmauern gegen nachteilige Veränderungen zu fchützen, mit einem fo erheblichen Aufwande von Baukörpern erreicht ift, dafs häufig die räumliche Wirkung des

Inneren der Bauanlage gegen das in weitgehender und reichſter Weiſe gebildete äuſsere Konſtruktionsgerüſt zurücktritt.

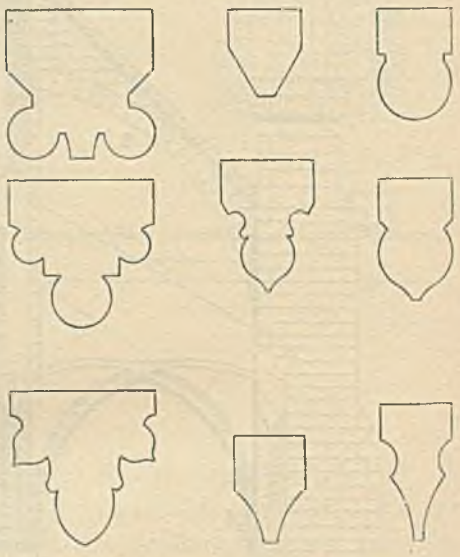
Von rein ſtatiſchem Geſichtspunkte aus betrachtet, kann in manchen Fällen bei ſeitlich nebeneinander gereihten, ſymmetriſch geordneten Gewölbanlagen mit verſchieden hoch gelegenen Kämpferebenen A und F die Verſtrebung der Stützpunkte A auch ohne Anwendung der Strebebogen B vorgenommen werden. Steigt der Mauerkörper C nicht zu bedeutend bis zu A hinauf, iſt der Pfeiler E unter Berückſichtigung der von A und D antretenden Gewölbſchübe an ſich einer gewiſſenhaften ſtatiſchen Unterſuchung unterzogen, ſo läſst ſich durch eine Uebermauerung der Gurte DF der Gewölbe des Seitenſchiffes ein unter dem Seitendache verbleibender Mauerkörper,. welcher ſelbſt in geeigneter Weiſe mit einer Oeffnung verſehen werden kann, als günſtig wirkende Stütze für das Widerlager A herſtellen.

6) Rippen der gotiſchen Kreuzgewölbe.

rër. Rippen.

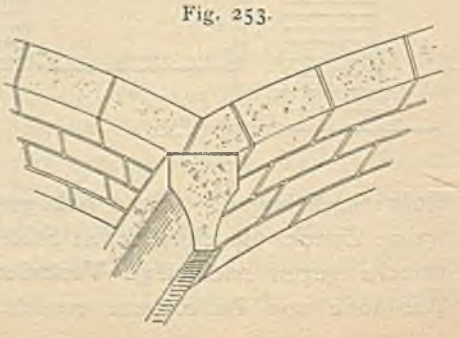
Die Rippenkörper der gotiſchen Kreuzgewölbe haben in erſter Linie das Widerlager für die Gewölbkappen zu liefern. Sie werden an und für ſich als ſchmale, ſelbſtändig auftretende cylindriſche Gewölbe geſtaltet und ſind, ihrer Aufgabe gemäſs, als tragende Bogen in den geſamten Gewölbkörper einzuführen. Ihrer Selbſtändigkeit iſt in architektoniſcher Beziehung Ausdruck zu geben durch die vor den Gewölbflächen liegenden, entſprechend gegliederten Beſtandteile, Rippenprofile genannt. Der Querſchnitt der Rippen iſt in ſeinen Abmeſſungen von der Belaſtung abhängig, welche auſser ihrem Eigengewichte durch die von ihnen getragenen Gewölbſtücke entſteht; ſeine Form richtet ſich im oberen Teile nach der Bildung der Widerlagsflächen für die Kappen, dem ſog. Rückenanſatz, im unteren vorſpringenden Teile dagegen nach der gewählten Profilierung. Dieſe für die Rippen allgemein geltenden Konſtruktionspunkte kommen ſowohl bei Rippen aus Quadern, als auch aus Backſtein in Betracht.

Fig. 252.



Da die tragenden Rippenbogen vermöge ihrer Beanſpruchung eine Gewölbſtärke erhalten müſſen, welche die ihnen aus architektoniſchen Gründen zu gebende Breite meiſtens übertrifft, ſo iſt der Querſchnitt der Rippen vorwiegend der Höhe nach zu entwickeln.

Fig. 253.



In Fig. 252 ſind einige Rippenprofile gegeben.

Sieht man von einer Anordnung in Fig. 253 ab, wonach der Rippenkörper nur ein einfaches Auflager und kein beſonders ausgebildetes Widerlager für die Gewölbkappen gewährt, ſo iſt es geboten, den

Rückenanſatz nach beſtimmten Geſetzen zu bilden, welche mit Hilfe der folgenden Mitteilungen unmittelbar aus der Geſtaltung der antretenden Kappen und vorzugsweiſe aus der Art ihrer Einwölbung abgeleitet werden können.

7) Einwölbung der Kappen.

182. Kappen.

Die Einwölbung der Kappen gotiſcher Kreuzgewölbe erfolgt hinſichtlich der allgemeinen Anordnung der Wölbſchichten und der Beſtimmung ihrer Lager- und Stoſsfugenflächen entſprechend der Geſtaltung der Laibungsflächen, dem zu verwendenden Material und der Beachtung der ſich in Rückſicht auf die Stabilität des Wölbkörpers geltend machenden Verhältniſſe.

Sieht man vorläufig davon ab, ob Backſtein, Quader oder geeignetes Bruchſteinmaterial zur Ausführung der Gewölbe benutzt wird; läſst man auch ferner die Prüfung der Stabilität der Wölbkappen noch nicht in den Vordergrund treten; bemerkt man vielmehr, daſs bei den gotiſchen Kreuzgewölben weniger cylindriſche Wölbflächen, ſondern vorzugsweiſe Gewölbkappen mit Buſung, alſo reine Kugelflächen oder kugelförmige Flächen mit oder ohne Stelzung als Laibungsflächen in Anwendung kommen, ſo kann man die folgenden Arten der Einwölbung dieſer Kappen in Betracht ziehen.

α) Buſige Kappen ohne Stelzung.

Sind die Laibungsflächen der Gewölbkappen buſige Flächen ohne Stelzung, ſo treten hinſichtlich der Richtungen der Wölbſchichten, unter Berückſichtigung einer thunlichſt freihändigen Mauerung dieſer Kappen, vorwiegend vier voneinander verſchiedene Anordnungen auf, welche ſowohl für Gewölbe mit wagrechter Kämpferebene, als auch für anſteigende Gewölbe volle Gültigkeit haben.

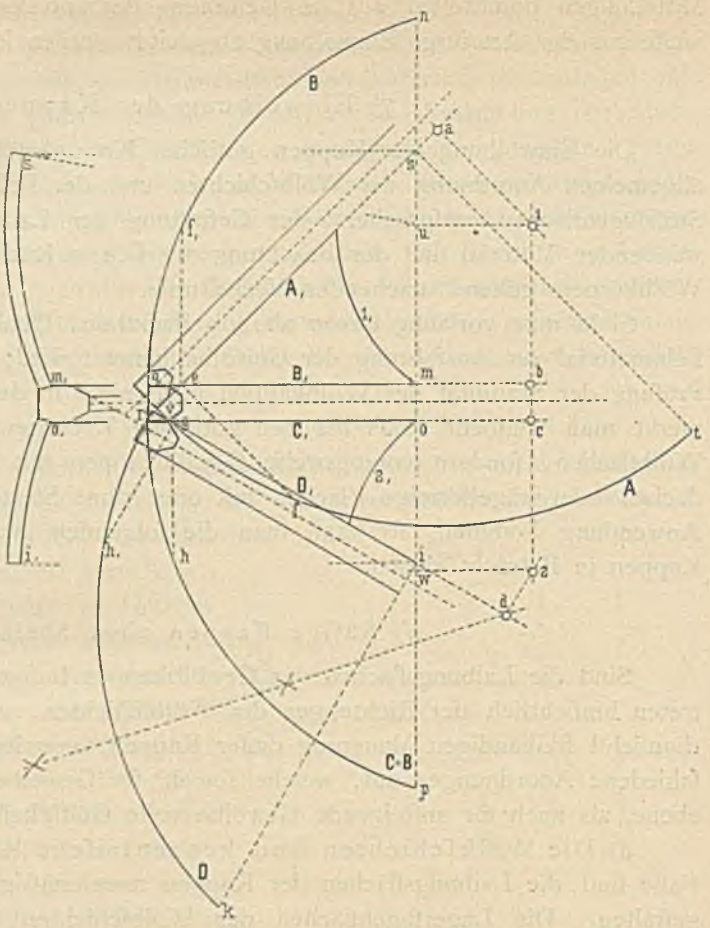
183. Erſte Anordnung der Wölbſchichten.

a) Die Wölbſchichten ſind konzentriſche Ringſchichten. In dieſem Falle ſind die Laibungsflächen der Kappen zweckmäſsig als reine Kugelflächen zu geſtalten. Die Lagerfugenflächen der Wölbſchichten ſind alsdann Kegelflächen, deren gemeinſchaftliche Spitze der Mittelpunkt der Kugelfläche der zugehörigen Kappe iſt, während die Stoſsfugenflächen derſelben in Meridianebenen dieſer Kugel liegen.

In Fig. 254 ſind die Fuſsflächen q und r der Kreuzrippen und der Fuſs v der Scheiderippe, deren Achſen hier unter ungleichen Winkeln und in verſchiedenen Punkten in der Kämpferebene zuſammentreten, in gegenſeitiger Durchſchneidung feſtgelegt.

Die ſeitlichen lotrechten Begrenzungsflächen der Rippenkörper enthalten die Widerlagslinien der antretenden Gewölbkappen. Dieſe Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappen mit den Seitenflächen der Rippen treffen ſich je in einem gemeinſchaftlichen Punkte, wovon e, bezw. g als wagrechte Projektionen erſcheinen. Bei unregelmäſsig zuſammentretenden Rippenanſätzen liegen dieſe Schnitte im allgemeinen nicht in einer und derſelben wagrechten Ebene. Um trotz ihrer voneinander abweichenden Höhenlage für das Kappenſtück ems mit der Scheitellinie ms und ebenſo für die Kappe goi mit der Scheitellinie oi im Hinblick auf eine einfache und geſetzmäſsige Ausführung der Kappenwölbung reine Kugelflächen einzuführen, iſt zunächſt für die Widerlagslinie der Laibungsfläche der Kappe ems an der Seitenebene A_1 der Kreuzrippe q der Kreisbogen A mit der gewählten Höhe st um den auf der Geraden es liegenden Mittelpunkt a geſchlagen. Dieſer Kreisbogen wird natürlich für die Begrenzungslinien der Profile der Kreuzrippe ebenfalls berückſichtigt. Derſelbe iſt aber auch der grundlegende Bogen für die Widerlagslinien an den Seiten B_1, C_1 der Scheiderippe v und an der Seite D_1 der Kreuzrippe r. Die lotrechte Projektion des Schnittpunktes der Widerlagslinie A und der näher zu beſtimmenden Widerlagslinie an der Scheiderippe v iſt der Punkt f, und ſomit wird in fe die Höhenlage dieſes gemeinſchaftlichen Schnitt-

Fig. 254.

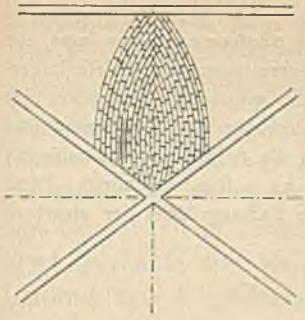


punktes über der Kämpferebene erhalten. Errichtet man in e auf eb das Lot ef_1 von der Länge ef, so ist f_1 ein Punkt des als Widerlagslinie an der Seite B_1 der Scheiderippe zu ermittelnden Kreisbogens. Ein zweiter Punkt n dieser Widerlagslinie ist durch die Kappenhöhe mn an der Rippe v an sich gegeben oder besonders zu wählen. Hier ist mn etwas kleiner als st angenommen. Endlich muss zur Erzielung einer reinen Kugelfläche, welcher die Wölblinie A und der durch f_1 und n gehende Kreisbogen angehört, der Kugelmittelpunkt in der Grund- oder Kämpferebene, worin der Mittelpunkt a des Kreisbogens A liegt, enthalten sein. Bestimmt man also den Mittelpunkt b auf der verlängerten Geraden em für den durch $f_1 n$ gehenden Kreisbogen B, so ist hierdurch die Widerlagslinie der Kappenlaibung über ems an der Seite B_1 der Scheiderippe gefunden. Die Lote von a auf ea und von b auf eb liefern in ihrem Schnitte r den Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe ems. Ein um r, z. B. als r_1, beschriebener Kreisbogen ist die wagrechte Projektion der Lagerkante einer Wölbschicht, dabei aber auch die Projektion eines auf die wagrechte Kämpferebene zu beziehenden Parallelkreises der Kugelfläche, so dass alle Punkte solcher Lagerkanten gleiche Höhenlage über der Kämpferebene besitzen.

Die Widerlagslinie an der Seite C_1 der Scheiderippe v muss ein Bogen C sein, welcher sich mit dem Bogen B vollständig deckt. Die Höhe op desselben ist gleich der Höhe mn, und sein Mittelpunkt c liegt in C_1 auf dem Lote bc auf B_1. Schlägt man um c den Kreisbogen $C = B$ und bestimmt man im Endpunkte h des Lotes gh auf cg die Höhenlage des Schnittpunktes der Widerlagslinien der Kappe goi an den Seiten C_1 und D der begrenzenden Rippen, so ist nun weiter, unter Benutzung des Lotes gh_1 auf gi mit der Länge gh und des Lotes ik auf gi mit der Länge st, also gleich der Höhe des Hauptbogens A, die Lage der beiden Punkte h_1 und k gewonnen, welche dem Kreisbogen D der Widerlagslinie der Kappe goi an der Seite D_1 der Kreuzrippe r angehören. Der zugehörige Mittelpunkt ist in d auf der Geraden D_1 ohne weiteres zu bestimmen. Nach bekannten Massnahmen wird in z der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe goi gefunden. Der um z beschriebene Kreisbogen z_1 ist wiederum die wagrechte Projektion der Lagerfugenkante einer Wölbschicht. Die Begrenzungslinien der Profile der Rippen v und r folgen den zugehörigen Bogenlinien B, bezw. D. Die Scheitellinie der Kappe ems ist der um u beschriebene Kreisbogen $m_1 s_1$, wobei $mm_1 = mn$ und $ss_1 = st$ sein muss, während die Scheitellinie der Kappe goi der Kreisbogen $o_1 i_1$ mit dem Mittelpunkte w und den Ordinaten $oo_1 = mn = op$ und $ii_1 = st = ik$ ist.

Den ermittelten Kugelflächen entsprechend, sind die Wölbschichten in den zugehörigen Kappen als konzentrische Ringschichten leicht festzulegen, und danach sind auch die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Schwierigkeiten zu bestimmen.

Fig. 255.

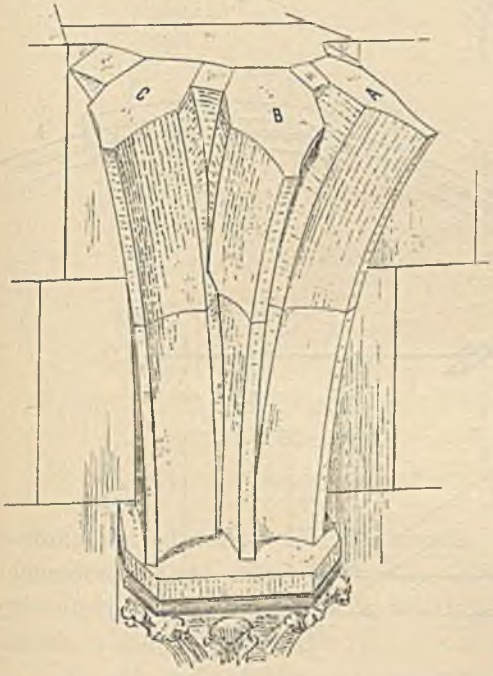


Bei der Anordnung der Wölbung nach konzentrifchen Ringfchichten tritt über der Scheitellinie das Zufammenfchneiden der einzelnen Schichten nach Art des Schwalbenfchwanzverbandes ein. Die Gröfse der Halbmeffer der zugehörigen Kugelflächen und die Lage der Mittelpunkte derfelben beeinflufst das Zufammenfügen der einzelnen Wölbfcharen über den Scheitellinien oft in befonderer Weife.

So kann nach Fig. 255 leicht eine linfenförmige Lücke verbleiben, welche der Weiterführung auf Schwalbenfchwanz vereinigter Schichten zuweilen wenig günftig ift. In folchen Fällen ift der verbleibende Spalt durch befonders hergerichtete Steine zu fchliefsen.

Wie beim Zufammenfchneiden der Fufsflächen der Scheiderippen mit den beiden Kreuzrippen der Rippenanfatz unter Verwendung von Werkftücken gebildet werden kann, möge durch Fig. 256 angedeutet werden.

Fig. 256.



Um die fcharfen Schneiden der Wölbfchichten am Fufse der Kappen zu vermeiden, find die Anfätze der Kappen zweckmäfsig am Anfänger der Rippen mit anzuarbeiten. Ueber den Flächen *A*, *B*, *C* des Rippenanfatzes erheben fich ohne weiteres die einzelnen Rippenftücke frei als felbftändige Rippenkörper, wie die Beftandteile fchmaler Tonnengewölbe, fo dafs zwifchen denfelben das Einfügen der einzelnen Wölbfchichten nunmehr ohne Einengung vorgenommen werden kann.

Bei fphäroidifchen, mit ftarker Bufung verfehenen Kappen ift die Einwölbung nach Art konzentrifcher Ringfchichten, wobei die Lagerfugenkanten je für fich in allen ihren Punkten gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, wohl möglich, aber weniger am Platze, da hierbei das freihändige Mauern oft fehr erfchwert wird.

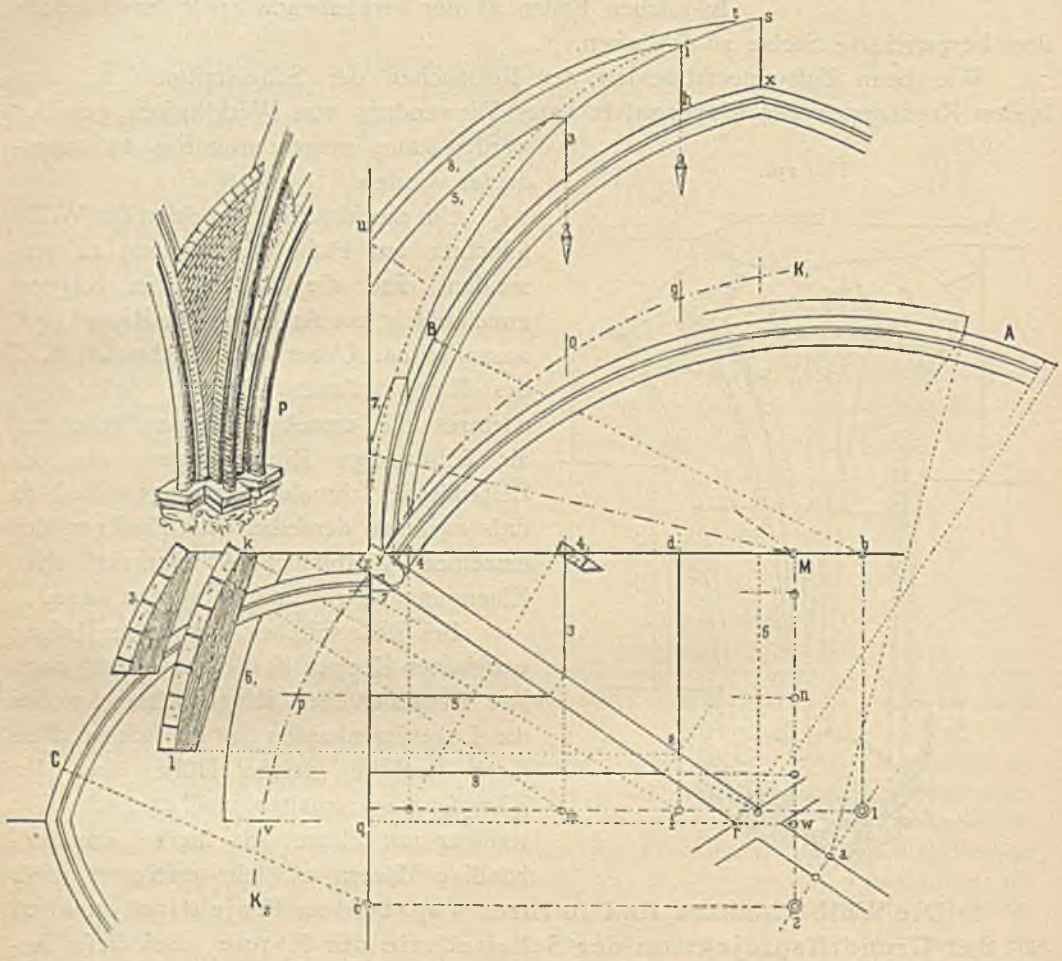
184. Zweite Anordnung der Wölbfchichten.

b) Die Wölbfchichten find in ihrer wagrechten Projektion parallel mit der Grundrifsprojektion der Scheitellinie der Kappe. Bei diefer Anordnung entftehen ftreng genommen Wölbfcharen, welche eine innige Verwandtfchaft mit der Wölbung von cylindrifchen Gewölben auf Kufverband aufweifen. Sind bei gotifchen Kreuzgewölben die zwifchen den Rippen liegenden Kappen cylindrifch geftaltet, fo ift die erwähnte Art der Mauerung der Kappen unter Vorausfetzung einer vorherigen Unterfchalung mit keinen befonderen Umftänden verknüpft.

Bei der Bildung der bufigen Kappen und bei der Rückfichtnahme auf ihre freihändige Mauerung hat jedoch die Lage der Wölbfchichten parallel zur Scheitellinie einen bemerkenswerten Einfluss auf die Geftaltung der Lager- und Stofsfugenflächen der Wölbfteine.

Iſt nach Fig. 257 auf Grund der in Art. 118 (S. 208) gegebenen Mitteilungen für die Kappen die Beſtimmung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1* und *2* nebſt den zugehörigen gröſsten Kreiſen K_1, bezw. K_2 getroffen, ſo laſſen ſich, wie ſofort aus der Zeichnung entnommen werden kann, die unteren Lagerkanten der parallel zu den Scheitellinien gerichteten Wölbſcharen austragen. Dieſe Lagerkanten gehören lotrechten Ebenen an, deren wagrechte Spuren parallel der wagrechten Projektion der zugehörigen Scheitellinien ſind. Die Schnittlinien dieſer Ebenen mit den betreffenden Kugelflächen ſind alſo Kreisbogen, welche als *kl* dem Parallelkreiſe mit dem Halbmeſſer *fg*, als 3_1 dem Parallelkreiſe mit dem Halbmeſſer *mo*, weiter als 5_1 dem Parallelkreiſe mit dem Halbmeſſer *np* u. ſ. w. angehören. Dieſe Kreisbogen beſtimmen die Form der Wölblinie in jeder Lagerkante an der Laibungsfläche der einzelnen nebeneinander liegenden Wölbſchichten.

Fig. 257.

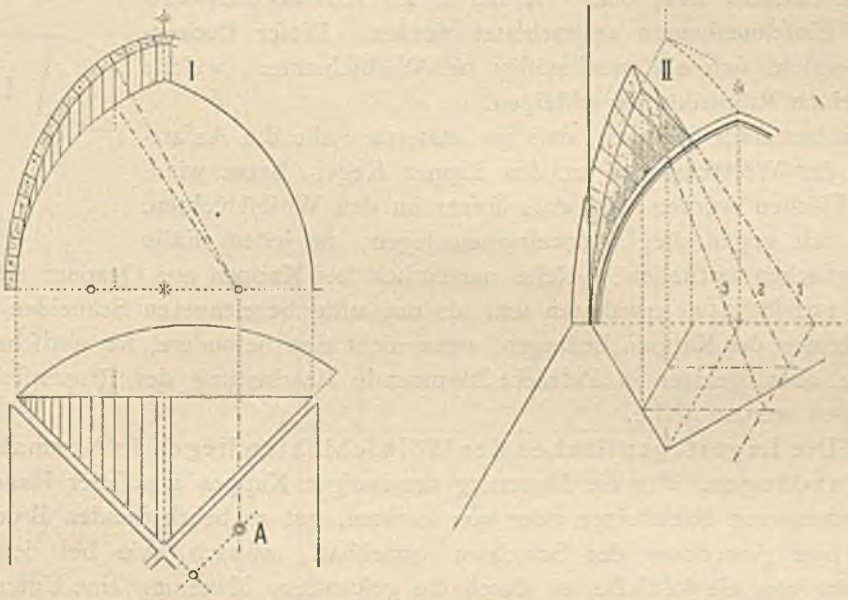


Vermöge der verhältnismäſsig geringen Breite der Wölbſcharen können dieſelben in Rückſicht auf die Richtung ihrer Stoſsfugenflächen als ſchmale cylindriſche Gewölbſtreifen angeſehen werden, ſo daſs die Stoſsfugenflächen nicht als Kegelflächen, welche für alle Wölbſcharen die gemeinſchaftliche Spitze im zugehörigen Kugelmittelpunkte finden müſsten, ſondern als ebene Flächen eingeführt werden, welche, wie in *kl* und 3_1, ſowie beim Anfänger *P* angegeben iſt, ſenkrecht zu der Wölblinie der vorderen oder hinteren unteren Lagerkante der einzelnen Wölbſchichten ſtehen.

Anders geſtaltet ſich die Anordnung der Lagerfugenflächen der einzelnen Wölbſcharen. In Fig. 258 iſt in *I* die Teilung der Schichten am Randbogen für eine Kappenhälfte, deren Laibung die Kugelfläche mit dem Mittelpunkte *A* ſei, ausgeführt und danach die Lage der Wölbſchichten beſtimmt. Die Kreisbogen der Lagerkanten ſind die Leitlinien der Lagerfugenflächen. Die Erzeugenden dieſer Fläche können als gerade Linien feſtgeſetzt werden, deren Lage gewiſſen vorgeſchriebenen Bedingungen unterworfen wird. Geht der Endpunkt dieſer erzeugenden Geraden ſtets durch den Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher der Kreisbogen der Lagerkante angehört, ſo entſteht bei ihrem Fortbewegen an der entſprechenden Leitlinie eine Kegelfläche als Lagerfugenfläche.

Legt man aber nach *II* (Fig. 258) durch die Kugelfläche der Kappe lotrechte Ebenen parallel zur Ebene des Randbogens, ſo entſteht eine zweite Schar von leicht

Fig. 258.



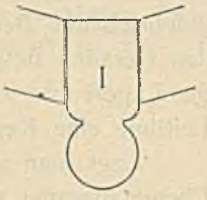
beſtimmbaren Parallelkreiſen, welche die unteren Lagerfugenkanten der Wölbſchichten ſchneiden. Zieht man durch dieſe Schnitte und durch die Mittelpunkte der zugehörigen zweiten Gruppe von Parallelkreiſen die erzeugenden Geraden, wie *1*, *2*, *3* erkennen laſſen, ſo entſteht eine windſchiefe Fläche als Lagerfugenfläche.

Im allgemeinen kommen nur dieſe beiden Geſtaltungen der Lagerfugenflächen in Betracht. Bei Backſtein- und dünnem Bruchſteinmaterial tritt in den meiſten Fällen keine beſonders vorzunehmende Zurichtung der Lagerflächen in der einen oder anderen Weiſe ein, weil ſich hierbei ein Ausgleich in der Flächenbildung durch eine entſprechende Stärke der Mörtelbänder in den Lagerfugen ſchaffen läſst. Bei Quadermaterial iſt aber die Bearbeitung der Lagerflächen nach den gegebenen Erörterungen in ſtrenger Weiſe zu veranlaſſen. Ob dabei Kegelflächen oder windſchiefe Flächen maſsgebend werden ſollen, iſt hinſichtlich der praktiſchen Zurichtung von ziemlich gleicher Bedeutung. Theoretiſch genommen verdienen die Kegelflächen bei einer Buſung der Kappen nach reinen Kugelflächen den Vorzug.

Bei einer in anderer Weiſe angenommenen Buſung, wovon noch unter b die Rede ſein wird, tritt die Anordnung der windſchiefen Lagerflächen ein.

Eine freihändige Ausführung der Kappen ift bei der befchriebenen Anordnung der Wölbfchichten möglich. Als Hilfsmittel dienen dabei nur zur Lehre oder bei längeren Wölbftreifen auch zur Unterftützung derfelben während ihrer Anfertigung, wie in Fig. 257 bei *kl* und 3_1 angedeutet ift, einfache und leichte, fenkrecht unter die Wölbfchichten ab und zu aufzuftellende Wölbfcheiben, deren obere Begrenzungslinien, wie die Lagerkanten felbft, Teile der vorhin näher bezeichneten Parallelkreife über *fg*, *mo*, *np* u. f. f. ihrer zugewiefenen Kugelflächen find, mithin je für fich mit dem befonderen Halbmeffer jener Parallelkreife befchrieben werden müffen.

Fig. 259.



Nach der Bildung der Wölbfchichten laffen fich die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Mühe feftlegen. Diefe Widerlagsflächen können nach Fig. 259 entweder wie bei *I* lotrechte Anfätze fein, oder wie bei *II* als fchwalbenfchwanzförmige Einfchneidungen angearbeitet werden. Diefer Rückenanfatz ergiebt fich als zweckmäfsig bei Wölbfchichten, welche gegen einen Rippenkörper anfteigen.

Zu bemerken ift noch, dafs im letzteren Falle die Anfatzflächen der Wölbfchichten an den Rippen Kegel-, bezw. windfchiefe Flächen werden und dafs ferner an den Wölbfchichten, welche fich gegen die Diagonalrippen legen, in jedem Falle Schmiegflächen entftehen, welche namentlich bei Kappen aus Quadern die bereits in Art. 152 (S. 254) erwähnten und als ungünftig bezeichneten Schneiden an den Anfatzfteinen der Kappen bedingen, wenn nicht eine befondere, für gotifche Kreuzgewölbe aber weniger in Betracht kommende Bearbeitung der Rippenfteine vorgenommen werden follte.

185. Dritte Anordnung der Wölbfchichten.

c) Die Lagerfugenflächen der Wölbfchichten liegen in Normalebenen zum Randbogen. Für die Mauerung der bufigen Kappen aus freier Hand ift bei Verwendung von Backfteinen oder von leichten, gut zu bearbeitenden Bruchfteinen immer eine Anordnung der Schichten vorteilhaft, wonach, wie bei den Kugelgewölben, vom Gewölbfufse an, durch die gefchaffene Mauerung eine Unterftützung der höher liegenden Schichten bereits geboten werden kann. Die unter a befprochenen konzentrifchen Ringfchichten entfprechen diefer Forderung, während derfelben bei der unter b mitgeteilten Schichtenlage weniger genügt wird. Aufserdem ift in Rückficht auf die an fich vorhandenen ebenen Seitenflächen des Wölbmaterials auch die Beibehaltung ebener Lager- und Stofsfugenflächen an fämtlichen Wölbfchichten im ganzen Kappenkörper für eine einfache und leichte Ausführung der Maurerarbeit fehr erwünfcht. Diefe Gründe geben Veranlaffung, die Wölbfchichten in ihren Lagerflächen nach Normalebenen zu ordnen, welche für irgend einen hauptfächlich als Träger eines Kappenftückes auftretenden Rippenkörper feftzulegen find.

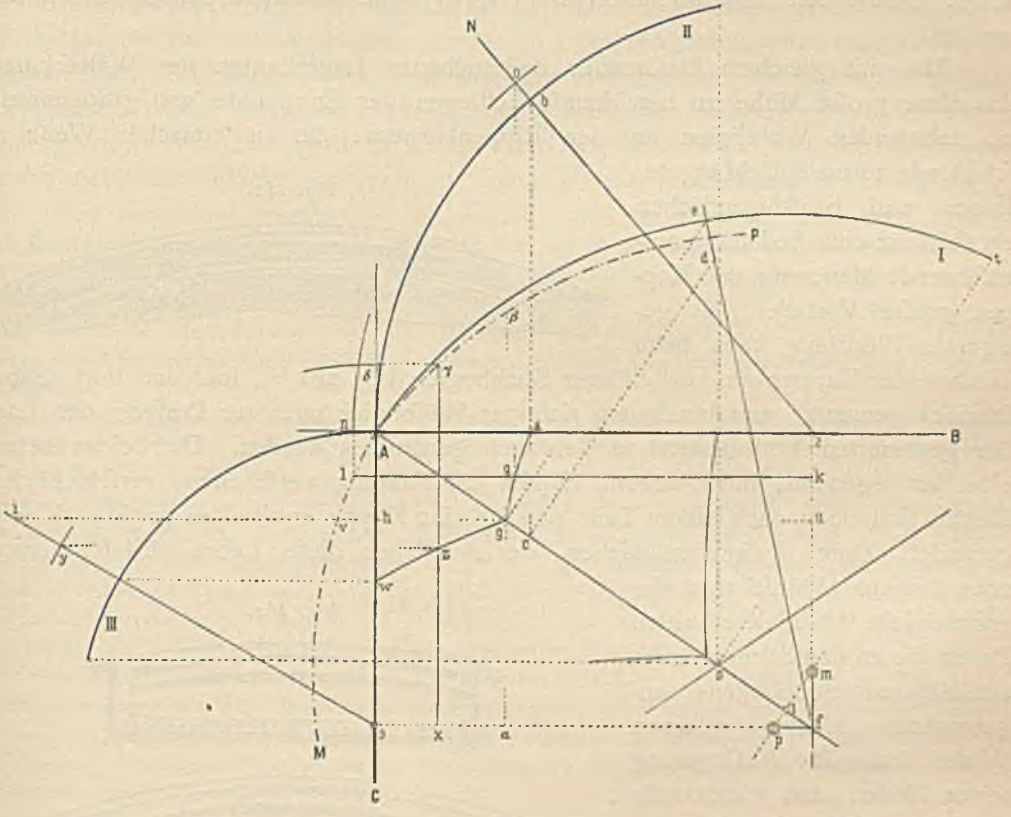
Bei den cylindrifchen Kreuzgewölben ift fchon in Art. 147 (S. 249) auf die Anordnung von Wölbfchichten, geregelt durch Normalebenen zum Gratbogen, hingewiefen. Ganz ähnliche Beziehungen ergeben fich auch bei den Wölbfcharen der Kappen gotifcher Kreuzgewölbe mit Bufung.

Liegen die Lagerflächen der Wölbfchichten in Normalebenen zum Rand-, Gurt- oder Scheidebogen eines Kreuzgewölbes, deffen Kappen nach einer reinen Kugelfläche geftaltet find, fo laffen fich die Lagerkanten der Schichten, welche alsdann

in ihrer wagrechten Projektion Teile von Ellipſen werden, nach der in Fig. 260 gegebenen Darſtellung leicht ermitteln.

Bei dem über einem reckteckigen Gewölbfelde angenommenen Kreuzgewölbe ſei I der um 1 als Kreisbogen beſchriebene Diagonalbogen, II der halbe Randbogen für AB mit dem Mittelpunkte 2 und III der halbe Randbogen für AC mit dem Mittelpunkte 3. Führt man durch den beliebig gewählten Punkt b des Randbogens II, welcher hier ebenſo wie die Kreisbogen I und III als Schnittlinie der Laibungsflächen der Kappen mit den Rippenkörpern angeſehen werden ſoll, eine Normalebene N mit der Spur $2N$ in der Ebene des Randbogens II und der Spur $2f$, ſenkrecht zu AB, in der wagrechten Kämpferebene, ſo ergeben ſich die Schnittlinien dieſer Normalebene zunächſt mit der Ebene des Kreisbogens I als fe, wofür z. B. die Länge des Lotes cd auf Af, deſſen Fußpunkt c in der lotrechten Ebene ab enthalten iſt, gleich der Länge des Lotes ab genommen wurde, und ſodann mit der Ebene des Kreisbogens III als $3i$, wofür z. B. das dem Punkte g entſprechende Lot hi auf AC gleich der Strecke des Lotes ge

Fig. 260.



auf Af abgetragen wurde. Die wagrechten Projektionen a, g, w der Schnitte der Spuren $2N$, fe, $3i$ mit den zugehörigen Kreisbogen II, I, III ſind Grenzpunkte der Grundriſsprojektionen der für die Normalebene N entſtehenden Wölblinien ag der Kappe sAB und gw der Kappe sAC.

Um ohne Feſtlegen der Achſen der Ellipſen, welche bei den hier angenommenen Kugellaibungen der Kappen zum Zeichnen der Projektionen ag und gw benutzt werden könnten, Zwiſchenpunkte, wie q auf ag und z auf gw, zu beſtimmen, ſind die größten Kreiſe M mit dem Mittelpunkte m für die Kappe sAB und P mit dem Mittelpunkt p für die Kappe sAC unmittelbar verwertet.

Die parallel zu AB ſenkrecht in kl aufgeſtellte Ebene ſchneidet die Kugelfläche sAB in einem Parallelkreiſe mit dem Halbmeſſer kl. Derſelbe trifft, um 2 mit $2n = kl$ beſchrieben, die Spur $2N$ im Punkte o. Die wagrechte Projektion q auf kl dieſes Durchganges o iſt ein Zwiſchenpunkt auf ag.

Ebenſo wird die Kugelfläche sAC von der nach $x\gamma$ geführten lotrechten Ebene nach einem Parallelkreiſe mit dem Halbmeſſer $3\delta = x\gamma$ geſchnitten, welcher auf der Spur $3i$ den Punkt y liefert, deſſen wagrechte Projektion z auf $x\gamma$ einen Zwiſchenpunkt der Wölblinie gw ergiebt.

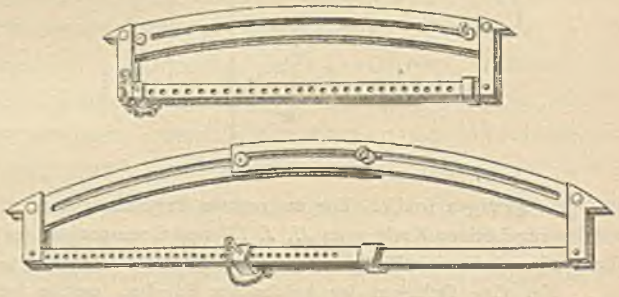
Die Wölblinien, alſo die Lagerkanten der Wölbſcharen der Kappen, ſind ſtets Beſtandteile der größten Kreiſe ihrer Kugelflächen, weil dieſelben in Ebenen liegen, welche durch den Mittelpunkt dieſer zugehörigen Kugelflächen gehen. Außerdem haben ſämtliche Normalebenen die ihnen zukommenden, rechtwinkelig zu den Ebenen der Randbogen ſtehenden Kugelachſen als gemeinſchaftliche Schnittlinie. Danach iſt alſo die wirkliche Geſtalt für die Lagerkante in der Normalebene N der Kappe sAB in dem Teile Av des zwiſchen den Parallelen zA und ug, bezw. uv gelegenen, zugehörigen größten Kreiſes M und für die antretende Lagerkante gw in dem von den Parallelen βA und αg, bezw. $\alpha\beta$ begrenzten Stücke $A\beta$ des zugehörigen größten Kreiſes P dargeſtellt.

Mit Hilfe dieſer einfachen Beziehungen können die Anſatzflächen für die Kappen an den Rippenkörpern, nachdem die Einteilung der Wölbſcharen an den Randbogen vorgenommen iſt, unter Berückſichtigung der normalen Stellung zu den Laibungsflächen der einzelnen Wölbſcharen, welche für alle Stoßfugenflächen, alſo auch für Anſatzflächen, unmittelbar durch die entſprechenden Meridianebenen der in Frage kommenden Kugelflächen erhalten wird, ohne beſondere Umſtände beſtimmt werden.

Die mit gleichem Halbmeſſer beſchriebenen Lagerkanten der Wölbſcharen, das ohne große Mühe zu bewirkende Feſtlegen der Endpunkte von gruppenweiſe zu nehmenden Wölblinien an den Rippenkörpern, die in einfacher Weiſe zu ſchaffende normale Richtung der Lager- und Stoßfugenflächen ergeben für eine freihändig auszuführende Mauerung der Kappen große Vorteile. Als geeignetes Werkzeug kann beim Wölben der Kappen ein verſtellbarer Stichbogen (Fig. 261[24]), hier und dort »Säbelſcheide« genannt, zum Innehalten richtiger Wölblinien oder zur Prüfung der Lage der gemauerten Wölbſcharen in Gebrauch genommen werden. Die beiden nebeneinander liegenden, mit Nut und Zapfen als Führung verſehenen, verſchieblichen Bretter ſind oben nach einem Teile des für eine Kappe ermittelten größten Kreiſes gerundet. Durch Zuſammenſchieben oder Ausziehen dieſer Lehre wird für kürzere oder längere Wölbſcharen die erforderliche Wölblinie erhalten. Durch die an den Stirnen dieſes verſtellbaren Stichbogens angebrachten kleinen eiſernen Winkel kann die Auflagerung ſeiner Enden und gleichzeitig dann eine Unterſtützung der Wölbſcharen durch dieſe Wölblehre während der Ausführung erreicht werden. In neuerer Zeit werden dieſe verſtellbaren Stichbogen nach Fig. 262[25]) auch aus Schmiedeeiſen angefertigt.

Fig. 261.

Fig. 262.



Bei der beſchriebenen Anordnung der Schichten tritt über der Scheitellinie der Kappen der Zuſammenſchnitt der Wölbſcharen nach Schwalbenſchwanzverband ein. Hierbei zeigt ſich aber meiſtens ein ſehr flach gegeneinander tretendes Schnäbeln der zuſammentreffenden Steine. Um das dann in erhöhtem Maße er-

[24]) Siehe: Viollet-le-Duc. *Dictionnaire raiſonné de l'architecture françaiſe etc.* Band 4. Paris 1861. S. 106.

[25]) Von Oscar Schach, Altenburg S.-A. — G.-M. Nr. 2885.

forderliche Verhauen dieſer Schnabelſteine über der Scheitellinie zu vermeiden, kann, wie aus Fig. 260 bei *s* zu erſehen iſt, die Grenze für die eigentliche Einwölbung der Kappen durch einen linſenförmigen Spalt gebildet werden, welcher durch kleine Gewölbſtreifen, die ſich rechtwinkelig nach Art des *Moller*ſchen Verbandes gegen die Seitenflächen der Linſe ſetzen, leicht zu ſchlieſsen iſt. Der geſchilderte Fugenſchnitt der Kappen kann auch ſelbſt in ſeinen Grundlagen beibehalten werden, wenn durchweg Quader als Wölbmaterial Verwendung finden ſollen.

186. Vierte Anordnung der Wölbſchichten.

b) Die Lagerfugenflächen der Wölbſchichten liegen in Normalebenen zum Gratbogen. Um die Vorteile der unter c erklärten Anordnung der Wölbſchichten für die praktiſche Ausführung der Kappen vollſtändig auszunutzen und um auſserdem noch einen zweckmäſsigeren Zuſammenſtoſs der über der Scheitellinie der Gewölbe zu vereinigenden Wölbſcharen in möglichſt rechtwinkelig auf Schwalbenſchwanzverband geordneten Wölbſteinen zu erzielen, iſt die Anlage der Wölbſchichten nach Normalebenen zum Grat- oder Diagonalbogen vorzugsweiſe geeignet. Dieſe Anordnung findet denn auch bei den gotiſchen Kreuzgewölben, deren Kappen aus Backſteinen oder geeigneten Bruchſteinen ausgeführt werden ſollen, gleichgültig, ob die Buſung dieſer Kappe einer Kugelfläche oder einer anderen geſetzmäſsig gebildeten Fläche entſpricht, in der Regel die weitgehendſte Anwendung.

Wird zunächſt die Gewölbbildung mit Kappen, deren Laibungsflächen in bekannter Weiſe als Kugelflächen geſtaltet ſind, betrachtet, ſo mögen in Fig. 263 die Kreisbogen *A* mit dem Mittelpunkte *a*, *B* mit dem Mittelpunkte *b* und *C* mit dem Mittelpunkte *c* die Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappenſtücke *I* und *II* an den Randbogen, bezw. an der Diagonalrippe ſein. Für dieſe Diagonalrippe iſt die Breite cc_1 im Grundriſſe angenommen. Der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe *I* wird in der wagrechten Kämpferebene in *1* erhalten; der gröſste Kreis dieſer Kugel mit dem Halbmeſſer $1e$ iſt als ek_1 angegeben.

Für die Kugelfläche der Kappe *II* iſt *2* in der Kämpferebene der Mittelpunkt, $2f$ der Halbmeſſer und fk_2 ein Stück ihres gröſsten Kreiſes. Irgend eine durch den Kreisbogen *C* gelegte Normalebene *N* mit der Spur *cd* in der Ebene der Anſchluſslinie *C* an der Diagonalrippe und der rechtwinkelig in *c* auf *ec* ſtehenden Spur *2cg* in der wagrechten Kämpferebene, welche zugleich die Achſe der Kugelflächen der Kappen *I* und *II* iſt, durch welche die ſämtlichen Normalebenen des Bogens *C* gehen, ſchneidet als Meridianebene dieſe beiden Kugelflächen je für ſich nach den ſchon beſtimmten gröſsten Kreiſen k_1, bezw. k_2. Hierdurch iſt bereits die wirkliche Geſtalt der unteren Lagerkanten der Wölbſchichten erhalten, und infolge hiervon kann, wie in *E* und *D* gezeigt iſt, nach Angabe der Kappenſtärke und der Breite der Diagonalrippe ſofort unter Benutzung der zugehörigen Kugelmittelpunkte *1* und *2* der ſog. Normalſchnitt in wahrer Gröſse unter Einführung des Rückenanſatzes, ſowie der Profilirung am Grat äuſserſt leicht ausgetragen werden. Sämtliche Stoſsfugenflächen der Wölbſchichten gehören wiederum Meridianebenen der betreffenden Kugelflächen an. Hiermit iſt eigentlich das Notwendige für die praktiſche Ausführung der Wölbung der Kappen und für die Beſtimmung der Anſatzflächen an den einzelnen Rippen vollſtändig gegeben.

Die Lagerflächen folgen ſtets den Normalebenen zum Grat. Geübte Maurer ſind im ſtande, die richtige Stellung dieſer Ebenen beim freihändigen Aufbau der Kappen innezuhalten. Wird zur Aufrechterhaltung der wirklichen kreisförmigen Lagerkanten als Hilfsmittel die in den Fig. 261 u. 262 gegebene verſtellbare Lehre benutzt, ſo können bei einiger Sorgfalt unregelmäſsige Geſtaltungen in den Wölblinien und damit in den einzelnen Kugelflächen durchaus vermieden werden.

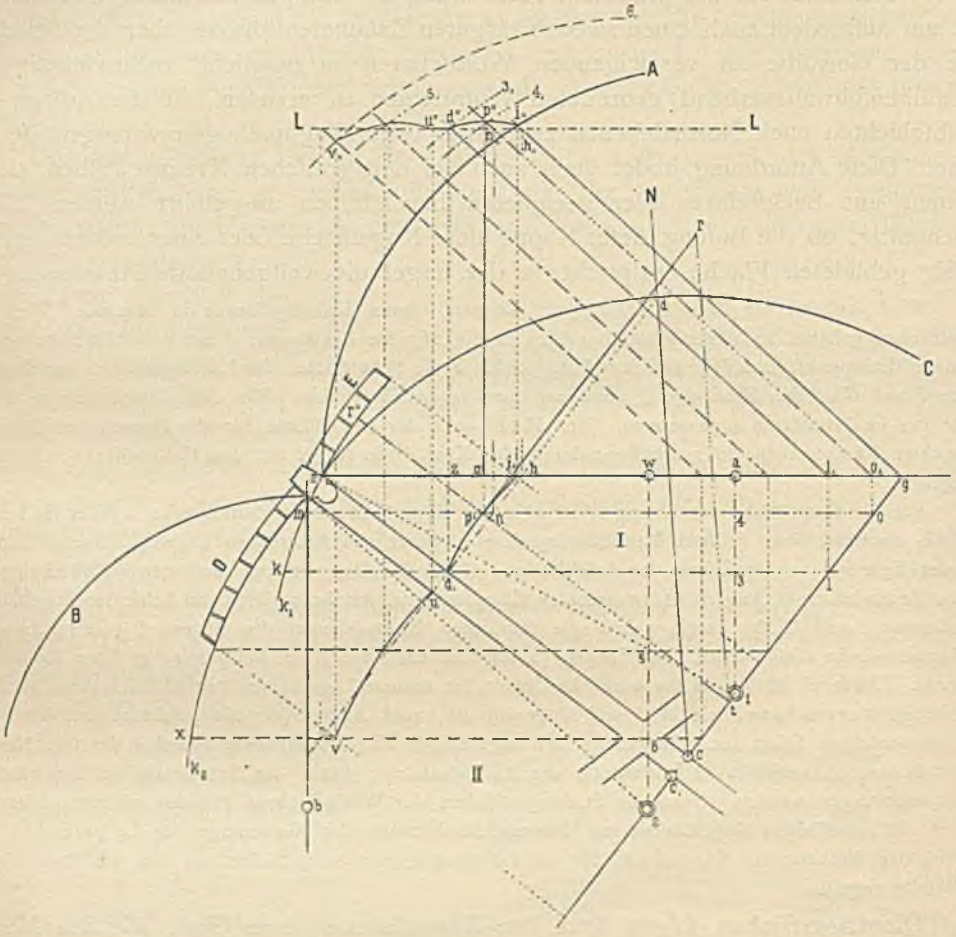
Erſcheint es erwünſcht, für ſpäter unverputzte Kappenflächen einen ſtreng richtigen Verband und einen regelrechten Verlauf der Lagerkanten der Wölbſchichten zu wahren, ſo ſind die Projektionen der Lagerkanten für mehrere Normalebenen zum Diagonalbogen durch Zeichnung zu ermitteln, um hierdurch die Lage ihrer Anſchluſspunkte, wie *i* am Randbogen *A*, oder auch wie *v* an der Scheitellinie der

Kappe *II* angeben zu können. Namentlich ift das nach der Zeichnung vorgenommene wirkliche Uebertragen einer Gruppe von Anfchlufspunkten auf die Randbogen für eine regelmäfsige Geftaltung der Kappenwölbung von Vorteil.

In Fig. 263 ift die wagrechte Projektion $d_1 i_1$, uv, fowie die lotrechte Projektion $d_{,,} i_{,,}$, $u_{,,} v_{,,}$ der Wölblinie gezeichnet, welche eine durch den beliebig genommenen Punkt d des Bogens C geführte Normalebene N auf den Kappenflächen hervorruft.

Die Punkte d_1 und u ergeben fich ohne weiteres auf ec, bezw. fc_1 als wagrechte Projektionen des Punktes d. Die Grenzpunkte i und v find in folgender Weife beftimmt. Eine durch d geführte wagrechte Ebene fchneidet die Normalebene N in einer wagrechten Geraden. Die lotrechte Projektion LL

Fig. 263.



dieter Geraden in der Ebene des Bogens A ift parallel zu ea im Abftande $eL = dd_1$ zu führen, während die Grundrifsprojektion hd_1u derfelben parallell zur wagrechten Spur $g2$ der Normalebene N zieht. Die zu h gehörige lotrechte Projektion $h_{,,}$ auf der Geraden LL liefert in Verbindung mit dem Punkte g die Spur $gh_{,,}$ der Normalebene N in der Ebene des Bogens A. Die Verlängerung dieter Spur $gh_{,,}$ bis zum Bogen A liefert den Schnitt $i_{,,}$ als lotrechte Projektion des Anfchlufspunktes der gefuchten Wölblinie. Die wagrechte Projektion ift i_1 auf ea. Um einen Zwifchenpunkt dieter Wölblinie zu ermitteln, ift eine lotrechte Ebene parallel zur Ebene des Bogens A, z. B. nach mo, geführt. Diefelbe wird im Grundriffe in n von der wagrechten Projektion hd,u der vorhin gekennzeichneten Geraden LL durchftofsen. Die lotrechte Projektion $n_{,,}$ dieles Durchftofspunktes auf LL giebt in Verbindung mit o_1, welcher dem Schnitte o der Geraden mo mit der Spur $g2$ der Normalebene N entfpricht, offenbar die lotrechte Projektion $n_{,,}o_1$ der Schnittlinie dieter Normalebene mit jener nach mo aufgeftellten lotrechten Ebene. Letztere fchneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreife mit dem

Halbmeſſer $4m$. Wird mit dieſem Halbmeſſer um a ein Kreisbogen 4_1 beſchrieben, ſo ſchneidet derſelbe die gehörige verlängerte Gerade $n_{,,} o_1$ im Punkte $p_{,,}$, wodurch die lotrechte Projektion eines Zwiſchenpunktes für die in Frage kommende Wölblinie gefunden iſt. Die wagrechte Projektion desſelben iſt p_1 auf mo. Auf dem beſchriebenen, in der Zeichnung weiter zu verfolgenden Wege ſind beliebig viele Punkte der Wölblinie zu ermitteln. Zu beachten iſt nur, daſs für die Kappe *II* in Bezug auf uv der größte Kreis k_2 bei der Beſtimmung der in Anwendung zu bringenden Parallelkreiſe zu berückſichtigen iſt und daſs ferner die Mittelpunkte dieſer Gruppe von Parallelkreiſen in dem von z auf ea gefällten Lote zw liegen. So iſt z. B. der Parallelkreis 6_1 um w mit dem Halbmeſſer $6x$ zu beſchreiben.

Bei der praktiſchen Ausführung der Kappenwölbung iſt es zuweilen erwünſcht, die lotrechte Höhenlage gewiſſer Punkte dieſer oder jener Wölblinie über der wagrechten Kämpferebene inne zu halten, ohne die vollſtändige wagrechte und lotrechte Projektion einer ſolchen Wölblinie zu zeichnen. Man benutzt für dieſe Ausmittelung unmittelbar den Normalſchnitt DE.

Soll z. B. die lotrechte Höhenlage des beliebigen Punktes $r_{,,}$ einer Wölblinie, welche einem beliebigen Normalſchnitte N angehört, deſſen Spuren in cd und zg angelegt ſind, über der Kämpferebene gefunden werden, ſo fälle man von $r_{,,}$ das Lot $r_{,,}t$ auf zg, ziehe durch t einen Strahl tr parallel zu cN und ſchneide $tr = tr_{,,}$ ab. Das von r auf $r_{,,}t$ gefällte Lot rp_1 iſt die geſuchte Höhe. Gleichzeitig iſt in p_1 auf $r_{,,}t$ auch die wagrechte Projektion eines Zwiſchenpunktes der einer Ebene N angehörenden Wölblinie erhalten.

Für die Richtigkeit dieſes Verfahrens gelten die folgenden Gründe. Eine lotrechte Ebene, welche parallel zu der Ebene ec des Bogens C nach einer wagrechten Spur $r_{,,}t$ geführt iſt, ſchneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreiſe, deſſen Mittelpunkt t auf der jetzt in Frage kommenden Kugelachſe c_1, bezw. zg liegt, deſſen Halbmeſſer unter Berückſichtigung des größten Kreiſes dieſer Kugelfläche gleich $tr_{,,}$ wird. Dieſer Halbmeſſer iſt in der Normalebene N eine Parallele zum Halbmeſſer cd der gleichfalls als Parallelkreis auftretenden Schnittlinie C der lotrechten Seitenebene der Diagonalrippe, ſo daſs nach dieſer Benutzung der Kugelfläche der Kappe I die Höhenlage des Punktes r in einfachſter Weiſe zu finden iſt.

Wie ſofort zu erkennen, kann das ſoeben angegebene Verfahren auch zur Beſtimmung der wagrechten und lotrechten Projektionen der Wölblinie angewendet werden, welche irgend einer Normalebene N zukommt.

Für das Einwölben der Kappen der gotiſchen Kreuzkappengewölbe oder der flachen Kreuzgewölbe, deren Geſtaltung in Art. 171 (S. 281) beſprochen wurde, iſt ebenfalls die Bildung der Wölbſchichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen vorwiegend in Gebrauch zu nehmen.

Die Ausmittelung des ſog. Normalſchnittes und die Beſtimmung der Projektionen der zugehörigen Wölblinien iſt nach den im vorhergehenden angeführten Grundlagen zu bewirken. Ihre Anwendung ſoll in der Zeichnung auf umſtehender Tafel noch näher gezeigt werden.

Ein rechteckiges Gewölbfeld von 4 m Länge und 3 m Breite iſt mit einem Kreuzkappengewölbe mit Buſung nach Kugelflächen von 1 m Pfeilhöhe unter Anwendung von Backſteinmaterial zu überdecken. Die Bogenlinie der nicht profilirten Diagonalrippen iſt ein flacher Kreisbogen, welcher zur Hälfte als ab ſeitlich von as mit der Pfeilhöhe $sb = 1$ m gezeichnet iſt. Der Mittelpunkt c dieſes Kreisbogens, welcher alſo nicht als Spitzbogen auftreten ſoll, liegt auf der verlängerten Geraden bs. Eine durch c parallel zu as geführte Gerade G beſtimmt die wagrechte Grundebene, worin auſser c auch ſämtliche Mittelpunkte der Kugelflächen der Laibungen der Kappen, mithin auch die Mittelpunkte ihrer Schnittlinien mit den lotrechten Seitenebenen der Rand- oder Gurtbogen des Gewölbfeldes liegen. Der Abſtand dieſer Grundebene oder Mittelpunktsebene von der wagrechten Kämpferebene ergiebt ſich als sc.

Im Schnitte nach gz iſt die Kämpferebene durch die wagrechte Gerade $a_1 a_{,,}$ beſtimmt, während dieſelbe im Schnitte $d_1 s$ gleich durch die ſchon vorhandene Gerade ag feſtgelegt iſt. Die in d auf $a_1 a_{,,}$, bezw. in g auf ag errichteten Lote ds_1, bezw. gh ſind gleich der Pfeilhöhe sb, ſo daſs s_1, bezw. h die lotrechten Projektionen des Gewölbſcheitels ſind. Trägt man auf der Verlängerung von $s_1 d$ die Strecke dc_1 gleich der Strecke sc ab, ſo giebt die durch c_1 parallel zu ad_1 gezogene Gerade G_0 die Lage der Grundebene in Bezug auf den Schnitt gz an, wie auch nach Abtragen der Strecke sc

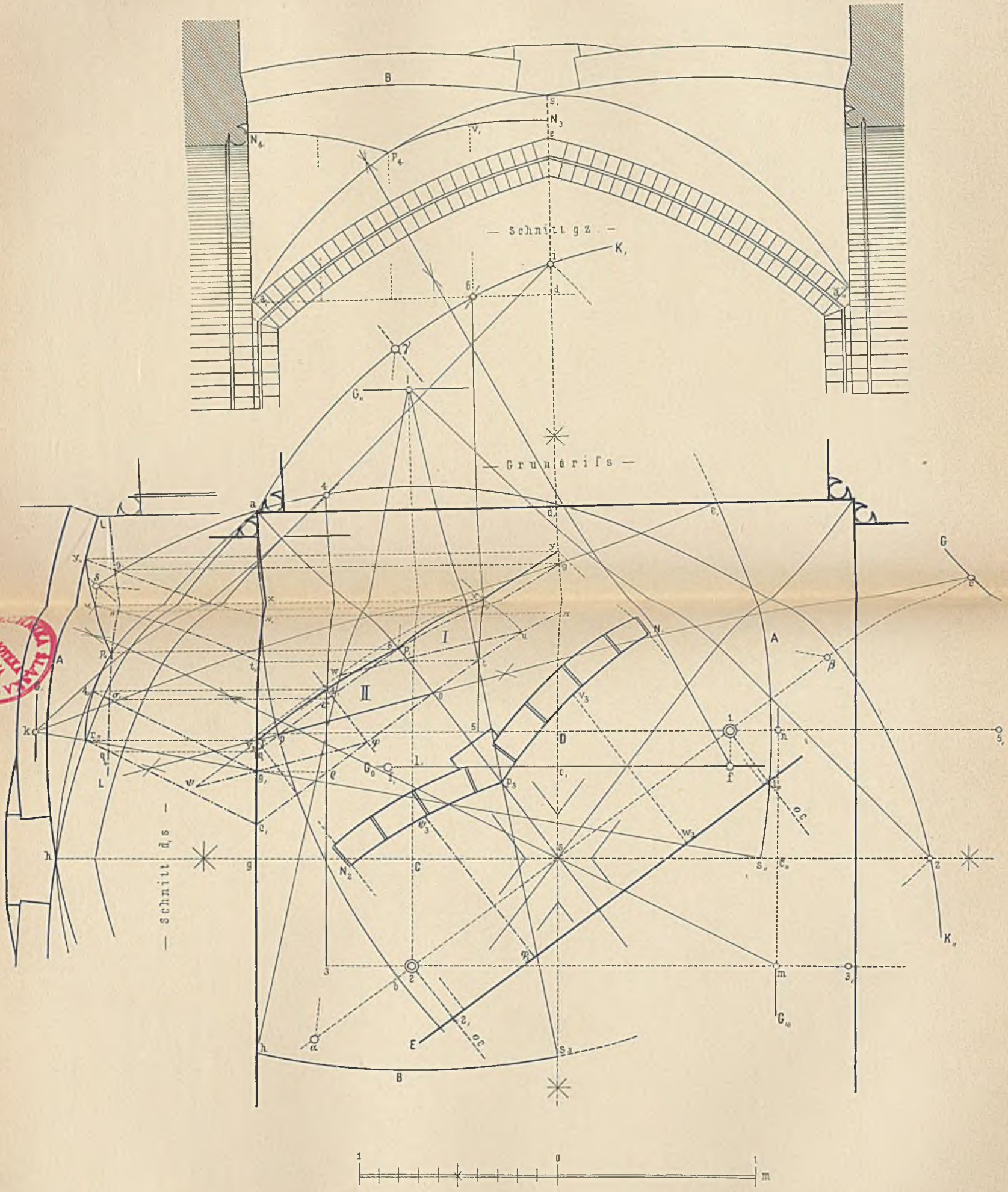
von g nach $c_{,,}$ auf der verlängerten Geraden hg in der durch $c_{,,}$ parallel zu ag geführten Linie $G_{,,,}$ die für den Schnitt $d_1 s$ maſsgebende Grundebene erhalten wird.

Die Schnittlinie der Laibungsfläche der Kappe I an der ſchmalen Rechteckſeite ſoll ein flacher Spitzbogen $a, e\, a_{,,}$ ſein, deſſen Pfeilhöhe de kleiner als die Pfeilhöhe ds, des Gewölbes ſelbſt ſein möge. Berückſichtigt man nur die Hälfte a, e dieſes mit dem Flachbogen der Diagonalrippe über as im Kämpferpunkte a, zuſammentretenden Spitzbogens, ſo ergiebt ſich nach bekannter Konſtruktion in f auf G_0 der Mittelpunkt für den Kreisbogen $a_1 e$. Nimmt man auf G_0 die Strecke $c, f = c, f_,$, ſo iſt $f,$ der Mittelpunkt der anderen Hälfte $e\, a_{,,}$ jenes Spitzbogens. Aus dieſen Mittelpunkten ſind, wie der Schnitt gz zeigt, auch die konzentriſchen Begrenzungslinien der Profile des vorſpringenden Rand- oder Gurtbogens zu beſchreiben. Errichtet man nunmehr in f das Lot $f,$ auf G_0, ſo ſchneidet dasſelbe das in c auf G vorhandene Lot cb im Punkte 1. Dieſer Punkt iſt die wagrechte Projektion des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung des Kappenſtückes I. Der Mittelpunkt der Kugel ſelbſt liegt um die Strecke sc lotrecht unter der Kämpferebene. Eine durch den Punkt 1 geführt gedachte lotrechte Kugelachſe ergiebt im Durchſtoſspunkte 1 mit der wagrechten Kämpferebene den Mittelpunkt eines dieſer Kugelfläche angehörenden Parallelkreiſes $K_,$, deſſen Halbmeſſer nun als $1a$ im Grundriſs beſtimmt iſt. Um die Gröſse des Halbmeſſers der Kugel zu finden, iſt nur durch 1 die Parallele 1γ zu as bis zum Schnitte mit $K_,$ in γ zu ziehen, auf dem Lote $c\alpha$ zu as, bezw. zu 1γ die Strecke $1\alpha = sc$ abzutragen, wonach in $\alpha\gamma$ dieſer Halbmeſſer erhalten wird.

Nach dieſer Ausmittelung iſt die Kugelfläche des Kappenſtückes I vollſtändig feſtgelegt. Für das Austragen der Scheitellinie A über $d_1 s$ iſt von 1 das Lot $1k$ auf $c, d,$ zu fällen und auf demſelben die Strecke $Dk = sc$ abzuſchneiden. Die durch k parallel zu $c, d,$ gezogene Gerade $G,$ iſt wiederum als Grundebene anzuſehen. Der verlängerte Strahl $c, d,$ trifft den Parallelkreis $K,$ in i; folglich iſt ki der Halbmeſſer der um k als Kreisbogen zu beſchreibenden Scheitellinie A. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung muſs ſich, nachdem der Bogen A geſchlagen iſt, die Länge $d, e,$ gleich der Pfeilhöhe de des Spitzbogens $a, e\, a_{,,}$ im Schnitte gz und die Länge $s\, s_{,,}$ gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens herausſtellen. Der Bogen A iſt danach im Schnitte d, s eingetragen. Die Stirnlinie der Wölbfläche der Kappe II möge ein flacher Spitzbogen ſein, deſſen Pfeilhöhe gh gleich der Pfeilhöhe sb des Diagonalbogens iſt. Für die Hälfte ah dieſes Spitzbogens iſt unter Benutzung der bereits angegebenen Grundebene $G_{,,,}$ in m der zugehörige Mittelpunkt beſtimmt. Der Schnitt 2 des in m auf $G_{,,,}$ errichteten Lotes mit dem Strahle $cs\alpha$ iſt die wagrechte Projektion des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung der Kappe II. Entſprechend den bei der Kugelfläche I angeſtellten Betrachtungen wird der um 2 mit dem Halbmeſſer $2a$ beſchriebene Kreis $K_{,,}$ ein in der Kämpferebene gelegener Parallelkreis dieſer zweiten Kugel. Der Kugelhalbmeſſer ergiebt ſich als $\beta\delta$. Hierzu iſt durch 2 eine Parallele zu as zu legen, um ihren Schnitt δ mit dem Parallelkreiſe $K_{,,}$ zu erhalten, und weiter $2\beta = sc$ auf $2c$ abzuſchneiden, wodurch $\beta\delta$ gefunden wird. Für die Scheitellinie B über sg iſt auf dem von 2 auf sg gefällten Lote die Strecke $Cl = sc$ abzuſetzen, ſo daſs $G_{,,}$ Grundebene und l Mittelpunkt für den Kreisbogen B werden. Der Schnitt z der verlängerten Geraden gs mit dem Parallelkreiſe $K_{,,}$ beſtimmt die Länge des Halbmeſſers lz der Scheitellinie B. Als Probe der Richtigkeit muſs am Bogen B jetzt $s\, s_3 = sb$ und ebenſo, da die Pfeilhöhe des Randbogens $gh = sb$ genommen war, $gh = sb$ gefunden werden. Im Schnitte gz iſt dieſer Bogen B wiederum berückſichtigt.

Da die Halbmeſſer $\alpha\gamma$ für die Kugelfläche I und $\beta\delta$ für die Kugelfläche II bekannt geworden ſind, ſo iſt hierdurch für alle Normalſchnitte zum Gratbogen das zum Austragen ihrer wirklichen Gröſse Erforderliche erreicht. Die Wölblinien von ſämtlichen Normalſchnitten ſind Teile der mit den Halbmeſſern $\alpha\gamma$, bezw. $\beta\delta$ zu beſchreibenden gröſsten Kreiſe ihrer Kugelflächen. So iſt auch für den Normalſchnitt pc die Wölblinie $p_3 N_1$ mit dem Halbmeſſer $\alpha\gamma$, die Wölblinie $p_3 N_2$ mit dem Halbmeſſer $\beta\delta$ zu beſchreiben, wobei die Mittelpunkte der einzelnen in p_3 ſich ſchneidenden Kreisbogen in den durch 1, bezw. durch 2 ſenkrecht zu ac geführten, hier nicht weiter verlängerten Strahlen oc liegen.

Sollen, wie in der Zeichnung geſchehen, ſämtliche Projektionen der durch eine Normalebene, z. B. pc, des Diagonalbogens ab auf den Wölbflächen I und II entſtehenden Schnittlinien dargeſtellt werden, ſo kann dazu der folgende Weg dienen. Die durch die wagrechte Projektion $p,$ des Punktes p ſenkrecht auf as gehende Gerade qq ſei die Grundriſsprojektion einer durch p geführten wagrechten Linie, deren lotrechte Projektion im Schnitte d, s durch $Lp_{,,}L$ gegeben iſt. Die wagrechte Spur $\pi o,$ der Normalebene pc geht in der Kämpferebene rechtwinkelig zu as durch den Punkt o. Führt man zur Beſtimmung irgend eines Punktes der durch die Normalebene pc auf der Kugelfläche I hervorgerufenen Schnittlinie beliebig eine lotrechte Ebene parallel zur Seitenebene ag, z. B. durch 56, ſo wird die durch qq und $\pi o,$ gelegte Ebene nach einer Geraden mit den Projektionen $t7$ und $t, 8$ getroffen, während die



Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen über rechteckigem Gewölbefelde.

Kugelfläche I von jener lotrechten Ebene nach einem Kreife geſchnitten wird, welcher als Parallelkreis der Kugel I mit dem bekannt gewordenen Punkte 6 auf K, erſcheint. Eine lotrechte Achſe derſelben geht durch 1 in der Kämpferebene. Trägt man alſo auf dem Strahle $5\,1$ die Strecke $5\,5_1 = s\,c$ ab, ſo iſt 5_1 der Grundebene des für $5\,6$ entſtehenden Parallelkreiſes zuzuweiſen, wonach ſich in $5_1 6$ der Halbmeſſer dieſes Parallelkreiſes ergiebt. Für den Schnitt d, s iſt aber G_{III} die Grundebene. In derſelben iſt durch n der Durchſtoſspunkt jener mehrfach erwähnten, den Punkt 1 enthaltenden lotrechten Kugelachſe beſtimmt. Beſchreibt man daher um n mit dem Halbmeſſer $5_1 6$ einen Kreisbogen, welcher die verlängerte Gerade $t, 8$ des Schnittes d, s im Punkte v_{II} trifft, ſo iſt hierdurch die lotrechte Projektion eines Punktes der geſuchten Wölblinie auf der Kappenfläche I gefunden. Die wagrechte Projektion dieſes Punktes iſt v auf der Geraden $5\,6$. Für die Lage des entſprechenden Punktes v_3 im Normalſchnitte $N_{p_3}\,N_2$ iſt $w_3\,v_3$ gleich dem wirklichen Abſtande innerhalb der geneigten Normalebene von der Kämpferebene E, alſo gleich der Hypotenuſe $u\,w$ des rechtwinkeligen Dreieckes $u\,v\,w$, deſſen Kathete $v\,w$ gleich der Höhe $x\,v_{II}$ iſt und wobei aufserdem die Kathete $u\,v$ parallel zu $a\,s$ gerichtet ſein mufs. Für einen Punkt der auf der Fläche II durch die Normalebene erzeugten Wölblinie kommt der Parallelkreis K_{II} in Betracht. So iſt z. B. für das Feſtlegen des Punktes 4_{II} im Schnitte d, s zunächſt $3\,4$ parallel zu $a\,g$ gezogen, alsdann $3_1 3 = s\,c$ genommen und endlich um m mit dem Halbmeſſer von der Länge $3_1 4$ ein Kreisbogen geſchlagen, welcher die verlängerte, hier in Frage kommende Gerade g, σ, im geſuchten Punkte 4_{II} trifft. Hiernach ergiebt ſich 4_1 auf $3\,4$ als ein Punkt der wagrechten Projektion der zugehörigen Wölblinie. Im Normalſchnitte iſt $\varphi_3\,\psi_3$ gleich der Hypotenuſe $\varphi\,\psi$ des rechtwinkeligen Dreieckes $\varphi\,4_1\,\psi$, worin $4_1\,\psi$ gleich der Höhenlage des Punktes 4_{II} über $a\,g$ iſt. Nach dieſen Angaben können beliebig viele Punkte der Wölblinien eines Normalſchnittes $p\,c$ beſtimmt werden.

187. Wölbung aus Quadern.

Für die Ausführung der Gewölbkappen aus Quadern wird zur Herſtellung eines ordnungsmäſsigen, in gutem Verbande ſtehenden Fugenſchnittes der Wölbſteine das Zeichnen der Wölblinien im Aufriſs, vorzugsweiſe aber im Grundriſs erforderlich.

Bei der Anordnung der Lagerflächen nach Normalebenen zum Diagonalbogen ſind die unteren Lagerkanten bei Kappen mit Kugellaibungen einfach Teile eines gröſsten Kreiſes. Sämtliche Normalebenen gehen durch die Kugelachſe, welche rechtwinkelig zur Ebene des Diagonalbogens ſteht. Je nach der Neigung der einzelnen Normalebenen erſcheinen alſo die Grundriſsprojektionen jener Lagerkanten zwiſchen den Grenzlagen, nämlich der geraden Linie (Kugelachſe) »für die lotrechte Stellung der Normalebene« und dem Kreisbogen (Teil des gröſsten Kreiſes) »für die wagrechte Lage derſelben«, als Stücke von Ellipſen. Durch die an ſich einfache Beſtimmung der Achſen dieſer verſchiedenen Ellipſen wird eine bedeutende Erleichterung für das Feſtlegen der Grundriſsprojektion der Lagerkanten der einzelnen Wölbſchichten herbeigeführt. In Fig. 264 ſind die hierfür in Frage kommenden Darſtellungen gegeben.

Für ein rechteckiges Gewölbfeld iſt der um a beſchriebene Kreisbogen A die Anſatzlinie des Kappenſtückes $q\,d\,s$, der um b geſchlagene Kreisbogen B die Randlinie des Kappenſtückes $r\,d\,s$ und der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die Schnittlinie beider Kappenteile an dem hier unprofiliert genommenen Diagonalbogen.

Man findet in 1 den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe $q\,d\,s$ mit dem gröſsten Kreiſe K_1 und dem Halbmeſſer $1\,d$, in 2 den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe $r\,d\,s$ mit dem gröſsten Kreiſe K_2 und dem Halbmeſſer $2\,d$. Die beiden Kugeln gemeinſchaftliche, lotrecht auf der Ebene des Diagonalbogens C ſtehende Achſe iſt die durch 1 und 2 gehende Gerade III.

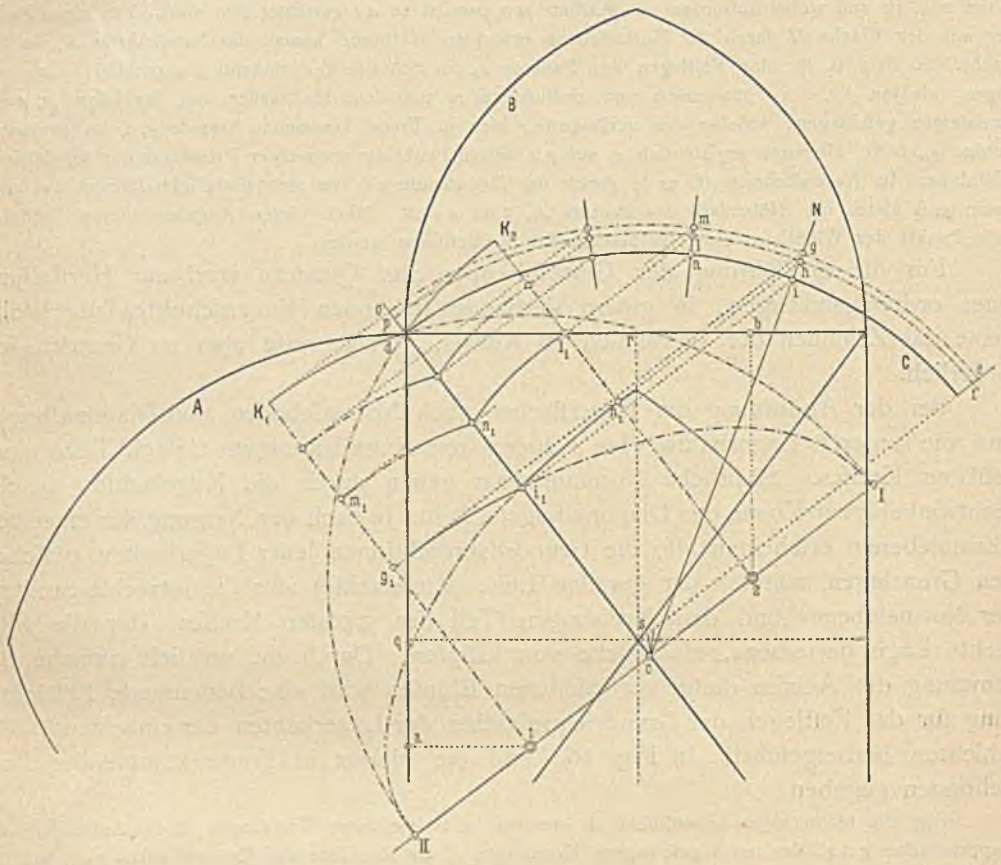
Die auf III in 1 lotrecht ſtehende Gerade $1\,K_1$ und das in 2 auf III gezeichnete Lot $2\,K_2$ ſind Kugelachſen der Kappen $q\,d\,s$ und $r\,d\,s$, welche in 1, bezw. 2 parallel zur Gratebene C geführten Ebenen angehören. Ueber $1\,K_1$ erhebt ſich ein gröſster Kreis $K_1\,I$; über $2\,K_2$ ſteht ein gröſster Kreis $K_2\,II$. Dieſelben ſind nur teilweiſe gezeichnet, aber gleichzeitig als $o\,e$ für $K_1\,I$ und als $p\,f$ für $K_1\,II$ in die Ebene des Bogens C gebracht.

Legt man durch den beliebig angenommenen Punkt i des Diagonalbogens C eine Normalebene mit den Spuren $c\,N$ und III, wovon $c\,N$ den gröſsten Kreis $o\,e$ in g, den gröſsten Kreis $p\,f$ in h trifft, ſo wird die Kugelfläche $q\,d\,c$ nach einem gröſsten Kreiſe vom Halbmeſſer $c\,g$, die Kugelfläche $r\,d\,c$ nach

einem gröfsten Kreife vom Halbmeffer $c\,h$ gefchnitten. Die auf $1\,K_1$ entfallende wagrechte Projektion des Halbmeffers $c\,g$ liefert die halbe kleine Achfe des in der Grundrifsprojektion als Ellipfe auftretenden gröfsten Kreifes der Ebene $c\,N$, während die halbe grofse Achfe diefer Ellipfe unverändert gleich $1\,I = 1\,d = c\,g$ bleibt. Ebenfo wird die wagrechte Projektion $2\,h_1$ von $c\,h$ auf $2\,K_2$ die halbe kleine Achfe und $2\,II$ die halbe grofse Achfe der für den in der Ebene $c\,N$ liegenden gröfsten Kreis vom Halbmeffer $c\,h$ in der Grundrifsprojektion in Frage kommenden Ellipfe.

Diefen Achfen entfprechend find die beiden in i_1 auf $d\,s$ fich fchneidenden Viertelellipfen $g_1\,I$ und $h_1\,II$ gezeichnet. Sie liefern, in $i_1\,g_1$ und $i_1\,h_1$, foweit die Kappenflächen $q\,d\,s$ und $r\,d\,s$ dabei überhaupt in Betracht kommen, die Grundrifsprojektion der Lagerkante für eine in der Normalebene $c\,N$ enthaltene Lagerfugenfläche einer Wölbfchicht.

Fig. 264.



Für eine andere Normalebene $c\,m$ entftehen die Lagerkanten $m_1\,m_1\,l_1$ als Teile von Ellipfen mit den Halbachfen $1\,I$, $1\,m$ für $m_1\,n_1$ und $2\,II$, $2\,l_1$ für $n_1\,l_1$.

Auf gleichem Wege laffen fich unter Beachtung von Fig. 263 (S. 304) auch die Lagerkanten der Wölbfchichten beftimmen, wenn ftatt einer Gratkante die beiden Anfatzlinien an den Seitenflächen der Diagonalrippen berückfichtigt werden müffen.

Die Breite jeder einzelnen Wölbfchicht nimmt von den lotrechten Ebenen der vorhin erwähnten Kugelachfen $1\,K_1$ und $2\,K_2$ nach beiden Seiten hin gemeffen ab. Für Quadermaterial ift diefe Veränderung der Breite unbedingt zu berückfichtigen. Für die Teilung der Anfatzlinie der Kappen am Diagonalbogen C können gleich grofse Teilweiten eintreten. Die Teilpunkte beftimmen alsdann die Richtung der zugehörigen Normalebenen und bedingen damit die Breite der an die Randbogen A und B ftofsenden Wölbfchichten.

188. Wölbung aus Back- und Bruchſteinen.

Beim Einwölben der Kappen mit Backſteinen oder mit dünnen lagerhaften Bruchſteinen können bei nicht ſehr weit geſpannten Gewölben die Veränderungen in der Breite der an ſich ſchmalen Wölbſcharen durch eine geringe Verſtärkung der Mörtelfugen ausgeglichen werden. Bei Spannweiten, welche über das gewöhnliche Maſs hinausgehen, kann dieſe Veränderung der Breite jedoch das mehrfache Verhauen und das weniger einfache Zurichten der Wölbſteine im Gefolge haben. In ſolchen Fällen bringt man, zur Vermeidung des läſtigen, auch zeitraubenden Verhauens der Steine und zur Verhinderung einer unregelmäſsigen Geſtaltung der Kugelflächen der Kappen, entweder beſonders geformte Wölbſteine in Anwendung, oder man giebt die Lage der Wölbſchichten in Normalebenen zum Diagonalbogen ganz auf und wählt eine andere, den früher beſprochenen Anordnungen entſprechende Bildung der Wölbſchichten.

Für die Stoſsfugenflächen iſt die Veränderung der Breite der Wölbſcharen nicht von groſsem Belang. Dieſe Flächen werden in der Regel den ſenkrecht geſtellten Meridianebenen der Kugelflächen der Kappen zugewieſen.

Die Anſatzflächen der Rippenkörper gehören Kegelflächen an. Sie werden durch die Fortbewegung der entſprechend verlängert gedachten Halbmeſſer der Kugellaibungen an den für die Rippen beſtimmten Anſatzlinien der Kappen erzeugt.

Meiſtens ergiebt die geſetzmäſsige Geſtaltung der Kappen nach reinen Kugelflächen auch eine günſtig erſcheinende Buſung und eine gute Form der Scheitellinie.

189. Kappen mit kugelförmiger Laibung.

Sollen die Laibungsflächen der Gewölbkappen jedoch nicht als reine Kugelflächen ausgebildet werden, ſollen dieſelben vielmehr durch Einführung einer beſonders geſtalteten Buſung eine Umwandelung in kugelähnliche (ſphäroidiſche) Flächen erfahren; ſo findet auch bei dieſen Kappen im allgemeinen die Anordnung der Lagerflächen der Wölbſchichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen Anwendung.

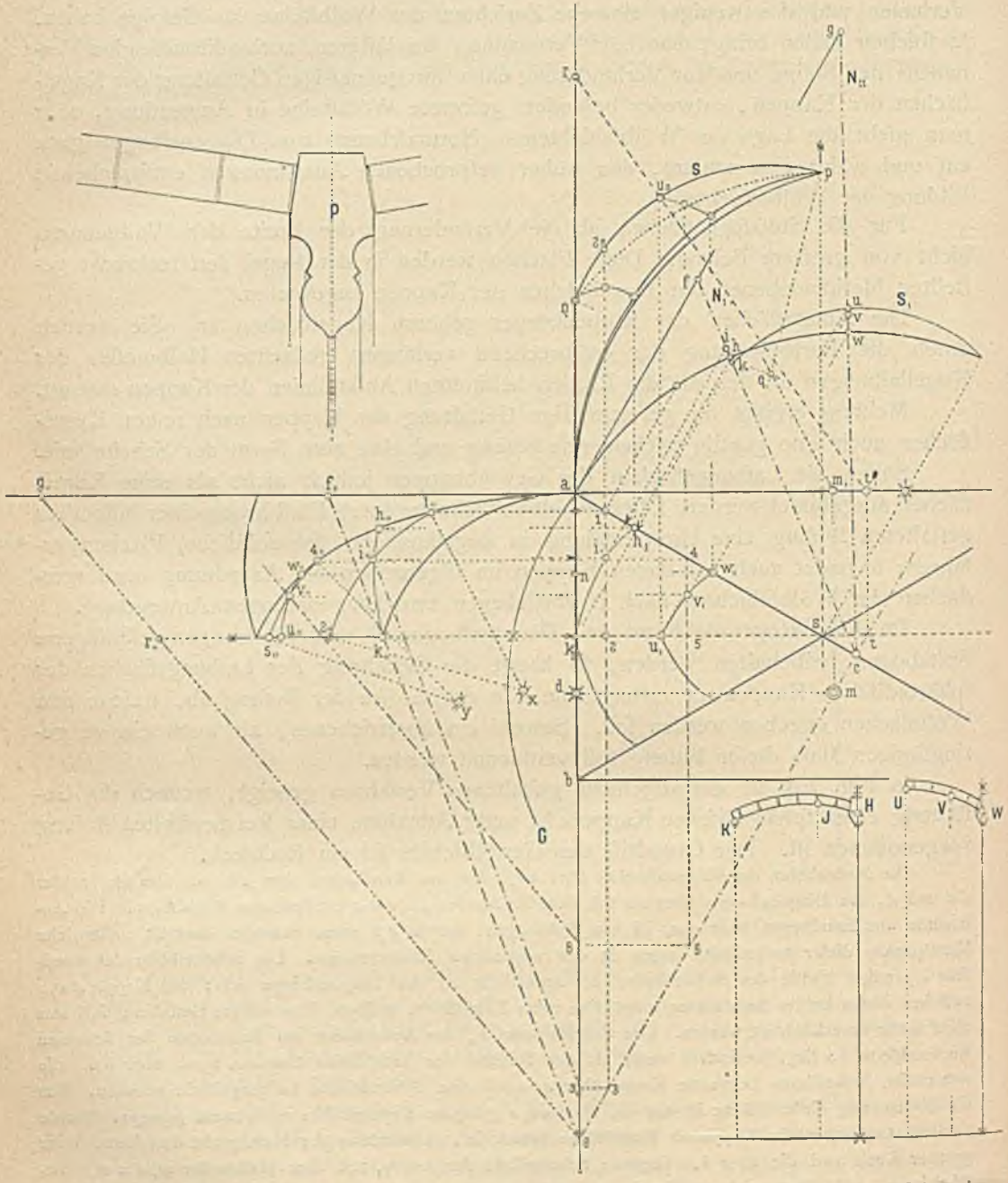
Da in der Regel die Rand- und Diagonalbogen als nach Kreisbogen geſchlagene Spitzbogen beibehalten werden, ſo hängt die Geſtaltung der Laibungsflächen der ſphäroidiſchen Kappen in erſter Linie von der Gröſse der Buſung ab, welche den Wölbflächen gegeben werden ſoll. Sowohl ein übertriebenes, als auch ein zu geringfügiges Maſs dieſer Buſung ſoll vermieden werden.

In Fig. 265 iſt ein allgemein gehaltenes Verfahren gezeigt, wonach die Geſtaltung einer ſphäroidiſchen Kappe $a\,b\,s$ unter Annahme einer frei gewählten Buſung vorgenommen iſt. Der Grundriſs des Gewölbfeldes ſei ein Rechteck.

Die Anſatzlinien des Kappenſtückes über $a\,k, s$ ſind am Randbogen über $a\,k$, mit dem Halbmeſſer $d\,a$ und d, am Diagonalbogen über $a\,s$ mit dem Halbmeſſer $c\,a$ um c beſchriebene Kreisbogen. Die Anſatzlinie am Randbogen über $a\,m$, iſt ein Spitzbogen, wovon $a\,p$ einen Schenkel darſtellt. Sämtliche Mittelpunkte dieſer Anſatzlinien liegen in der wagrechten Kämpferebene. Die Scheitelhöhe der Randlinie $a\,p$ möge gleich der Scheitelhöhe der Anſatzlinie an der Diagonalrippe ſein; die Kappe $a\,m, s$ zwiſchen dieſen beiden Anſatzlinien möge eine reine Kugelfläche bleiben. Ihre weitere Geſtaltung ſoll hier nicht mehr berückſichtigt werden. Der Scheitelpunkt $k_{,,}$ der Anſatzlinien am Randbogen der ſchmalen Rechteckſeite $a\,b$ liegt weſentlich tiefer als der Scheitel der Anſatzlinien über $a\,s$, bezw. über $b\,s$. Die von dieſen Anſatzlinien begrenzte Kappe über $a\,b\,s$ ſoll eine ſphäroidiſche Laibungsfläche erhalten. Für die Beſtimmung dieſer Fläche iſt nur die über $a\,k, s$ gelegene Kappenhälfte in Betracht gezogen. Würde man die Laibung dieſer Kappe als Kugelfläche behandeln, ſo würde m der Mittelpunkt derſelben, G ihr gröſster Kreis und die über k, s liegende Scheitellinie der um m, mit dem Halbmeſſer $m, o = m, p$ beſchriebene, punktiert gezeichnete Kreisbogen $o\,p$ ſein. Soll nun, entſprechend einer einzuführenden ſtärkeren oder geringeren Kappenbuſung, eine Umwandelung dieſer Scheitellinie $o\,p$ ſtattfinden, ſo kann dieſelbe durch irgend einen höheren oder flacheren Kreisbogen erſetzt werden oder auch durch irgend eine andere, nach oben ſtärker oder weniger ſtark gebogene, jedoch geſetzmäſsig geſtaltete Linie, wobei nur die Punkte o und p als Endpunkte unverändert bleiben müſſen. Meiſtens wird für dieſe Scheitellinie ein Kreisbogen

genommen. In der Zeichnung ist dieselbe als Kreisbogen S mit beliebig gewähltem Halbmesser $oq = pq$ um q beschrieben. Durch diese Scheitellinie S und durch die Ansatzlinien über ak, und as sind die Begrenzungslinien der sphäroidischen Kappenfläche über ak, s festgelegt. Für die Erzeugung dieser Fläche selbst ist ein bestimmtes Gesetz zu Grunde zu legen. Hier gelte die Vorschrift, dass jede Schnittlinie,

Fig. 265.



welche auf dieser Fläche durch irgend eine parallel zur lotrechten Ebene des Randbogens der Seite ak geführte Ebene hervorgerufen wird, ein Kreisbogen sein soll, dessen Halbmesser stets die Grösse des Halbmessers da der Ansatzlinie $ak_{,,}$ behält. Dieser Bedingung entsprechend, sind z. B. vermittelst der Ebenen in $1\,2$ und $4\,5$, nach Ausführung einfacher zeichnerischer Darstellungen, welche sofort aus der Zeichnung zu erkennen sind, die erzeugenden Schnittlinien $1_{,,}2_{,,}$ und $4_{,,}5_{,,}$ bestimmt. Ist auf dem angegebenen

Wege die Erzeugung und Darſtellung einer ſphäroidiſchen Gewölbfläche vorgenommen, ſo läſst ſich ohne Schwierigkeit die Ausmittelung der Lager- und Stoſskanten der Wölbſchichten bewirken, je nachdem dieſe oder jene der beſprochenen Anordnungen für den Fugenſchnitt der Wölbung getroffen werden ſoll. In der Zeichnung entſprechen die Projektionen $h, i, k_,$, $h_{,,} i_{,,} k_{,,}$, ſowie $w, v, u_,$, $w_{,,} v_{,,} u_{,,}$ den Lagerkanten von Wölbſchichten, welche den Normalebenen $N_,$, bezw. $N_{,,}$ zum Diagonalbogen angehören. Die Beſtimmung dieſer Projektionen erfolgt nach bekannten einfachen Sätzen der darſtellenden Geometrie. Das Nähere hierfür iſt in der Zeichnung angegeben. Für das Austragen der wirklichen Geſtalt der Wölblinien als $H J K$ und $W V U$ der Normalebenen $N,$ und $N_{,,}$, ſowie des wirklichen Querſchnittes P der Diagonalrippe mit den entſtehenden Anſatzflächen, welche in gleichem Sinne ſtattfinden kann, wie bei Fig. 208 (S. 250) angeführt iſt, giebt die Zeichnung ebenfalls unmittelbar die nötigen Anhaltspunkte.

β) Buſige Kappen mit Stelzung.

190. Geſtaltung.

Liegen die Mittelpunkte der für das Rippenſyſtem der gotiſchen Kreuzgewölbe vorgeſchriebenen, meiſtens nach Spitzbogen geformten Anſatzlinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen nicht in einer gemeinſchaftlichen Kämpferebene, bezw. nicht in ein und derſelben Grundebene, oder ſind von vornherein beſtimmte Anſatzlinien in ihren Scheitelpunkten in Bezug auf den höchſten Punkt des ganzen Gewölbkörpers in höherem oder geringerem Grade zu heben oder zu ſenken, ſo erhalten dieſe Anſatzlinien durch im allgemeinen in lotrechter Richtung angefügte Fuſslinien eine Stelzung. Dieſe Stelzung iſt ſowohl für die Geſtaltung und die Art des Einwölbens der Kappen, als auch für die Entwickelung und Konſtruktion der Rippenanfänge von Bedeutung.

Durch die Anſatzlinien ſind die Leitlinien für die Erzeugung der Kappenflächen gegeben. Die Geſtaltung der buſigen Flächen hängt ab von der Form der als Erzeugende gewählten krummen Linie, vom Geſetze ihrer Bewegung an den gegebenen Leitlinien und in vielen Fällen noch von dem Geſetze, wonach die Form der Erzeugenden einer Veränderung während ihrer Bewegung unterworfen werden muſs.

191. Beiſpiel 1.

Im folgenden ſollen an einigen Beiſpielen die für die Geſtaltungen buſiger Kappenflächen mit Stelzung erforderlichen wichtigſten Grundzüge mitgeteilt werden.

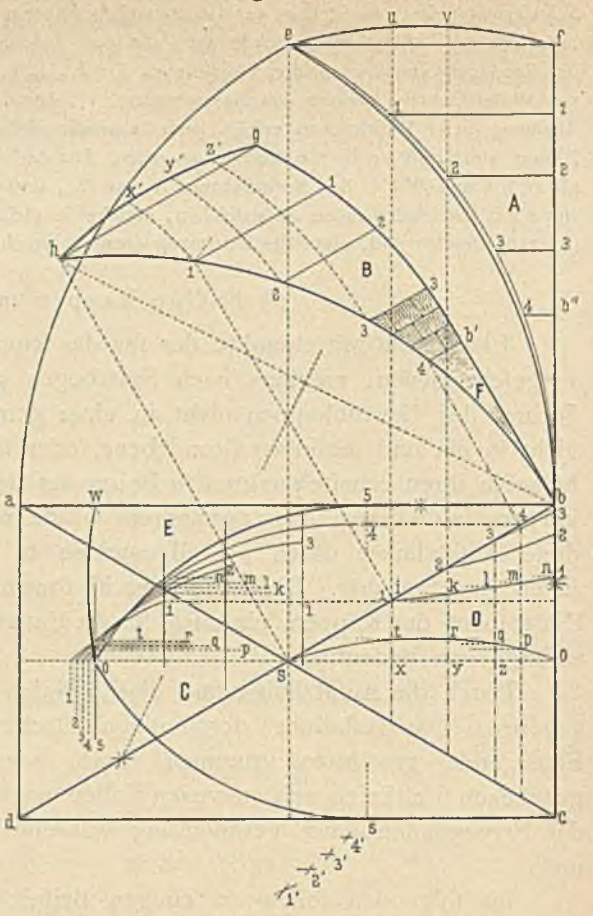
Das Kreuzgewölbe über dem rechteckigen Gewölbfelde $a b c d$ (Fig. 266) ſoll in den Scheitelpunkten der ſpitzbogigen Anſatzlinien der Randbogen eine gleiche Höhenlage mit dem Scheitel der gleichfalls ſpitzbogigen Anſatzlinien am Diagonalbogen erhalten. Die als gegeben angeſehene Form dieſer Anſatzlinien möge eine Stelzung der Anſatzlinie $5 o 5$ des Randbogens der ſchmalen Rechteckſeite $b c$ um eine lotrechte Strecke $b 5 = b b_, = b b_{,,}$ erforderlich machen, während die Anſatzlinie $b e a$ am Randbogen der langen Seite $a b$ ohne Stelzung bleibt.

Die Gewölbkappen an den langen Seiten können alſo ohne weiteres nach den in Art. 183 (S. 295) unter α gemachten Mitteilungen geſtaltet werden. Die Scheitellinie dieſer Kappen ſei der Kreisbogen $o w$. Die Gewölbkappen C und D der ſchmalen Seiten, wovon hier nur die Kappe D berückſichtigt wird, ſollen buſige Laibungsflächen mit Stelzung erhalten. Die frei gewählte Scheitellinie dieſer Kappen ſei der Kreisbogen $e f$.

Wie ſofort aus der Darſtellung eines Schnittes nach der Richtung der Diagonale $b d$ hervorgeht, bildet ſich im Teile F der Kappe D eine am Fuſse in einem Punkte begrenzte lotrechte Ebene, deren Höhe $b b$, der Strecke der Stelzung $b 5$, deren obere Breite der Länge der wagrechten Linie $b, 4$ entſpricht. Oberhalb dieſer Wagrechten $b, 4$ möge die buſige Laibungsfläche B der Kappe D beginnen. Die Erzeugende dieſer Fläche ſei ein Kreisbogen, deſſen Halbmeſſer unveränderlich und gleich dem Halbmeſſer $5 5 = c b$ der Anſatzlinie $5 o$ bleibt. Aufserdem ſoll dieſe Erzeugende bei ihrer Fortbewegung an der Anſatzlinie $b h$ des Diagonalbogens in Ebenen parallel zur Ebene der Anſatzlinie $b 5 o 5 c$ des Randbogens über $b c$ und in ihrem höchſten Punkte in der Scheitellinie $f e$ der Kappe D verbleiben. Führt man zur Befolgung dieſes Geſetzes durch den beliebigen Punkt x der Geraden $o s$ eine Ebene

parallel zur Stirnebene $b\,c$, fo wird die Leitlinie $b\,h$, bezw. ihre andere Projektion $b_4\,c$ in 1, die Scheitellinie $e\,f$ in u geſchnitten. Trägt man weiter auf $o\,o$ die Höhenlage $1\,1$ des Punktes 1 der Leitlinie $b\,h$ von o aus ab, zieht man entſprechend die wagrechte Gerade E, ſo wird in derſelben der Punkt 1 als Lage eines Punktes der geſetzlich vorgeſchriebenen Erzeugenden, wie aus der Zeichnung zu erſehen iſt, bekannt. Ein zweiter Punkt iſt in 1 auf der verlängerten Geraden $o\,o$ enthalten. Die Höhe $o\,1$, von $b\,c$ aus gemeſſen, muſs der lotrechten Entfernung des Punktes u auf der Scheitellinie $e\,f$ von der Spur $a\,b$ der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes gleich ſein.

Fig. 266.

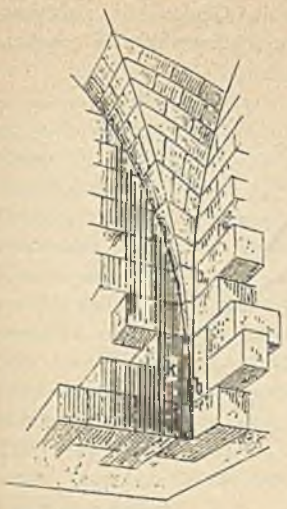


Beſchreibt man aus dieſen beiden Grenzpunkten 1 und 1 mit dem maſsgebenden Halbmeſſer $5\,5 = c\,b$ des Spitzbogens $5\,o\,5$ den Kreuzriſs $1_{,,}$, ſo iſt der um 1, geſchlagene Kreuzbogen $1\,1$ diejenige Erzeugende, welche der durch x geführten Ebene zukommt. In gleicher Weiſe ſind die Erzeugenden $2\,2$ mit dem Mittelpunkte $3\,3$ mit dem Kreuzriſſe 3, u. ſ. f. für durch y, bezw. z u. ſ. f. parallel zu $b\,c$ gelegten Ebenen beſtimmt. Zur weiteren Darſtellung der Kappenfläche D ſind oberhalb von $5\,5$ durch den Punkt o und durch die unteren Endpunkte 1, 2, 3 u. ſ. f. der ermittelnden Erzeugenden $1\,1$, $2\,2$, $3\,3$ u. ſ. f. wagrechte Ebenen gelegt. Die Durchſtoſspunkte o, t, r, q u. ſ. f. mit der wagrechten Ebene o liefern die lotrechten Projektionen einer Wölblinie der buſigen Kappe in dieſer Ebene. Die wagrechte Projektion dieſer Wölblinie iſt alſo, wie die Zeichnung erklärt, durch den Linienzug $s\,t\,r\,q\,p\,o$ feſtzulegen. Genau ſo ergiebt ſich in Bezug auf die übrigen wagrechten Ebenen das Erforderliche zur Darſtellung der wagrechten Projektionen der zugehörigen Wölblinien, wie in $i\,k\,l\,m\,n$ für die Ebene E oder 1, $2\,2$ für die Ebene 2 u. ſ. f. In den lotrechten Projektionsebenen A und B erſcheinen dieſe Wölblinien als gerade, parallel zu $a\,b$, bezw. $b\,d$ geführte Linien $e\,f$, bezw. $h\,g$, $1\,1$ u. ſ. f. Nimmt man an der Anſatzlinie $b\,h$ des Diagonalbogens oberhalb der wagrechten Abſchlufskante $4\,b_{,}$ der lotrechten Wandfläche F eine Einteilung in Wölbſchichten vor, deren Lagerkanten in wagrechten Ebenen liegen ſollen, ſo kann man unter Beachtung des Geſagten die Grundriſsprojektionen dieſer Lagerkanten zeichnen. Die zugehörigen Lagerflächen werden windſchief; denn die erzeugenden geraden Linien dieſer Lagerflächen geben z. B. für die Lagerkanten $i\,k\,l\,m\,n$ im Element i durch 1 der Ebene x, im Elemente k durch 2 der Ebene y u. ſ. f.

Für das Einwölben aus Quadermaterial würde hiernach die Bearbeitung der Lagerflächen der Wölbſteine einzurichten ſein. Eine beſonders kräftige Mauerkonſtruktion erfordert der Gewölbfuſs an der lotrechten Wand F, welcher als gemeinſamer Anfänger für die Bogen- und Kappenſtücke an den Ecken des Gewölbfeldes am beſten ſtets aus Quadern hergeſtellt wird, ſelbſt wenn die buſige Kappe oberhalb $4\,b_{,}$ aus Backſteinen gewölbt werden ſoll. Gröſsere Binder wie $k, b_{,,}$ (Fig. 267), an welchen die Bogenlinien und Kappenflächen gleich mit angearbeitet werden, greifen möglichſt tief in den Mauerkörper der Ecke b ein. Dasſelbe gilt auch für Gewölbanfänger mit profilierten Rippen.

Soll oberhalb der Grenzlinie $4\,b_{,}$ der Wand F die Wölbung aus Backſtein

Fig. 267.



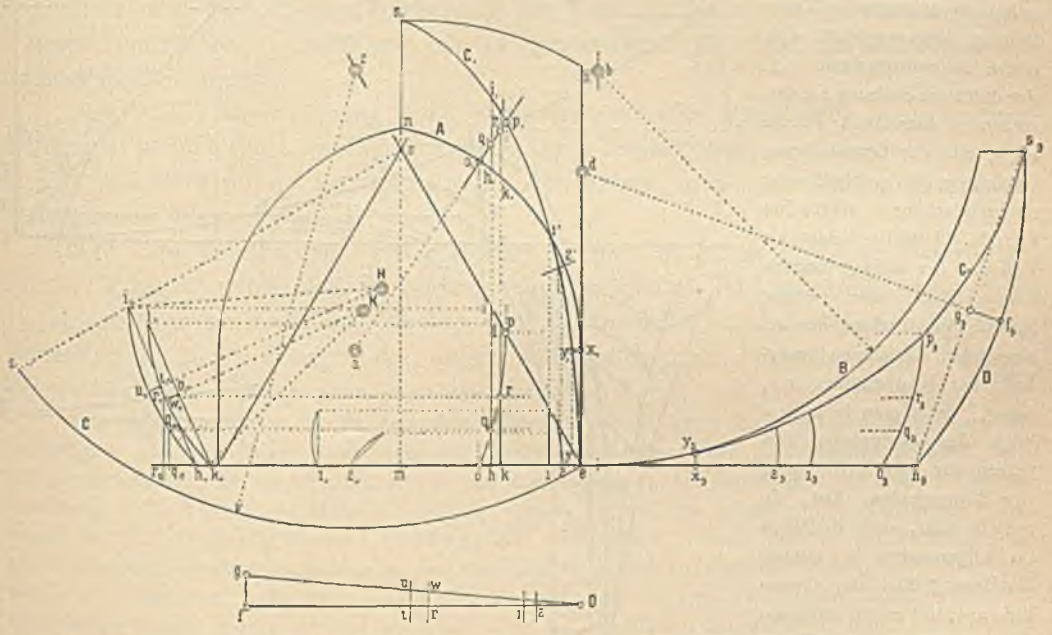
ausgeführt werden, ſo kann entweder der Fugenſchnitt nach Normalebenen zum Randbogen oder zum Gratbogen in Anwendung kommen. Da die Geſtalt der Gewölbfläche durch die Projektionen ihrer Leitlinien, der erzeugenden Kreisbogen und der in wagrechten Ebenen liegenden Schnittlinien vollſtändig beſtimmt iſt, ſo laſſen ſich auch die einzelnen, jenen Fugenſchnitten angepaſsten Wölbſchichten und ebenſo ihre Anſatzflächen an den Rippenkörpern auf zeichneriſchem Wege, wie im vorhergegangenen gezeigt iſt, leicht darſtellen. Dieſe Ausmittelungen ſind alsdann für die praktiſche Ausführung der Gewölbkappen weiter zu verwerten.

192. Beiſpiel 2.

Das Beſtreben, die ſphäroidiſchen Laibungsflächen der geſtelzten Gewölbkappen einer reinen Kugelfläche möglichſt nahe zu bringen, führt dazu, die Erzeugenden als Kreisbogen anzunehmen, deren Pfeilverhältnis proportional wird dem Pfeilverhältnis des als Scheitellinie der geſtelzten Kappe vorgeſchriebenen Kreisbogens. Die Ebenen der einzelnen Erzeugenden ſind dabei parallel der lotrechten Ebene der Scheitellinie.

In Fig. 268 ſei A die mit dem Halbmeſſer $a x_1$ um a beſchriebene, in $c x$, geſtelzte Anſatzlinie eines Randbogens, der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die nicht geſtelzte Anſatzlinie am Diagonal-

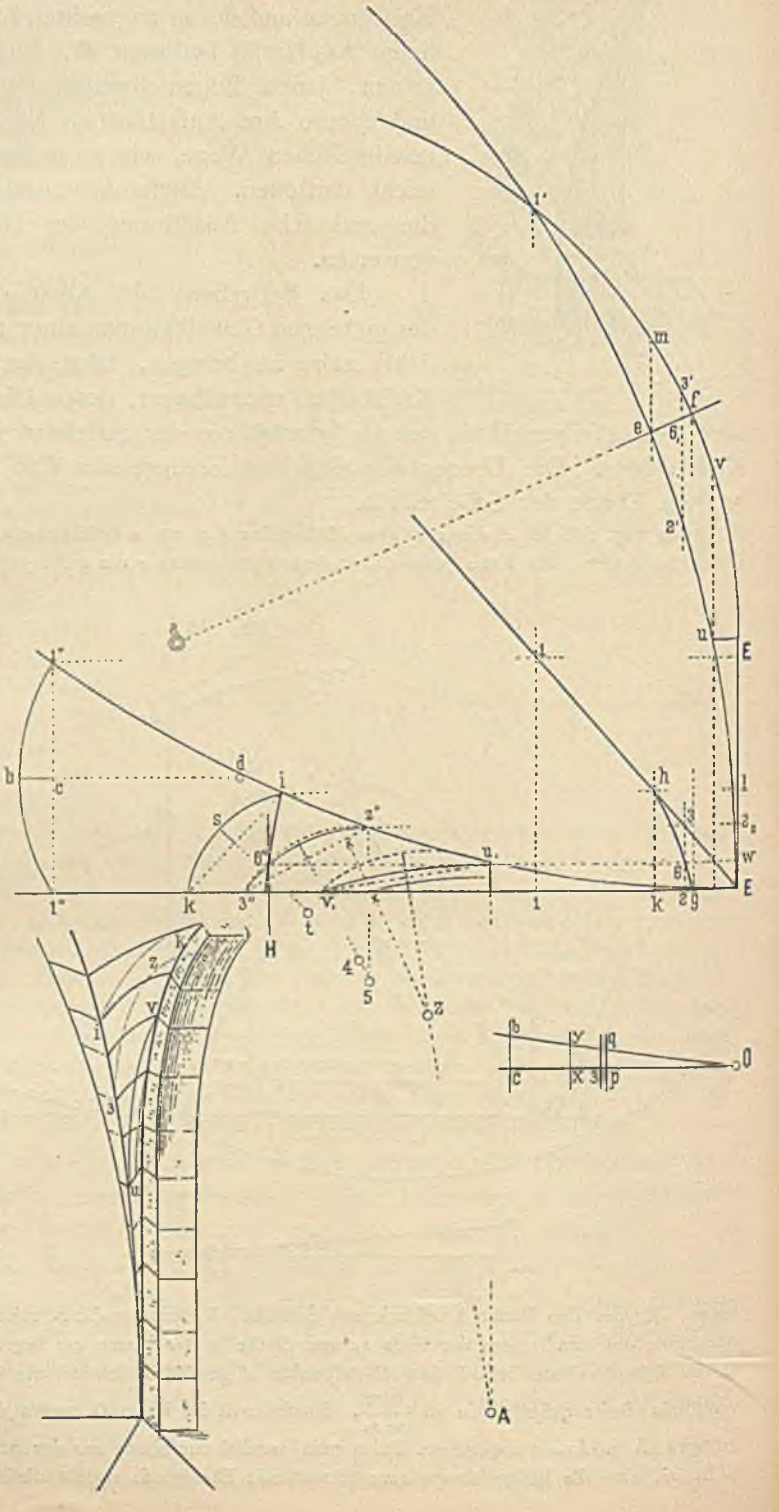
Fig. 268.



bogen, der um den Punkt b beſchriebene Schenkel B eines um die Strecke zb geſtelzten Spitzbogens die Anſatzlinie des Randbogens der Seite ez und D die in der Ebene ms liegende, als Kreisbogen mit dem in der Kämpferebene befindlichen Mittelpunkte d gewählte Scheitellinie der Kappe ems. Das Pfeilverhältnis dieſer Scheitellinie iſt $\frac{f_3 g_3}{n_3 s_3}$. Dasſelbe iſt im Plane O, worin $fg = f_3 g_3$ und $Of = n_3 s_3$ aufgetragen iſt, nochmals angegeben. Führt man parallel zur Ebene ms der Scheitellinie an beliebiger Stelle, z. B. hi, eine die bufige Kappe ems ſchneidende Ebene, ſo ergiebt dieſelbe auf der Anſatzlinie A den

Punkt $h_{,}$, auf der Projektion $C_{,}$ der Anfatzlinie C den Punkt $i_{,}$. Trägt man auf den in h und i zu hi errichteten Loten die Strecken $h\,h_{,,} = h\,h_{,}$ und $i\,i_{,,} = h\,i_{,}$ ab, fo läfst fich die Gerade $h_{,,}\,i_{,,}$ als Sehne eines Kreisbogens anfehen, welcher, mit dem von der Scheitellinie abhängigen Pfeilerverhältniffe behaftet, eine Erzeugende der fphäroidifchen Kappe bildet. Das Pfeilverhältnis foll proportional dem Pfeilverhältnis der Scheitellinie fein. Nimmt man $O\,t = h_{,,}\,i_{,,}$, fo ergiebt die in t parallel zu fg gezogene Linie $t\,u$ die gefuchte Pfeilhöhe der erzeugenden Bogenlinie. Das in der Mitte $t_{,,}$ auf $h_{,,}\,i_{,,}$ errichtete Lot erhält die Länge $t_{,,}\,u_{,,} = t\,u$. Der durch die drei Punkte $h, u_{,,} i_{,,}$ gelegte Kreisbogen mit dem Mittelpunkt H liefert die gewünfchte Erzeugende. In gleicher Weife find die Erzeugenden $k_{,,}\,l_{,,}$, $1_{,,}$ und $2_{,,}$ für die Ebenen kl, 1 und 2 aufgetragen. Für die Ebene 1 ift $1_{,}$ die gemeinfchaftliche lotrechte Projektion ihrer Schnitte mit den Anfatzlinien A und $C_{,}$. Die Sehne der zugehörigen erzeugenden Kreislinie $1_{,,}$ liegt wagrecht. Die obere Begrenzungslinie $x,y,$ der durch die Stelzung $e\,x,$ entftehenden lotrechten Fläche $e\,x,y,$ mit der Grundrifsprojektion $e\,y$ auf $e\,s$ bleibt eine unveränderliche wagrechte Gerade. Diefelbe bildet als Fufslinie der bufig geformten Kappenfläche eine Grenze für die Ausmittelung der erzeugenden Kreislinien innerhalb des Kappenteiles $x,y,$ bis $1_{,}$. Setzt man in diefem Teile das angegebene Verfahren für die Beftimmung der Erzeugenden fort, fo ergiebt fich, dafs diefelben im allgemeinen in einiger Entfernung über der Grenzlinie $x,y,$ mit einem gröfseren oder geringeren Bogenftücke über die Anfatzlinie des einen oder anderen Rippenkörpers hinwegfallen, alfo nunmehr als Erzeugende der Kappenfläche ohne weiteres nicht beibehalten werden können.

Fig. 269.



Um dennoch eine gefetzmäfsige Erzeugung und bildliche Darftellung der in Frage kommenden Fläche und damit die Grundlagen für eine fachgemäfse Ausführung ihres Gewölbkörpers zu erzielen, läfst man eine weitere Veränderung der bezeichneten Erzeugenden eintreten.

Ift in Fig. 269 $u, 1_{,,} 1_{,,}$ der Kappenteil, wofür nach und nach eine Veränderung der erzeugenden Kreisbogen erforderlich wird, fo kann diefe Veränderung z. B. für die lotrechte Ebene 23 in der folgenden Weife bewirkt werden. Die Ebene 23 liefert auf der Anfatzlinie $E 1_{,,}$ des Diagonalbogens den Schnitt $2_{,,}$, wofür $2_0 2_{,,} = 2 2$, aus der Zeichnung zu entnehmen ift, und auf der Anfatzlinie $E k 1_{,,}$ des Randbogens den Schnitt $3_{,,}$, wofür $E 3_{,,} = 2 3$, wird. Die Gerade $3_{,,} 2_{,,}$ ift die Sehne des erzeugenden Kreisbogens. Nimmt man im Hilfsplane $O b c$ die Beftimmung der Pfeilhöhe diefes Bogens nach proportionaler Teilung wie früher vor, fo wird, wenn $O c$ gleich der Sehne $1_{,,} 1_{,,}$ und $c b$ die Pfeilhöhe des Kreisbogens $1_{,,} b 1_{,,}$ ift, bei der Länge $O 3$ gleich der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$, die in 3 parallel zu $c b$ gezeichnete, von $O c$ und $O b$ begrenzte Gerade, die gefuchte Pfeilhöhe ergeben. Der mit diefer Pfeilhöhe behaftete, punktiert eingetragene Kreisbogen, deffen Mittelpunkt in 4 zu beftimmen war, fchneidet die Anfatzlinie des Diagonalbogens jedoch in unmittelbarer Nähe über $2_{,,}$, was für die Bildung der Kappenfläche unzuläffig ift. Für eine weitere Ausmittelung der Erzeugenden u, v, der lotrechten Ebene $u v$, wobei der Mittelpunkt z gefunden wurde, ift ein derartiges Durchfchneiden noch ftärker bemerkbar. In diefen Fällen find die Ordinaten $2_0 2_{,,}$, $w u$, der Endpunkte $2_{,,}$ der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$ und u, der Sehne v, u, als lotrechte Tangenten für die zugehörigen, nunmehr einer Veränderung zu unterwerfenden erzeugenden Kreisbogen anzunehmen.

Hiernach wird 5 als Schnitt des im Halbierungspunkte der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$ errichteten Lotes mit der durch $2_{,,}$ gezogenen Wagrechten der Mittelpunkt des einzuführenden erzeugenden, hier voll gezeichneten Kreisbogens $3_{,,} 2_{,,}$ und A auf der durch u, ziehenden wagrechten Linie der Mittelpunkt der verwendbaren Erzeugenden $v, u_{,}$.

Für die Erzeugenden unterhalb des Kreisbogens v, u, find die zugehörigen Mittelpunkte auf der Geraden u, A zu beftimmen, fobald nur wieder die Schnitte lotrechter, parallel zu 23 geführter Ebenen mit der Anfatzlinie $E k 1_{,,}$ und der wagrechten Grenzlinie u, bezw. u, der lotrechten Stelzungswand ermittelt find.

Nach der gewonnenen Darftellung der Laibungsflächen der geftelzten bufigen Kappen bietet die Ausmittelung des Fugenfchnittes für ihre Einwölbung keine Schwierigkeiten mehr.

Soll z. B. eine Wölbung nach Normalebenen zum Randbogen vorgenommen werden, fo können die Lagerfugenkanten in ihren Projektionen, wie für eine Ebene $a p$, in Fig. 268 oder für $a f$ in Fig. 269, auf bekanntem, in der Zeichnung unmittelbar verfolgbarem Wege feftgelegt werden.

193. Beifpiel 3.

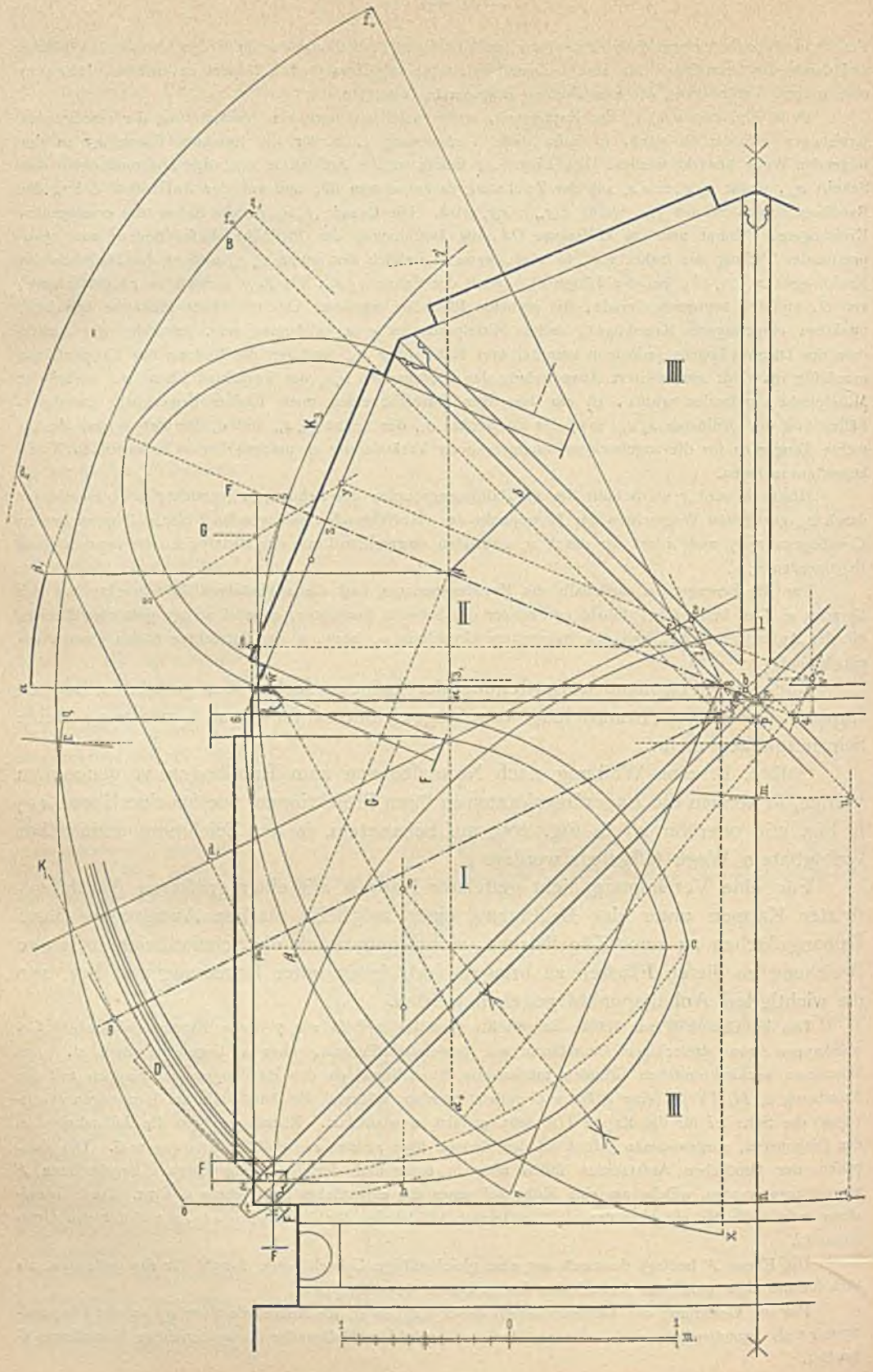
Für eine Vereinigung nicht geftelzter Kappen mit einer gröfseren Anzahl geftelzter Kappen unter der Bedingung einer möglichft ftarken Annäherung ihrer Laibungsflächen an reine Kugelflächen, wobei namentlich die Scheitellinien in innige Beziehung zu diefen Flächen zu bringen find, follen unter Benutzung von Fig. 270 die wichtigften Anhaltspunkte gegeben werden.

Das im Grundrifs zur Hälfte dargeftellte Gewölbe befteht aus 7 durch Rippen gefchiedene Gewölbkappen von dreieckiger Grundform mit gemeinfchaftlichem, über s liegendem Scheitel. Aus befonderen architektonifchen Gründen müffen die Anfatzlinien an den Randbogen der Kappen mit der Anordnung I, II, IV um eine Höhe $w G$ geftelzt werden, während die Anfatzlinie am Randbogen (Gurtbogen) der Seite $k i$ für die Kappe III nicht geftelzt werden darf. Ebenfo erhalten die Anfatzlinien an den Diagonalen, ausgenommen jedoch an den Rippen über $s t$ und $s u$, diefelbe Stelzung $w G$. Die Fufspunkte der fämtlichen Anfatzlinien follen aber in einer und derfelben wagrechten Kämpferebene F angenommen werden, welche um eine Höhe $a F$ unter der eigentlichen Grundebene G liegt. Diefe Grundebene enthält die Mittelpunkte der nicht geftelzten Anfatzlinien für die Rippen $s t$, $s u$ und für den Gurtbogen $k i$.

Die Ebene F bedingt demnach nur eine gleichmäfsige Ueberhöhung, fowohl für die geftelzten, als auch für die nicht geftelzten Anfatzlinien der gefamten Gewölbkappen.

Für die Geftaltung der Laibungsflächen diefer Kappen ift die Anfatzlinie über $a f$ an der Diagonalrippe $s t$ als grundlegend, und zwar als der um b mit dem Halbmeffer $b a$ befchriebene Viertelkreis B gewählt.

Fig. 270.

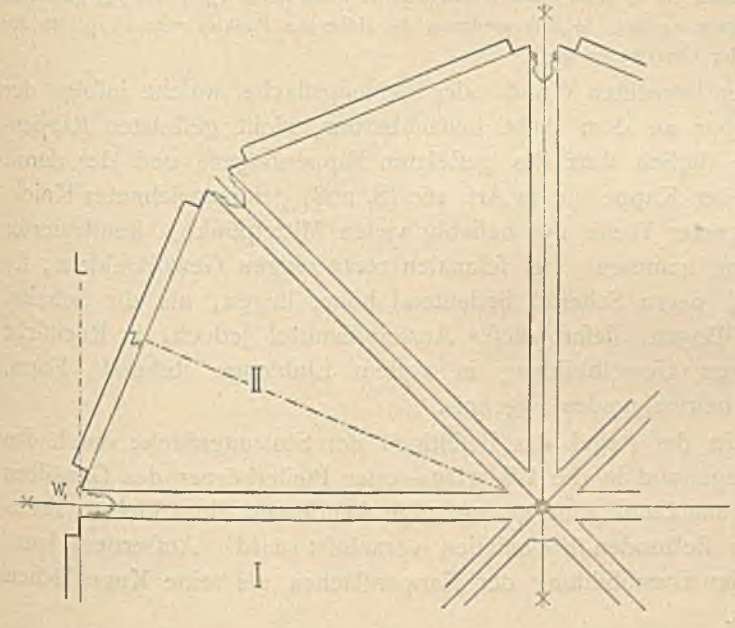


Sollte die Kappe I bei der von vornherein gegebenen Höhe cd einer an der Seite ag zu bildenden Anfatzlinie ohne Rückficht auf ihre Stelzung eine Kugelfläche als Laibung erhalten, fo würde ein Spitzbogen, wovon ein Schenkel ac mit dem Mittelpunkte c punktiert eingetragen ift, die erforderliche Anfatzlinie werden können. Alsdann ift der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappenhälfte afd der Schnitt 1 der in b auf ab und in e auf ae errichteten Lote. Die Punkte a, b, e und 1 liegen in der Grundebene G. Der um 1 mit dem Halbmeffer $1a$ befchriebene Kreisbogen ag ift ein Stück des gröfsten Kreifes diefer Kugelfläche. Der Schnitt einer in der Richtung fd geführten lotrechten Ebene liefert nach Beftimmung des Punktes 2 den Kreisbogen der Scheitellinie der Kappe I. Diefer Kreisbogen ift befonders als $d_{,,}f_{,,}$ ausgetragen und mit dem Halbmeffer $2,k, = 2g$ um 2, befchrieben. Als Probe der Richtigkeit mufs bekanntlich $f,f_{,,} = ff_{,,,}$ und $d,d_{,,} = dc$ erhalten werden.

Die Rückficht auf das Einführen eines ftumpferen Spitzbogens als Anfatzlinie am Randbogen der Seite ag und die gebotene Anordnung einer Stelzung verlangen jedoch die Umformung des vorläufig als Hilfslinie benutzten, nicht geftelzten Spitzbogens ac. Diefes neue Geftalten der Anfatzlinie kann ohne Veränderung der bereits ermittelten Scheitellinie $d_{,,}f_{,,}$ vorgenommen werden. Nimmt man das in a auf ag errichtete Lot ah gleich der Stelzung wG, ermittelt man auf der durch h gelegten wagrechten Linie he, den Mittelpunkt e, des durch h und c gehenden Kreisbogens hc, fo erhält man den geftelzten ftumpferen Spitzbogen $ahcg$ als Anfatzlinie am Randbogen der Seite ag. Die Anfatzlinie am Diagonalbogen fg erfährt eine Stelzung wG; ihre Form wird aber von der Geftalt der Anfatzlinie der Kappe II an demfelben Diagonalbogen fg abhängig, und zwar follte fie in erfter Linie in Rückficht auf eine lotrechte Ebene Sw mit den in diefe Ebene projizierten, als Kreisbogen zu befchreibenden Begrenzungslinien der Rippenprofile des Diagonalbogens konzentrifch fein. Die Punkte f und S, auch die Punkte w und g, haben paarweife gleiche Höhenlage über der Grundebene G.

Liegt nun infolge eines Einfchneidens der Seite wz in die Fufsfläche des Rippenprofils des Diagonalbogens der Punkt w mit dem Punkte g nicht in einer und derfelben lotrechten Ebene, wie hier, um dabei auf einen gewiffen Nachteil hinweifen zu können, angenommen ift, fo kann offenbar die von f nach g zu führende, etwa als Kreisbogen zu beftimmende Anfatzlinie der Kappe I am Diagonalbogen nicht mehr konzentrifch mit der Anfatzlinie Sw verlaufen. Vielmehr entftände an der lotrechten Profilebene der Seite gf des Diagonalbogens eine ficheiförmige Fläche, welche bei einer unteren Breite gleich dem Abftande der beiden lotrechten Ebenen wF und ae zuletzt bei f in einer Spitze endigt. Kommen auch derartige Anfatzbildungen vor, fo laffen fich diefelben doch meiftens vermeiden, wenn vorweg eine regelmäfsige Geftaltung der Fufsfläche des Rippenkörpers $Sfwg$, worauf fchon in Art. 174 (S. 287) hingewiefen ift, wie hier z. B. durch ein Zufammenfchieben der lotrechten Ebene ae mit der ihr parallelen Ebene wF herbeigeführt wird. Verlegt man alfo den Schnitt w von wz mit ae nach Fig. 271 derart, dafs durch ein geringfügiges Verrücken der Linie wz nunmehr der Punkt w nach w_1 in die Linie L fällt, welche mit der Geraden ae in Fig. 270 übereinftimmt, fo ift eine regelmäfsig geftaltete Fufsfläche des profilierten Rippenkörpers zu fchaffen. Grundriffe und Deckenbildung gehen in Rückficht auf konftruktive Anordnungen alsdann Hand in Hand.

Fig. 271.



Sind die Anfatzlinien der Kappe I feftgelegt, fo wird die Geftaltung ihrer Laibungsfläche unter

Beibehalten der Scheitellinie $d_{,,}f_{,,}$ und der lotrechten Stelzfläche D am Diagonalbogen nach dem in Art. 192 (S. 313) Gefagten bewirkt. Die Laibungsfläche ift fphäroidifch; fie nähert fich der reinen Kugelfläche jedoch in bemerkenswerter Weife.

Die Gewölbflächen der Kappen *II*, *IV* können aus reinen Kugelflächen zufammengefetzt werden. Die Fufspunkte fämtlicher Anfatzlinien an den Randbogen und Diagonalbogen liegen vermöge ihrer gleichmäfsigen Stelzung in einer wagrechten Ebene, welche von der Grundebene G um die Höhe Gw entfernt ift. Die Höhe $\mathcal{S}x$ der Anfatzlinie wx am Diagonalbogen ift gleich der um die Strecke Gw verkleinerten Höhe $ff_{,,,}$ bezw. $f_{,}f_{,,,}$ weniger Gw. Beftimmt man den Mittelpunkt v auf der Geraden wv für den Kreisbogen wx, fo ergiebt derfelbe die Anfatzlinie über $w\mathcal{S}$, welche, wie vorhin bemerkt, auch die Anfatzlinie der Kappe *I* am Diagonalbogen unmittelbar beeinflufst. Ift die Anfatzlinie der Kappe *II* am Randbogen oberhalb w als ftumpfer Spitzbogen gewählt, deffen Schenkel mit dem Halbmeffer yw befchrieben find, fo wird $\mathcal{Z}$ der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenftück $\mathcal{S}wz$, K_3 ihr gröfster Kreis und folglich der mit dem Halbmeffer $\mathcal{Z}5$ um $\mathcal{Z}$ befchriebene Kreisbogen $g7$ die Scheitellinie über $\mathcal{S}z$. Die Fläche der zweiten Kappenhälfte ift nach den gleichen Grundlagen zu behandeln. Der Schnitt einer nach $\alpha\beta$ rechtwinkelig zu $w\mathcal{S}$ ftehenden lotrechten Ebene mit der Kappenfläche $\mathcal{S}w7$ ift der um $\mathcal{Z}_1$ mit dem Halbmeffer $\mathcal{Z}_1\gamma$ befchriebene Kreisbogen $\alpha,\beta,$.

Als Probe für die richtige Höhenlage der Punkte $\alpha,$ und $\beta,$ ift zu bemerken, dafs $\alpha\alpha, = \alpha\alpha_{,,}$, und $\beta\beta, = \beta\beta_{,,}$ fein mufs. Diefelbe Schnittlinie $\alpha,\beta,$ würde fich auch für eine lotrechte Ebene mit der Grundrifsfpur $\beta\delta$ ergeben.

Bei vollftändiger Regelmäfsigkeit der Fufsflächen der Diagonalrippen (Fig. 271) tritt ein konzentrifcher Lauf der Anfatzlinien der Kappen mit den Grenzlinien der Profile diefer Rippen ein. Die Geftaltung der Gewölbfläche *IV* entfpricht der bei der Kappe *II* gegebenen Entwickelung.

Endlich ift auch die Laibungsfläche der Kappe *III* nach reinen Kugelflächen zu bilden. Die Anfatzlinie über ku der Seite ki am Gurtbogen fei der um i mit dem Halbmeffer ik befchriebene Schenkel kl eines gleichfalls ftumpf genommenen Spitzbogens. Die Anfatzlinie über kp am Diagonalbogen entfpricht dem Kreisbogen B. Der gemeinfchaftliche Fufspunkt k der beiden in Frage kommenden Anfatzlinien, welche für die Kappe *III* nicht geftelzt werden follen, liegt in der Grundebene G.

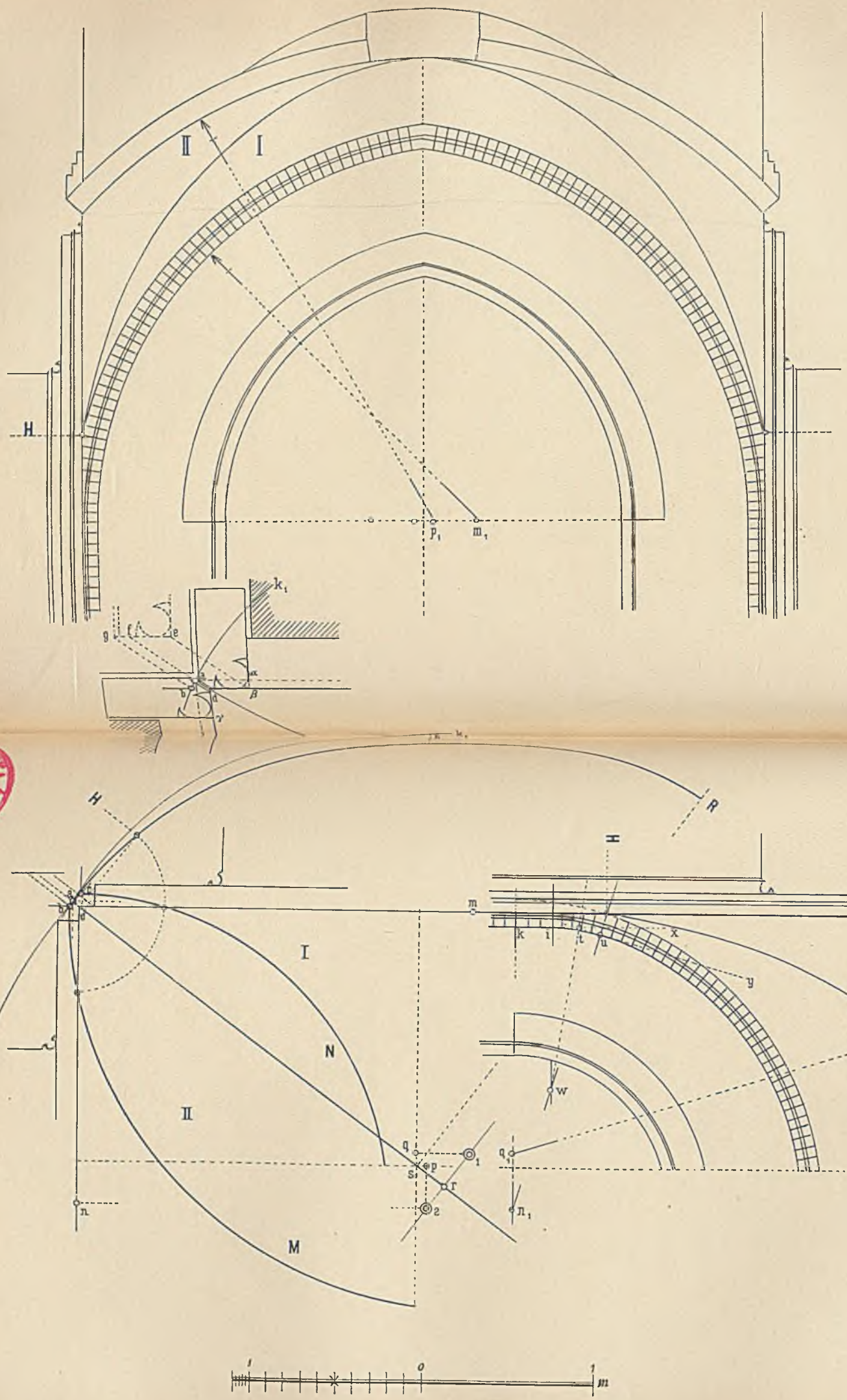
Nach bekanntem Verfahren wird n der Mittelpunkt der Kugelfläche über knp und m der Mittelpunkt der Scheitellinie oq, für welche $no = nl$ und $pq = bq$, ift. Von diefer Scheitellinie fällt durch Einfügen eines gröfseren Schlufsfteines bei s, deffen äufsere Randlinie in einer durch $f_{,,,}$ bezw. $f_{,,,}$ geführten wagrechten Ebene liegt, das Stück rq fort, fo dafs wiederum die Höhe des Punktes r genau gleich der Höhe $ff_{,,,}$, bezw. $f_{,}f_{,,}$ über der Grundebene wird.

194. Befeitigen der Stelzungsflächen.

Zur Vermeidung der lotrechten Wand- oder Stelzungsfläche, welche infolge der Stelzung einer Gewölbrippe an dem dicht benachbarten, nicht geftelzten Rippenkörper entfteht, könnte füglich ftatt des geftelzten Rippenbogens und der damit verbundenen Anfatzlinie der Kappe ein in Art. 160 (S. 268) gekennzeichneter Knickbogen oder ein in geeigneter Weife aus beliebig vielen Mittelpunkten konftruierter Korbbogen in Anwendung kommen. Bei fchmalen rechteckigen Gewölbfeldern, fowie auch bei Gewölben, deren Scheitel bedeutend höher liegen, als die Scheitel der fonft zu ftelzenden Bogen, liefert diefes Auskunftsmittel jedoch, in Rückficht auf eine mit der ganzen Gewölbbildung in vollem Einklange ftehende Form, meiftens kein befonders befriedigendes Ergebnis.

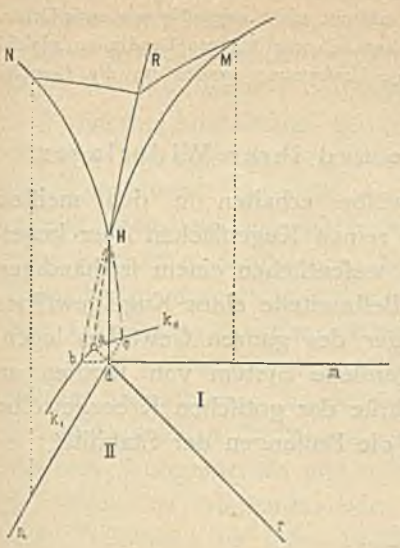
Weit beffer kann in der Regel das Befeitigen der Stelzungsfläche durch das Zurückfetzen der Stelzungswand in die Widerlags- oder Pfeilerkörper des Gewölbes bewirkt werden, felbft wenn damit eine geringfügige Aenderung eines kleinen Teiles am Fufse der fonft zu ftelzenden Bogenlinien veranlafst wird. Aufserdem kann dabei die Möglichkeit der Durchbildung der Kappenflächen als reine Kugelflächen aufrecht erhalten werden.

Die Grundlagen für diefe Geftaltung find in Fig. 272 enthalten. Würde bei geftelzten Randbogen M, bezw. N der Seiten dm und dn eines Gewölbfeldes die Höhe der Stelzungswand über der Kämpferebene gleich dH werden, fo würde beim Einführen diefer Wand der Diagonalbogen R feinen Fufspunkt in d bekommen,



Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.

Fig. 272.



und ein in der Höhe dH liegender Punkt dieſes Bogens würde in der Richtung dr um eine wagrechte Strecke ad vorgeſchoben ſein.

Legt man aber den Fuſspunkt des Bogens R um dieſelbe Strecke von d nach a zurück und ſetzt man gleichzeitig den Punkt a als Fuſspunkt für zwei andere als ideelle Randbogen anzuſehende Kreisbogen feſt, ſo wird die Stelzungswand in den Widerlagskörper gerückt und damit beſeitigt.

Beſchreibt man alsdann R und M als Kreiſe einer Kugel mit dem durch a gehenden gröſsten Kreiſe k_I für die Kappe I und ferner N als Kreis einer Kugel mit dem ebenfalls durch a zu führenden gröſsten Kreiſe k_{II} für die Kappe II, ſo wachſen die Bogen R, M und N aus dem gemeinſchaftlichen Punkte H hervor. Sie bilden die Anſatzlinien der nach Kugelflächen zu geſtaltenden Kappen. Dieſen Grundlagen entſprechend iſt auf nebenſtehender Tafel die Zeichnung von einem Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über einem rechteckigen Gewölbfelde gegeben.

Die profilierten Randbogen der Seiten dm und dn ſind in ihren Begrenzungslinien weſentlich konzentriſch mit den Bogenlinien der oberen Abſchlüſſe der Lichtöffnungen in den Seitenmauern zu halten.

R iſt der in a auf der Kämpferebene beginnende, als Kreisbogen um r mit ra beſchriebene Diagonalbogen. Punkt m_1 und demnach auch m iſt der gegebene Mittelpunkt des Fenſterbogens der Seite dm. Da m_1, bezw. m auch Mittelpunkt des Randbogens und damit zugleich die Anſatzlinie über dm für die Kappe I ſein ſoll, ſo ergiebt ſich im Schnitte 1 des in m auf dm errichteten Lotes mit dem in r auf ar gezogenen Lote der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenſtück I. Der um 1 mit dem Halbmeſſer $1a$ beſchriebene Kreisbogen k_I bezeichnet ihren gröſsten Kreis. Die lotrechte Ebene md ſchneidet gehörig erweitert den Kreis k_I in b, und folglich wird der um m mit mb geſchlagene Kreis M die Anſatzlinie der Kappe I über der Seite dm; ſie vereinigt ſich mit dem Diagonalbogen R an der innern Mauerecke oder bei d in einer Höhe dII über der Kämpferebene. Unter Benutzung der Punkte n_1, bezw. n und r ergiebt ſich in 2 der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenſtück II mit dem Halbmeſſer $2a$ und dem gröſsten Kreiſe k_{II}, ſowie in dem um n mit dem Halbmeſſer nc beſchriebenen Kreiſe N die geſuchte, ebenfalls in der Höhe dII auslaufende Anſatzlinie der Kappe II für die Seite dn.

Die Scheitellinien der Kappen I und II ſind die um q, mit dem Halbmeſſer qh und um p, mit dem Halbmeſſer pl beſchriebenen Kreisbogen der zugehörigen Kugelflächen.

Zur Erzielung des gleichartigen Emporſteigens der profilierten Randbogen iſt der Grundriſs der Anſätze dieſer Bogen zweckmäſsig unter Benutzung des gröſsten Kugelkreiſes k_I und des Punktes b für die am weiteſten geſpannte Kappe I in der Weiſe zu entwickeln, daſs, wie im vergröſserten Plane bei ge gezeigt iſt, unter der hier genommenen Anordnung gleicher Profile, die Breite der Fuſsflächen $d\beta = d\gamma$ wird. Dieſe Annahme einer gleich groſsen Breite kann allerdings zur Folge haben, daſs ein mit dem Halbmeſſer n,k um n, geſchlagener Kreisbogen, wobei der Punkt k dem Punkte γ in der Kämpferebene entſpricht, der Anſatzlinie N im Aufriſs an der ſchmalen Rechteckſeite nicht mehr konzentriſch bleibt. Solches iſt hier der Fall. Eine um n_1 mit der Anſatzlinie N konzentriſche innere Begrenzungslinie des Randbogens fällt über k hinaus. Da aber hierdurch eine nicht beabſichtigte, auch nicht günſtige Verminderung der Breite $d\gamma$ der Fuſsfläche des Randbogens eintreten würde, ſo muſs eine Umgeſtaltung der inneren Begrenzungslinie für die Strecke ku ſtattfinden. Für die Fuſslinie $kitu$ geht die Fugenrichtung am Randbogen in der Höhe II durch u nach n_1. Vom Scheitel dieſes Bogens bis u verläuft die Bogenlinie konzentriſch mit ſämtlichen übrigen Bogenlinien. Die Lotrechte kx ſchneidet die in u gezogene

Tangente y im Punkte t. Nimmt man $tu = ti$ und zieht iw parallel zu kn_1, fo wird w der Mittelpunkt eines kurzen Kreisbogens ui, und die Lotrechte ik ergiebt eine mäfsige, nicht ungünftig wirkende Ueberhöhung der nunmehr feftgelegten inneren Begrenzungslinie, welcher fich die übrigen Randlinien gleichlaufend anzufchliefsen haben. Durch diefe an fich geringfügige Umformung werden für die Gewölbbildung keinerlei Nachteile verurfacht.

8) Stärke der gotifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

195. Ueberficht.

Die Gewölbkappen der gotifchen Kreuzgewölbe erhalten in den meiften Fällen eine Bufung. Ihre Laibungsflächen gehören reinen Kugelflächen oder kugelförmigen Flächen an; ihre Wölbung entfpricht im wefentlichen einem freihändigen Zufammenfügen der Wölbfteine in der Weife, dafs Beftandteile eines Kugelgewölbes entftehen, welche fich gegen die Rippen als Träger des ganzen Gewölbes legen. Letztere liefern das gefamte im Gewölbe wachgerufene Syftem von Kräften an die Gewölbftützen ab. Die zur Ermittelung der Stärke der gotifchen Kreuzgewölbe zu führenden Unterfuchungen umfaffen vorwiegend die Prüfungen der Stabilität:

α) der Gewölbkappen,
β) der Gewölbrippen und
γ) der Gewölbwiderlager oder Gewölbftützen.

Bei dem zuletzt genannten Punkte find noch befonders die bei den gotifchen Kreuzgewölben mannigfach in Anwendung kommenden Strebepfeiler und Strebe- oder Schwibbogen zu berückfichtigen.

α) Stabilität der Gewölbkappen.

196. Stabilität der Gewölbkappen.

Die bufigen Kappen der gotifchen Kreuzgewölbe find, wie auch die Art ihrer Einwölbung befchaffen fein mag, im wefentlichen als Beftandteile eines Kugel-, bezw. eines Kuppelgewölbes anzufehen. Ihre ftatifche Unterfuchung und die damit verknüpfte Beftimmung ihrer Stärke hat die Lehre vom Gleichgewichtszuftande diefer befonderen Gewölbe zur Richtfchnur zu nehmen. Die Theorie der Kuppelgewölbe ift in Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 489 u. ff., S. 461 u. ff.[26]) diefes »Handbuches« gegeben.

Die hierin enthaltenen Grundlagen follen im folgenden bei den ftatifchen Unterfuchungen der in Frage kommenden Gewölbkappen mit berückfichtigt werden.

Ein Kuppelgewölbe befteht im allgemeinen aus konzentrifchen Wölbfchichten oder Kränzen, d. h. aus gewölbten Ringfchichten, welche nach und nach für fich gefchloffen und übereinander gelagert werden. Ihre Lagerflächen find Kegelflächen mit einer gemeinfchaftlichen Spitze im Mittelpunkte der zugehörigen Kugel- oder Kuppelfläche; ihre Stofsfugenflächen liegen in lotrechten Meridianebenen der Kuppel. Die gemeinfchaftliche Schnittlinie diefer Schar von Meridianebenen ift die lotrechte Kuppelachfe. Ein von zwei benachbarten Meridianfchnitten begrenztes Stück des Kuppelgewölbes ergiebt einen Meridianftreifen.

Diefem befonderen Aufbau und Zerlegen der Kuppelgewölbe, wodurch fich diefelben wefentlich von der Herrichtung der cylindrifchen Gewölbe unterfcheiden, entfprechend, mufs bei der ftatifchen Unterfuchung der Kuppelgewölbe der Gleichgewichtszuftand von zwei Kräftegruppen geprüft werden. Diefe Kräftegruppen umfaffen erftens das auf die ebenen Stofsflächen der Wölbkränze einwirkende Kräftefyftem und zweitens die auf die kegelförmigen Lagerflächen diefer Kränze gelangenden Kräfte.

[26]) 2. Aufl.: Art. 281 ff., S. 269 ff.; 3. Aufl.: Art. 287 ff., S. 308 ff.

Da Kuppelgewölbe auch am Scheitel offen bleiben können, alſo ein Meridianſtreifen oben nicht bis zu der als lotrechte Gerade vorhandenen Scheitellinie zu reichen braucht, ſo iſt in erſter Linie die Unterſuchung des Gleichgewichtszuſtandes eines Wölbkranzes von maſsgebender Bedeutung.

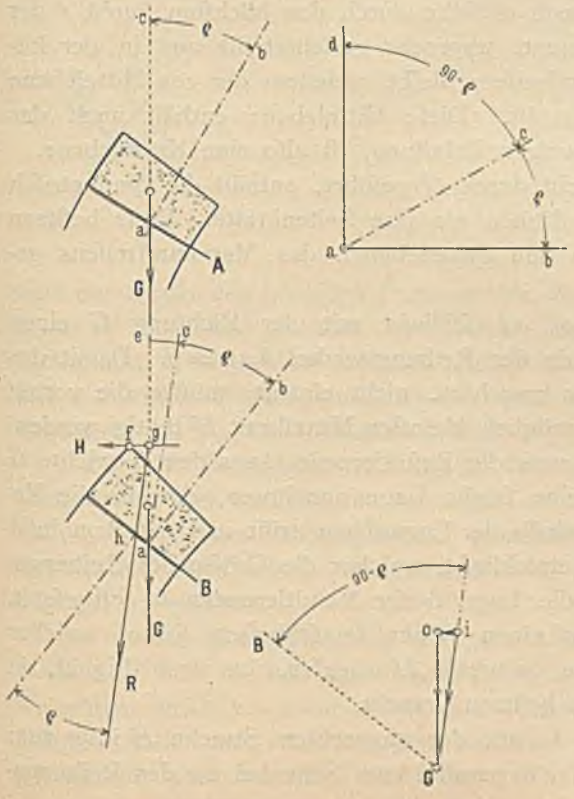
Hierbei kommt nun der Neigungswinkel der Erzeugenden der Lagerfläche des Kranzes und aufserdem, in Bezug auf die unteren Lagerkanten desſelben, die Lage der Lotrechten, worin das Gewicht eines Kranzſteines, einſchliefslich ſeiner etwa vorhandenen Belaſtung, wirkt, beſonders in Betracht; denn ſein Gleichgewichtszuſtand wird beeinflufst durch jenen Neigungswinkel in Rückſicht auf das Gleiten auf der Lagerfläche, durch die bezeichnete Lotrechte im Hinblick auf eine Drehung um eine Lagerkante des Kranzſteines.

Soll im vollſtändig geſchloſſenen Wölbkranze Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehung herrſchen, ſo werden durch die im Kranze lebenden Kräfte in den Stofsfugen Preſſungen geweckt, welche, unter der Vorausſetzung eines geeigneten Wölbmaterials und einer genügenden Gewölbſtärke, fähig ſein müſſen, das Beſtreben des Abgleitens oder des Drehens der Kranzſteine zu verhindern. Sind dieſe Preſſungen für jeden Wölbkranz bekannt geworden und ſomit für jede Wölbſchicht eines Meridianſtreifens gefunden, ſo läſst ſich dieſes Syſtem von Kräften, in entſprechende Verbindung gebracht, zur Stabilitätsunterſuchung des ganzen Meridianſtreifens benutzen.

197. Preſſungen der Stofsflächen: Erſter Fall.

Um die in den Stofsflächen der Kranzſteine entſtehenden Preſſungen, wobei zunächſt auf die Elaſtizität der Wölbſteine und auf die ſtärkere oder geringere Bindefähigkeit des Mörtels keine Rückſicht genommen werden ſoll, zu ermitteln, können die folgenden Fälle in Behandlung treten.

Fig. 273.



a) In Fig. 273 iſt $A\,a$ die Richtung der Erzeugenden einer Lagerfugenfläche in der Kräfteebene. Ihre Neigung zur Wagrechten ſei gleich dem Reibungswinkel $c\,a\,b = \sphericalangle\,\rho$ des Wölbmaterials. Die Richtungslinie G des im Schwerpunkte des Kranzſteines angreifenden Gewichtes treffe die Erzeugende A im Punkte a der Lagerfläche des Steines. Das in a auf $A\,a$ errichtete Lot $a\,b$ ſchliefse mit der Kraftrichtung G den Winkel $c\,a\,b = \sphericalangle\,\rho$ ein. In dieſem Falle iſt nach der Lehre von der ſchiefen Ebene die Grenzlage für die Erzeugende $A\,a$ erreicht, wobei eben noch das Gleiten des Steines verhindert wird. Da aufserdem, vermöge der Lage des Punktes a der Kraftrichtung G innerhalb der Lagerfläche des Kranzſteines, durch die Kraft G

keine Drehung dieſes Steines um eine ſeiner Kanten eintreten kann, ſo werden im Syſtem eines derartig gelagerten und durch Gewichte beanſpruchten Kranzes keinerlei Preſſungen in den Stoſsfugenflächen erzeugt. Dasſelbe gilt, ſelbſt wenn die Kraftrichtung G durch eine Kante geht.

Schlieſst die Erzeugende Aa mit der Wagrechten einen kleineren Winkel als den Reibungswinkel ρ ein, bleibt a innerhalb des Gebietes der Lagerfläche, ſo können ebenfalls in den Stoſsflächen des Kranzes keine Preſſungen entſtehen.

198. Zweiter Fall. b) Bleibt der Angriffspunkt a der Kraftrichtung G in der Lagerfläche, wird aber der Neigungswinkel der Erzeugenden Ba zur Wagrechten gröſser als der Reibungswinkel ρ, ſo hat der Kranzſtein kein Beſtreben, ſich um eine Lagerkante zu drehen; wohl aber iſt ſein Ruhezuſtand in Bezug auf das Herabgleiten geſtört. Um dieſes Abwärtsgleiten zu verhindern, müſſen im Kranzkörper Kräfte thätig werden, welche als Preſſungen in den ſeitlichen Stoſsflächen mit ſolcher Gröſse ſich einzuſtellen haben, dafs die aus dieſen Seitenkräften entſtehende Mittelkraft den Gleichgewichtszuſtand wieder herzuſtellen vermag.

Hinſichtlich der Gröſse dieſer Mittelkraft und danach auch der Gröſse der Preſſungen in den Stoſsflächen iſt zu bemerken, dafs dieſelbe ein ſolches Mafs anzunehmen hat, als zur Herſtellung des Gleichgewichtes eben notwendig iſt, dafs alſo ein Mehraufwand in dieſem Kraftmafse nicht berechtigt iſt. Dieſes eben notwendige Kraftmafs drückt mithin einen Grenzwert für die in Rechnung zu ziehende Mittelkraft aus; dieſer Grenzwert hat demnach in jedem beſonderen Falle einen in Anwendung zu bringenden möglich kleinſten Wert, welcher ebenſowohl frei von einem Kraftmangel, als auch frei von einem Kraftüberſchufs aufzutreten hat.

Unter Bezugnahme auf Fig. 273 nimmt die erwähnte Mittelkraft H der Preſſungen ihren kleinſten Wert an, wenn dieſelbe durch den höchſten Punkt f der oberen Lagerkante des Kranzſteines geht, wagrecht gerichtet iſt und in der lotrechten Halbierungsebene des Meridianſtreifens bleibt, welchem der zur Mittelebene ſymmetriſch geformte Stein zugewieſen iſt. Dieſe Mittelebene enthält auch das Gewicht G des Steines ſamt ſeiner etwaigen Belaſtung, iſt alſo eine Kräfteebene.

Eine zweite Kräfteebene, wagrecht durch H geführt, enthält die ſymmetriſch zu H gelegenen Preſſungen der Stoſsflächen als ihre Seitenkräfte. Dieſe beſitzen gleiche Gröſse und ſind ſenkrecht zu den Seitenebenen des Meridianſtreifens gerichtet.

Das in a auf Ba errichtete Lot ab ſchlieſst mit der Richtung G einen Winkel bac ein, welcher gröſser iſt als der Reibungswinkel $bac = \rho$. Damit das Abgleiten des Kranzes, dem der Stein angehört, nicht eintritt, müſſen die vorhin bezeichneten Seitenpreſſungen mit der möglich kleinſten Mittelkraft H thätig werden.

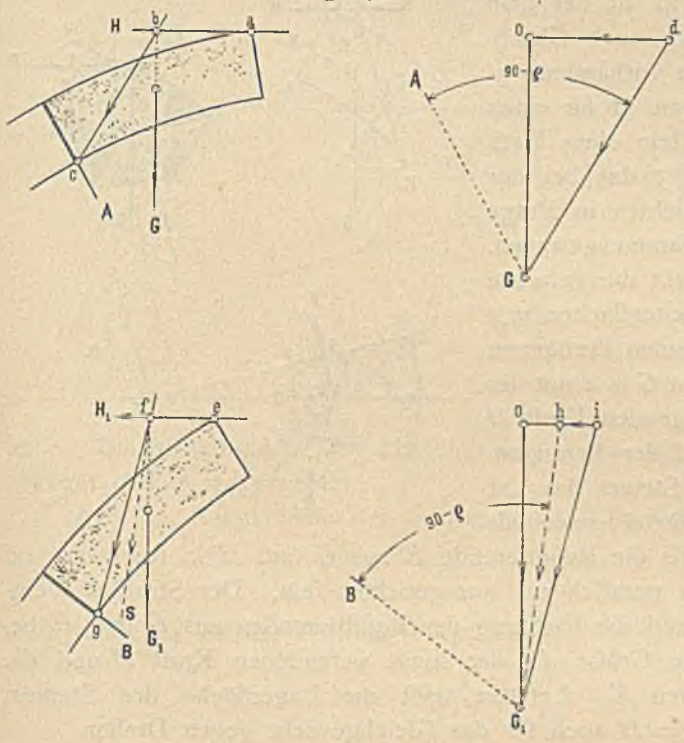
Um dieſe Kraft H zu beſtimmen, mufs die Reſultierende R aus dem Gewichte G und der noch unbekannten Kraft H eine ſolche Lage annehmen, dafs ſie die Erzeugende Ba in einem Punkte h innerhalb der Lagerfläche trifft und mit dem in h auf Ba errichteten Lote einen Winkel einſchlieſst, welcher die Gröſse des Reibungswinkels nicht überſchreitet. Würde die Lage dieſer Reſultierenden ſo feſtgeſetzt, dafs dieſelbe mit dem Lote auf Ba einen Winkel einſchlieſsen ſollte, welcher kleiner als der Reibungswinkel ausfiele, ſo würde H wachſen, was unzuläſſig iſt, da H nur den möglich kleinſten Wert zu beſitzen braucht.

Bringt man daher die Richtung G mit der wagrechten Strecke H in g zum Schnitte, zieht man durch g den Strahl R parallel zum Schenkel ac des Reibungs-

winkels ρ, deſſen zweiter Schenkel ab auf Ba lotrecht genommen wurde, ſo iſt die Lage der Mittelkraft aus G und H beſtimmt. Die Gröſse von R und von H iſt mit Hilfe des Kräfteplanes oGi leicht zu finden. In demſelben ſtellt oG die Gröſse des Gewichtes vom Kranzſteine dar; Gi iſt parallel zu R und oi parallel zu H gezogen, ſo daſs nunmehr iG gleich der Gröſse von R, io gleich der Kraft H iſt.

Um das Zeichnen der Schenkel des Reibungswinkels ρ am Wölbſteine zu vermeiden, hat man aus leicht erſichtlichen Gründen nur nötig, im Kräfteplane ſelbſt den Strahl GB parallel zur Erzeugenden Ba zu ziehen und an GB den Winkel $90 - \rho$ anzutragen. Der Schenkel Gi dieſes Winkels muſs alsdann ebenfalls parallel zu ac ſein.

Fig. 274.



199. Dritter Fall.

c) Schneidet die Kraftrichtung G die Lagerfläche des Kranzſteines nicht, iſt der Neigungswinkel der Erzeugenden Ac in Fig. 274 zur Wagrechten gröſser als der Reibungswinkel ρ; ſo hat der Stein das Beſtreben, ſich um die Lagerkante c zu drehen und aufserdem auf der Lagerfläche zu gleiten.

Die Mittelkraft H der in den Stofsfugen des Kranzes zur Herſtellung des Gleichgewichtszuſtandes wachgerufenen Preſſungen muſs alſo denjenigen möglichen und kleinſten Wert annehmen, welcher ausreicht, jene Drehung und jenes Gleiten zu verhindern.

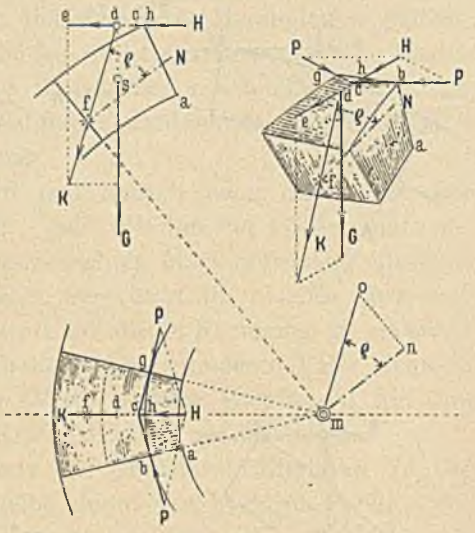
Die Reſultierende aus G und der durch den höchſten Punkt a der oberen Lagerkante des Steines gerichteten Kraft H muſs alſo zunächſt eine ſolche Lage bc annehmen, daſs ſie durch den Drehpunkt c der unteren vorderen Lagerkante geht und ſodann mit der Senkrechten auf Ac einen Winkel einſchlieſsen, welcher kleiner oder mindeſtens gleich dem Reibungswinkel ρ, aber niemals gröſser als ρ wird.

Für die Erzeugende Ac ergiebt ſich nach dem Kräfteplane, daſs die Mittelkraft dG in der Richtung bc auch mit der Senkrechten auf ac gerade noch einen Winkel gleich dem Reibungswinkel ρ einſchlieſst, ſo daſs die Strecke do die Gröſse der Mittelkraft H ergiebt, welche ausreicht, um das Gleichgewicht des Kranzſteines aufrecht zu erhalten.

Für eine Erzeugende Bg dagegen würde, in Rückſicht auf Gleiten allein, eine Mittelkraft S aus G, und der im Kräfteplan hierfür gefundenen, in der Wagrechten ef wirkenden Kraft ho nicht durch den Drehpunkt g der unteren Lagerkante gehen, alſo der Stein nach wie vor eine Drehung um dieſe Kante vollziehen. Hiernach genügt die Kraft ho noch nicht zur Herſtellung des Gleichgewichtszuſtandes. Die

Preſſungen im Kranze müſſen wachſen, und zwar in der Weiſe, daſs ihre Mittelkraft H_1 für einen Stein des zugehörigen Meridianſtreifens eine Gröſse erhält, welche die Reſultierende aus G_1 und dieſer Kraft H_1 ſo weit zurücktreibt, bis dieſe neue Reſultierende durch den Drehpunkt g läuft. Zieht man alſo durch den Schnitt f der Kraft G_1 und der Wagrechten ef den Strahl fg, ſo iſt hiermit die Lage der bezeichneten Reſultierenden gefunden. Zeichnet man im Kräfteplane $G_1 i$ parallel zu fg, ſo ergiebt ſich in iG_1 ihre Gröſse und zugleich in io die Gröſse der für das Gleichgewicht notwendigen Mittelkraft H_1. Da die Reſultierende iG_1 in ihrer Richtung fg mit der Normalen einen Winkel einſchlieſst, welcher um $\sphericalangle iG_1h$ kleiner wird als der Reibungswinkel ρ, ſo iſt bei dem Herrſchen der Kraft $H_1 = io$ auch Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten vorhanden.

Fig. 275.



Nach dieſen Erörterungen iſt für einen beliebig genommenen Kranzſtein eines Meridianſtreifens mgb in Fig. 275 das bei der Unterſuchung des Gleichgewichtes in Frage kommende Kräfteſyſtem zuſammengetragen.

In der Richtung hc wirkt die geſuchte Mittelkraft H der in den Seitenflächen mg und mb in g und b entſtehenden Preſſungen P, P. Setzt man das Gewicht G in d mit der unbekannten, aber in he liegenden Kraft H zuſammen, errichtet man auf der Erzeugenden mf der Lagerfläche des Steines das Lot mn und trägt man den Winkel nmo als Reibungswinkel ρ an; ſo muſs die Reſultierende K aus G und H in Rückſicht auf Gleichgewicht gegen Gleiten parallel mit om gerichtet ſein. Der Strahl df entſpricht dieſer Lage. Da G und die Richtung der Reſultierenden aus G und H bekannt ſind, ſo entſpricht die Gröſse de der ſomit gefundenen Kraft H und die Gröſse dK der Reſultierenden K. Letztere trifft die Lagerfläche des Steines; folglich genügt die Kraft $de = H$ auch für das Gleichgewicht gegen Drehen.

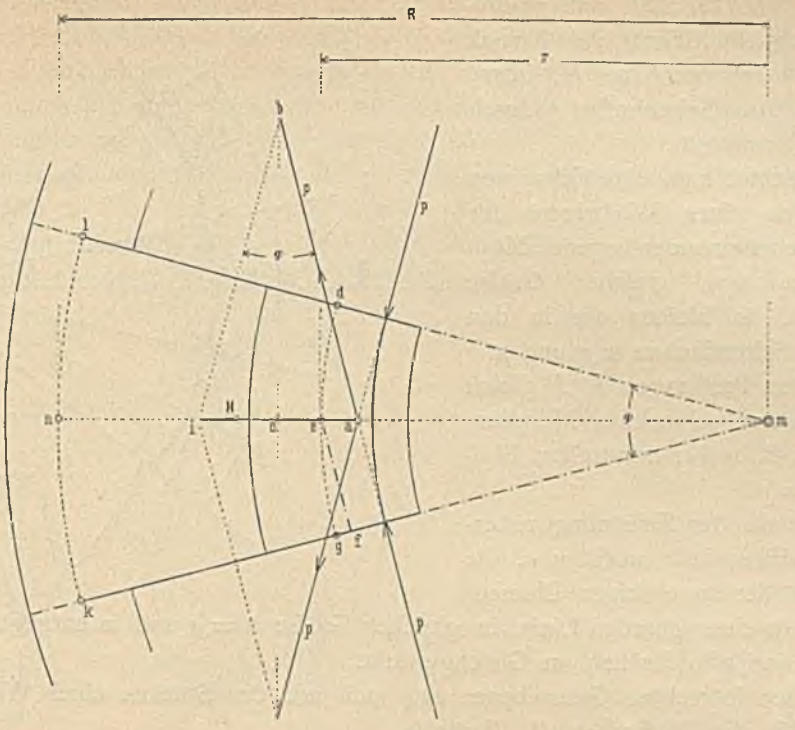
Die Preſſungen P, P ſind Seitenkräfte von H; ſie liegen mit H in einer wagrechten Ebene und ſind ſenkrecht zu den Seitenflächen mg, mb des Meridianſtreifens mgb gerichtet.

Zerlegt man die Kraft $H = de = Hc$ unter Benutzung der Strahlen Pc, Pc, die ihrer Lage und Richtung nach für die zu beſtimmenden Kräfte P, P maſsgebend werden, ſo liefert das Kräfteparallelogramm $HPcP$ in Pc und Pc die geſuchten Preſſungen P, P.

Gehört ein Meridianſtreifen einem reinen Kugelgewölbe an, ſo ergiebt ſich durch Rechnung eine einfache Beziehung zwiſchen den Preſſungen P und ihrer Mittelkraft H.

In Fig. 276 iſt mkl der Grundriſs eines ſolchen Meridianſtreifens mit der lotrechten Symmetrieebene mn und dem ſehr kleinen Winkel φ. Der Gewölbfuſs dieſes Streifens beſitzt die mittlere Dicke kl; der Halbmeſſer des Bogens kl iſt R. Für einen Kranzſtein dieſes Streifens ſei die in der Kugelfläche, welcher der Bogen kl angehört, gelegene mittlere Dicke gleich gd, und der Halbmeſſer des Bogens gd

Fig. 276.



ſei r. Die Mittelkraft H der Preſſungen p, p an den Seiten des Kranzſteines ſei bekannt und in $a\,i$ gegeben.

Aus der Aehnlichkeit der rechtwinkeligen Dreiecke $a\,b\,c$ und $e\,f\,m$ folgt

$$\frac{a\,b}{a\,c} = \frac{e\,m}{e\,f},$$

d. h. auch, da $a\,b$ der Preſſung p entſpricht,

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{e\,f}.$$

Bei der Kleinheit des Winkels φ kann die Gerade $e\,f = r \cdot \sin\frac{\varphi}{2}$ mit dem Bogen $g\,e = r\,\frac{\varphi}{2}$ vertauſcht werden, ſo daſs

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{r\,\frac{\varphi}{2}} \quad \text{oder} \quad p = \frac{H}{\varphi} \qquad \ldots\ldots\ldots \quad 150.$$

wird.

Bezeichnet man die mittlere Dicke $d\,g$ mit d, ſo iſt $d = r\,\varphi$, alſo $\varphi = \frac{d}{r}$, mithin nach Gleichung 150 auch

$$p = \frac{H\,r}{d} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 151.$$

Wird $k\,l$ mit D bezeichnet, ſo iſt ferner $\frac{r}{d} = \frac{R}{D}$, wodurch ſodann

$$p = \frac{H\,R}{D} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 152.$$

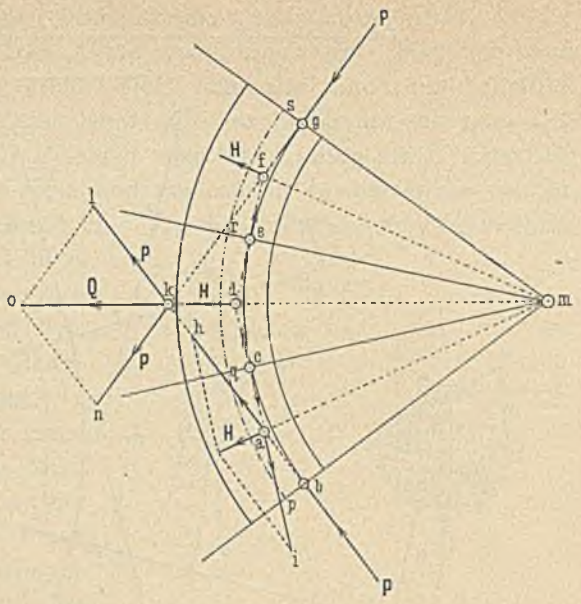
erhalten wird.

Das Gewicht G wird meiſtens nach Art. 130 (S. 223) auf graphiſchem Wege beſtimmt und danach auch der Wert der Kraft H, bezw. die Gröſse ihrer Seitenkräfte p durch Zeichnung ermittelt.

200. Wölbkranz.

Betrachtet man eine Schar von Kranzſteinen eines Wölbringes für mehrere nebeneinander liegende Meridianſtreifen von gleicher Gröſse (Fig. 277), ſo bleiben die in den äuſserſten Seitenflächen $m g$ und $m b$ vorhandenen Preſſungen P, P gleich den für einen einzelnen Meridianſtreifen, z. B. $m b c$, ermittelten Preſſungen $p = q$.

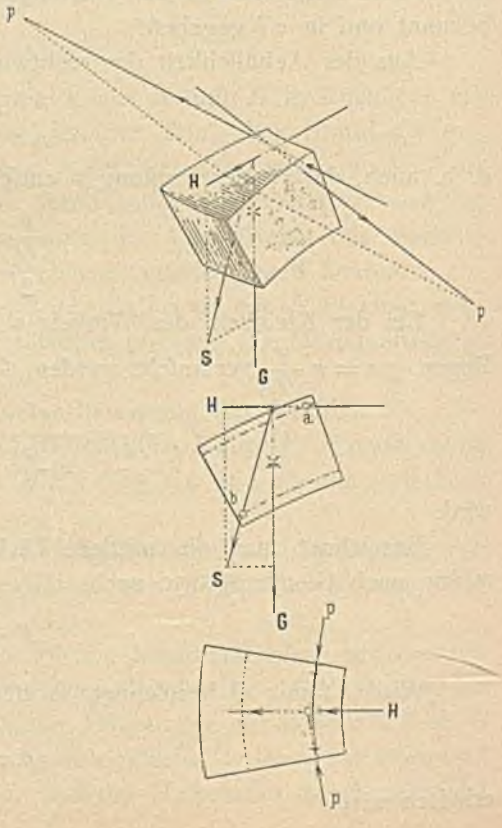
Fig. 277.



Wie aus der Zeichnung zu erkennen, wirken in c, auch in e, die Preſſungen der zugehörigen Elementarſtreifen in einer geraden Linie, in gleicher Gröſse $p = q$ und in entgegengeſetzter Richtung, ſind alſo für ſich im Gleichgewicht.

An den lotrechten Grenzebenen $m g$ und $m b$ des Stückes eines Wölbkranzes bleiben alſo die Preſſungen P, P übrig, welche offenbar dieſelbe Gröſse wie die Seitenkräfte $p = q$ von H des Streifens $m b c$ beſitzen müſſen. Dieſe Preſſungen P liegen in einer wagrechten Ebene, welche durch die obere Lagerkante $g b$ am Wölbkranze geführt werden kann; ſie ſtehen je für ſich ſenkrecht zu den Ebenen $m g$, bezw. $m b$ und laſſen ſich in k zu einer Mittelkraft Q vereinigen, welche zugleich die Reſultierende der Kräfte H der einzelnen Kranzſteine ſein muſs. Legte ſich das Kranzſtück $m g b$ in den Seitenebenen $m g$ und $m b$ gegen beſondere Widerlagskörper, ſo hätten dieſe den Kräften P zur Herſtellung des Gleichgewichtes einen gleich groſsen Widerſtand zu leiſten.

Fig. 278.



201. Formänderung.

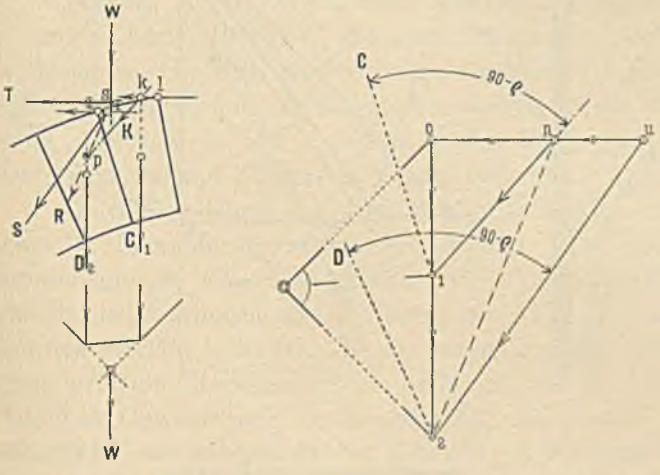
Bei den geführten Unterſuchungen ſind die Elaſtizität des Wölbmaterials und die damit im Zuſammenhange ſtehende Formänderung des Wölbkörpers, welche die an einem Kranzſteine, bezw. an dem ganzen Kranze thätigen Kräfte bewirken, auſser acht gelaſſen. Aus Gründen, welche bereits in Art. 22 (S. 54) angeführt ſind,

kann man bei Berückfichtigung der Prefsbarkeit des Materials die Angriffspunkte a von H und b von S, wie Fig. 278 ohne weiteres erklärt, um eine gewiffe Strecke in das Innere des Wölbfteines rücken, fonft aber beim Beftimmen der Gröfsen der Kräfte H, S und p, wie im vorhergegangenen mitgeteilt ift, vorgehen. Erfahrungsgemäfs ift auch bei Kuppelgewölben das Zurückziehen der Angriffspunkte a und b von den Kanten bei guten, hinlänglich feften Wölbfteinen nur äufserft gering. Die Angabe eines genauen Mafses für die Gröfse diefes Zurückziehens ift bis jetzt noch nicht möglich.

202. Preffungen der Lagerflächen.

Mit dem Ermitteln der an den Stofsflächen der Kranzfteine eines Meridianftreifens entftehenden Kräfte geht die Beftimmung der Drücke auf die Lagerflächen der Wölbfteine diefes zugehörigen Streifens Hand in Hand. Uebereinander gelagerte Kranzfteine bilden den Meridianftreifen.

Fig. 279.



In Fig. 279 find zur Erklärung des bei der Stabilitätsunterfuchung eines Meridianftreifens einzufchlagenden Weges zwei übereinander liegende Kranzfteine in ihrem Schnitte mit der Symmetrie- oder Kräfteebene vom Gewicht *1*, *2* und mit den Lagerfugen oder Erzeugenden der Lagerflächen C, D angenommen.

Setzt man das Gewicht *1* nach Art. 199 (S. 323) mit der durch l ziehenden wagrechten Kraft no, welche unter Anwendung des Winkels $90 - \rho$ in bekannter Weife gefunden wird, zu der Mittelkraft $K = n1$ in k auf lk zufammen, fo trifft diefelbe die Fuge C. Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehen ift beim Herrfchen der Kraft no für den Stein oberhalb der Fuge C gewahrt. Setzt man weiter die Kraft K, welche den Druck für die Fuge C angiebt, mit dem Gewichte *2* im Punkte p zu einer Mittelkraft $R = n2$ des Kräfteplanes zufammen, fo fchneidet diefelbe die durch den höchften Punkt q des zweiten Kranzfteines gehende wagrechte, noch unbekannte Kraft im Punkte r. Zieht man zur Beftimmung diefer Kraft im Kräfteplane $2D$ parallel zur Erzeugenden D, trägt man an $2D$ den Winkel $90 - \rho$, fo begrenzt der Schenkel $2u$ diefes Winkels die durch o, bezw. n gelegte Wagrechte im Punkte u, und folglich wird nunmehr un die in r wirkende wagrechte Kraft und $u2$ die gleichfalls durch r ziehende Refultierende S der beiden wagrechten Kräfte un und $no = uo$ und der beiden Gewichte *1* und $2 = o2$, welche in ihrer Gefamtheit für die Fuge D in Wirkfamkeit treten. Auch diefe den Druck für die Lagerfuge D angebende Kraft S bekundet Gleichgewicht in Rückficht auf Gleiten und Drehung bis zur Fuge D des Meridianftreifens.

Die wagrechte Seitenkraft uo von S ift die Mittelkraft derjenigen Preffungen, welche bis zur Fuge D an den Seitenflächen des Meridianftreifens entftehen.

Setzt man diefes einfache Verfahren, welches im folgenden — bei der be-

ſonderen Betrachtung über Kuppelgewölbe — noch weiter verfolgt werden ſoll, unter Beobachtung der in Art. 196 (S. 320) behandelten und eintretenden Fälle

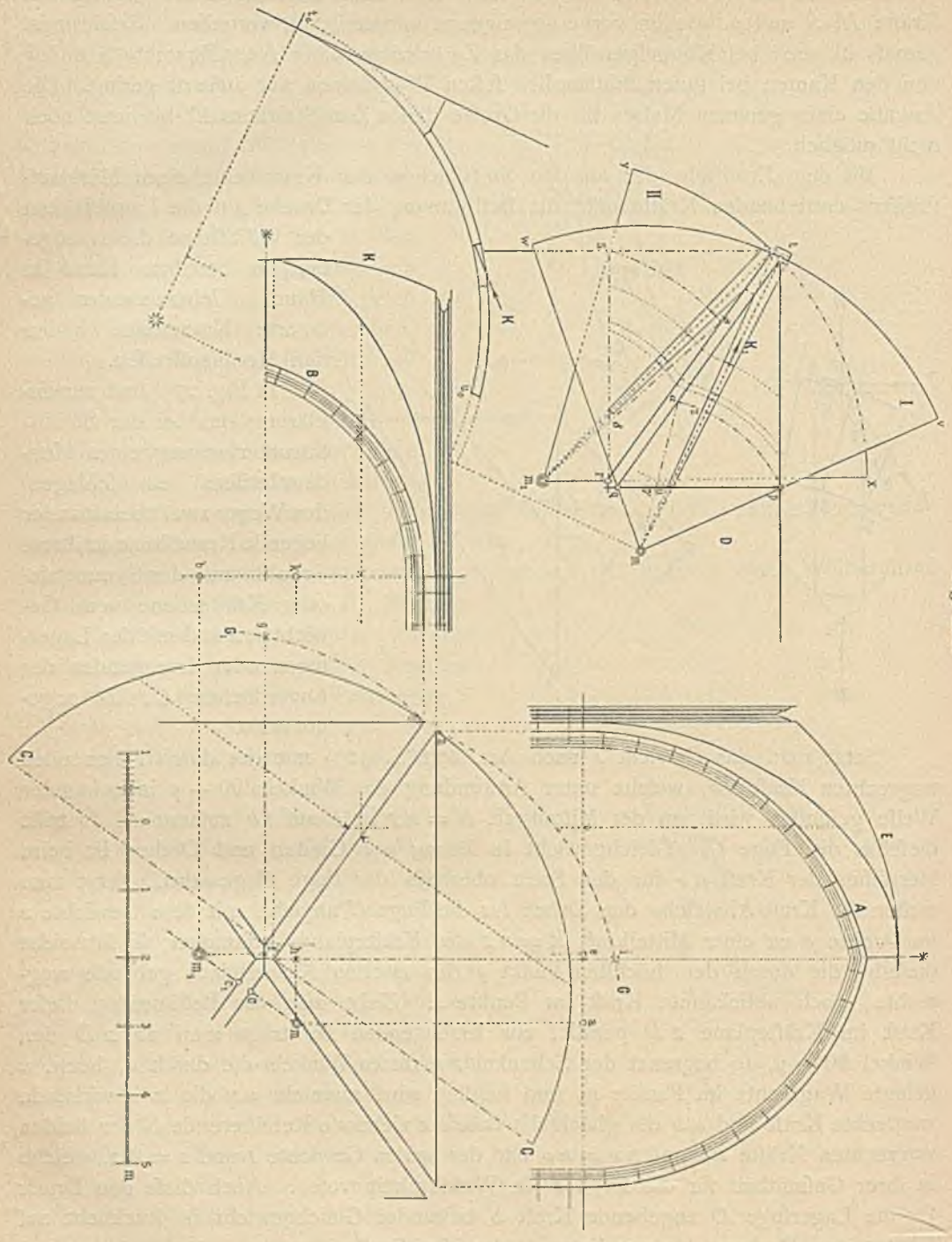


Fig. 280.

fort, ſo gelangt die ſtatiſche Unterſuchung des Meridianſtreifens ſowohl in Bezug auf die Preſſungen in den Stoſsflächen, als auch auf die Drücke in den Lagerflächen zum Abſchluſs.

Hätte man die Kräfte $n\,o$ und $u\,n$ zu einer Mittelkraft T und ebenſo die Gewichte 1 und 2 zu einem reſultierenden Gewichte W zuſammengeſetzt, dieſe in ihrem Schnitte s angreifen laſſen, ſo würde die durch s parallel zu $u\,2$ gelegte Reſultierende S ebenfalls durch den Punkt r gehen.

203. Gewölbkappen.

Die beſprochenen, für die Stabilitätsunterſuchung der Kuppelgewölbe wichtigſten Punkte laſſen ſich unmittelbar auf die Prüfung der Standfähigkeit der buſigen Kappen der gotiſchen Kreuzgewölbe übertragen. Da die ſphäroidiſchen, nicht nach reinen Kugelflächen gewölbten Kappen doch im allgemeinen in Rückſicht auf ihre praktiſche Ausführung nur wenig von der Kugelfläche abweichen, ſondern faſt immer in ihren Laibungsflächen kugelähnlich geſtaltet werden, ſo entſteht kein groſser Fehler, wenn auch dieſe ſphäroidiſchen Kappen bei der ſtatiſchen Unterſuchung wie die mit Kugelflächen behafteten Kappen behandelt werden.

Für das Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbfelde in Fig. 280 ſind A und C, bezw. B und C_1 die nach Kreisbogen genommenen Anſatzlinien der Gewölbflächen. Die Mittelpunkte dieſer Kreisbogen liegen in der wagrechten Kämpferebene; m und m_1 ſind die Kugelmittelpunkte für das Kappenſtück zwiſchen A und C, bezw. zwiſchen B und C_1. Der gröſste Kreis des erſten Stückes iſt in G, derjenige des zweiten Stückes in G_1 auf bekanntem Wege ermittelt.

Unter Benutzung der gröſsten Kreiſe werden die Kugelſtücke der Kappen in ſchmale, lotrechte Meridianſtreifen zerlegt. Für jede Kappe ſind den einzelnen Streifen gleiche Winkel zu geben; auch iſt, wie im Plane D gezeigt, thunlichſt eine gleichmäſsige Anordnung in Bezug auf die Symmetrieebenen $m\,t$ und $m_1\,t$ der längſten Streifen zu treffen. Iſt die wagrechte und lotrechte Projektion, wie $u\,t$, $u_0\,t_0$ eines gröſsten Meridianſtreifens beſtimmt, ſo iſt dieſes Gewölbſtück für ſich einer ſtatiſchen Unterſuchung zu unterwerfen, um danach ohne weiteres die Stabilitätsverhältniſſe der übrigen in den zugehörigen Kappenſtücken noch vorhandenen, aber kürzeren Streifen, gleiche Stärke und Belaſtung vorausgeſetzt, ableiten zu können.

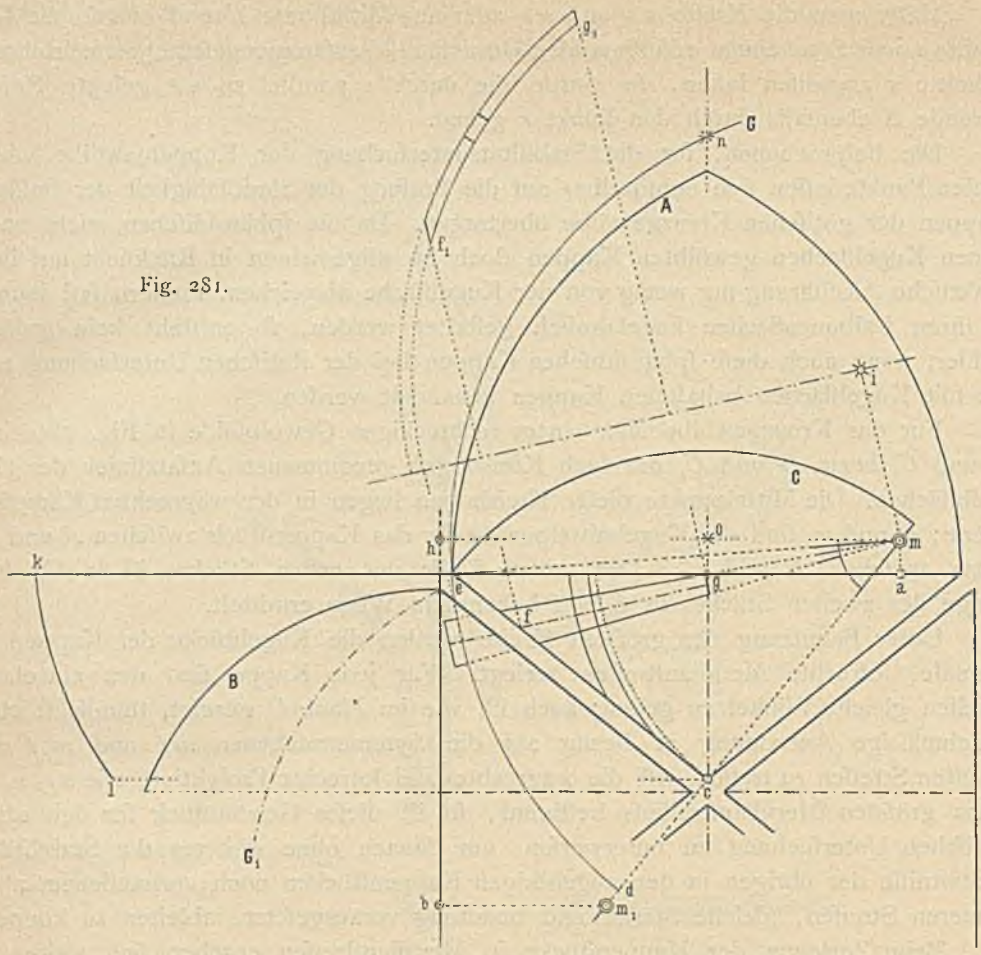
Beim Zerlegen der Kappenſtücke in Meridianſtreifen ergeben ſich weiter in Rückſicht auf die Scheitellinien $q\,p$ der Kugelfläche I, mit dem gröſsten Kreiſe $v\,w_1$ und $r\,s$ der Kugelfläche II, mit dem gröſsten Kreiſe $x\,y$, durch die Ringlinien $p\,\alpha$, bezw. $s\,\beta$ und durch die Scheitellinien $q\,p$, bezw. $r\,s$ beſtimmt begrenzte Gebiete $q\,\alpha\,p$ und $r\,\beta\,s$, welche die in den lotrechten Scheitelebenen $p\,q$ und $s\,r$ entſtehenden Preſſungen beſonders beeinfluſſen.

Steht die lotrechte Achſe der Kugelfläche, welche die Laibung eines Kappenſtückes liefert, wie in Fig. 281 bei m, auſserhalb des eigentlichen Gewölbfeldes, ſo iſt nach dem Feſtlegen ihres gröſsten Kreiſes G wiederum nur ein zweckmäſsiges Zerlegen des Kappenſtückes in ſchmale Meridianſtreifen vorzunehmen. Der gröſste dieſer Streifen, wie z. B. $g\,f$ mit der lotrechten Projektion $g_1\,f_1$, iſt für die ſtatiſche Unterſuchung zu Grunde zu legen.

In jeder Beziehung iſt die Ermittelung der Seitenpreſſungen, welche die buſigen Kappen auf die ſtützenden Rippenkörper ausüben, von Bedeutung.

Iſt nach Fig. 282 das Zerlegen der Kappen in Meridianſtreifen vorgenommen, ſo kann man, z. B. für den gröſsten Streifen $h\,f\,e\,g$, die in der beſonders ſtark gezeichneten Kranzſchicht entſtehende wagrechte Kraft H ganz im Sinne der Ausführungen in Art. 200 (S. 326) und danach die Preſſungen P an den Stoſsflächen des zugehörigen Kranzſteines beſtimmen. Die Preſſungen P ſind für ſämtliche Kranzſteine des Wölbringes in Betracht zu ziehen. Dieſelben machen ſich ſowohl

Fig. 281.



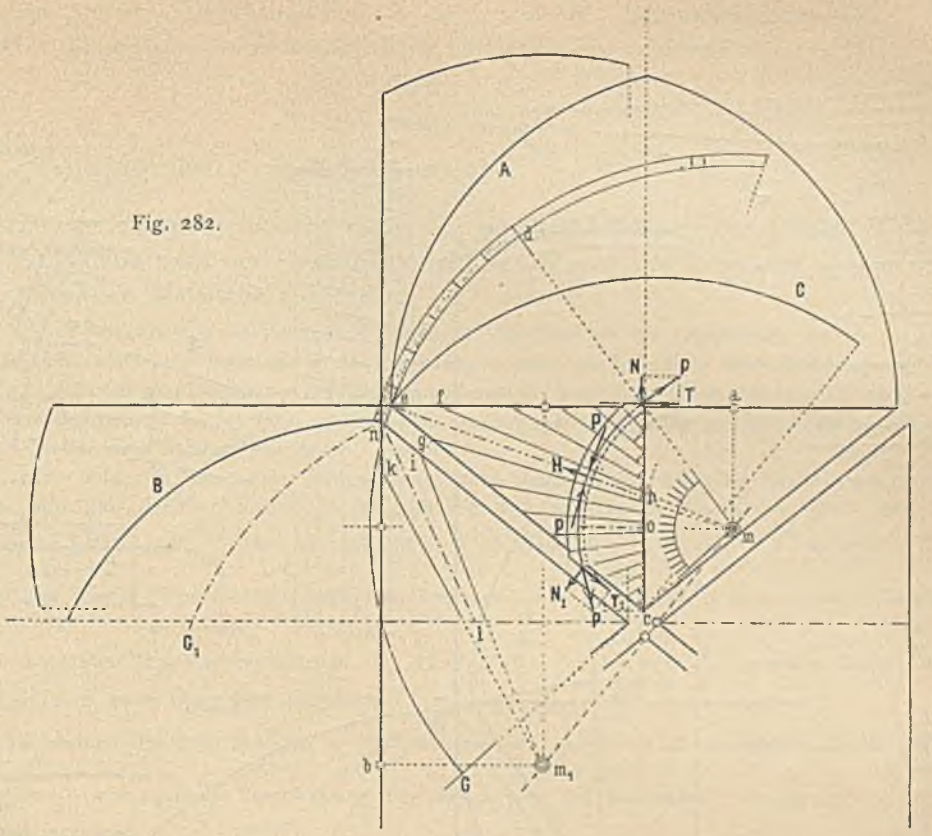
in den Anſatzflächen der Kränze, ſofern die Kräfte in den Stoſsflächen bei einzelnen Ringſchichten nicht gleich Null werden, am Randbogen der Seite *e a*, als auch am Diagonalbogen *e c* geltend. Sie ſind auch hier bei einer normalen Stellung zu den äuſserſten Meridianebenen der Kranzſchicht wagrecht gerichtet und kennzeichnen unmittelbar die Beanſpruchung der ſtützenden Rippenkörper durch dieſe Kräftegruppe der Kappenwölbung.

Nach dem Zerlegen der Preſſungen P in die Seitenkräfte N und T, bezw. N_1 und T_1 rechtwinkelig zu den Ebenen der Rand- und Diagonalbogen, bezw. in dieſe Ebene fallend, läſst ſich hiermit unter Berückſichtigung des in Art. 134 (S. 235) Vorgetragenen die weitere ſtatiſche Unterſuchung dieſer Bogenkörper in Verbindung bringen.

Ergeben die Preſſungen P der Stoſsflächen der einzelnen Kranzſchichten auch ſofort die Gröſse der hierdurch eintretenden Seitenſchübe für die Rippenkörper, ſo ſind damit doch zunächſt die Preſſungen noch nicht klargelegt, welche durch die innerhalb der bei Fig. 280 erwähnten Gebiete der Scheitellinien der Kappen befindliche Wölbung in den ſenkrechten Ebenen dieſer gekrümmten Scheitellinien beim Zuſammenſchnitt der Wölbſchichten entſtehen.

Die Beſtimmung der Gröſse dieſer nach den Scheiteln der Rand- und Diagonalbogen gelangenden Preſſungen ſoll beſonders nach Fig. 283 vorgenommen werden.

Fig. 282.

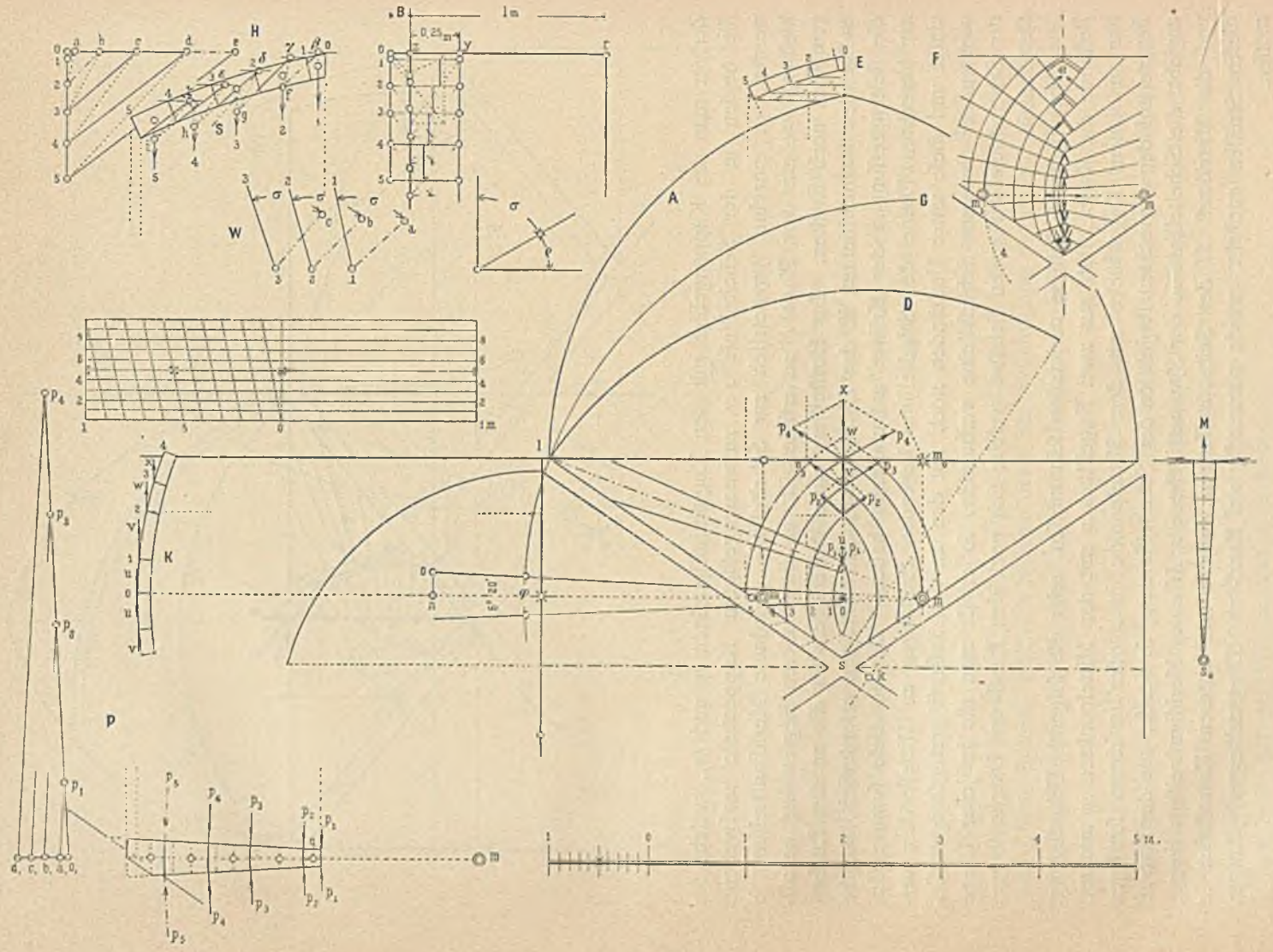


Zerlegt man das Kappengebiet mit den Kugelmittelpunkten m und m_1, welche für die beiden in der Scheitellinie $s\,v$ zufammengefügten Kappenteile mafsgebend werden, in einzelne fymmetrifch zur Scheitellinie geordnete Meridianftreifen, fo bleiben, wie aus dem Plane F zu erfehen ift, an ihrer oberen Begrenzung im allgemeinen noch Lücken. Zur Herftellung eines Widerlagers für die an den Lücken endigenden Kranzfchichten ift das Einfügen von Schlufsfteinen erforderlich, welche die Seitenpreffungen der Kränze aufzunehmen haben. Werden diefe fymmetrifch zur lotrechten Ebene der Scheitellinie liegenden Preffungen zu Mittelkräften vereinigt und diefe unter Umftänden noch mit den an fich äufserft geringfügigen Gewichten der einzelnen Schlufsfteine verbunden, fo erhält man die in jener Ebene der Scheitellinie wirkenden Schübe, welche fich nach den Rand- und Diagonalbogen fortpflanzen.

Dafs derartige Schübe vorhanden fein müffen, zeigt die folgende Ueberlegung. Beftände die Kappe, ftatt aus zwei Kugelftücken mit den Mittelpunkten m und m_1, nur aus einem Kugelftücke mit dem Mittelpunkte in s oder in einem fonftigen Punkte auf der wagrechten Projektion der Scheitellinie $s\,v$, fo würde, wie der Plan M angiebt, die Scheitellinie in der Symmetrieebene $s_0\,M$ eines Meridianftreifens liegen, und die Mittelkraft M der Seitenpreffungen, welche am unteren Kranzfteine in diefem Streifen entfteht, würde notwendig auf Rand- und Diagonalbogen gelangen müffen.

Für das Gebiet der Scheitellinie, welches in der Zeichnung durch die Fläche $v\,m_1\,s\,m\,v$ begrenzt ift, find die Wölbkränze o bis 4 angenommen.

Fig. 283.



Der gröfste Meridianſtreifen iſt p, l mit der Symmetrieebene $m\,l$. Sein Winkel φ iſt mittels des rechtwinkeligen Dreieckes $o\,n\,m$ durch

$$\operatorname{tg}\frac{\varphi}{2} = \frac{o\,n}{n\,m} = \frac{0{,}275}{5} = 0{,}055,$$

d. h. $\frac{\varphi}{2} = 3^0\,10'$ und $\varphi = 6^0\,20'$ gefunden.

Die ſtatiſche Unterſuchung dieſes Meridianſtreifens iſt in den Plänen H und P für 5 Wölbſteine nach der Grundriſsprojektion $o\,5$ und der lotrechten Projektion E in vergröfsertem Mafsſtabe ausgeführt.

Um die Strecken für den Rauminhalt, bezw. für die Gewichte der Kranzſteine, welche nur $0{,}12^{\,m}$ Höhe beſitzen, ohne eine beſonders groſse Zeichnung anzufertigen, doch in einer Gröfse darzuſtellen, welche zur ſcharfen graphoſtatiſchen Behandlung geeignet iſt, kann man die in Art. 130 (S. 223) näher angegebene Beſtimmung ſolcher Strecken noch mit einer weiteren, beliebig gewählten Vergröfserung in einfacher Weiſe durch Zeichnung verſehen.

Benutzt man zum Zwecke der Vergröfserung jener Strecken eine beſondere Grundlinie $z\,y$ kleiner als $1^{\,m}$, alſo ſtatt der in Art. 130 (S. 224) in Fig. 196 gezeichneten Strecke $z\,o$ gleich $1^{\,m}$, eine weit kleinere Strecke $z\,y = \frac{1}{n}$ Met., ſo entſteht nach Gleichung 135 (S. 223) $\frac{x}{1} = \frac{w}{d}$ nunmehr in Rückſicht auf die Strecke $z\,y = \frac{1}{n}$ Met., weiter der Ausdruck $\frac{x}{\frac{1}{n}} = \frac{w}{d}$, woraus $w = n\,x\,d$ folgt. Hiernach wird w in n-facher Vergröfserung erhalten. Im Plane H iſt $z\,y = 0{,}25^{\,m} = \frac{1}{4}^{\,m}$ gewählt. Da $n = 4$ iſt, ſo wird w ſofort 4fach vergröfsert dargeſtellt.

Da endlich die Baſis $B = 0{,}1 = \frac{1}{10}^{\,m}$ angenommen wurde, ſo iſt im ganzen durch $\frac{1}{n}B = \frac{1}{4}\cdot\frac{1}{10} = \frac{1}{40}$ eine 40fache Vergröfserung der Strecke für die Rauminhalte der Kranzſteine in der Zeichnung gewonnen.

Im übrigen iſt die Beſtimmung der Rauminhalte, bezw. der Gewichte dieſer Steinkörper nach den in Art. 130 (S. 223) gemachten Angaben getroffen.

Soll nun der Rauminhalt v, z. B. des Wölbſteines 3, zahlenmäſsig ausgedrückt werden, ſo iſt die zugehörige Strecke $2\,3$ im Inhalts- oder Gewichtsplane zu meſſen. Ihre Länge beträgt $0{,}15^{\,m}$. Hiernach iſt unter Berückſichtigung der 40fachen Vergröfserung der Inhalt

$$v = 0{,}15\cdot\frac{1}{40}^{\,cbm} = 0{,}00375^{\,cbm}.$$

Aus dem Grundriſs P des Meridianſtreifens ergiebt ſich für den Stein 3 durch Meſſung eine mittlere Dicke, welche durch den Weg ſeines Schwerpunktes innerhalb des Streifens beſtimmt iſt, zu $0{,}125^{\,m}$; ſeine Querſchnittsfläche wird nach dem Plane H zu $0{,}12\cdot 0{,}25^{\,qm} = 0{,}03^{\,qm}$ gefunden; folglich iſt ſein Inhalt $v = 0{,}03\cdot 0{,}125^{\,cbm} = 0{,}00375^{\,cbm}$, wie vorhin. Wiegt $1^{\,cbm}$ Wölbmaterial, z. B. Backſtein, $1600^{\,kg}$, ſo iſt das Gewicht des Steines 3 gleich $0{,}00375\cdot 1600^{\,kg} = 6^{\,kg}$.

In Uebereinſtimmung mit dem in Art. 196 bis 202 (S. 320 bis 327) Geſagten iſt unter Benutzung des Gewichtsplanes B die Stabilitätsunterſuchung des Meridianſtreifens $o\,5$ im Plane H auf graphiſchem Wege ausgeführt.

Für den erſten Stein trifft die Gewichtslinie 1 die durch o geführte Wagrechte im Punkte β. Der Strahl βf, parallel mit dem Schenkel $1\,a$ des für die Fuge 1 in Rückſicht auf Gleiten feſtgelegten Winkels $11\,a = 90 - \rho = \sigma$ durch β gezogen, ſchneidet die Fuge 1. Zieht man im Plane H den Strahl $1\,a$ parallel zu βf, bezw. parallel zum Schenkel $1\,a$ des Winkels $11\,a$, ſo erhält man in der Strecke $a\,o$ des Planes a die Mittelkraft der Seitenpreſſungen des erſten Kranzſteines und in $a\,1$ den Druck auf die Lagerfläche 1. Die Kraftrichtung βf ſchneidet die Gewichtslinie 2 im Punkte f.

Ein Strahl $f\gamma$, parallel zur Mittelkraft $a\,2$ der Kräfte $a\,o$ und $o\,2$ geführt, liefert auf der durch 1 gezogenen Wagrechten den Punkt γ. Eine Linie γg parallel zum Schenkel $2\,b$ des für die Fuge 2 gezeichneten Winkels $2\,2\,b$ genommen, trifft wiederum die Fuge 2. Man kann alſo ohne weiteres auch im Plane H den Strahl $2\,b$ parallel zu γg oder, was dasſelbe iſt, parallel zum Schenkel $2\,b$ des Winkels $2\,2\,b$

ziehen, um in ba die Mittelkraft der Seitenpreſſungen des zweiten Kranzſteines und in $b2$ den Druck für die Lagerfuge 2 zu erhalten. Beim dritten Kranzſteine ſchneidet die durch g parallel zu $b3$ geführte Kraftſtrecke die durch 2 gezogene Wagrechte im Punkte δ. Der durch δ parallel zum Schenkel $3c$ des Winkels $33c$ der Fuge 3 gelegte Strahl S trifft die Fuge 3 nicht mehr. Deſshalb muſs zur Beſtimmung der Mittelkraft cb der Seitenpreſſungen des dritten Kranzſteines nach dem in Art. 199 (S. 323) behandelten dritten Falle die von δ ausgehende Kraftrichtung δh durch den tiefſten Punkt der Fuge 3 gelegt werden. Nimmt man hiernach $3c$ parallel zu δh, ſo iſt cb die geſuchte Mittelkraft der Seitenpreſſungen des dritten Kranzſteines und $c3$ der Druck in der Lagerfuge 3. Da für die Fuge 3 die Gefahr des Gleitens die Beſtimmung der bezeichneten Mittelkraft nicht mehr beeinfluſst, ſo kann auch für die Fuge 4 u. ſ. f. die Unterſuchung auf Gleiten unterbleiben. Der Strahl δh ſchneidet die Gewichtslinie 4 im Punkte h. Die durch h parallel zur Reſultierenden $c4$ der Kräfte $c3$ und 34 gezogene Gerade $h\varepsilon$ trifft die durch 3 gelegte Wagrechte in ε. Von ε aus braucht man nur einen Strahl εi durch den tiefſten Punkt der Fuge 4 zu legen, im Plane H durch 4 eine Parallele zu εi zu ziehen, um in der Strecke dc die Mittelkraft der Seitenpreſſungen des vierten Kranzſteines und in $d4$ die Preſſung in der Lagerfuge 4 zu gewinnen. Fährt man in dieſer Weiſe fort, ſo kommt man an eine Fuge, welche ohne weiteres bei genügender Gewölbſtärke nicht mehr auſserhalb, ſondern innerhalb ihrer Begrenzungspunkte von den Mittelkräften, wie ſolche in den Strahlen $c4$, $d5$ u. ſ. f. ſich ergeben, geſchnitten werden. Alsdann treten überall für die zugehörigen Kranzſteine keine Beſtimmungen von Seitenpreſſungen mehr ein. Durch einfache Zuſammenſetzung der für die noch folgenden Fugen in Frage kommenden Kräfte, welche im allgemeinen nicht mehr unmittelbar von dem Reibungswinkel und den Lagerkanten abhängig gemacht werden, iſt alsdann, wie ſich ſpäter bei der Unterſuchung eines gröſseren Kuppelgewölbes noch zeigen wird, die Weiterführung der Stabilitätsermittelungen in Bezug auf die Drücke in den Lagerflächen zu beſorgen.

Da nunmehr die Mittelkräfte ao, ba, cb, dc der Seitenpreſſungen der Kranzſteine für die im Wölbgebiete vm, smv der Scheitellinie liegenden Ringſchichten bekannt geworden ſind, ſo laſſen ſich dieſe Preſſungen ſelbſt wiederum durch Zeichnung, wie der Plan P kenntlich macht, leicht beſtimmen. Die Preſſungen p_1, p_2 u. ſ. f. liegen in wagrechten Ebenen und ſtehen lotrecht zu den Seitenebenen des Meridianſtreifens.

Nimmt man im Plane P die Strecke $o, a,$ gleich der wagrechten Mittelkraft ao für die Seitenpreſſungen am erſten Kranzſteine des Planes H, zieht man $o, p,$ und $a, p,$ parallel zu den lotrechten Strahlen $p,$ des Meridianſtreifens m, ſo erhält man in den Strecken $o, p,$, bezw. $p, a,$ die geſuchten Seitenpreſſungen.

Für den zweiten Kranzſtein iſt $o, b, = ba$ des Planes H. Die Strecken $o_1 p_2$, bezw. $p_2 b$ geben die Seitenpreſſungen dieſes Steines u. ſ. f. Sollten die Seitenpreſſungen, z. B. für den dritten Stein, durch Rechnung unter Benutzung der hierfür auf graphiſchem Wege gefundenen Mittelkraft cb des Planes H beſtimmt werden, ſo iſt Gleichung 150 (S. 325) anzuwenden. Man erhält hiernach

$$p_3 = \frac{cb}{\varphi}.$$

Da der Winkel φ zu $6^\circ 20'$ ermittelt war, ſo iſt die Bogenlänge φ bei einem Halbmeſſer 1 gleich $0{,}1105$. Die Strecke cb miſst $0{,}19$ Met., bezw. Kub.-Met. Hiernach wird

$$p = \frac{0{,}19}{0{,}1105} = \backsim 1{,}72 \text{ cbm}.$$

Die Zeichnung liefert $p_3 = o_1 p_3 = 1{,}75$ cbm.

Die Rauminhalte, bezw. Gewichte ſind jedoch in 40facher Vergröſserung gezeichnet; mithin iſt $p_3 = \frac{1{,}75}{40} = \backsim 0{,}044$ cbm zu ſetzen, wofür bei Backſteinmaterial ein Gewicht von $0{,}044 \cdot 1600^{\text{kg}} = 70^{\text{kg}}$ entſteht.

Setzt man die in den Kränzen des Scheitelgebietes vm, smv wirkenden Seitenpreſſungen, wie in Art. 200 (S. 326) und in der Zeichnung angegeben iſt, der Reihe nach zu Mittelkräften u, v, w, x zuſammen, ſo ergiebt ſich aus dem Plane K die Beanſpruchung des Randbogens und der Diagonalbogen durch dieſes in der Scheitelebene sv wirkende Kräfteſyſtem.

Die Vereinigung dieſes Syſtems mit den, meiſtens jedoch in geringer Gröſse auftretenden, Gewichten der Schluſssteine der früher erwähnten Lücken α liefert alsdann die in der Scheitelebene sv liegenden reſultierenden Schübe für die Rand- und Diagonalbogen.

Bei Kappen mit ſphäroidiſcher Buſung kann der im vorhergegangenen erklärte Gang der ſtatiſchen Unterſuchung beibehalten werden. Die gemeinſchaftliche lot-

rechte Achſe der Meridianebenen, welche das Zerlegen der zu unterſuchenden Kappenſtücke in ſchmale Meridianſtreifen angeben, iſt die durch den Gipfelpunkt der kugelähnlichen Kappe geführte Gerade. Der Fuſspunkt dieſer lotrechten Achſe kann auf der Kämpferebene des Gewölbes innerhalb oder auſserhalb der zugehörigen Kappe liegen; für das Zerlegen dieſer ſphäroidiſchen Kappen bleiben die in Art. 203 (S. 329) für Kugelkappen angegebenen Maſsnahmen beſtehen.

In gleicher Weiſe iſt auch die ſtatiſche Unterſuchung der Kappen bei den flachen Kreuzgewölben, den Stern- und Netzgewölben, gleichgültig, ob dieſelben nach reinen Kugelflächen oder nach ſphäroidiſchen Flächen geſtaltet ſind, zu führen.

204. Stärke der Kappen.

Die Stärke der Gewölbkappen kann für die Praxis nach der Gröſse der Preſſungen, welche auf die Stoſs-, bezw. Lagerflächen der Wölbkränze gelangen, berechnet werden.

Wie aus der ſtatiſchen Unterſuchung des oberen Teiles eines Meridianſtreifens im Plane H in Fig. 283 hervorgeht, ſind für die Beſtimmung der Gewölbſtärke eines Kranzes, bei möglichſt ſtrengem Verfahren, die Abmeſſungen eines Kranzſteines zu berechnen, einmal in Rückſicht auf die normalen Preſſungen der Seitenflächen und ſodann in Bezug auf den Druck ſeiner Lagerfläche. Da es an einer genauen Bekanntſchaft von der wirklich ſtattfindenden Druckverteilung am gepreſsten Steine und der entſtehenden Formänderung desſelben mangelt, iſt die bereits in Art. 17 (S. 41) angegebene, auf Erfahrung geſtützte Grundlage für die weitere Durchführung der Rechnung in praktiſcher Beziehung zu verwerten.

Dem Weſen der ſtatiſchen Unterſuchung der buſigen Kappen der gotiſchen Kreuzgewölbe entſprechend, kann aber bei der Berechnung der Gewölbſtärke nicht, wie bei den cylindriſchen Gewölben, von einem möglich kleinſten Werte eines Horizontalſchubes in einer oberen Scheitelfuge, welcher bei Kuppelgewölben ſogar gleich Null iſt, ſondern nur von der Gröſse der normalen Preſſungen, welche die Stoſs-, bezw. Lagerflächen eines Kranzſteines beeinfluſſen, füglich die Rede ſein. Deshalb kann man für die Praxis die Gewölbſtärke nach den für Normaldruck ermittelten Gleichungen 51, bezw. 52 (S. 46) bei der Wölbung aus Quadern, ſowie nach den Gleichungen 53, bezw. 54 (S. 47) bei Backſteinmaterial von guter Beſchaffenheit beſtimmen. Hierbei hat man, da die Gewölbſtärke in den meiſten Fällen für alle Kranzſchichten gleich groſs genommen wird, den Normaldruck zu ermitteln, welcher auf die Fuſsfläche des gröſsten Meridianſtreifens einer Kappe kommt. Aber wenn auch dieſelbe Gewölbſtärke nicht durchweg für alle Wölbſchichten, vermöge etwa ſehr ſtark nach dem Fuſse des Streifens anwachſender Drücke, beibehalten werden kann, ſo iſt man mit Hilfe der ſtatiſchen Unterſuchung und der erwähnten Gleichungen doch ſtets in der Lage, für irgend eine Kranzſchicht die Gewölbſtärke ausfindig zu machen.

205. Beiſpiel.

Beiſpiel. So iſt in Fig. 283 (S. 332) für den Stein β im Plane H eine normale Preſſung $f_\beta = 0{,}044$ cbm gefunden. Die Breite der Kranzſchicht iſt bei der Teilung des Meridianſtreifens $o5$ zu $0{,}25$ m angenommen; mithin muſs, um die für den Normaldruck bei einer Tiefe gleich 1 m entwickelten Gleichungen benutzen zu können, der Normaldruck für die Stoſsflächen des Steines β berechnet werden als

$$N_\beta = \frac{f_\beta \cdot 1}{0{,}25} = \frac{0{,}044 \cdot 1}{0{,}25} = 0{,}176 \text{ cbm}.$$

Setzt man dieſen Wert in Gleichung 53 (S. 47) für N, ſo ergiebt ſich bei Backſteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 0{,}176)\,0{,}176} = 0{,}065 \text{ m};$$

d. h. gleich einer Backſteindicke. In der Zeichnung iſt in Rückſicht auf eine gröſsere Normalpreſſung am Fuſse des gröſsten Meridianſtreifens die Kranzſtärke gleich $0{,}12^{\,m}$, gleich einer Backſteinbreite, genommen.

Der Druck c_3 für die untere Lagerfläche des Steines 3 ergiebt ſich, unter Berückſichtigung der 40fachen Vergröſserung der Kraftſtrecke $c3$, im Plane H zu $\frac{0{,}475}{40} = \backsim 0{,}012^{\,cbm}$.

Nach dem Grundriſs m des Meridianſtreifens iſt die Tiefe der unteren Lagerfläche gleich $0{,}15^{\,m}$. Die aus c_3 für dieſe Fläche entſtehende normale Seitenkraft iſt etwas kleiner als c_3, möge aber hier gleich der Strecke c_3 geſetzt werden.

Hier wird der in Rechnung zu ſtellende Normaldruck für eine Tiefe gleich $1^{\,m}$

$$N = \frac{0{,}012 \cdot 1}{0{,}15} = 0{,}08^{\,cbm},$$

alſo kleiner, als der vorhin für die Stoſsflächen berechnete Wert N_3. In dieſem Falle iſt der Wert für N bei der Berechnung der Gewölbſtärke auſser Acht zu laſſen.

Umgekehrt aber iſt bei Kranzſchichten, deren Normalpreſſungen in den Stoſsflächen, die ſelbſt den Wert Null annehmen können, kleinere Gewölbſtärken ergeben, als der Normaldruck der Lagerflächen fordert, der letztere zu berückſichtigen.

Hat das Gewölbe auſser ſeinem Eigengewicht noch eine Uebermauerung oder eine ſonſtige ruhende Belaſtung aufzunehmen, ſo iſt dieſe Ueberlaſt, auf das Gewicht des Wölbmaterials in bekannter Weiſe zurückgeführt und bei der Streifenteilung des Meridianſtreifens entſprechend berückſichtigt, bei der ſtatiſchen Unterſuchung ebenſo zu behandeln, wie früher bei den belaſteten cylindriſchen Gewölben gezeigt wurde.

206. Empiriſche Regeln.

Im allgemeinen bedürfen die unbelaſteten buſigen Kappen der gotiſchen Kreuzgewölbe nur einer geringen Stärke. Bei der groſsen Mannigfaltigkeit in der Geſtaltung dieſer Gewölbe ſind empiriſche Regeln, welche alle Fälle der verſchiedenen Gewölbanlagen umfaſſen ſollten, für die Feſtſtellung der Kappenſtärke von keinem Werte.

Hat das Rippen- und Kappenſyſtem in konſtruktiver Beziehung eine richtige, ungekünſtelte Anordnung erfahren, ſo können bei der Verwendung von gutem Backſteinmaterial, welches jetzt vorzugsweiſe zur Wölbung der Kappen benutzt wird, ſorgfältige Ausführung und guter Mörtel vorausgeſetzt, unbelaſtete buſige Kappen bis rund $10^{\,m}$ Spannweite mit $12^{\,cm}$, d. h. $\frac{1}{2}$ Backſtein Stärke angenommen werden.

Erfolgt die Wölbung mit geeignetem natürlichem Steinmaterial, ſo beträgt die Kappenſtärke in der Regel nicht unter $20^{\,cm}$, welche ausnahmsweiſe bei ausgezeichnetem Material wohl bis zu $10^{\,cm}$ herabſinkt. Bei belaſteten Kappen ſind die angegebenen Stärken zu vergröſsern. Den beſten Aufſchluſs über die anzunehmende Gewölbſtärke wird man immer durch die ohne groſse Mühe auszuführende ſtatiſche Unterſuchung der Kappen erhalten.

β) Stabilität der Gewölbrippen.

207. Gewölbrippen.

Die Rippenkörper der gotiſchen Kreuzgewölbe ſind in den meiſten Fällen Beſtandteile cylindriſcher Gewölbe, deren Bogenlinie, abgeſehen von einem Halbkreiſe oder einem Korbbogen, am häufigſten als Spitzbogen mit Kreisbogenſchenkeln angenommen wird. Liegen die Leitlinien der Schenkel des Spitzbogens in einer und derſelben lotrechten Ebene und iſt die Belaſtung beider Bogenſchenkel dieſelbe, ſo bildet der Rippenkörper ein cylindriſches, ſymmetriſch geformtes und ſymmetriſch belaſtetes Gewölbſtück. Ebenſo können auch Rippenkörper in beſonderen Fällen als einſchenkelige Teile eines Spitzbogens und ſomit als einhüftige oder anſteigende Bogen auftreten. Wie nun auch an ſich Form, Anordnung und Belaſtung der Rippenkörper ſein mögen, ſtets ſind für ihre ſtatiſche Unterſuchung die für die

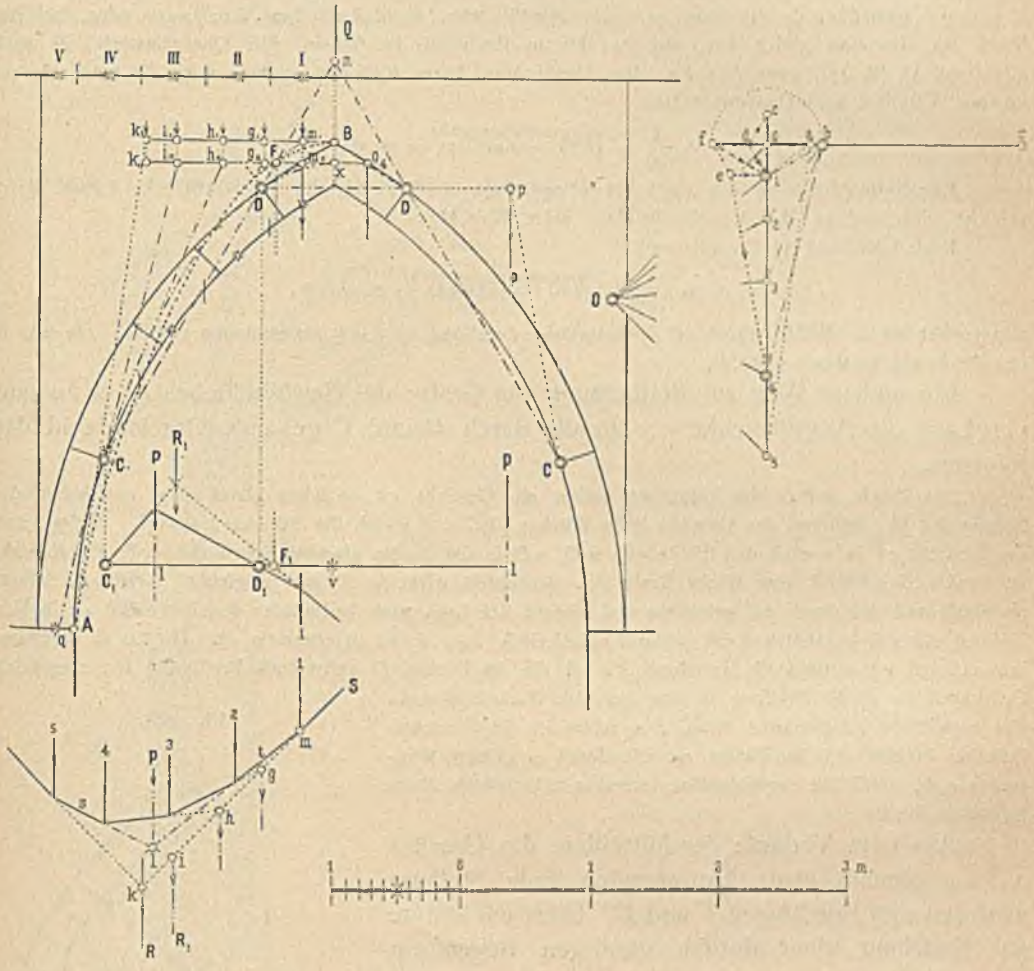
Ermittelung des Gleichgewichtes cylindrifcher Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtfchnur zu nehmen.

208. Spitzbogengewölbe.

Für die Stabilitätsunterfuchung eines fymmetrifch geformten und fymmetrifch belafteten Spitzbogengewölbes ift Fig. 284 als Beifpiel in Betracht gezogen.

Die Tiefe des Gewölbes fei gleich 1 m. Nach bekannter Zerlegung in Teilftreifen *I*, *II* u. f. f. und Beftimmung der Gewichte $o1$, 12 u. f. f. diefer prismatifchen Teilkörper unter Benutzung der Reduktionsbafis $oz = 2$ m, ift unter Annahme eines möglich kleinften, durch den höchften Punkt *B* der gedachten Scheitelfuge des Gewölbes wagrecht gehenden Gewölbfchubes für die Gewölbhälfte *BA* eine

Fig. 284.



Mittellinie des Druckes für die Punkte *B* und den vorderen Punkt *A* der Widerlagsfuge gezeichnet. Diefelbe verläfst jedoch die Stirnfläche des Gewölbes oberhalb der Rückenlinie und unterhalb der inneren Wölblinie; fie kennzeichnet in den Punkten *D* und *C* zwei Bruchfugen, und folglich ift der für diefe vorläufige Mittellinie des Druckes ermittelte Horizontalfchub ao noch nicht fähig, den Gleichgewichtszuftand im Wölbfyftem herzuftellen.

Hiernach tritt die Aufgabe heran, eine Mittellinie des Druckes zu finden, welche, mit einem gröfseren Horizontalfchube behaftet, durch die Punkte *D* und *C* geht und dementfprechend eine tiefere Lage des Angriffspunktes x in der gedachten Scheitelfuge für den neuen Gewölbfchub bedingt.

Zur Auffindung diefer Drucklinie und der Lage des Punktes x kann man das in Art. 27 (S. 68) Gegebene benutzen. Hiernach erhält man in der durch *C* und *D* geführten Geraden Cn die Polarachfe und im Plane C, l unter Verwertung des Seilpolygons *S* in F_1 die wagrechte Projektion des Fixpunktes F,

welcher für die Polarachſe Cn in Frage kommt. Durch den Punkt F muſs alſo der Strahl des Seilpolygons $o_1 i_{,,} C$ mit der Reſultierenden $R_{,} = o\,4$ des Gewichtsplanes gehen. Der durch F zu legende Strahl hat aber vermöge der gleichen Form und Belaſtung der Gewölbſchenkel die wagrechte Lage. Der Schnitt x dieſer durch F geführten Wagrechten mit der gedachten Scheitelfuge B giebt den Angriffspunkt des geſuchten neuen Gewölbſchubes $b\,o$, welcher in ſeiner Gröſse auf bekanntem Wege als Strecke $b\,o$ mittels des parallel zu $Ci_{,,}$ durch 4 gezogenen Strahles $4\,b$ erhalten wird. Die mit dem Gewölbſchube $b\,o$ gezeichnete Drucklinie $x\,D\,Cq$ verbleibt ganz innerhalb der Stirnfläche $A\,B$; mithin iſt der Gewölbſchub $b\,o$ die nunmehr möglich kleinſte Horizontalkraft, welche nötig und fähig iſt, den Gleichgewichtszuſtand gegen Drehung im Gewölbſyſtem aufrecht zu erhalten. Da eine Gefahr des Gleitens der Steine auf den Fugen nicht bekundet wird, ſo iſt die Stabilitätsunterſuchung abgeſchloſſen.

Für die Stärke des Gewölbes iſt zunächſt die Gröſse des Schubes $b\,o$ zu berückſichtigen. Es iſt $b\,o = 0{,}47^{\,\mathrm{m}}$ gemeſſen; da die Baſis $o\,z = 2^{\,\mathrm{m}}$ gewählt war, ſo iſt $b\,o = 0{,}47 \,.\, 2 = 0{,}94^{\,\mathrm{qm}}$ oder, bei der Tiefe des Gewölbes gleich $1^{\,\mathrm{m}}$, mit $0{,}94^{\,\mathrm{cbm}}$ in Rechnung zu ſtellen. Für Quadermaterial iſt nach Gleichung 45 (S. 45), wenn $H = b\,o = 0{,}94$ Quadr.-Met., bezw. Kub.-Met. geſetzt wird, die ſenkrecht zur inneren Wölblinie anzunehmende Stärke

$$d = \frac{1}{60}\sqrt{(180 - 0{,}94)\,0{,}94} = \backsim 0{,}22^{\,\mathrm{m}}.$$

Der Normaldruck für die wagrechte Kämpferfuge A iſt gleich der Gewichtsſtrecke $o\,5$ mal Baſiszahl $o\,z$, d. h. $= 2{,}425 \,.\, 2 = 4{,}85$ Quadr.-Met., bezw. Kub.-Met.

Nach Gleichung 51 (S. 46) wird

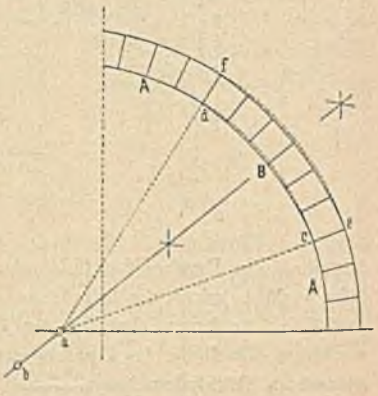
$$d_1 = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 4{,}85)\,4{,}85} = \backsim 0{,}28^{\,\mathrm{m}},$$

alſo gröſser als d. Mithin würde die Gewölbſtärke durchweg zu $0{,}28^{\,\mathrm{m}}$ angenommen werden. Sie war in der Zeichnung zu $0{,}30^{\,\mathrm{m}}$ gewählt.

Ein anderer Weg zur Beſtimmung der Gröſse des Gewölbſchubes $f\,o = b\,o$ und der Lage des Angriffspunktes x für die durch D und C gehende Drucklinie iſt der folgende.

Das Stück DBD des Gewölbes beſitzt ein Gewicht $c\,1$, welches gleich dem zweifachen der Strecke $o\,1$ iſt, während das Gewicht jedes Stückes $D\,C = P$ gleich der Strecke $1\,4$ wird. Zerlegt man das Gewicht $c\,1$ in n nach den Richtungen $n\,D$, $n\,D$ in die beiden gleichen Seitenkräfte $c\,d$, $d\,1$, ſo wirkt im Punkte D zunächſt eine ſolche Kraft $d\,1$. Aufserdem wirkt in D eine wagrechte Kraft $e\,1$, welche als Seitenkraft der durch $p\,C$ gehenden und hiermit der Lage nach beſtimmten Reſultierenden $e\,4$ in Verbindung mit der bekannten Kraft P im Kräftedreieck $1\,4\,e$ ſofort zu ermitteln iſt. Die in D wirkſame, aus $d\,1$ und $e\,1$ entſtehende Mittelkraft $f\,1$ iſt die im Punkte D auftretende Preſſung. Die wagrechte Seitenkraft $f\,o$ dieſer Preſſung iſt der geſuchte Horizontalſchub. Der parallel zu $f\,1$ gezogene Strahl $D\,o_4$ ſchneidet die Gewichtslinie des Stückes $B\,D$ im Punkte o_4. Die durch o_4 gelegte Wagrechte $o_4\,k_{,,}$ trifft die angenommene lotrechte Scheitelfuge B im geſuchten Punkte x.

Fig. 285.



Aus dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes $x\,D\,C\,q$ erkennt man ihre ziemlich ſteile Stellung zwiſchen den Bruchfugen C und D. Hiernach könnte zur Erzielung einer ſtatiſch günſtigen Bogenform unter Umſtänden eine Umgeſtaltung des urſprünglichen Spitzbogens in einen Korbbogen derart vorgenommen werden, daſs nach den Angaben von *Viollet-le-Duc*[27]) der mittlere, überwiegende Teil B (Fig. 285) mit einem gröſseren Halbmeſſer $b\,B$ beſchrieben würde, als die oberen und unteren kürzeren Bogenſtücke A, deren gemeinſchaftlicher Mittelpunkt in a liegt.

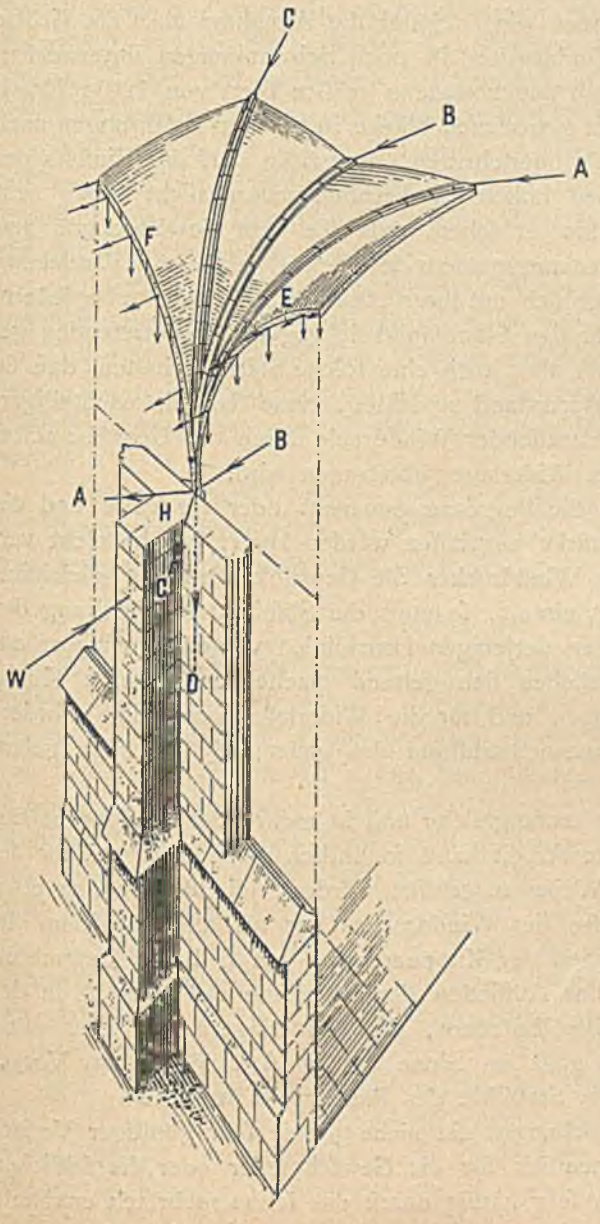
209. Statiſche Unterſuchung.

Iſt das geſamte Rippenſyſtem eines gotiſchen Kreuzgewölbes planmäſsig feſtgelegt, iſt die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

[27]) Siehe: Viollet-le-Duc. *Dictionnaire raiſonné de l'architecture françaiſe etc.* Band 4. Paris 1866. S. 29.

zufällige Belaſtung des Gewölbes beſtimmt, ſo ſind zunächſt, den in Art. 196 (S. 320) unter *a* gegebenen Entwickelungen entſprechend, die von den Gewölbkappen auf die einzelnen Rippenkörper gelangenden Gewichte und Preſſungen zu ermitteln. Sodann ſind die hieraus reſultierenden Kräfte als äuſsere angreifende Kräfte für den Rippenkörper feſtzuſtellen, und endlich iſt unter Berückſichtigung des Eigengewichtes, einſchlieſslich einer vielleicht vorhandenen beſonderen Belaſtung der Rippen, die eigentliche ſtatiſche Unterſuchung des Rippenſyſtems auch unter Beobachtung der gewählten Spitzbogenform doch ihrem Weſen nach ganz in der Weiſe durchzuführen, wie in Art. 134 (S. 235) u. 135 (S. 237) bei der Unterſuchung der Stabilität der Gratbogen cylindriſcher Kreuzgewölbe eingehend angegeben und durch Beiſpiele erklärt iſt.

Fig. 286.



215. Stärke der Rippen.

Ebenſo iſt nach der Beſtimmung des für den Rippenbogen entſtehenden Horizontalſchubes, bezw. Normaldruckes, unter Anwendung der Gleichungen 45 u. 51 (S. 45 u. 46), bezw. der Gleichungen 48 u. 53 (S. 46 u. 47) die Stärke der Rippen bei Anwendung von Quadermaterial oder von Backſteinen zu berechnen.

217. Winddruck.

Unter beſonderen baulichen Verhältniſſen kann aber für die Standfähigkeit der Gewölbrippen oder auch des geſamten Gewölbſyſtems ein ſtarker Winddruck, welcher auf die Flächen der ſeitlichen Begrenzungen der Gewölbanlage gelangt, von nachteiliger Wirkung ſein. Beſtimmt man nach Anleitung von Fig. 286 für die Kappengebiete *E* und *F* mit ihrer Gurtrippe *B* und ihren Diagonalrippen *A* und *C* die für eine zugehörige ſeitliche Begrenzungsfläche in Betracht kommenden Gewölbſchübe, ſo läſst ſich für dieſe den Widerlagskörper *H* des Gewölbes angreifenden Kräfte an ſich ein ſtandfähiges Widerlager ſchaffen. Wirkt nun aber auf dieſen Widerlagskörper von aufsen der Winddruck ein, deſſen reſultierende, winkelrecht zur Seitenfläche des Widerlagers gerichtete Preſſung *W* die aus den Gewölbſchüben entſtehende Mittelkraft an

Gröfse übertrifft, fo wird diefer Ueberfchufs des Winddruckes das Gewölbe in Mitleidenfchaft ziehen und, durch dasfelbe fliefsend, fowohl ein etwa vorhandenes Pfeiler- oder Säulenfyftem, wie auch fchliefslich die andere feitliche Aufsenmauer des Gewölbgebietes befonders beanfpruchen. Während diefes Vorganges erleiden auch die für die Rippen früher ohne Berückfichtigung des Winddruckes etwa gezeichneten Mittellinien des Druckes eine Veränderung, deren gewiffenhafte Beftimmung erft Aufffchlufs über die notwendige Stärke diefer Gewölbteile zu geben vermag. Mit diefen Veränderungen der Drucklinien in den Rippen ftehen wiederum Veränderungen in den Kappen und im Stützengebilde der Gewölbanlage in innigem Zufammenhange. Eine durchweg fcharfe und genaue Ermittelung diefer fämtlichen Veränderungen ift aber mit fo grofsen Schwierigkeiten verknüpft, dafs man nur durch Näherung einigen Aufffchlufs über die erwähnten Einflüffe des Winddruckes auf das Wölbfyftem gewinnen wird. Selbft die Annahme über die Gröfse des in Rechnung zu ftellenden Winddruckes ift noch Schwankungen unterworfen. Der in Deutfchland noch mannigfach angenommene gröfste Wert von 120 kg Druck auf 1 qm einer vom Winde fenkrecht getroffenen Fläche ift neueren Erfahrungen nach bei herrfchenden Stürmen erheblich überfchritten. Immerhin darf der Einflufs des Windes bei Gewölbanlagen zwifchen hohen Begrenzungsmauern nicht aufser acht gelaffen werden. Defshalb ift dahin zu fehen, dafs die dem Gewölbfchube und dem Winddrucke ausgefetzten Begrenzungsmauern der Gewölbanlage zur Erreichung entfprechender Sicherheit an und für fich mit ihren etwa vorhandenen Strebepfeilern, bezw. Strebebogen zunächft vollftändige Standfähigkeit gegen den antretenden gefamten Gewölbfchub befitzen, fodann aber auch eine folche Stärke erhalten, dafs fie fähig find, dem Winddruck allein Widerftand zu leiften, ohne dafs ein nachteiliger, die Gröfse des Gewölbfchubes übertreffender Winddruck durch das Gewölbe felbft auf die übrigen Gewölbftützen oder Widerlager übertragen wird.

Treten Fälle ein, wobei für die Begrenzungsmauern oder für diefe und die Stützen des Gewölbes nur eine Stärke zugelaffen werden kann, welche nicht verhindert, dafs der Ueberfchufs des Winddruckes die Gewölbkonftruktion gleichfam für fich als Laufbahn in Anfpruch nimmt, fo mufs die Stabilitätsunterfuchung der ganzen Anlage durch das Aufffuchen derjenigen Drucklinien vorgenommen werden, welche nach Ermittelung der fämtlichen fich geltend machenden äufseren Kräfte für die Gewölbrippen, Gewölbkappen und für die Widerlagskörper den erforderlichen Aufffchlufs über den Gleichgewichtszuftand des ganzen Syftemes zu geben vermögen.

Die hierzu erforderliche, fehr umfangreiche und in mehr oder weniger hohem Grade doch mit Mängeln behaftete Arbeit kann wefentlich vereinfacht und für die Praxis genügend in abgekürzter Weife ausgeführt werden, fobald man den etwa vorhandenen Ueberfchufs der Gröfse des Winddruckes nur als allein wirkfam für den Gurtbogen B (Fig. 286) zwifchen der Kappengruppe von E bis F betrachtet. Nach diefer Annahme läfst fich das Auffinden der Mittellinie des Druckes in der Gurtrippe B, den vorhandenen Gewölbpfeilern, den Widerlagern mit oder ohne Strebepfeilern, bezw. Strebebogen ganz im Sinne des in Art. 28 (S. 73) Vorgetragenen bewirken und hiernach die Stabilität des Baukörpers beurteilen.

Stellt fich bei diefen Unterfuchungen ein nicht gerade fehr günftiger Verlauf der Mittellinien des Druckes, namentlich für die Gewölbpfeiler oder die feitlichen Widerlager, heraus, fo kann man fehr häufig durch das fchon mehrfach erwähnte

Mittel einer geeigneten Uebermauerung des Gurtbogens B, unter Beachtung des in Art. 24 (S. 57) Gefagten, einen fachgemäfsen Verlauf der in Frage kommenden Drucklinien herbeiführen und danach befondere Vorteile für eine geficherte Standfähigkeit der einzelnen Bauteile erzielen.

212. Empirifche Regeln.

Die äufserft mannigfaltig in gröfster Anzahl ausgeführten gotifchen Kreuzgewölbe zeigen hinfichtlich der Abmeffungen der Rippenquerfchnitte fo grofse Verfchiedenheiten, dafs das Aufftellen empirifcher Regeln für die Beftimmung der Stärke der Gewölbrippen zwecklos erfcheinen mufs. Schon die aus architektonifchen Bedingungen hervorgehende Profilierung der Rippen veranlafst häufig einen weit gröfseren Rippenquerfchnitt, als die Preffungen erfordern, welche in Abhängigkeit von einem günftigen Verlaufe der Drucklinien im Rippenkörper entftehen.

Nimmt man zunächft eine gewiffenhaft durchgeführte ftatifche Unterfuchung der Gewölbrippen vor und beftimmt man hiernach, wie in Art. 20 (S. 53), bezw. Art. 134 (S. 235) u. 135 (S. 237) in den Grundlagen angegeben wurde, die Stärke der Rippen, fo läfst fich fchliefslich, bei Vermeidung einer Herabminderung des berechneten Rippenquerfchnittes, die geplante Profilierung desfelben vornehmen.

Oft ergiebt eine folche Unterfuchung allerdings auch fo geringe Querfchnittsgröfsen, dafs die praktifche Ausführbarkeit der Rippen gröfsere Abmeffungen erforderlich macht. Immerhin follte diefe ftatifche Unterfuchung nicht ohne weiteres von der Hand gewiefen werden.

Rippen aus Quadern erhalten bei Gewölben mit rund 10 m Diagonallänge wohl ungefähr eine Breite von 18, 20 bis 25 cm und, einfchliefslich des Rückenanfatzes, eine Höhe von 25, 30 bis 36 cm. Rippen aus Backfteinen oder befonderen, kleineren oder gröfseren Formfteinen können bei Gewölben mit gleicher Diagonalweite etwa 1 bis 1 ½ Stein breit und mit dem Rückenanfatze 1 ½ bis 2 Stein hoch genommen werden.

Kleinere Gewölbe zeigen mehrfach ziemlich geringe Rippenquerfchnitte mit 9 cm Breite und 15 cm Höhe ohne Rückenanfatz. Diefe Abmeffungen dürften felten noch eine weitere Verminderung erfahren.

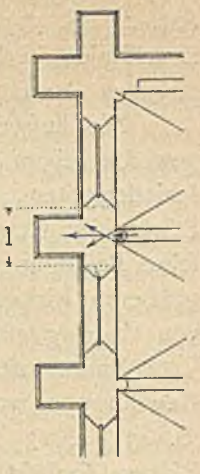
γ) Stabilität der Widerlager.

213. Widerlager ohne Strebebogen.

Werden die Umfangsmauern, die hauptfächlichften Widerlagskörper der Anlage eines gotifchen Kreuzgewölbes, im Sinne des in Art. 179 (S. 291) Gefagten in einzelnen Stützpunkten, mögen diefelben durch Strebepfeiler an fich fchon verftärkt fein oder nicht, durch die Kräfte beanfprucht, welche mit Hilfe der im vorhergegangenen befprochenen ftatifchen Unterfuchung der Gewölbkappen und ihres Rippenfyftems ihrer Lage, Gröfse und Richtung nach bekannt werden, fo läfst fich unter Verwendung diefer Kräfte die Prüfung der Stabilität der Widerlager einleiten. Sieht man zunächft von einer befonderen Verfteifung derfelben durch Strebebogen ab, fo erfolgt die Fortführung der Stabilitätsunterfuchung und die damit im Zufammenhange ftehende Beftimmung der Stärke der Widerlager unter Anwendung der graphifchen Statik auf demfelben grundlegenden Wege, welcher in Art. 137 (S. 238) zu gleichem Zwecke beim cylindrifchen Kreuzgewölbe gekennzeichnet ift. Beim Feftftellen der Grundrifsfläche des Widerlagskörpers wird die Grundrifslänge l (Fig. 287) unter richtiger Würdigung der gefchaffenen Planlage möglichft gering gewählt, um hierdurch eine zu Gunften des Sicherheitsgrades des Stützkörpers angebahnte Verringerung feines Gewichtes in Rechnung zu ftellen. Die

Gewichtsbeſtimmung, ſowie die Darſtellung der Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper erfolgt in bekannter Weiſe. Für den Verlauf der Drucklinie iſt zu beachten, daſs zur Erzielung einer entſprechenden Sicherheit die Querſchnittsfläche des Widerlagskörpers dieſe Linie an jeder Stelle innerhalb des ſog. Kernes[28]) des Querſchnittes birgt und daſs aufserdem eine Gefahr in Rückſicht auf Gleiten ausgeſchloſſen bleibt.

Fig. 287.



214. Empiriſche Regel.

Eine hier und dort angegebene empiriſche Regel, wonach die Stärke der Widerlager zwiſchen $^1/_4$ bis $^1/_7$ der Spannweite der Gewölbe wechſelt, erſcheint, ohne eine Rückſichtnahme auf die Höhe des Widerlagers und vermöge der durch die Zahlenwerte angegebenen, weit voneinander abſtehenden Grenzen, nicht beſonders beachtenswert. Eine leicht zu bewirkende Stabilitätsunterſuchung der Widerlager befreit von den Maſsnahmen der an ſich oft unſicheren empiriſchen Regeln.

215. Widerlager mit Strebebogen.

Auf etwas anderem, nunmehr zu berückſichtigendem Wege iſt die Stabilitätsprüfung der Widerlager vorzunehmen, wenn die in Art. 180 (S. 292) erwähnten Strebe- oder Schwibbogen in Gemeinſchaft mit Strebepfeilern als beſondere Stützkonſtruktionen des eigentlichen Gewölbwiderlagers auftreten ſollen.

Das innere Weſen dieſer Stabilitätsunterſuchung ſtimmt mit dem des grundlegenden Falles der Prüfung der Standfähigkeit des gemeinſchaftlichen Widerlagers für Tonnengewölbe mit verſchiedener Spannweite und ungleich groſser Belaſtung, welcher in Art. 28 (S. 73) bereits näher behandelt iſt, überein. Der meiſtens in der Form eines einhüftigen Gewölbes erſcheinende Strebebogen ändert die Richtſchnur des Prüfungsweges nicht. Die Stabilitätsunterſuchung von einhüftigen Gewölben, welche demnach auch hier wieder Berückſichtigung finden muſs, iſt in Art. 27 (S. 68) erklärt.

Der Gang, welcher bei der ſtatiſchen Unterſuchung der Widerlager mit Strebebogen befolgt werden kann, ſoll unter Benutzung der Darſtellungen auf nebenſtehender Tafel beſprochen werden.

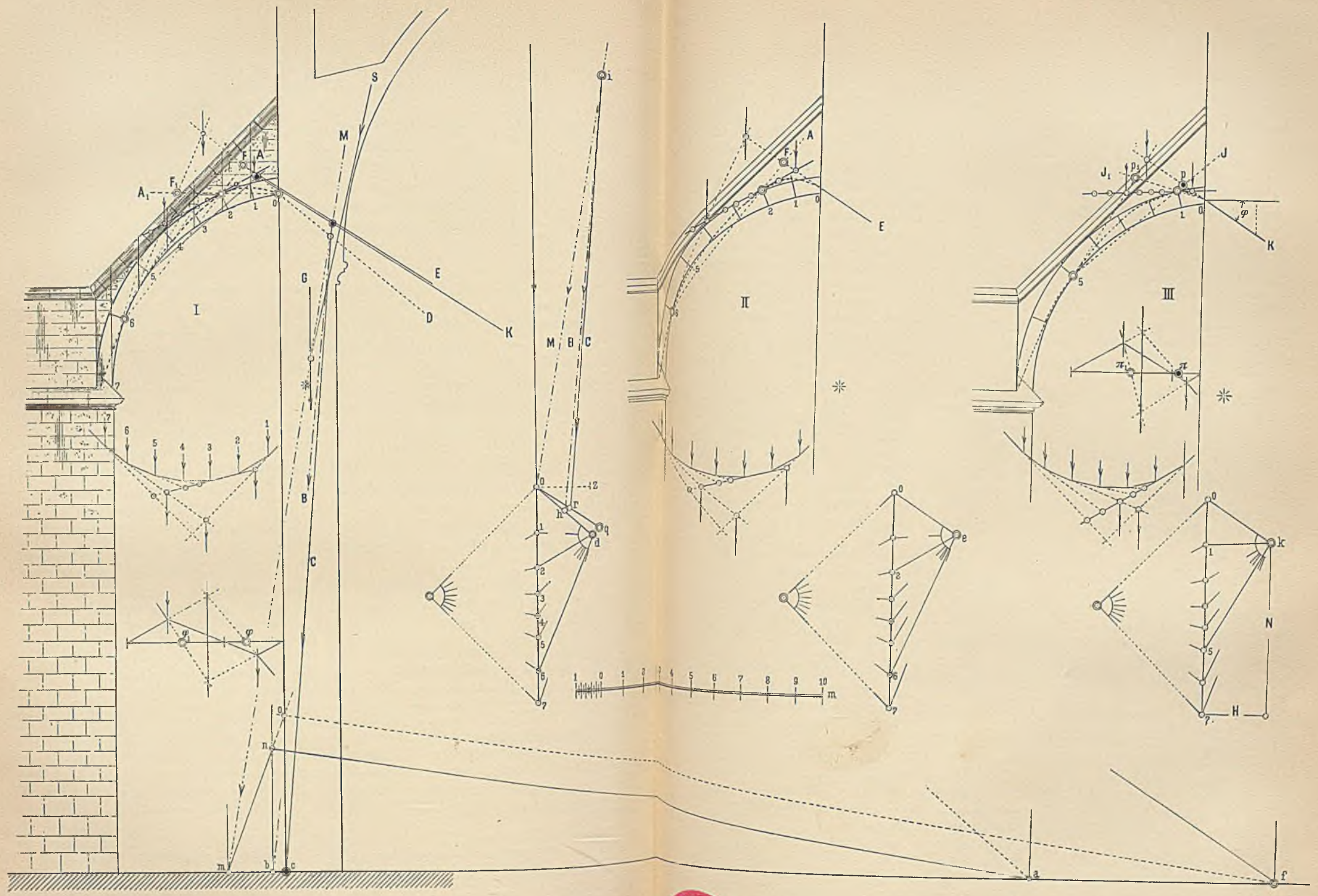
Der in der lotrechten, als Kräfteebene feſtgeſetzten Symmetrieebene des Widerlagers G und des Strebebogens $7\,o$ wirkende reſultierende Gewölbſchub S der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 209 (S. 338) Geſagten vorweg zu beſtimmen iſt, vereinigt ſich mit dem Gewichte G des in ſeiner Grundriſsfläche und Höhenentwickelung im Gewölbplane beſtimmten Widerlagskörpers zu einer Mittelkraft M. Gröſse, Lage und Richtung der letzteren bleiben unveränderlich, ſofern der Gewölbſchub S und das Gewicht G keiner Aenderung unterzogen werden. Hiernach iſt alſo der Strahl Mm, worin die Mittelkraft M wirkt, eine feſte Gerade. Schneidet, wie hier der Fall iſt, dieſer Strahl die als feſt und vollſtändig tragfähig vorausgeſetzte Fuſsebene mf der Widerlagsmauer aufserhalb ihrer Grundfläche im Punkte m, ſo wird die Kraft M den Widerlagskörper um die Kante c drehen.

Wird zur Sicherung des Widerlagers gegen Drehung ein Strebebogen $7\,o$ mit zugehörigem Strebepfeiler angeordnet, ſo können die Einflüſſe, welche dieſer Strebebogen auf das Widerlager ausübt, und umgekehrt, die Einwirkungen, welchen der Strebebogen durch den Gewölbſchub S, bezw. durch die Mittelkraft M unterworfen iſt, in geeigneter Weiſe durch Zeichnung zur Erſcheinung gebracht werden.

Zunächſt iſt die ſtatiſche Unterſuchung des Strebebogens ſelbſt vorzunehmen. Die Tiefe desſelben ſei gleich 1 m.

Unter Einführung einer beliebig gewählten Baſis $o_2 = 2$ m iſt, entſprechend den Angaben in Art. 27 (S. 68), ein Gewichtsplan $o\,7$ gezeichnet und unter Anwendung der Polarachſen $6\,A$ und $o\,A_1$ mit Hilfe der Fixpunkte F, bezw. F_1 die punktiert dargeſtellte Drucklinie ermittelt, welche einem mög-

[28]) Siehe: Teil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 112, S. 88; 3. Aufl.: Art. 128, S. 114) dieſes »Handbuches«.



Statiſche Unterſuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.

Punkt der zweiten Bruchfuge 5 zieht, und welche aufserdem einem Gewölbfchube zukommt, deffen Richtung durch den feften Punkt f der Fufsebene mf geht.

Beftimmt man auf der durch 5 und durch den höchften Punkt der Fuge 1 gelegten Polarachfe $\mathfrak{f}$ nach Art. 27 (S. 68) den Fixpunkt p mittels der Projektion π; zieht man im Plane I, nachdem auch hier die Lage des Punktes p nach Plan III eingetragen und ftark ausgeprägt wurde, durch diefen Punkt und durch f der Fufsebene mf den Strahl K: fo ift alles Notwendige vorhanden, um die zugehörige Mittellinie des Druckes im Plane III zeichnen zu können. Für diefelbe ergiebt fich alsdann noch weiter bei der Einführung der nunmehr gleichfalls näher beftimmten zweiten Polarachfe $\mathfrak{f}_1$, welche durch den Angriffspunkt der Kraft K auf der Fuge o und durch den höchften Punkt der Bruchfuge 1 gezogen werden mufs, nebft ihrem Fixpunkte p_1, deffen Projektion in π_1 ermittelt wurde, eine reichliche Zahl von Elementen, welche für die richtige Darftellung diefer Drucklinie benutzt werden können. Diefelbe bleibt noch ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens. Die Gröfse ihres Gewölbfchubes K wird im Gewichtsplane der Darftellung III als Strecke ko erhalten. Ueberträgt man ko in Lage und Gröfse nach dem Gewichtsplane der Hauptdarftellung I als qo, halbiert man, weil io die Hälfte der Kraft M angiebt, auch qo in r und zieht man den Strahl ir, fo mufs die durch den Schnitt von K mit M zu ir gezogene Parallele C genau durch den Punkt c der Kante der Widerlagsfläche gehen. Hierdurch wird bekundet, dafs der Strebebogen, fobald in ihm eine Mittellinie des Druckes verbleibt, deren Gewölbfchub die Lage K annimmt und deffen Gröfse gleich $ko = qo$ ift, fähig wird, den Grenzzuftand des Gleichgewichtes gegen Drehung um die Kante c der Grundfläche des Widerlagers herbeizuführen.

Soll der Punkt c mehr in das Innere diefer Grundfläche, z. B. bis in den nach c zu gelegenen Kernpunkt des Querfchnittes des Widerlagskörpers, gelegt und alsdann eine Prüfung dahingehend angeftellt werden, ob eine Mittellinie des Druckes mit noch gröfserem Gewölbfchub für den Strebebogen möglich ift, wobei die aus M und dem neuen Gewölbfchube entftehende Mittelkraft fich durch diefen Kernpunkt legt, fo ift die Durchführung diefer Unterfuchung, unter Ermittelung eines neuen feften Punktes, ftatt des für die Lotrechte co beftimmten Punktes f in der Ebene mf, ganz in dem Sinne des Vorgetragenen zu bewirken.

Ift in jedem einzelnen Falle die dem Gleichgewichte gegen Drehung entfprechende Mittellinie des Druckes gezeichnet, fo ift bekanntlich auch noch zu prüfen, ob diefelbe den allgemeinen Bedingungen für das Gleichgewicht gegen Gleiten entfpricht.

Namentlich kommt nach Plan III der Neigungswinkel φ der Kraft K mit der Normalen zur Anfatzfuge o des Strebebogens am Widerlager in Betracht. Da diefer Winkel die Gröfse des Reibungswinkels des anzuwendenden Materials nicht überfchreiten darf, fo mufs, wenn die an fich unveränderliche Lage des Gewölbfchubes K eine Ueberfchreitung der Gröfse diefes Reibungswinkels bekunden follte, die Anfatzfuge o in ihrer Neigung in dem Mafse abgeändert werden, dafs eine Gefahr durch Gleiten nicht mehr vorhanden ift. Für die übrigen Fugen tritt unter Umftänden gleichfalls die Prüfung auf Gleiten und eine Aenderung der Fugenrichtung zwifchen den Wölbfteinen ein.

Die Stärke des Strebebogens ift nach der Beftimmung des Schubes K mittels des leicht nach Plan III zu findenden wagrechten Gewölbfchubes H, bezw. des Normaldruckes N für die am ftärkften gepreffte Fuge auf bekanntem Wege zu berechnen.

Ebenfo macht die Stabilitätsunterfuchung des Strebepfeilers, welcher die Stütze des Strebebogens bildet, beim Bekanntfein des Schubes K keine Schwierigkeiten.

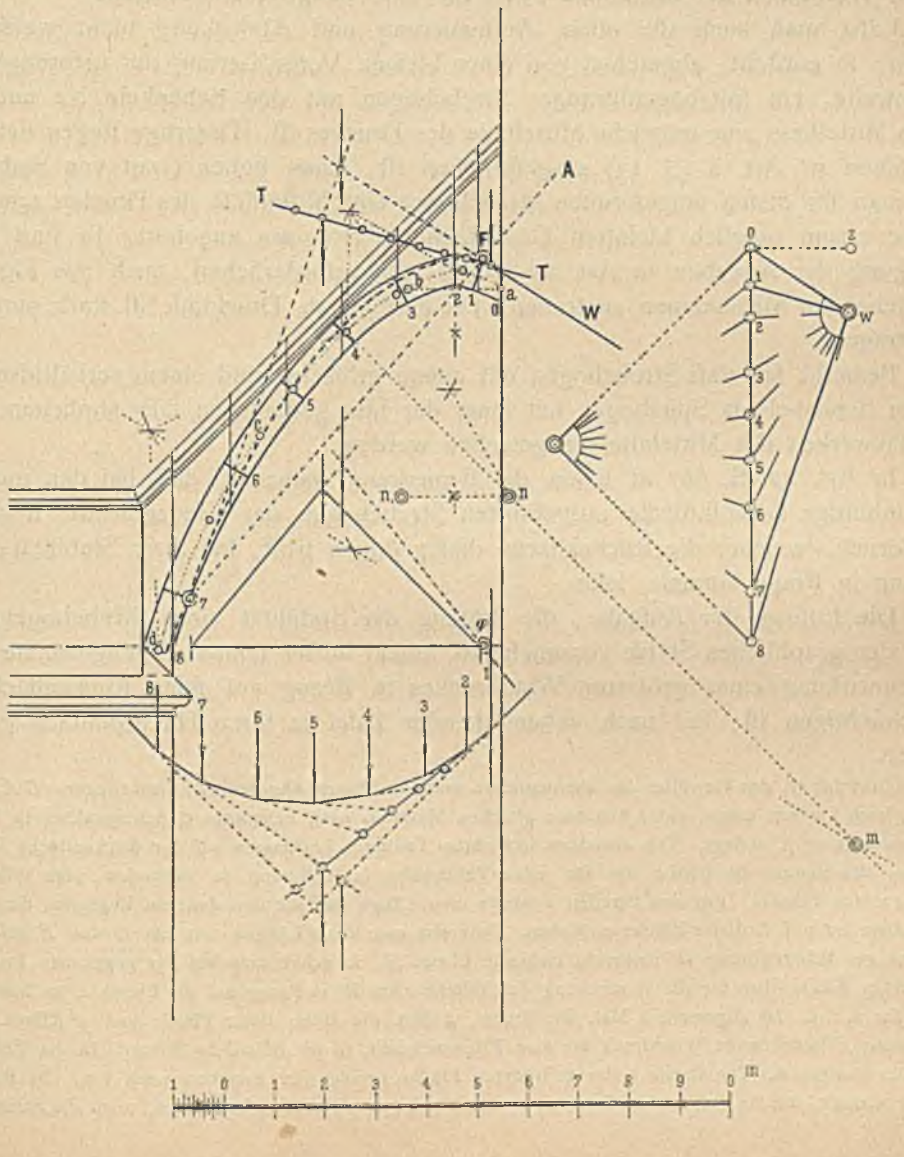
216. Anfatzhöhe der Strebebogen.

Bei der Prüfung der Einwirkungen des Strebebogens auf die Standfähigkeit des gemeinfchaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanfpruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Anfatzhöhe des Strebebogens geltend gelaffen. Man erkennt aber aus der Darftellung I auf der Tafel bei S. 342, dafs bei einem lotrechten Verfchieben des Strebebogens $o7$ an der äufseren lotrechten Seite der Widerlagsmauer, ohne eine Umgeftaltung des Strebebogens zu vollziehen, unter Umftänden auch der Gewölbfchub D, welcher, einer Minimaldrucklinie angehörend, von allen ermittelten Gewölbfchüben des Strebebogens am kleinften ift, fähig fein kann, bei feiner Zufammenfetzung mit der Kraft M eine Refultierende zu liefern, welche durch den Punkt c oder, wenn man will, auch durch einen mehr im Inneren der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkt geht. Denn würde man z. B. durch den Punkt c einen Strahl parallel zu Bb, bezw. ih ziehen, fo müfste, im allgemeinen genommen, diefer Strahl die feite Linie Mm in einem Punkte fchneiden. Legte

man durch dieſen Schnitt auf der Geraden *Mm* die Parallele zur Richtung des Schubes *D*, ſo würde dieſelbe die neue Lage des Anſatzpunktes *o* des Strebebogens am Widerlager bedingen. Im vorliegenden Plane würde der Strebebogen in ſeiner Geſamtheit höher gerückt werden. Bleibt nun bei dieſer Verſchiebung eine durch die Kräfte *S*, *G* und *D* verurſachte Drucklinie ganz in der Fläche des Widerlagskörpers, bezw. innerhalb des Gebietes der Grenzlinien der Kernflächen ſeines Querſchnittes, ſo iſt auch hierdurch die Standfähigkeit des Syſtems bekundet. Bei vielen Bauwerken der deutſchen und franzöſiſchen Gotik findet man ſehr hoch an der Widerlagsmauer angeſetzte Strebebogen.

Werden zwei übereinander liegende Strebebogen zur Abſteifung eines gemeinſchaftlichen Widerlagers angeordnet, ſo läſst ſich die zugehörige Stabilitätsunterſuchung eines ſolchen Bauſyſtems unter Anwendung der gegebenen Grundlagen ſchrittweiſe, ohne beſondere Hinderniſſe anzutreffen, ebenfalls vollziehen.

Fig. 288.



217. Umgeſtaltung der Strebebogen.

Die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 342 für den Gewölbſchub *K* konſtruierte Mittellinie des Druckes nähert ſich einer Parabel, bezw. einer Korbbogenlinie, bei welcher vom höchſten Punkte der Bruchfuge *1* aus die beiden ſeitlichen Aeſte etwas ſpitzbogenartig abfallen.

Nimmt man nach Fig. 288 dieſe Mittellinie des Druckes als Mittellinie *abcd* der Wölbfläche eines Strebebogens an und ſucht man, wie leicht geſchehen und aus der Zeichnung näher erſehen werden kann, die Mittelpunkte *m* für den Bogen von *d* durch *c* bis zur Fuge *4* und *n*, bezw. n_1, für die durch *b* und *a* gehenden Bogen, ſo läſst ſich mit groſser Genauigkeit der Linienzug *abcd* durch einen am Scheitel ſpitzbogenförmig zuſammentretenden Korbbogen erſetzen. Behält man die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 342 für den Strebebogen angenommene Stärke auch in Fig. 288 in der Weiſe bei, daſs dieſelbe je zur Hälfte ſtets normal zum Korbbogen *abcd* nach oben und unten abgetragen wird, ſo ſind die aus den bezeichneten Mittelpunkten beſchriebenen, die Wölbſtärke begrenzenden inneren und oberen Wölblinien der Mittellinie *abcd* des Strebebogens konzentriſch.

Läſst man auch die obere Aufmauerung und Abdeckung nicht weſentlich ändern, ſo entſteht, abgeſehen von einer kleinen Vergröſserung der urſprünglichen Spannweite, ein ſpitzbogenförmiger Strebebogen mit den Schenkeln *02* und *28*, deſſen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes iſt. Derartige Bogen beſitzen, wie ſchon in Art. 8 (S. 13) ausgeſprochen iſt, einen hohen Grad von Stabilität. Will man für dieſen umgeformten Strebebogen eine Mittellinie des Druckes zeichnen, welche einem möglich kleinſten Gewölbſchube $W = wo$ angehört, ſo ſind unter Befolgung der Angaben in Art. 27 (S. 68) die erforderlichen, auch aus Fig. 288 zu erſehenden Maſsnahmen zu treffen. Die entſtehende Drucklinie iſt ſtark punktiert eingetragen.

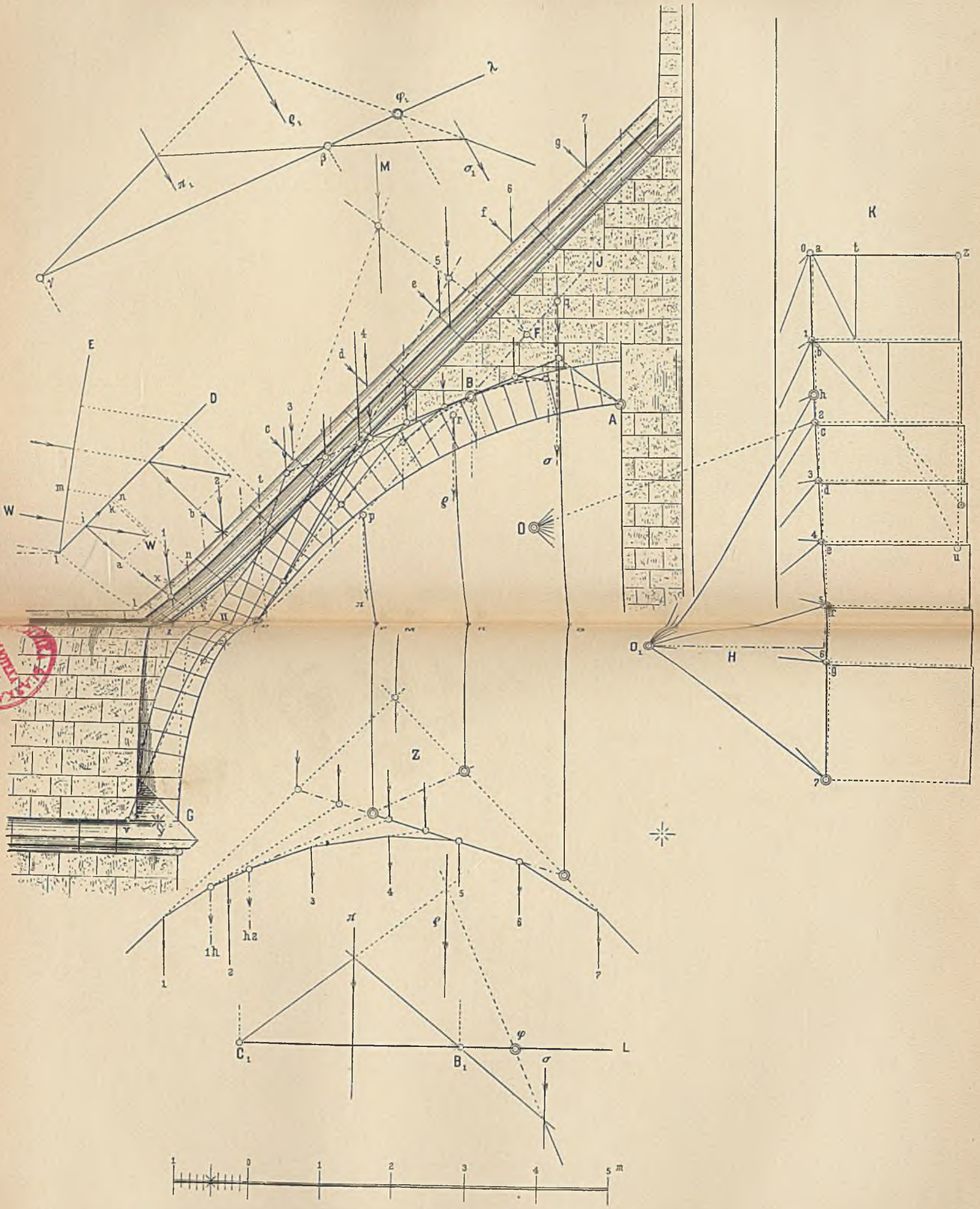
Bemerkt ſei, daſs Strebebogen mit einem gröſseren und einem verhältnismäſsig kurzen Schenkel als Spitzbogen mit einer der hier gefundenen ſehr ähnlichen Form bei Bauwerken des Mittelalters angetroffen werden.

218. Winddruck bei Strebebogen.

In Art. 27 (S. 68) iſt ſchon die Bemerkung gemacht, daſs bei den meiſtens als einhüftige Gewölbſtücke ausgeführten Strebebogen der Kreuzgewölbe noch der Winddruck, welcher die Rückenfläche dieſer Bogen trifft, bei ihrer Stabilitätsunterſuchung in Frage kommen kann.

Die Löſung der Aufgabe, die Prüfung der Stabilität eines Strebebogens mit Hilfe der graphiſchen Statik vorzunehmen, ſobald auſser ſeinem Eigengewichte noch die Einwirkung eines gröſseren Winddruckes in Bezug auf ſeine Rückenfläche zu berückſichtigen iſt, ſoll nach nebenſtehender Tafel in ihren Hauptpunkten gezeigt werden.

Zunächſt iſt das Gewölbe des übermauerten und mit Platten abgedeckten Strebebogens *GA*, deſſen Tiefe gleich 1 m ſein möge, unter Annahme gleichen Materials nach bekannten Geſichtspunkten in ſchmale Teilſtreifen, hier 7, zerlegt. Die einzelnen lotrechten Teillinien beſtimmen auf der Rückenfläche der Abdeckung des Bogens die Gröſse der für jeden Teilſtreifen in Rechnung zu ſtellenden, vom Winddruck beanſpruchten Fläche. Für den Streifen *I* würde eine Länge *1n*, für den daneben liegenden Streifen *II* eine Länge *nt* u. ſ. f. dieſer Fläche entſtehen. Projiziert man dieſe Längen, wie bei *D* und *E* geſchehen, auf eine zur Windrichtung *W* ſenkrecht ſtehende Ebene *E*, ſo erhält man bei der gegebenen Breite der gedrückten Fläche ihre für die Berechnung des Winddruckes *W* in Bezug auf die Ebene *E* zu benutzende Höhe *1m* u. ſ. f. Iſt allgemein *b* Met. die Breite, *h* Met. die Höhe dieſer Fläche und *p* Kilogr. der in der Ebene *E* herrſchende Winddruck für eine Flächeneinheit, ſo iſt $W = bhp$ Kilogr. In der Zeichnung iſt $1m = h = 0{,}90$ m. Die Breite *b* der gedrückten Fläche beträgt der Annahme nach 1 m. In Rückſicht auf die Gewalt, welche bei ſtarken Stürmen an hoch gelegenen Mauerwerkskörpern, wozu die Strebebogen



Statiſche Unterſuchung eines Strebebogens unter Berücksichtigung des Winddruckes.

meiſtens zu zählen ſind, ausgeübt wird, möge $p = 300\,\text{kg}$ für $1\,\text{qm}$ gerechnet werden. Hiernach wird $W = 1 \cdot 0{,}90 \cdot 300 = 270\,\text{kg}$. Für den Strebebogen kommt die ſenkrecht zu ſeiner Rückenebene D wirkende Seitenkraft ia in Frage[29]). Dieſelbe ergiebt ſich zu $216\,\text{kg}$.

In gleicher Weiſe ſind die Drücke b, c, d u. ſ. f. des Windes für die übrigen Teilſtreifen beſtimmt. Dieſe Drücke ſetzen ſich mit den Gewichten ihrer zugehörigen Teilſtreifen zu einzelnen Mittelkräften zuſammen. Im Kräfteplane K ſind dieſelben unter Anwendung einer Baſis $az = 2\,\text{m}$ als $o1$, 12 u. ſ. f. bis 7 zu einem Kräftepolygonzuge vereinigt.

Hierbei iſt jedoch die Länge der Kräfteſtrecken für den Winddruck, welcher in Kilogramm ausgedrückt iſt, durch die Abmeſſung x Met. Höhe eines Steinprismas darzuſtellen, welches dasſelbe Einheitsgewicht, als das Material des Strebebogens beſitzt, deſſen rechteckiger Querſchnitt eine Breite von ſtets gleich $1\,\text{m}$, ſonſt aber eine Länge gleich der gewählten Maſszahl $2\,\text{m}$ der Baſis az des Gewichtsplanes K erhält.

Wiegt $1\,\text{cbm}$ des Wölbmaterials $2400\,\text{kg}$, ſo iſt hiernach die Strecke oa des Planes K, welche die Gröſse des ſenkrecht auf der Rückenfläche des Teilſtreifens vorhandenen Winddruckes gleich $216\,\text{kg}$ angeben muſs, mittels des Ausdruckes

$$x \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2400 = 216$$

als $oa = x = 0{,}045\,\text{m}$. Die Linie oa, parallel zu ia gezogen, hat dieſe Länge erhalten. Mit derſelben wurde das Gewicht $a1$ des erſten Teilſtreifens I, deſſen Breite als at, deſſen mittlere Höhe als $xy = zu$ gegeben iſt, nach bekannter Reduktion auf die Baſis az, zu der Reſultierenden $o1$ zuſammengeſetzt. In ganz gleicher Weiſe ſind alle übrigen Teilſtreifen behandelt.

Im Plane des Strebebogens ſind die für die einzelnen Teilſtreifen aus Winddruck und Gewicht entſtehenden Mittelkräfte als 1 parallel $o1$, 2 parallel 12 u. ſ. f. ihrer richtigen Lage nach gezeichnet, und es iſt für dieſelben unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon Z feſtgelegt. Nach einer vorläufigen Prüfung über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche unter der Einwirkung der ermittelten, im allgemeinen in nicht paralleler Lage auftretenden Kräfte für den möglich kleinſten Gewölbſchub des Strebebogens entſteht, ſind in A, B und C Punkte von Bruchfugen erhalten. Dieſe können für die weitere Durchführung der graphiſch-ſtatiſchen Unterſuchung zunächſt benutzt werden.

Bei der Anwendung der ſog. Fixpunktmethode ſind entweder durch B und C oder durch B und A Polarachſen zu führen. Hier iſt durch die Punkte B und C eine Polarachſe $\mathcal{J}$ gelegt. Für das Stück AB des Strebebogens ergiebt ſich mit Hilfe des Seilpolygons Z eine reſultierende Kraft S gleich und parallel der Verbindungsgeraden 5 bis 7 im Kräfteplane K. Für das Stück CB iſt P die Reſultierende, parallel und gleich der Verbindungsgeraden h bis 5 im Plane K. Die Mittelkraft R aus P und S iſt parallel und gleich einer Geraden mit den Endpunkten h und 7 des Gewichtsplanes K. Um für die einander nicht parallelen Kräfte P und S mit ihrer Mittelkraft R ein Seilpolygon durch die gegebenen Punkte A, B und C zu legen, kann man zur Beſtimmung des Fixpunktes F auf der Polarachſe $\mathcal{J}$ das folgende Verfahren einſchlagen.

Man bringt die Strahlen P, R und S mit der Polarachſe $\mathcal{J}$ in p, r und q zum Schnitt. Zerlegt man die Kräfte P, R, S in dieſen Punkten einzeln in Seitenkräfte, in die Gerade $C\mathcal{J}$ fallend und ſonſt parallel zu einer beliebig gewählten Achſe CC_1 genommen, ſo mögen die Geraden π, ρ und σ, nunmehr einander parallel, die zuletzt genannten Seitenkräfte enthalten. Projiziert man die Punkte B gleichfalls parallel zu CC_1 auf eine beliebig von C_1 ausgehende, jedoch die Strahlen π, ρ und σ ſchneidende Achſe L, ſo läſst ſich ganz auf dem in Art. 27 (S. 68) angegebenen Wege auf der Achſe L die Projektion φ des geſuchten Fixpunktes F ermitteln.

Projiziert man φ parallel zu CC_1 nach F auf $\mathcal{J}$, ſo iſt nunmehr wiederum ganz im Sinne von Art. 27 (S. 68) die Mittellinie des Druckes für den Strebebogen GA zu beſtimmen.

Hätte man das Auffinden des Fixpunktes F unter Benutzung der Achſen $C\gamma$ und $\gamma\lambda$ bewirken wollen, ſo ſind die Seitenkräfte von P, R und S, welche nicht in die Polarachſe $C\mathcal{J}$ fallen, von p, r und q aus parallel $C\gamma$ als π_1, ρ_1 und σ_1 feſtzulegen und B parallel $C\gamma$ auf λ nach β zu projizieren, um alsdann in üblicher Weiſe auch den Punkt φ_1 auf λ als Projektion von F zu erhalten.

Wird ſtatt der durch B und C gelegten Polarachſe $\mathcal{J}$ eine durch A und B geführte Gerade als Polarachſe angenommen, ſo iſt das Auffinden des auf dieſer Achſe gelegenen Fixpunktes ganz nach den für die Polarachſe $\mathcal{J}$ gegebenen Grundlagen vorzunehmen.

Der aufgefundenen Mittellinie des Druckes gehört im Punkte B der Gewölbſchub $O_1 5$, bezw. $5 O_1$ an. Für die Berechnung der Stärke des Strebebogens iſt die wagrechte Seitenkraft H von $O_1 5$, bezw.

[29]) Siehe: Teil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 27, S. 21; 3. Aufl.: Art. 29, S. 22) dieſes »Handbuches«.

der leicht zu ermittelnde Normaldruck für die am ſtärkſten gepreſste Wölbfuge in bekannter Weiſe zu verwerten.

Die punktiert eingetragene Mittellinie des Druckes ABC u. ſ. f. durchſchneidet die Rückenlinie des Strebebogens in der Nähe und in geringer Höhe über der Widerlagsfuge G. Ihr Endpunkt v liegt bereits im Körper des für den Strebebogen erforderlichen Strebepfeilers. Will man dieſe Lage von v nicht als gerade günſtig anſehen, ſo kann man ſachgemäſs die Stärke des Strebebogens nach dem Widerlager zu etwas über v hinaus vergröſsern.

219. Gewölbpfeiler.

Die Gewölbpfeiler, Mittel- oder Zwiſchenpfeiler, bilden die Stützen für aneinander gereihte Gewölbanlagen. Sie haben den Gewölbſchub von den in gröſserer Zahl am Pfeiler zuſammentretenden oder ſich anſchmiegenden Rippenkörpern aufzunehmen. Heben ſich die wagrechten Seitenkräfte der ſämtlichen Gewölbſchübe auf, vereinigen ſich alle lotrechten Seitenkräfte derſelben zu einer Mittelkraft, welche mit der lotrechten Achſe des zugehörigen Pfeilers ganz oder nahezu zuſammenfällt, ſo hat der Querſchnitt des Pfeilers nur eine ſolche Gröſse nötig, daſs unter Berückſichtigung ſeines eigenen Gewichtes der Pfeiler nicht zerdrückt, bezw. nicht zerknickt wird. Dieſe durch die geſamte Gewölbanlage bedingte günſtigſte Beanſpruchung der Pfeiler tritt aber infolge der in mannigfaltigem Wechſel ſtattfindenden Gewölbdurchbildung im ganzen ſelten ein. Die Gewölbſchübe der Gurt-, Scheide-, Kreuz-, Zwiſchenrippen u. ſ. f. wirken meiſtens in ſich kreuzenden geraden Linien, liefern alſo, wie ſchon in Art. 174 (S. 287) erwähnt iſt, ein im Raume gelegenes Kräfteſyſtem, welches im weſentlichen nur zu einer Mittelkraft und zu einem reſultierenden Kräftepaar vereinigt werden kann. In ſolchen Fällen hat, in ſtatiſcher Beziehung genommen, der Pfeiler, oft am zweckmäſsigſten und einfachſten unter Einführung beſonderer Uebermauerung der Rippen- oder Kappenkörper, bezw. einer ihn ſelbſt treffenden Aufmauerung, ohne einen übertrieben groſsen Querſchnitt zu erhalten, eine Geſtaltung zu erfahren, welche eine Vernichtung des erwähnten Kräftepaares herbeiführt und welche zuläſst, daſs die nun verbleibende Mittelkraft der Gewölbſchübe, mit dem Eigengewichte des Pfeilers vereint, einen günſtigen Verlauf der Drucklinie im Pfeilerkörper hervorruft. Die hier erwähnte Uebermauerung wird als vorzügliches Hilfsmittel meiſtens Platz greifen müſſen, ſobald durch die Ausmittelung der Gewölbſchübe eine ungünſtige Beanſpruchung der Gewölbpfeiler erkannt wird, da das Umformen der Gewölbrippen nach höher oder geringer aufſteigenden Bogenlinien, wodurch gleichfalls günſtige Wirkungen für die Pfeiler erzielt werden können, aus Rückſicht auf die architektoniſche Durchbildung der Gewölbanlage in der Regel auszuſchlieſsen iſt.

Eine ſorgfältig durchgeführte ſtatiſche Unterſuchung der Gewölbkappen und des Rippenſyſtems lehrt die Kräfte kennen, welche den Gewölbpfeiler treffen. Ihre Vereinigung zu einer gemeinſchaftlichen Mittelkraft allein oder zu einer Mittelkraft nebſt einem reſultierenden Kräftepaare läſst ſich nach den Lehren der Statik unmittelbar bei der Stabilitätsunterſuchung der Pfeiler in den Vordergrund bringen. Durch ihre Verbindung mit den Gewichten der nach Lage und Gröſse geeignet geſchaffenen Uebermauerungen der Gewölbe, namentlich der trichterartigen Gewölbzwickel über den Pfeilern oder einzelner Rippen in der Nähe ihrer Anſätze am Pfeiler, läſst ſich bei einiger Ueberlegung von Fall zu Fall eine auf elementarem, wenn auch etwas langem Wege zu verfolgende Prüfung der Stabilität dieſer Gewölbpfeiler vornehmen.

9) Ausführung der gotiſchen Kreuzgewölbe.

220. Ausführung.

Für die praktiſche Ausführung der gotiſchen Kreuzgewölbe, ſowohl der einfachen, als auch der Stern- oder Netzgewölbe iſt unter 7 (S. 295) ſchon eine gröſsere Zahl von wichtigen Anhaltspunkten gegeben, welche namentlich für die zwiſchen ſelbſtändigen Rippen zu wölbenden Kappen zu beachten ſind.

221. Zellengewölbe.

Eine beſondere Ausführung der Kappen macht ſich dagegen bei einer Gruppe von Kreuz-, beſonders Netzgewölben ohne ſelbſtändig hergerichtete Rippenkörper geltend, welche den Namen »Zellengewölbe« führen. Die Laibungsflächen dieſer Gewölbe gehören geraden Kegelflächen an, deren Baſis-, bezw. Leitlinien die Rippenlinien enthalten. Die Kegelflächen durchſchneiden ſich in den von den einzelnen Grat- oder Rippenkanten begrenzten Kappengebieten nach einer beſonderen Firſt- oder Zellenkante, welche in Gemeinſchaft mit den beiden von den Rippenlinien ſattelförmig aufſteigenden Wölbflächen die Geſtaltung von falten- oder zellenartigen Gewölbkappen bedingt. Hierbei ſind für jede Rippenlinie zwei gerade Kegelflächen vorhanden, welche in dieſer Linie eine gemeinſame Leitlinie beſitzen. Die Spitzen dieſer Kegel liegen auf den in einer einzigen Geraden zuſammenfallenden Kegelachſen ſymmetriſch zur Ebene der Rippenlinie, und zwar rechts und links in einem dem Halbmeſſer der Baſislinie gleichen Abſtande.

Daſs das Verhauen der als Wölbſteine benutzten Backſteine bei den ſog. rippenloſen Gewölben thunlichſt zu vermeiden iſt, läſst ſich bei den vorzugsweiſe in den Oſtſeeländern während des Mittelalters ausgeführten Zellengewölben, deren Kappen ſelbſt bei einer reichen Durchbildung[30]) im allgemeinen nach geraden Kegelflächen angeordnet ſind, erkennen. Da die Stellung der ſchmalen Wölbſchichten in jedem einer einzelnen Rippenlinie angehörenden Kappengebiete in den Lagerflächen nach Normalebenen zur gemeinſchaftlichen Baſislinie (Rippenlinie) der beiden erwähnten Kegelflächen äuſserſt einfach erfolgen kann, da aufserdem die Lagerkanten alsdann Seitenlinien dieſer Kegel bleiben; ſo ſchlieſsen die für ſich zuſammentretenden Lagerkanten vermöge der vorhin bezeichneten ſymmetriſchen Anordnung der Kegelſpitzen an jeder Stelle eines Normalſchnittes am Rippenbogen einen rechten Winkel ein. Ein beſonderes Zuſchärfen oder ein umſtändliches Verhauen der Backſteine iſt alſo im Gegenſatz zur Einwölbung auf Schwalbenſchwanzverband nicht erforderlich.

Da die Anwendung der Zellengewölbe bei Deckenbildungen der Neuzeit nicht auszuſchlieſsen iſt, ſo ſoll für die Geſtaltung und Einwölbung dieſer intereſſanten Gewölbe in Fig. 289 das Nähere angegeben werden. Der im Grundriſs quadratiſch genommene Raum $a\,b\,c\,d$ iſt durch die ſtark ausgezogenen Rippenlinien $a\,e$, $a\,h$ u. ſ. f. nebſt den Scheitellinien $e\,g$, $h\,f$ zunächſt im Sinne von Art. 167 (S. 276) mit einer einfachen Netzgewölbbildung verſehen.

Die ſämtlichen Rippenlinien $a\,e$, $a\,h$ u. ſ. f. ſind beliebige Kreisbogen B mit gleichem Halbmeſſer $\beta\,a$. Die Randbogen $a\,b$, $b\,c$ u. ſ. f. ſind Spitzbogen mit Schenkeln A, deren Halbmeſſer $\alpha\,b$ gleichfalls beliebig angenommen iſt.

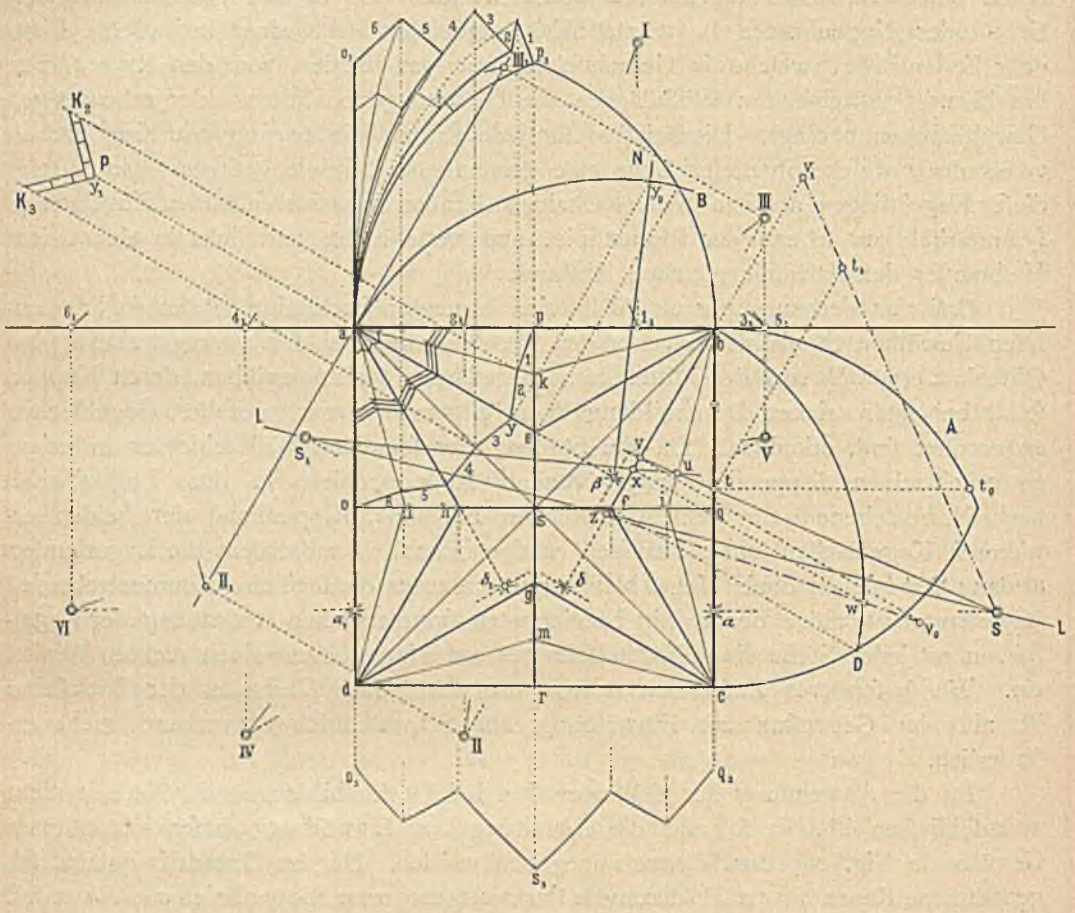
Die Mittelpunkte α, β dieſer Bogen liegen hier in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Für das Kappengebiet $b\,f\,q$ treten zwei gerade Kegelflächen mit der Leitlinie A für $b\,q$ und der Leitlinie D für $b\,z$ mit dem Halbmeſſer $\delta\,b$ gleich $\beta\,a$ des Bogens B zuſammen. Die Spitze des Kegels für $b\,q$ iſt S im Lote $\alpha\,S$ auf $b\,c$, wobei $\alpha\,S = \alpha\,b$, während die Spitze des Kegels für $b\,f$ der Punkt S_1 des Lotes $\delta\,S_1$ auf $b\,\delta$ iſt. Auch hierbei mufs $\delta\,S_1 = \delta\,b$ genommen werden.

[30]) Siehe auch: Bisanz. Studie über ein Zellengewölbe. Allg. Bauz. 1888, S. 30.

Beide Kegelflächen, deren Leitlinien A und D hier verfchiedene Halbmeffer befitzen, durchfchneiden fich nach einer in der wagrechten Projektion dargeftellten Linie bi, welche die Grundrifsprojektion der Zellenkante der Kappe bfq liefert. Die Linie bi ift im vorliegenden Falle noch in einzelnen Zwifchenpunkten, wie z. B. in u, näher zu beftimmen. Verbindet man die Spitzen S und S_1 der beiden für A und D in Betracht kommenden Kegelflächen durch eine Gerade LL, fo kann diefelbe als Drehungsachfe einer Ebene angefehen werden.

Von den unendlich vielen Lagen, welche die um LL gedrehte Ebene annehmen kann, fchneiden mehrere der Reihe nach die beiden Kegelflächen nach Seitenlinien. Diefe ergeben für die zugehörige Ebene in ihrem Schnitte je einen Punkt der Durchdringungslinie der Kegelflächen. So ruft eine um LL gedrehte Ebene auf der Kegelfläche A eine Seitenlinie, deren wagrechte Projektion Sv ift, hervor. Der

Fig. 289.



Durchftofspunkt v_0 diefer Seitenlinie mit der lotrechten Ebene der Leitlinie D oder des Rippenbogens bf liegt um $v v_0 = v v_1$, wie ohne weiteres mit Hilfe des verlängerten Strahles $S t_1$, für welchen $t t = t t_0$ ift, gefunden wird, über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Die durch LL und Sv gehende Ebene fchneidet die Ebene des Bogens D in der Geraden $z v_0$, welche wiederum den Bogen D im Punkte w trifft. Die wagrechte Projektion des Punktes w ift der Punkt x auf bf. Durch x und S_1 mufs die Seitenlinie $S_1 x$ gehen, welche durch die bezeichnete Ebene LSv auf der Kegelfläche für die Leitlinie D entfteht.

Der Schnitt u der genügend verlängerten Seitenlinie $S_1 x$ mit der Seitenlinie Sv ift die wagrechte Projektion eines Punktes der Zellenkante bi. In gleicher Weife können beliebig viele Punkte der Grundrifsprojektion diefer Zellenkante beftimmt werden.

Den Kappengebieten innerhalb des regelmäfsig geftalteten Netzes $aebfcgdh$ gehören gerade Kegelflächen mit vollftändig gleichen Leitlinien (Rippenlinien) an. Die wagrechten Projektionen der aus

dem Durchſchneiden der einzelnen Kegelflächen entſtehenden Zellenkanten werden gerade Linien $a s$, $b s$ $c s$ und $d s$, welche im vorliegenden Falle als Halbierungslinien der Winkel $e a h$, $e b f$ u. ſ. f. mit den Diagonalen des Grundriſſes zuſammenfallen.

Sind die ſämtlichen Grundriſsprojektionen der Zellenkanten eingetragen, ſo laſſen ſich die Lagerkanten der Wölbſchichten der einzelnen Kappen mit Hilfe der wagrechten Projektionen der Spitzen der Kegelflächen, welche für die Gewölbkappen maſsgebend geworden ſind, im Grundriſs feſtlegen.

So iſt zur Erfüllung der Vorſchrift, wonach die Lagerflächen der Wölbſchichten eines Kappengebietes, welches für eine einzelne Rippenlinie in Betracht kommt, ſtets Normalebenen zu dieſer Rippenlinie angehören ſollen, für einen Punkt y_0 einer Wölbſchicht am Rippenbogen B eine Normalebene mit der Aufriſsſpur βN und der wagrechten Spur $II\,\beta\,III$ beſtimmt.

Letztere bleibt für alle Normalebenen des Bogens B unverändert.

Den zuſammengefügten Kappenflächen $a k e$ und $a s e$ entſpricht dieſelbe Leitlinie B, beſchrieben mit dem Halbmeſſer βa. Für das Stück $a k e$ iſt die Spitze des zugehörigen geraden Kegels der Punkt II, welcher auf der wagrechten Spur $II\,\beta\,III$ der Normalebene βN im Abſtande βII gleich dem Halbmeſſer βa des Bogens B liegt. Die Gerade βII iſt die Kegelachſe. Ebenſo iſt $\beta III = \beta II = \beta a$ die Kegelachſe für das Kappenſtück $a s e$ und III die Spitze der zugehörigen Kegelfläche. Die Grundriſsprojektion des Punktes y_0 iſt y. Zieht man durch y von II aus den Strahl $y\,2$ im Kappenſtücke $a k e$ und ebenſo von III aus den Strahl $y\,3$ im Kappenſtücke $a s e$, ſo ſind in den Linien 2 und 3 die wagrechten Projektionen der Lagerkanten einer Wölbſchicht der Normalebene $y_0 N$ gefunden. Iſt nun der Bogen B mit den Teilpunkten der einzelnen Wölbſchichten nach den Backſteindicken verſehen, ſo kann, unter Verfolgung des für den Punkt y_0 angegebenen Weges, die geſamte Schar der Lagerkanten der Wölbſteine des Kappengebietes $a k e s a$ gezeichnet werden.

Die wirkliche Geſtalt des Normalſchnittes βN iſt im Plane P dargeſtellt. In demſelben iſt $a y_1 = \beta y_0 = \beta a$. Die Lagerkante $y_1 K_2$ geht erweitert durch den Punkt II_1, während die Lagerkante $y_1 K_3$ nach III_1 gerichtet iſt. Da $a y_1 = a II_1 = a III_1$ iſt, ſo ſteigen die Kanten $y_1 K_2$ und $y_1 K_3$ unter 45 Grad zur lotrechten Ebene $a y_1$ des Rippenbogens B an, bilden alſo in y_1 einen rechten Winkel $K_2 y_1 K_3$.

Um den Zug der Lagerkanten 2 und 3 für die übrigen angrenzenden Kappengebiete $a k p$, $a s h$, $a h l$ und $a l o$ im Grundriſs fortſetzen zu können, hat man nach den gegebenen Entwickelungen nur nötig, die Achſen und Spitzen der entſprechenden Kegelflächen in der Grundriſsprojektion zu beſtimmen.

So erhält man für das Stück $a k p$ die Gerade $1, I = 1, a = b \alpha$ als Kegelachſe und I als Kegelſpitze. Zieht man vom Schnitte der Kante 2 mit der Zellenkante $a k$ aus den Strahl 1 nach I, ſo iſt die wagrechte Projektion der Lagerkante 1 im Gebiete $a k p$ im Zuſammenhange mit dem Zuge 2, 3 erhalten. Für die Lagerkante 4 iſt IV, für 5 iſt V und für 6 iſt VI, wie aus der Zeichnung ſofort entnommen werden kann, grundlegend zu machen.

Die Aufriſsprojektion $p, 1\,2\,3\,4\,5\,6\,o$, des bezeichneten Zuges der zuſammengehörigen Lagerkanten ergiebt ſich unter Benutzung der Aufriſsprojektionen der einzelnen Kegelſpitzen 1, 2, u. ſ. f. bis 6, nach Maſsgabe der Zeichnung, welche alsdann auch die eigentümliche, aber ſehr einfache Zellenbildung des Gewölbes noch näher erkennen läſst.

Da alle in Anwendung kommenden Kegelflächen vollſtändig beſtimmt ſind, ſo können auch die Austragungen der in der lotrechten Ebene $o q$ enthaltenen Kegelſchnitte im Zuge o, s, q, und ſomit die wirklichen Bildungen der Zellenkanten über $o h$, $h f$ und $f q$ leicht vorgenommen werden.

Die gegebenen Regeln für die Geſtaltung der Zellengewölbe über quadratiſchem Grundriſs finden auch Anwendung bei rechteckigen, regelmäſsigen oder unregelmäſsigen Grundriſſen.

Für die Ausführung dieſer Gewölbe ſind vorzugsweiſe Backſteinmaterial und gut bindender Mörtel zu benutzen. Lehrbogen ſind nur für die Rippen-, bezw. Randbogen nötig. Die Kappen werden freihändig gemauert, und hierbei ergeben ſich die Zellenkanten ohne weiteres. Ueber den Zellenkanten läſst man die einzelnen Schichten, ſo lange ſie noch unter einem Winkel zuſammenſtoſsen, welcher ihr Ineinandergreifen geſtattet, nach Art des Schwalbenſchwanzverbandes vermauern, während bei einem faſt nach gerader Linie erfolgenden Zuſammentreten der Schichten nur das einfache Zuſammenſtoſsen der Steine vorgenommen wird.

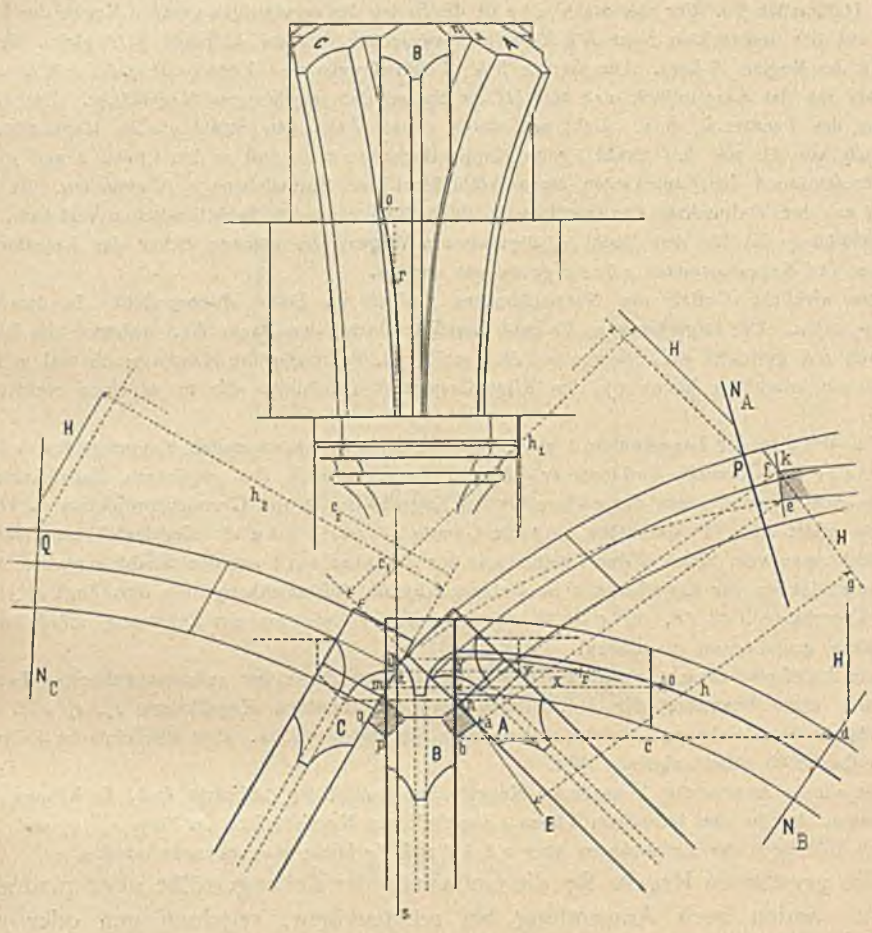
Die Gewölbanſätze an den Ecken des Raumes werden am zweckmäſsigſten als

Quaderanfänger, etwa mit einer Höhe von 1,00 bis 1,50 m über der Kämpferebene aufhörend, angefertigt. Die Stärke der Zellengewölbe beträgt meiſtens nur $^1/_2$ Backſtein. Zur Vermeidung ſehr weit geſpannter Zellenkappen, welche, abgeſehen von der Einführung einer gröſseren Stärke, ein bedeutendes Auseinanderlaufen der Lagerkanten veranlaſſen, iſt das Syſtem der Rippenlinien ſo anzuordnen, daſs verhältnismäſsig kleine Zellengebiete entſtehen.

222. Gewölbkappen.

Als Wölbmaterial für die Kappen dienen von den künſtlichen Bauſteinen hauptſächlich gute Backſteine, voll oder durchlocht, ferner ſog. poröſe Backſteine

Fig. 290.



von nicht zu geringer Feſtigkeit und auſserdem die ſehr geſchätzten, meiſtens 25 cm langen, 12 cm breiten und 10 cm dicken, bei Andernach am Rhein angefertigten ſog. Schwemmſteine.

Von den natürlichen Baumaterialien gelangen leichtere Sand- und Kalkſteine, kryſtalliniſche Schiefergeſteine und die Tuffe, ſobald damit ein freihändiges Wölben möglich iſt und ihre Anſchaffung billiger wird als die der Backſteine, zur Verwendung.

Als Bindemittel dient guter Kalkmörtel oder ein ſorgfältig zubereiteter, verlängerter Zementmörtel.

223. Rippen.

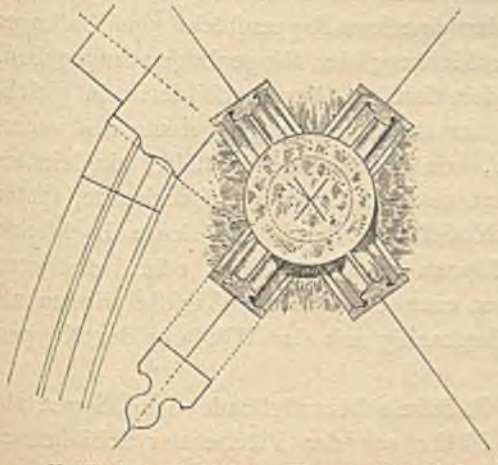
Für die Rippen ſind ſtets, mögen dieſelben aus Backſteinen oder aus Werkſtücken ausgeführt werden, Lehrbogen zur Unterſtützung aufzuſtellen. Letztere ſind möglichſt einfach, jedoch in ſich kräftig und tragfähig nach den im allgemeinen auch hier geltenden Leitſätzen in Art. 33 (S. 80) herzurichten und ſachgemäſs zu unterlagern. Iſt für ein ausgedehnteres Rippenſyſtem eine Vereinigung mehrerer Lehrbogen erforderlich, welche das Aufſtellen eines Mönches oder Mäklers bedingen, ſo iſt das in Art. 146 (S. 245) in Bezug auf die Lehrbogen der Grate cylindriſcher Kreuzgewölbe Geſagte zu beachten.

Die Einrüſtung und Ausführung der Rippen muſs ſtets für eine gröſsere Zahl, mindeſtens drei, der benachbarten Gewölbfelder vorgenommen werden; auch iſt ſorgfältig durch Anbringen von Abſteifungen das Verſchieben der Rippen, bezw. der Gewölbteile, ſobald das Einwölben der Kappen beginnt, in den noch nicht mit Wölbung zu ſchlieſsenden Feldern zu verhüten. Rippen aus Werkſtücken erhalten eine Länge von 0,50 m bis etwa 1,00 m. Die Anfänger zuſammentretender Werkſteinrippen ſind zweckmäſsig aus einem gröſseren Quader herzuſtellen, an welchem in geeigneter Weiſe die Rippen- und auch die Kappenanſätze angearbeitet werden. In Fig. 290 iſt ein ſolcher Anfänger für eine Querrippe B und zwei Kreuzrippen A und C, welche von der Umfangsmauer eines Gewölbes ausgehen, in zwei übereinander liegenden Schichten gegeben.

Die untere Schicht iſt durch wagrechte Lagerflächen begrenzt, während die zweite Schicht in der oberen Abgrenzung eine wagrechte Lagerfläche H im Abſtande $h = h_1 = h_2$ über der Kämpferebene und die für die einzelnen Rippen nach Normalebenen N_A, N_B, N_C beſtimmten Anſatzflächen der Rippen A, B, C und Kappenanſätze, wie n, zeigt. Die Ausmittelung dieſer Anſatzflächen kann ohne Schwierigkeit unmittelbar aus der Zeichnung entnommen werden.

Ebenſo werden die Schluſsſteine der im Scheitel des Gewölbes zuſammentretenden Rippen als ſelbſtändige Werkſtücke in mannigfachſter, oft äuſserſt reicher, ſelbſt phantaſtiſcher Art als beſondere volle oder durchbrochene Werkſtücke gearbeitet. In Fig. 291 iſt ein einfacher Schluſsſtein mit cylindriſchem Kern und beſonders angearbeiteten Rippenanſätzen dargeſtellt. Der Durchmeſſer des cylindriſchen Kernes iſt ſtets ſo groſs zu nehmen, daſs ein häſsliches Ineinanderſchneiden der Begrenzungslinien oder der Seitenflächen der Rippen vermieden wird. Häufig werden, wie Fig. 292 angiebt, auch die Rippenprofile an den Seitenflächen des cylindriſchen Kernes mit angearbeitet. Anordnung, Form und Ausſchmückung der Schluſsſteine ſind der gröſsten Freiheit unterzogen worden. Gleiche Maſsnahmen können bei den gemeinſchaftlichen Zwiſchenſtücken ſich kreuzender Rippen der Stern- und Netzgewölbe getroffen werden. Die Bauwerke der Gotik bieten hierfür eine ganz erhebliche Anzahl von Beiſpielen.

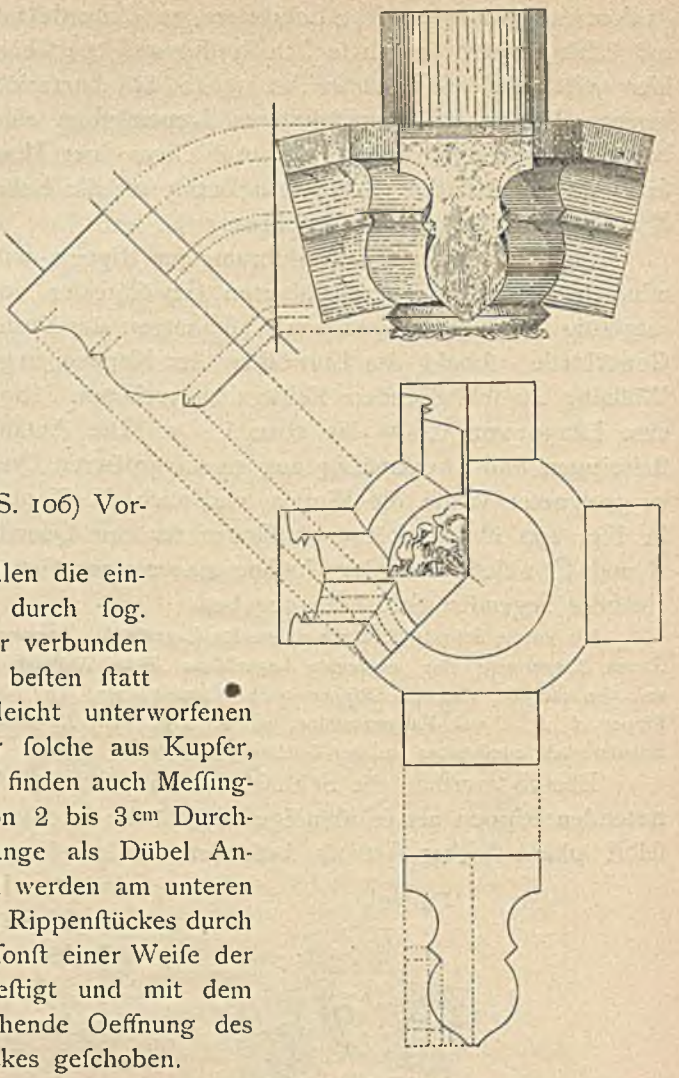
Fig. 291.



Für das Verſetzen der Werkſtücke der Rippen iſt das Einlegen dünner Blei-

platten bei den Fugenflächen sehr zweckmäfsig. Dabei treten die Ränder der Bleiplatten überall um 1 cm ringsum von den Kanten der zusammentretenden Lagerflächen der Rippenstücke zurück. Hierdurch entsteht eine ringsum laufende, 1 cm tiefe, offene Fuge, die das durch Kantenpressungen sonst leicht erfolgende Absplittern von Kantenteilen möglichst verhindert. Beim Versetzen der Rippenstücke in Mörtel findet das in Art. 51 (S. 106) Vorgetragene Berücksichtigung.

Fig. 292.



Sollen in besonderen Fällen die einzelnen Stücke einer Rippe durch sog. Dübel oder Dollen miteinander verbunden werden, so benutzt man am besten statt der eisernen, dem Rosten leicht unterworfenen Dübel oder Stifte, weit besser solche aus Kupfer, Bronze oder Messing; zuweilen finden auch Messingröhren oder Kupferröhren von 2 bis 3 cm Durchmesser und 10 bis 12 cm Länge als Dübel Anwendung. Die einzelnen Dübel werden am unteren Lagerflächenteile eines oberen Rippenstückes durch Einbleien, Eingipsen oder in sonst einer Weise der Hälfte der Länge nach befestigt und mit dem freien Teile in eine entsprechende Oeffnung des darunter liegenden Rippenstückes geschoben.

Bei Werksteinrippen wird meistens der Schlufsstein zuerst versetzt und genau gerichtet. Durch genaues Vorreifsen der Mittellinie der Grundrifsbreite der Rippe auf ihrem Lehrbogen wird beim Versetzen der einzelnen Rippenstücke vom Anfänger aus die in sorgsamster Weise zu wahrende Richtung der Rippenbogen angegeben.

Das Einwölben der Kappen zwischen dem fertigen Rippengebilde ist in gleichmäfsigem Fortschritte von allen Anfängen der einzelnen Kappengebiete aus vorzunehmen. Zeigt sich bei diesem Einwölben, wie zuweilen der Fall ist, ein leichtes Heben der Rippen nach dem Schlufsstein zu, so mufs für eine entsprechende, später wieder zu beseitigende Belastung des Schlufssteines durch aufgelegte Backsteine rechtzeitig gesorgt werden. Werden die Rippen aus Backsteinen oder besonderen Formsteinen ausgeführt, so können dieselben entweder wie die Werksteinrippen als selbständige Bogen behandelt oder auch gleichzeitig mit der Wölbung der Kappen hergerichtet werden.

Sollen besondere, aus Quadern oder Backstein herzustellende Schildbogen angeordnet werden, welche demnächst zur Hälfte vor der Fläche der Schildmauer

liegen ſollen, ſo ſind in dieſer Mauer ſchon während ihrer Ausführung die zur Aufnahme der rückliegenden Hälfte dieſer Schildbogen erforderlichen Nuten oder Falze zu bilden. Solche Falze ſind auch für die Anſatzflächen der an die Schildmauern tretenden buſigen Kappen zu ſchaffen. Nach Schluſs der Gewölbe findet ein Uebergieſsen mit dünnflüſſigem Kalk- oder Zementmörtel zur Erzielung eines vollſtändigen Schluſſes der hier und dort mit Lücken behafteten Fugen des Wölbmauerwerkes ſtatt. Etwa anzubringende Ausmauerungen der Gewölbzwickel oder Uebermauerungen der Rippen, Pfeiler u. ſ. f. ſind in regelrechtem Verbande herzuſtellen. Ueber die Zeit der Ausführung, über die Maſsnahmen der Trockenhaltung, ſowie über die Ausrüſtung der gotiſchen Kreuzgewölbe ſind alle in Kap. 11, unter c bei der Beſprechung der Ausführung der Tonnengewölbe angegebenen Geſichtspunkte wiederum zu beachten.

17. Kapitel.

Fächer- oder Trichtergewölbe.

a) Geſtaltung der Fächergewölbe.

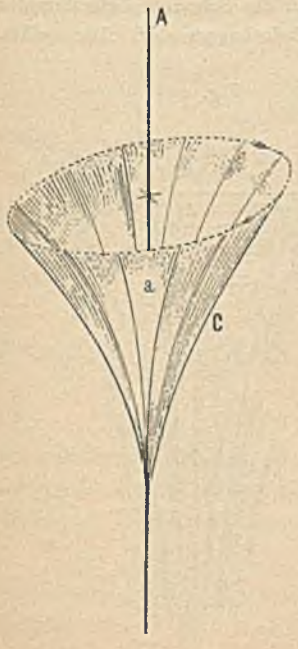
224. Form.

Das Fächergewölbe, auch Trichter-, Palmen- oder Strahlengewölbe genannt, beſitzt als Laibungsfläche eine Umdrehungsfläche. Dieſelbe wird durch Drehung einer geſetzmäſsig gebildeten ebenen Kurve um eine in ihrer Ebene angenommene, feſte, lotrechte Achſe erzeugt, welcher ſie in jeder neuen Stellung ihre konvexe Seite zukehrt. Hierdurch entſteht eine kegel-, bezw. trichterartige Gewölbform.

Die allgemeine Grundgeſtaltung der Laibungsflächen a dieſer Gewölbe iſt in Fig. 293 mit der erzeugenden Kurve C und der feſten lotrechten Achſe A gekennzeichnet.

Als Erzeugende wird ein Kreisbogen, bezw. ein Viertelkreis, eine elliptiſche Linie, bezw. eine Viertelellipſe, ein Korbbogen u. ſ. w. gewählt. Meiſtens wird die erzeugende Kurve ſo geſtellt, daſs in ihrem Fuſspunkte die Führung einer lotrecht gerichteten Tangente möglich wird. An den ſpätgotiſchen Bauwerken Englands tritt bei den Fächer- oder Trichtergewölben vorzugsweiſe eine gedrückte, ziemlich flache, in der Erſtreckung am Scheitel mäſsig gekrümmte Bogenlinie, welche der Hälfte eines ſog. Tudorbogens angehört, als Erzeugende auf.

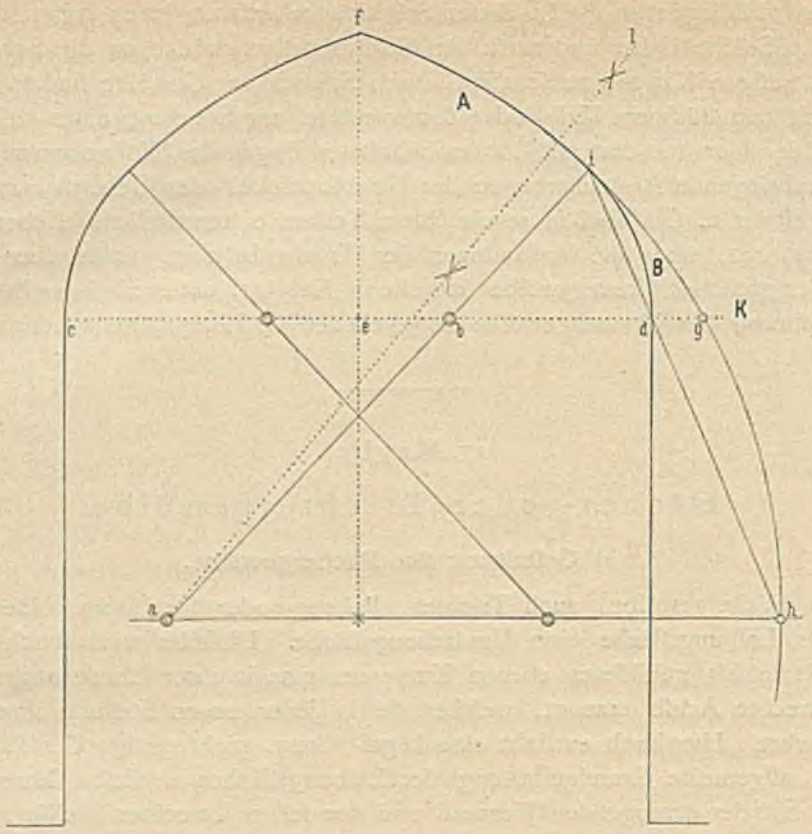
Fig. 293.



Der Tudorbogen iſt im allgemeinen ein Knickbogen; Fig. 294 zeigt hierfür eine Konſtruktion. Sind die Spannweite cd und die Pfeilhöhe ef vorgeſchrieben, ſo kann das Zeichnen des Bogens in folgender Weiſe vorgenommen werden.

Auf der Verbindungsgeraden K der Kämpferpunkte c, d wähle man aufserhalb der Spannweite cd den Punkt g beliebig, jedoch, falls eine längere flache Bogenlinie A nach dem Scheitel zu vorherrſchen ſoll, in einem nicht zu groſsen Abſtande dg vom Kämpferpunkte d. Durch dieſen Punkt g und den Scheitelpunkt f lege man einen Kreisbogen, deſſen Mittelpunkt a auf der in bekannter Weiſe zu beſtimmenden Geraden l ſo gewählt wird, daſs die Bogenlinie fg die gewünſchte mäſsig

Fig. 294.



gekrümmte Form *A* erhält. Der ſonſt beliebig anzunehmende Punkt *a* liegt zweckmäſsig auf der Linie *l* innerhalb des Gebietes der Spannweite *cd*.

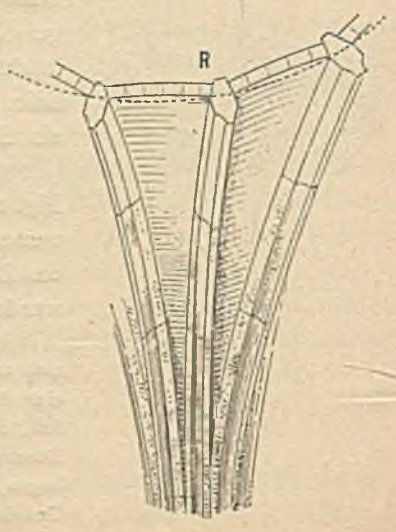
Ergänzt man den Kreisbogen *fg* zu einem Viertelkreiſe *fh*, zieht man den Strahl *hd* bis zum Schnitte *i* mit dem Bogen *fg*, und führt man zuletzt den Strahl *ia*; ſo wird der Schnitt *b* dieſes Strahles mit der Geraden *cd* der Mittelpunkt des Anſatzbogens *B* des halben Tudorbogens *dif*. Die beiden Kreisbogen *A* und *B* beſitzen in *i* eine gemeinſchaftliche Tangente.

Der vollſtändige Tudorbogen iſt alſo im beſonderen ein gedrückter, aus 4 Mittelpunkten beſchriebener Spitzbogen.

225. Rippenſyſtem.

Setzt man an die Stelle der erzeugenden Bogenlinie wirkliche Rippenkörper *R* (Fig. 295), ſo laſſen ſich dieſe in ihrer Geſamtheit auf die erwähnte Umdrehungsfläche zurückführen.

Fig. 295.

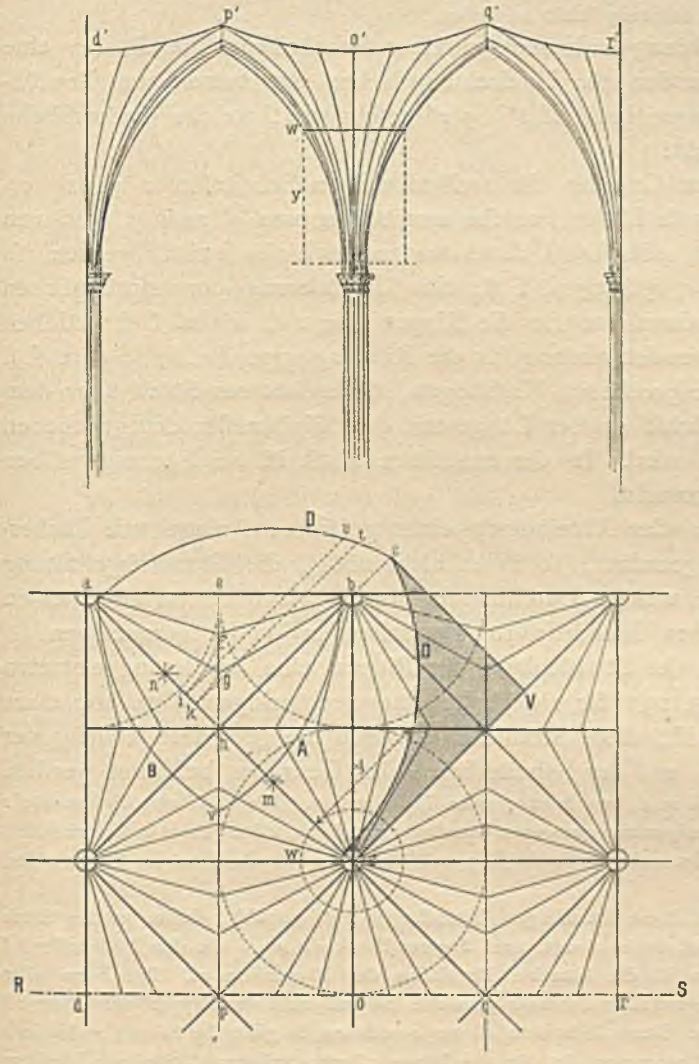


Nimmt man den in der Kämpferebene der Rippen gelegenen Fuſspunkt der lotrechten Umdrehungsachſe als gemeinſchaftlichen Ausgangspunkt ihrer Grundriſslinien (Achſenlinien) an, giebt man den Grundriſswinkeln der ſtrahlenförmig nebeneinander liegenden Rippenzüge möglichſt dieſelbe Gröſse, ſo entſteht das geordnete Rippenſyſtem des eigentlichen Fächer-, Strahlen- oder Palmengewölbes.

Zwiſchen den Rippen liegen die verhältnismäſsig gering geſpannten, ohne Schwierigkeit einzuwölbenden oder ſonſt in einfacher Weiſe zu ſchlieſsenden Gewölbfelder (Gewölbkappen), Gewölbfache oder die ſog. Fächer. Die gemeinſchaftliche Stütze des derart angeordneten Rippen- und Kappenkörpers tritt als Pfeiler oder als Säule auf. Die lotrechte Achſe dieſer Stütze iſt die Verlängerung der Umdrehungsachſe des zugehörigen Gewölbſtückes.

Je gröſser die Zahl der von einer Stütze ausgehenden Rippen iſt, je mehr ſich dieſelben wie Palmzweige ſchlank und nach oben gerichtet fächerförmig ausbreiten, um ſo ſchöner und ausdrucksvoller erſcheinen dieſe Deckenbildungen.

Fig. 296.



Iſt ein Raum von ausgedehnter Grundfläche mit Fächergewölben zu überdecken, ſo iſt durch Pfeiler- oder Säulenſtellungen das Zerlegen dieſer Grundfläche in Abteilungen vorzunehmen. Die Grundriſsflächen der Abteilungen ſind möglichſt von gleicher Gröſse als Quadrate oder als Rechtecke aneinander zu reihen. Die lotrechten Achſen der Wand- und Zwiſchenpfeiler, bezw. Säulen beſtimmen dann ſofort auch die Stellung der Achſen für die Umdrehungsflächen des Gewölbſyſtems, das nunmehr eine Gruppe gleichmäſsig geſtalteter Fächergewölbe umfaſst.

226. Quadratiſche Grundform.

Hiernach iſt in Fig. 296 im Grundriſs und im Schnitt nach RS die Geſtaltung einer Anlage von Fächergewölben über Abteilungen mit quadratiſcher Grundfläche vorgenommen. Die verlängerte lotrechte Achſe der Säule c giebt die in den Grundriſs niedergelegte Umdrehungsachſe V. Als erzeugende Kurve der Umdrehungsfläche des Rippenſyſtems iſt der um n beſchriebene Schenkel D eines in der diagonalen Richtung $a\,c$ ſtehenden Spitzbogens frei gewählt.

Eine in beliebiger Höhe y durch die Erzeugende D geführte wagrechte Ebene ſchneidet die entſtanden gedachte Umdrehungsfläche nach einem Kreiſe w. Dieſer iſt als Teilkreis für die Grundriſſe der Achſenlinien der von c ſtrahlenförmig ausgehenden Gewölbrippen benutzt. In der Zeichnung ſind die

Grundrifswinkel der Rippenlinien nach gleicher Gröfse feftgefetzt. Verfährt man in Rückficht auf das Feftlegen der Rippenftrahlen in übereinftimmender Weife bei allen Achfen der Wand- oder Freiftützen, welche als Eckbildungen der einzelnen Abteilungen des gefamten Deckenkörpers zu gelten haben, fo ergiebt fich, wie ohne weiteres aus der Zeichnung zu entnehmen ift, der Grundrifs für fämtliche Rippenlinien, welche, für eine Abteilung an fich betrachtet, fternartig zufammentreten. Dabei treffen fich die Rippenlinien $a\,e$ und $b\,e$ im Punkte e an der Stirnfeite $a\,b$ der Abteilung h. Der Stirnbogen diefer Abteilung ift der Spitzbogen $A\,B$ mit dem Scheitelpunkte r. Seine Schenkel A, bezw. B find mit dem unveränderlichen Halbmeffer $n\,s$ des erzeugenden Kreisbogens D zu befchreiben. Die Schnitt-, bezw. Vereinigungspunkte e, f, g, h u. f. f. der einzelnen, entfprechend gelegten Rippenlinien liegen vermöge der unveränderlichen Form der Erzeugenden D in verfchiedenen Höhen über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Sie beftimmen aber die Scheitellinien der Gewölbe für die einzelnen Abteilungen. Die Höhen $i\,u$ für den Punkt f, $k\,t$ für den Punkt g u. f. f. find unter Benutzung der Erzeugenden D nach der in der Zeichnung enthaltenen Anleitung leicht zu finden.

Führt man in der Richtung zufammengehöriger Scheitellinien, z. B. $d\,r$, eine lotrechte Ebene $R\,S$, fo werden die Umdrehungsflächen der betroffenen Gewölbteile nach einer wellenförmigen Linie $d'\,p'\,o'\,q'\,r'$ gefchnitten, welche die wirkliche Form der Scheitellinie ergiebt.

Sollten aus befonderen Gründen die wellenförmigen Scheitellinien ganz vermieden, vielmehr durch gerade Linien, welche unmittelbar von d' nach p' und von o' nach p' u. f. f. auffteigen, oder felbft durch wagrechte Linien erfetzt werden, fo mufs für die Rippen, wie $b\,e$, $b\,f$, $b\,g$ u. f. f., eine Umänderung der urfprünglichen Erzeugenden D, welche alsdann nur für die Rippen wie $c\,h$, $a\,h$ u. f. f. beftehen bleibt, eintreten. Man verwendet alsdann für die Rippengruppe $b\,e$, $b\,f$, $b\,g$ u. f. f. den in Art. 169 (S. 278) befprochenen Korbbogen, deffen unteres Stück über dem Gewölbkörper aber in möglichft grofser Länge mit dem Halbmeffer der gegebenen Erzeugenden D befchrieben wird. In der englifchen Gotik ift bei Fächergewölben diefe Anordnung häufig gebraucht.

227. Rechteckige Grundform.

Werden die Grundriffe der Abteilungen einer gröfseren Anlage von Fächergewölben als Rechtecke angeordnet, fo ift es nicht nötig, die Grundrifsgeftaltung der Rippenftrahlen und die weitere Durchbildung des Wölbfyftems im allgemeinen in einer von der quadratifchen Grundrifsform abweichenden Weife vorzunehmen.

Will man hinfichtlich der Strahlenlage der Rippen eine Aenderung eintreten laffen, fo kann, wie in Fig. 297 für die Hälfte einer rechteckigen Abteilung eines Fächergewölbes angegeben ift, diefe Strahlenlage durch die geeignete Teilung der wagrechten Projektionen $f\,l$, $m\,l$ der Scheitellinien des Gewölbes beftimmt werden.

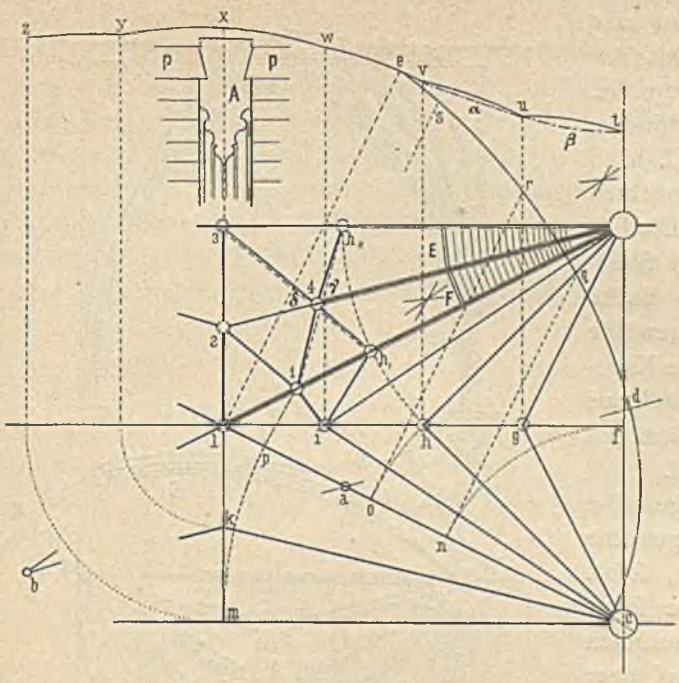
Hier ift die Scheitellinie $f\,l$ in 4, $m\,l$ in 2 gleiche Teile zerlegt. Die z. B. vom Fufspunkte c der Umdrehungsachfe nach jenen Teilpunkten gezogenen Geraden $c\,g$, $c\,h$, $c\,i$, $c\,k$ ergeben in Gemeinfchaft mit der Diagonalenftrecke $c\,l$ das Grundrifsgebilde der Rippen. Die Grundrifswinkel an der Stütze c find ungleich grofs.

Als Erzeugende der Rippen ift ein Knickbogen (Tudorbogen) $c\,d\,e$ gewählt, deffen unteres Stück bis d um a mit dem Halbmeffer $a\,d$, deffen oberes, weit längeres Stück $d\,e$ um b mit dem Halbmeffer $b\,d$ befchrieben wurde. Diefer Bogen ift die lotrechte Projektion der Rippenlinie $c\,l$. Die Form aller übrigen Rippenbogen ift hiervon unmittelbar abhängig gemacht. So entfpricht der Rippenbogen über $c\,h$ dem Knickbogen bis zum Punkte r. Denn dreht man $c\,h$ um c nach $c\,o$, fo giebt der Schnitt r des in o auf $c\,l$ errichteten Lotes $o\,r$ die Begrenzung des für die Rippe $c\,l$ erforderlichen Teiles von dem zu Grunde gelegten erzeugenden Knickbogen an. In demfelben Sinne hat man zu verfahren, um z. B. in $c\,d\,s$ den halben Stirnbogen über $c\,m$ oder in $c\,d\,q$ den halben Stirnbogen über $c\,f$, wie aus der Zeichnung zu entnehmen ift, zu erhalten.

Die nach der Linie $f\,l$ lotrecht geftellte Ebene fchneidet die Gewölbfläche nach der wellenförmigen Scheitellinie $t\,x$. Zur Beftimmung derfelben ift z. B. $f\,t = n\,q$, $l\,x = l\,e$, $h\,v = o\,r$ u. f. f. aufzutragen.

Hierbei ergeben fich, je nach der Form des erzeugenden Knickbogens, zuweilen auch nach unten

Fig. 297.



gebogene Stücke β, bezw. α. Diese sind alsdann durch gerade ansteigende Linien $t\,u$, $u\,v$ oder durch mäfsig nach oben gebogene Kreislinien zu ersetzen.

Die Scheitellinie der Ebene $l\,m$ wird als Wellenlinie $z\,y$, $y\,x$ mittels des erzeugenden Knickbogens, wie bei der Scheitellinie über $f\,l$ gezeigt ist, ermittelt.

Sollen in der Nähe des Scheitels in das strahlenförmige Rippensystem noch Zwischenrippen $i\,h'$, $i\,1$, $1\,2$ u. s. f. eingefügt werden, so geht man zweckmäfsig mit diesem Einfügen von einem Punkte h' des längsten Rippenstrahles aus.

In der Zeichnung ist zunächst $h_1 l$ im Punkte r halbiert. Die Gerade $i\,1$ ist die Grundrifsprojektion einer Zwischenrippe. Ebenso wird in der Geraden $1\,2$ die Grundrifslinie einer neuen Zwischenrippe erhalten.

Bewegt man den Punkt h_1 nach h_{11}, so ergiebt sich in h_{11} die wagrechte Projektion eines Rippenpunktes, welcher genau so hoch, und zwar um $o\,r$, über der Kämpferebene des Gewölbes liegt, als die den Projektionen h und h_1 zugehörigen Rippenpunkte.

Verbindet man 1 mit h_{11} und h_1 mit 3 durch gerade, hier punktiert gezeichnete Linien, so schneiden dieselben den Rippenstrahl 2, welcher die Gewölbflächen E und F trennt, in den Punkten γ, bezw. δ, also im allgemeinen nicht in einem gemeinschaftlichen Punkte. Um die hier einzuschaltenden Zwischenrippen mit einem gemeinschaftlichen Anschlufspunkte auf der Rippe 2 zu erhalten, wird die Strecke $\gamma\,\delta$ im Punkte 4 halbiert und nunmehr 4 als gemeinsamer Punkt für die nach $4\,h_1$, $4\,1$, $4\,h_{11}$ und $4\,3$ gerichteten Zwischenrippen zu Grunde gelegt.

Das Austragen der wirklichen Gestalt der Bogenlinien der verschiedenen Zwischenrippen ist unter steter Benutzung des erzeugenden Knickbogens auf bekanntem Wege vorzunehmen.

Die Ermittelung der Normalschnitte und der zugehörigen Kappensalze p, welche der gewählten Art der Einwölbung zu entsprechen haben, kann für irgend einen Rippenkörper A nach dem in Art. 182 bis 189 (S. 295 bis 309) Gesagten leicht bewirkt werden.

228. Umformung des Fächergewölbes.

Eine Umformung, aber gleichzeitig auch eine etwas gekünstelte Gestaltung des Fächergewölbes ergiebt sich, sobald die nach einer gegebenen, unveränderlichen Erzeugenden gleichförmig gebildeten, strahlenförmig sich erhebenden Rippen mit ihrem oberen Ende gegen wagrecht liegende, nach Viertelkreisen gekrümmte Abschlufsrippen gesetzt werden.

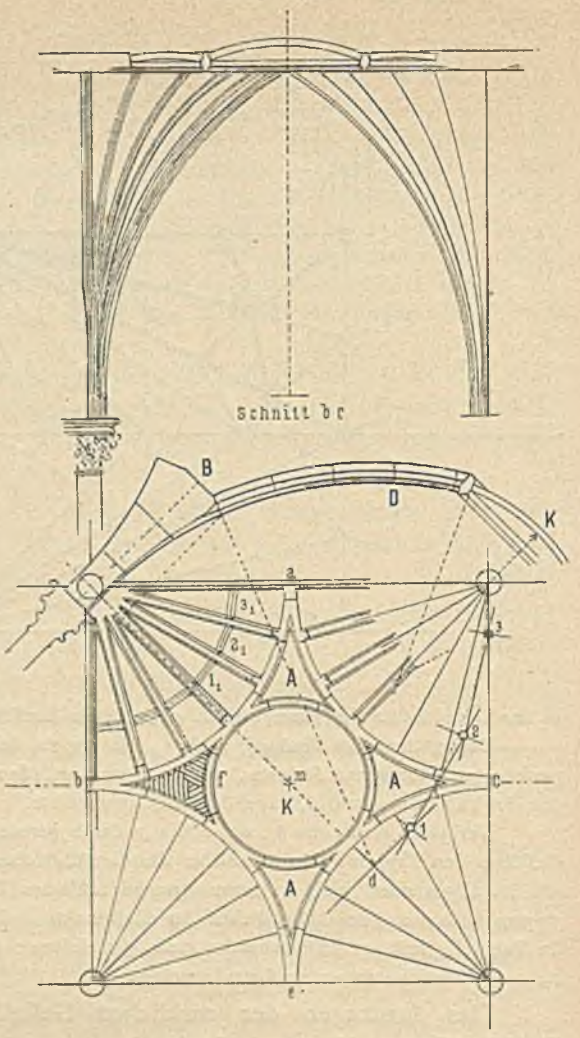
Diese Gewölbbildung, welche in der spätesten Zeit der Gotik entstand und ab und an noch Verwendung findet, ist in Fig. 298 dargestellt.

Die Erzeugende D gilt für alle Rippen des Fächergewölbes. Die nach Viertelkreisen geformten, wagrechten Abschlufsrippen $a\,b$, $a\,c$, $e\,b$, $e\,c$ umschliefsen ein gröfseres Zwickelfeld $a\,b\,c\,e$, das durch eine die Abschlufsrippen mit verspannende

Kranzrippe f in kleinere dreieckförmige Nebenzwickel A und eine Kreisfläche K zerlegt wird. Das Einwölben der Gewölbfache 1_1, 2_1 u. ſ. f. kann nach Kugelflächen ſtattfinden, deren Mittelpunkte 1, 2 u. ſ. f. nach den in Art. 166 (S. 273) gemachten Angaben zu beſtimmen ſind. Die Gewölbzwickel A können durch Steinplatten oder durch ganz flache Kappengewölbe oder Kloſtergewölbe geſchloſſen werden, während die Kreisfläche m, der ſog. Spiegel, meiſtens mit einem flachen, tellerförmigen Kugelgewölbe überdeckt wird.

Das eigentliche Fächergewölbe und das umgeformte Fächergewölbe geſtatten eine äuſſerſt reiche, ſelbſt üppige Durchbildung, welche ſogar an das Phantaſtiſche herantreten kann. In keinem Falle darf aber die Fülle der Formen die grundlegenden, dem Gewölbbau ſtreng entſprechenden Konſtruktionsregeln in den Hintergrund drängen, damit Geſtaltung und Ausführung der Fächergewölbe nicht in eine Spielerei ausarten. Durch geeigneten Farbenſchmuck kann den Fächergewölben ein erhöhter Reiz verliehen werden.

Fig. 298.



b) Stärke der Fächergewölbe und ihrer Widerlager.

229. Gewölbſtärke.

Das Rippenſyſtem der Fächergewölbe entſpricht im weſentlichen demjenigen des Sterngewölbes und damit auch demjenigen des gotiſchen Kreuzgewölbes. Ebenſo ſind die Einwölbungen der Gewölbfache bei den Fächergewölben in der Form im allgemeinen als bufige Kappen, wie bei den genannten Kreuzgewölben, zu behandeln.

Aus dieſem Grunde gelten alle diejenigen Unterſuchungen, welche zur Prüfung der Stabilität und zur Beſtimmung der Stärke der Rippen und Kappen für die bezeichneten Kreuzgewölbe in Art. 195 bis 211 (S. 320 bis 341) näher beſprochen ſind, auch für die Fächergewölbe.

230. Widerlagsſtärke.

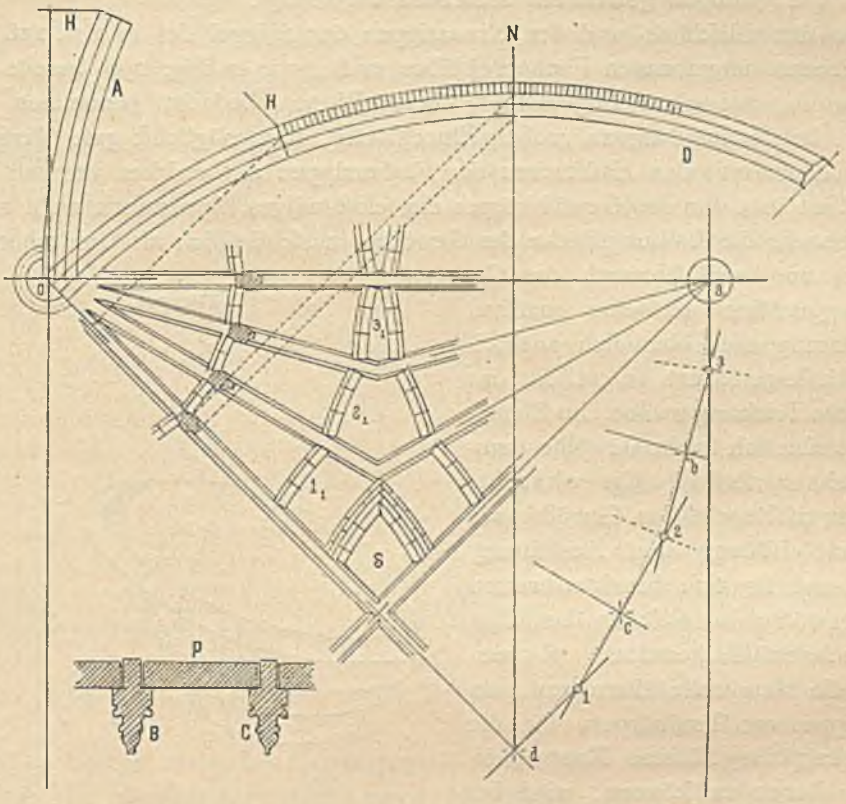
Auch für die Ermittelung der Stärke der Widerlager der Fächergewölbe kommen wiederum alle in dieſer Beziehung bei den gotiſchen Kreuzgewölben in Art. 213 bis 219 (S. 341 bis 348) behandelten Punkte ohne weiteres zur Geltung.

c) Ausführung der Fächergewölbe.

231. Gewölbkappen.

Die ſämtlichen Vorſchriften und Maſsnahmen, welche in Art. 220 bis 223 (S. 349 bis 355) für die Ausführung der gotiſchen Kreuzgewölbe hinſichtlich der Herſtellung der Kappen und der Anfertigung, bezw. Aufſtellung der Rippen mitgeteilt ſind, werden auch bei der Ausführung der eigentlichen Fächergewölbe innegehalten. Die Rippen werden durch Lehrbogen unterſtützt. Die Kappen, welche bei den einer fremden Belaſtung meiſtens nicht ausgeſetzten Fächergewölben gewöhnlich nur $^1/_2$ Backſtein ſtark ausgeführt werden, ſind freihändig mit Bufung unter Verwendung gut bindenden Mörtels zu mauern.

Fig. 299.



In Fig. 299 ſind die Grundriſsprojektionen einiger Wölbſchichten der Kappen, welche hier eine Bufung nach reinen Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1*, *2*, *3* und dem Kugelhalbmeſſer *do* der Erzeugenden *D* der Rippenkörper erhalten haben, gegeben. Hiernach iſt $od = oc = ob$. Die in *d* auf *od* und in *c* auf *oc* u. ſ. f. errichteten Lote liefern in ihren Schnitten *1*, *2* u. ſ. f. jene Kugelmittelpunkte der einzelnen Gewölbfache 1_1, 2_1, 3_1. Nach der an der Rippe *D* vorgenommenen Teilung der Wölbſchichten und Anordnung der Lagerflächen in der radialen Richtung *dN* ergeben ſich ſofort die nötigen Anhaltspunkte für die Darſtellung der Wölbſchichten im Grundriſs. In den Scheitellinien der einzelnen Gewölbfache treten die Wölbſchichten auf Schwalbenſchwanzverband, wie bei *S* ſich zeigt, zuſammen.

Sollen die Gewölbfache unverputzt bleiben oder gar in verfchieden gefärbten Backfteinen als Schmuck befondere Mufter erhalten, fo ift ftets eine forgfältig angefertigte Zeichnung diefer Wölbfchichten der Ausführung zu Grunde zu legen.

Tritt bei kleinen Gewölbfachen ftatt der Wölbung eine Plattendeckung p ein, fo erhalten die tragenden Rippenkörper A, C bei einer hinlänglichen Stärke entfprechend tiefe, 5 bis 8 cm breite Falze. Die meiftens nur fchmalen Platten find forgfam in Mörtel zu verfetzen.

232. Rippen.

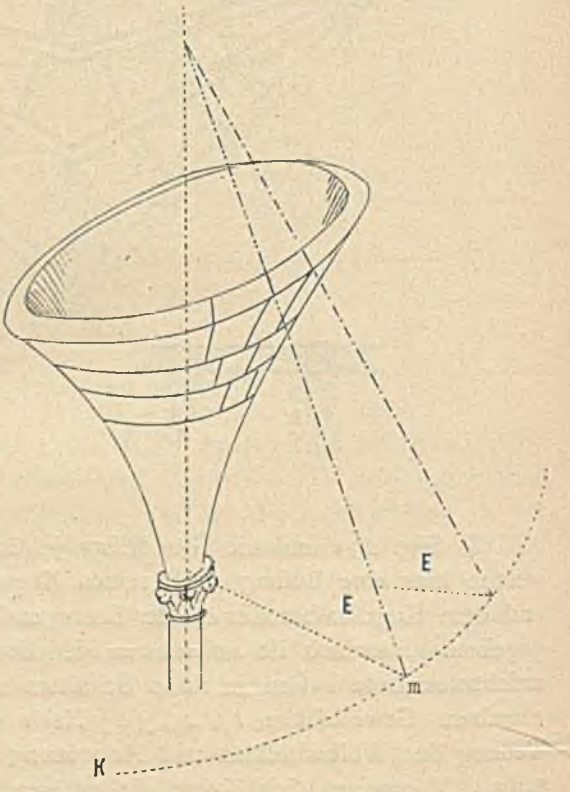
Die Rippen der Fächergewölbe können aus Backftein oder Hauftein hergeftellt werden. Zweckmäfsig werden die Kämpferftücke A (Fig. 299) der über den Wand- oder Zwifchenftützen zufammentretenden, fich vielfach hier abzweigenden Rippen bis zu einer Höhe H, in welcher eine regelrechte Kappenwölbung beginnen kann, felbft für Backfteinrippen aus Quadern in einem Stücke oder aus mehreren, durch wagrechte Lagerfugen getrennten Schichten angefertigt.

Bei den Abfchlufs- und den Kranzrippen der Spiegel des in Art. 228 (S. 359) befchriebenen umgeformten Fächergewölbes mufs, wie in Fig. 298 bereits mit angegeben ift, auf einen Fugenfchnitt diefer Rippen Bedacht genommen werden, welcher, bei Vermeidung zu grofser Einzelftücke, ihre möglichft gute Verfpannung unter fich und mit den Endftücken der Fächerrippen zu bewirken vermag.

233. Gewölbe ohne Rippen.

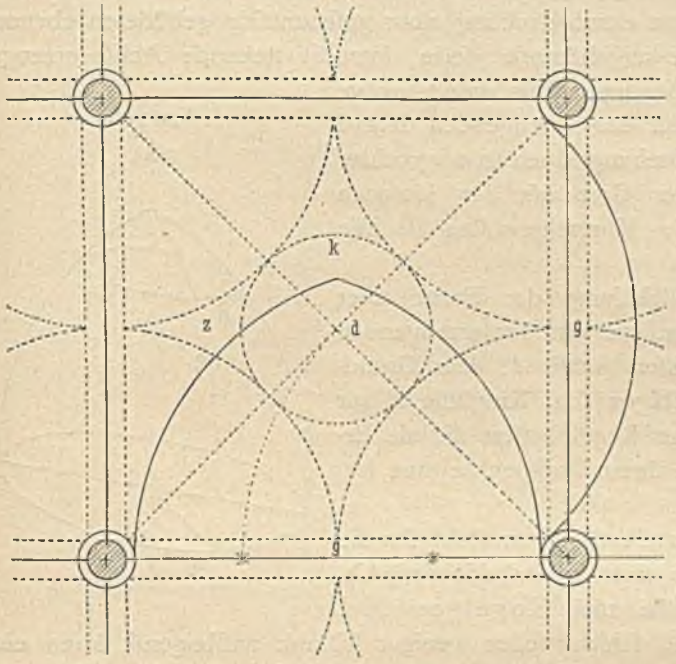
Führt man für den Gewölbkörper ein felbftändiges Rippenwerk nicht aus, läfst man vielmehr die Laibungsfläche des Gewölbes ausfchliefslich als Umdrehungsfläche beftehen und wird hiernach das Gewölbe gleichfam als eine maffive, trichterförmig nach oben fich ausbreitende Schale gemauert, fo entfteht das eigentliche Trichtergewölbe. Im Ziegelrohbau laffen fich folche Gewölbe ziemlich leicht herftellen. Die wirkliche, auf ftrengen Regeln des Gewölbbaues beruhende Bildung und Ausführung der an und für fich beachtenswerten Fächergewölbe, bei welchen das fchön und fachgemäfs geordnete Rippenfyftem die Hauptrolle übernimmt, um als Gruppe von Tragkörpern für die mit Bufung ausgeführten Kappenwölbungen dienen zu können, wird bei den Trichtergewölben jedoch zu fehr in den Hintergrund gedrängt. Gehören auch die Lagerflächen des Gewölbkörpers in Rückficht auf die jedesmalige Umdrehungsachfe geraden Kegelflächen an, deren gemeinfchaftliche Bafis in der wagrechten Kämpferebene als der Kreis K (Fig. 300) auftritt, welchen der Mittelpunkt m bei der Drehung der Erzeugenden der Trichterfläche befchreibt, fo liegen andererfeits die Stofsflächen der Wölbfchichten in lotrechten Ebenen E, welche fich fämtlich in

Fig. 300.



der Umdrehungsachfe fchneiden. Die Lagerkanten zwifchen den Stofsflächen find demnach an der Seite des Steines, welche der Umdrehungsachfe zugekehrt ift, kürzer als an der vorn in der Laibungsfläche des Trichterkörpers liegenden Seite, fo dafs ein Abrutfchen der Steine der einzelnen Wölbfchichten auf den nach innen geneigten Lagerflächen leicht eintreten kann. Die durch die Geftaltung des Wölbkörpers geforderte Anordnung der Stofsfugenflächen entfpricht aber nicht dem wahren Gefüge und dem inneren Wefen des Gewölbbaues. Um das Abrutfchen der Wölbfteine zu verhindern, ift die Anwendung eines ftark bindenden Mörtels, nicht allein für die Vermauerung der Steine der Trichterftücke, fondern auch für den Wölbkörper der zwifchen den Trichtern liegenden Spiegel, geboten, fo dafs im allgemeinen das forgfam herbeigeführte Feftkleben der Steine durch Mörtel vorherrfchend ift. Aus diefem Grunde nähern fich derart ausgeführte Trichtergewölbe den fog. Gufsgewölben. Der Fufs der einzelnen Trichterftücke wird in wagrechten, nach und nach vorgekragten Schichten, zweckmäfsig in fog. Rollfchichten, in folcher Höhe ausgeführt, bis eine ausreichende Lagerfläche für die ringförmigen oberen Wölbfchichten entftanden ift. Statt diefes aus Backftein gemauerten Anfängers ift beffer ein Anfänger aus Quadern zu verwenden.

Fig. 301.



Bei der Mauerung der Gewölbe, welche in den einzelnen Abteilungen felten eine Spannweite über 4 m erhalten und meiftens nur als Ziergewölbe ohne weitere fremde Belaftung gelten, werden nur leichte, einfache Lehrbogen an den Seiten und in der Richtung der Diagonalen der zugehörigen Abteilungen aufgeftellt. Diefe Hilfsbogen und eine nach der Erzeugenden der Umdrehungsfläche begrenzte, drehbare Brettfchablone ermöglichen das Innehalten der Gewölbform. Die Stärke diefer Gewölbe ift meiftens gleich $^1/_2$ Backftein.

Die eben befprochene Herftellung der Trichtergewölbe wird hinfichtlich ihrer Standfähigkeit einigermafsen durch Gurtbogen *g* (Fig. 301), welche die Abteilungen der Gewölbe an den Seiten begrenzen, verbeffert. Aufserdem ift die Einwölbung des Kranzes *k* im Spiegel und die Ausführung der Zwickelgewölbe *z* mit kleinen, bufigen Kappen, fowie der Schlufs innerhalb des Kranzes mit einem ganz flachen Kugelgewölbe ratfam. Eine weitere Verbeffernng kann, namentlich bei Gewölben über 4 m Spannweite, noch durch Hinzufügen von Gurtbogen in der Richtung der Diagonalen *d* der Abteilungen herbeigeführt werden. Die einzelnen Gurtbogen

erhalten zur Aufnahme der Wölbſchichten die in Fig. 205, II (S. 247) bereits angegebene Verzahnung.

Die Laibungsflächen dieſer Gewölbe werden geputzt, häufig kanneliert, auch entſprechend mit Stuck oder Malerei geſchmückt. Die infolge der Richtung der Stoſsfugen beſtehenden Mängel ihrer Konſtruktion werden hierdurch wohl verſchleiert, aber nicht beſeitigt.

---

18. Kapitel.

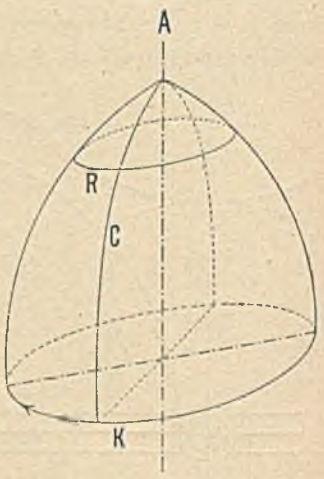
Kuppelgewölbe.

a) Geſtaltung der Kuppelgewölbe.

234. Form.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes iſt eine Umdrehungsfläche. Dieſelbe kann in ihrer einfachſten Form durch Drehung einer geſetzmäſsig gebildeten ebenen Kurve um eine ihrer Ebene angehörende, feſte, lotrecht ſtehende Achſe erzeugt werden, welcher ſie bei der Drehung ſtets ihre konkave Seite zuwendet. Jeder Punkt der erzeugenden Kurve beſchreibt nach vollendeter Drehung einen in wagrechter Ebene liegenden Kreis. Der Grundriſs der hiernach geſtalteten Laibungsfläche des Kuppelgewölbes iſt alſo gleichfalls ein Kreis.

Fig. 302.

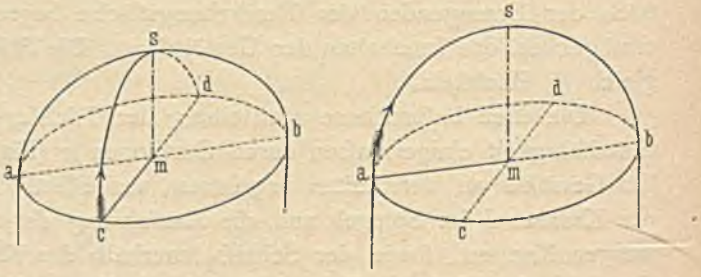


Dieſe einfachſte Entwickelung der Form einer Kuppelgewölbfläche iſt in Fig. 302 mit der erzeugenden Kurve C, der feſten lotrechten Achſe A, dem Grundriſskreiſe K und einer beliebigen ſog. Ringlinie R zur Anſchauung gebracht. In der Regel beſitzt die als Erzeugende gewählte Kurve in ihrem Fuſspunkte eine lotrechte Tangente.

Iſt dieſe Kurve ein Viertelkreis, ſo entſteht für die Laibung des Kuppelgewölbes eine Halbkugelfläche. Alsdann heiſst das Kuppelgewölbe auch Kugelgewölbe.

Die erzeugende Kurve, ſchlank oder weniger ſchlank aufſteigend, kann ein Kreisbogen, eine Viertelellipſe, ein Korbbogen, eine Parabel u. ſ. f. ſein. Je nach der Wahl derartiger Erzeugenden iſt die mehr oder weniger zum kräftigen Ausdruck zu bringende Form der Laibungsfläche der Kuppelgewölbe zu geſtalten.

Fig. 303.



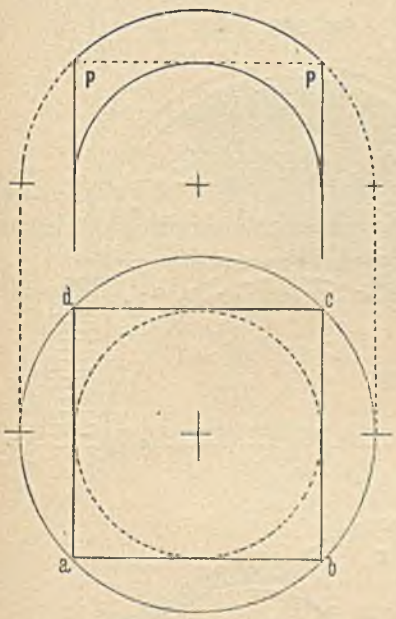
Bedingt die angegebene Weiſe der Erzeugung der Kuppelgewölbfläche einen Kreis als Grundriſs, ſo läſst ſich doch ſelbſt bei elliptiſchem Grundriſſe die Laibung des ſog. elliptiſchen Kuppelgewölbes nach Fig. 303 durch Drehung der halben Ellipſe abc um die groſse, in wagrechter Ebene liegende

Achſe *ab* oder auch durch Drehung der halben Ellipſe *cda* um die zugehörige kleine Achſe *cd* ebenfalls leicht erzeugen. In erſterem Falle giebt jede rechtwinkelig zu *ab* ſtehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt, während jede lotrechte, parallel zu *ab* ſtehende Ebene die Laibungsfläche nach halben Ellipſen ſchneidet. Entſprechend würden derartige Schnitte von Ebenen bei der zweiten angegebenen Erzeugungsart der Gewölbfläche zu beſtimmen ſein. Hier giebt jede rechtwinkelig zu *cd* ſtehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt.

Durch die beſchriebenen Geſtaltungen der Kuppelgewölbflächen iſt jedoch die Ausbildung der Kuppelgewölbe über kreisrunden oder elliptiſchen Grundriſſen allein keineswegs beſchränkt.

Mögen die Kuppelgewölbe in früheſter Zeit, abgeſehen jedoch von der Ausführung in der Deckenbildung ſelbſt, vorwiegend über Räumen mit reinem Kreisgrundriſse hergeſtellt ſein, weil dieſe Anordnung naturgemäſs am nächſten lag, ſo zeigt ſich beim Verfolgen des Weges, welchen die Entwickelung des Gewölbbaues eingeſchlagen hat, ſehr bald die Spur, welche darauf hinweiſt, Kuppelgewölbe über zehneckigen, achteckigen, alſo vieleckigen, und weiter über quadratiſchen Grundriſſen in Anwendung zu bringen.

Fig. 304.



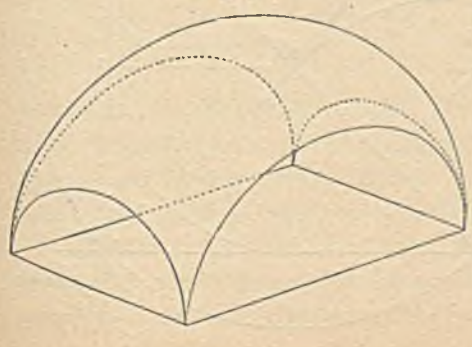
Baugeſchichtliche Anhaltspunkte hierfür ſind in Teil II, Band 2 dieſes »Handbuches« geboten.

235. Stutz- oder Hängekuppel: Erſtes Syſtem.

Beſondere, nach verſchiedenen Seiten ſich geltend machende Syſteme in der Geſtaltung der Kuppelgewölbe werden im allgemeinen durch die quadratiſche Grundriſsform veranlaſst.

Bleibt zuerſt die Umdrehungsfläche als Laibungsfläche des Kuppelgewölbes beſtehen, wie ſolches einem Kreisgrundriſse angehören würde, ſo geht der Grundkreis dieſer Kuppelfläche (Fig. 304) durch die Ecken *a*, *b*, *c*, *d* des quadratiſchen Grundriſſes. In den Seiten *ab*, *bc* u. ſ. f. aufgeſtellte lotrechte Ebenen ſchneiden von der Gewölbfläche genau beſtimmbare Stücke ab, ſo daſs die Fuſspunkte *a*, *b*, *c*, *d* der Kuppel die Anfänge von Kuppelzwickeln *P*, Pendentifs genannt, ſind, welche ſeitlich durch die Schnittlinien der Ebenen *ab*, *bc* u. ſ. f. begrenzt werden. Dieſe Schnittlinien bilden die Stirnbogen der Kuppelgewölbfläche. Hierdurch entſteht das Syſtem der ſog. einfachen Stutzkuppel oder Hängekuppel. Im beſonderen kann die Geſtaltung derartiger Stutzkuppeln auch über rechteckigen Grundriſſen (Fig. 305) oder über vieleckigen Grundriſſen, deren Ecken dann aber zweckmäſsig, zur Vermeidung ungleicher Höhenlage der Fuſspunkte der Kuppelzwickel, im Grundkreiſe der Kuppelflächen liegen, platzgreifen.

Fig. 305.



Müſſen die Fuſspunkte der Kuppelzwickel

in beſonderen, von der Grundriſsbildung der zu überdeckenden Räume abhängigen Fällen eine ungleiche Höhenlage erhalten, ſo iſt die Geſtaltung der Kuppelgewölbfläche mit Pendentifs füglich doch bei jedem beliebig begrenzten Grundriſs möglich, wenn nur der in der Ebene der Grundriſsfigur liegende Grundkreis der Kuppelfläche im allgemeinen die Grundriſsfläche des Raumes umzieht.

236. Zweites Syſtem.

Geht man wiederum von einem quadratiſchen Grundriſs aus, ſo erfolgt ein zweites Syſtem der Geſtaltung der Hängekuppel, ſobald über einer Kuppelfläche P (Fig. 306), deren Grundkreis bcd dem Quadrat umſchrieben iſt und welche dabei in ihrer Laibung die Kuppelzwickel P allein liefert, noch eine zweite Kuppelfläche K gebildet wird, deren Grundkreis den eingeſchriebenen Kreis des Quadrats als wagrechte Projektion beſitzt.

Bei der Annahme der Kuppelflächen als Kugelflächen iſt in Fig. 307 die zeichneriſche Durchbildung dieſes zweiten Syſtems der Geſtaltung der Hängekuppel über einem quadratiſchen Grundriſſe näher angegeben. Das Kreisſtück G kennzeichnet den umſchriebenen, für die Geſtaltung der Pendentifs P der unteren Kuppelfläche maſsgebenden Grundkreis, während das Kreisſtück B, dem eingeſchriebenen Kreiſe angehörend, die wagrechte Projektion des Grundkreiſes der aufgeſetzten Kuppelfläche bedingt.

Will man ſtatt der Kugelflächen P und K andere, geſetzmäſsig geſtaltete und in günſtiger Form auftretende Umdrehungsflächen als Kuppelgewölbflächen

Fig. 306.

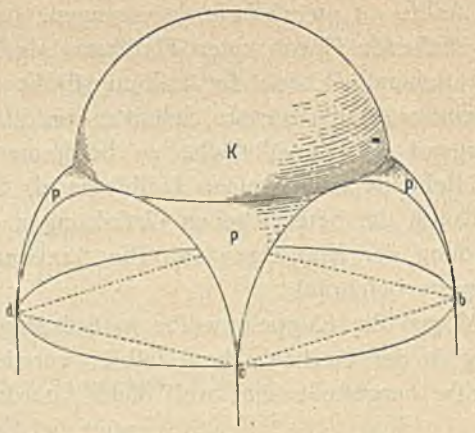


Fig. 307.

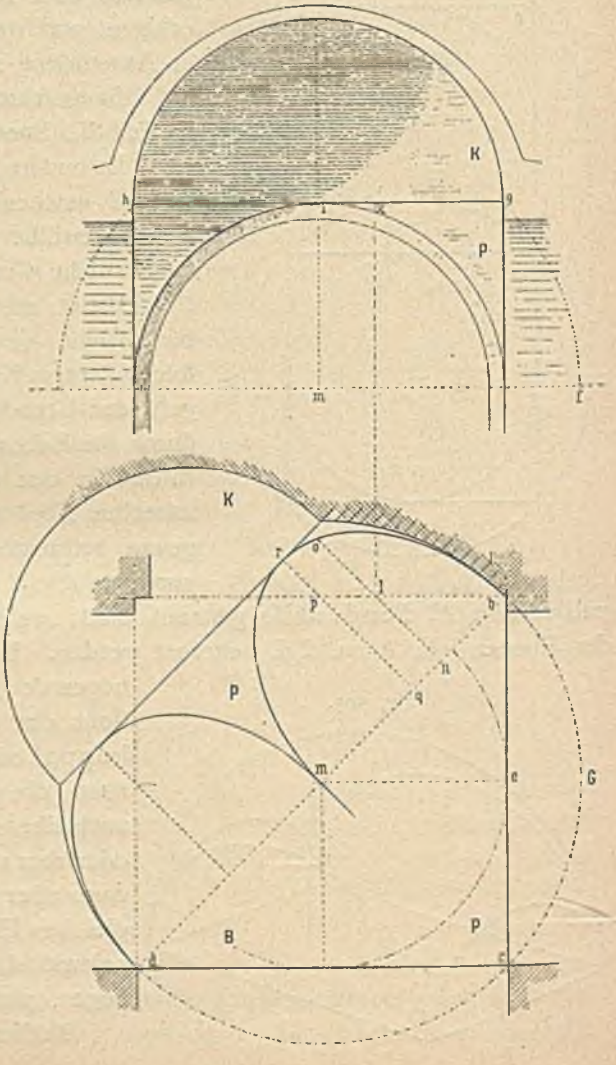
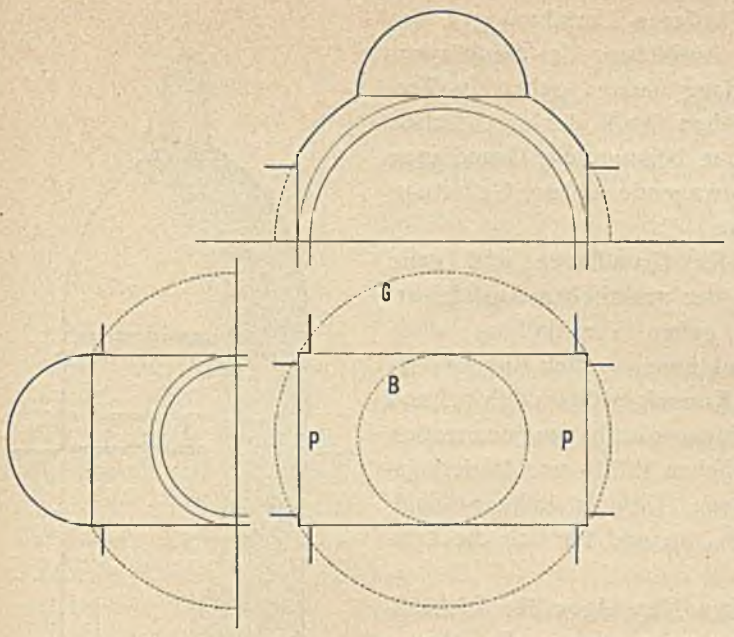


Fig. 308.



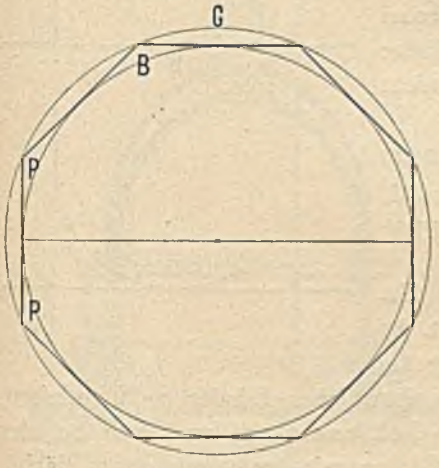
anwenden, ſo bleiben die Grundkreiſe G und B unverändert beſtehen.

Dieſes zweite Syſtem der Geſtaltung der Hängekuppel kann unter entſprechender Beachtung und Einfügung der Grundkreiſe G und B auch über rechteckigen Grundriſſen (Fig. 308) oder mehrſeitigen regelmäſsigen Grundriſſen (Fig. 309) zur Durchführung gelangen. Zahl und Form der hierbei auftretenden Pendentifs P ſind ſofort zu erkennen. Beim Feſtlegen des Grundkreiſes B kann auch ſelbſt von ſeiner Berührung mit den beiden langen Seiten der Grundriſsbegrenzung durch Verkleinerung ſeines Halbmeſſers Abſtand genommen werden.

237. Drittes Syſtem.

Wird zwiſchen dem unteren, die Pendentifs enthaltenden Teile der Hängekuppel und der oberen aufgeſetzten Kuppelfläche noch eine lotrechte cylindriſche Gewölbfläche T, Trommel oder Tambour genannt (Fig. 310) eingefügt, welcher der Grundkreis B als Leitlinie zugewieſen wird, ſo entſteht das Syſtem der ſog. Hängekuppel mit Tambour.

Fig. 309.



In der Regel werden in dem Tambour, deſſen Höhe, der architektoniſchen Durchbildung der geſamten Kuppelanlage gemäſs, ſehr verſchieden ausfallen kann, Lichtöffnungen zur Erhellung der Kuppel durch Tageslicht angebracht.

238. Lichtring.

Die bei den Kuppelgewölben ganz beſonders beachtenswerte Einwölbungsart nach konzentriſchen Ringſchichten, worauf bereits in Art. 196 (S. 320) näher hingewieſen iſt, geſtattet die Schaffung einer freien Oeffnung als Abſchluſs des Kuppelgewölbes. Die Ringſchicht, welche dieſe Oeffnung begrenzt, heiſst Lichtkranz, Lichtring, auch Schlufsring. Die Oeffnung ſelbſt, in irgend einer Weiſe als Deckenlicht verwertet, geſtattet die Beleuchtung der Kuppel durch Tageslicht in nicht zu unterſchätzender Weiſe.

Benutzt man den Lichtkranz als Träger eines beſonderen, in einfacher oder reicher Art ausgeführten, mit Lichtöffnungen verſehenen Kuppelauffatzes L, Laterne genannt, ſo entſteht das Kuppelgewölbe mit Laterne (Fig. 310).

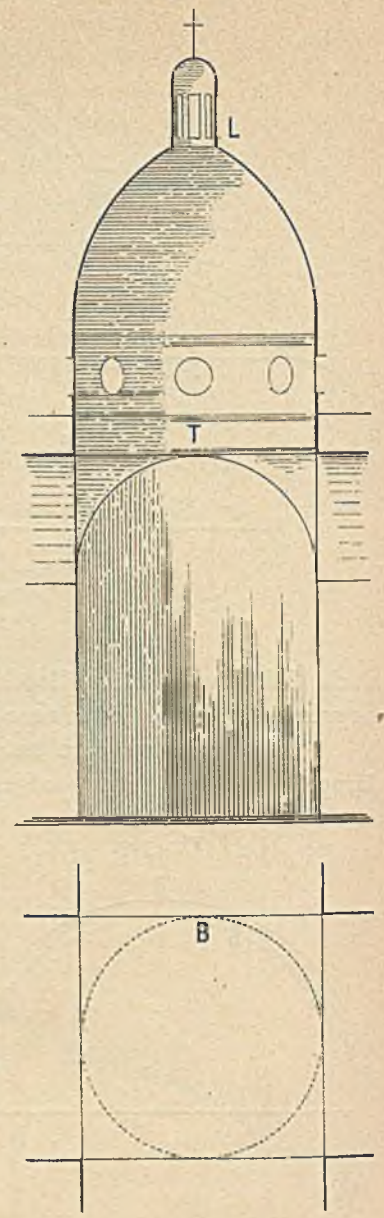
Die Krönungen der Kuppeln, mögen dieſelben in der Formgebung der äuſseren Umrahmungen der Lichtkränze oder in der Ausbildung des Baukörpers der Laternen ihren Ausklang finden, geben in Verbindung mit einer glücklichen Wahl der eigentlichen Bogenlinie der Kuppelfläche belangreiche Grundlagen für die würdige und hervorragende äuſsere Geſtaltung bedeutungsvoller Bauwerke.

Die Erkenntnis dieſer Grundlagen und ganz beſonders die Einfachheit der praktiſchen Ausführbarkeit der Kuppelgewölbe gaben Veranlaſſung, dieſe Gewölbe als »Groſskonſtruktionen« erſten Ranges einzuführen. Durch die bei Kuppelgewölben ſich geltend machenden, im allgemeinen günſtig zu nennenden ſtatiſchen Verhältniſſe zwiſchen Wölb- und Widerlagskörper fand das Beſtreben, ſelbſt in kühner Weiſe Kuppelbauten zu errichten, an und für ſich die kräftigſte Unterſtützung.

239. Stichkappen.

Sollen im eigentlichen Kuppelgewölbe Lichtöffnungen angebracht werden oder reichen die oberen Abſchluſsbogen von Fenſter- bezw. Thüröffnungen über den Fuſs des Kuppelgewölbes hinauf, ſo werden für dieſe Anlagen wieder die ſog. Stichkappen erforderlich. In den meiſten Fällen gehören die Laibungen der Stichkappen Kegelflächen an, deren Achſen nach dem Mittelpunkte des Grundkreiſes der mit Stichkappen zu verſehenden Kuppelflächen gehen. Hierbei iſt jedoch die Wahl einer Cylinder- oder Kugelfläche für die Laibungen der Stichkappen durchaus nicht ausgeſchloſſen.

Fig. 310.



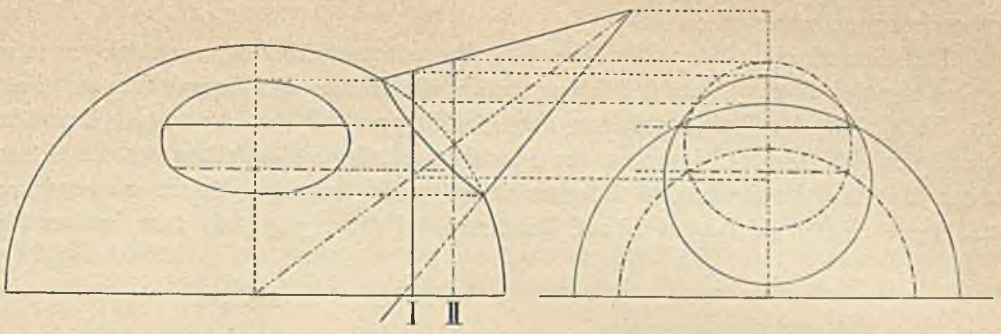
Das über die Ausmittelung der Stichkappen beim Tonnengewölbe in Art. 45 bis 48 (S. 95 bis 103) Geſagte bleibt im weſentlichen auch beim Kuppelgewölbe geltend.

Ebenſo bleiben auch hier die ſämtlichen Geſichtspunkte, welche beim Kloſtergewölbe in Art. 87 (S. 166), bezw. in Art. 88 (S. 168) für die Bildung der Stichkappen oder Lunetten aufgeſtellt ſind, ihrem eigentlichen Inhalte nach beſtehen.

Vollſtändig ringförmige Stichkappen, ſog. Ochſenaugen, entſtehen bei der Durchdringung von Kegelflächen, bezw. Cylinderflächen mit der Kuppelgewölbfläche. Meiſtens werden Kegelflächen gewählt. Die Leitlinie der Kegelflächen kann ein Kreis oder eine Ellipſe ſein. Die Kegelachſen ſind wiederum zweckmäſsig nach dem Mittelpunkte der zu durchdringenden Kuppelfläche gerichtet. Die Spitzen der Kegelflächen der runden Stichkappen liegen in entſprechender Entfernung oberhalb der Rückenfläche des Kuppelgewölbes.

Die Ausmittelung dieſer ringförmigen Stichkappen erfolgt durch die an und für ſich einfache Beſtimmung der Schnittlinien der Kegelflächen mit der Kuppel-

Fig. 311.



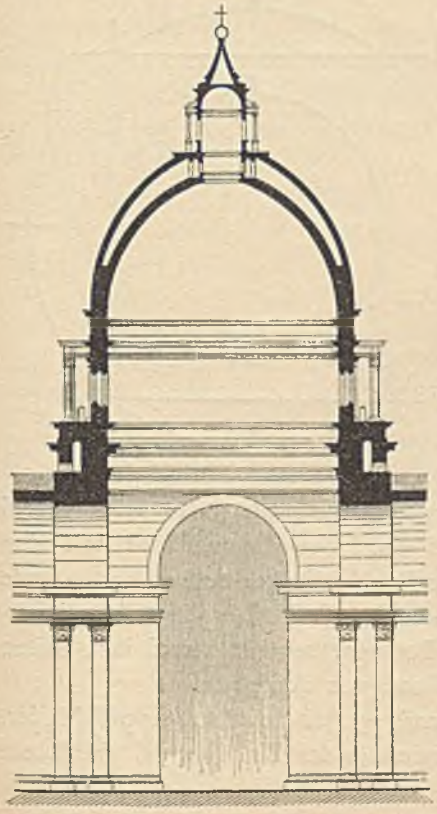
fläche. Die Anleitung zu diefer Beftimmung giebt Fig. 311, wobei für das Hauptgewölbe eine Kugelfläche, für die Laibung der runden Stichkappe eine Kegelfläche, deren Schnitte durch die lotrechten Ebenen *I*, *II* u. f. f. Kreife werden follen, angenommen ift.

Die Ermittelungen der inneren Begrenzungen und die damit in Verbindung ftehenden allgemeinen Geftaltungen des Ochfenauges bieten auch bei anderen Laibungsflächen des Gewölbes und der Stichkappen keine Schwierigkeiten. Die gefchaffene Lichtöffnung wird durch einen im Kuppelgewölbe liegenden Wölbkranz umrahmt.

240. Doppelkuppeln.

Erheben fich über einem gemeinfchaftlichen Grundrifs zwei in geringerer oder gröfserer Entfernung übereinander liegende felbftändige Kuppelgewölbe mit von einander verfchiedenen Umdrehungsflächen, fo entftehen die fog. Doppelkuppeln. Ihre Beftandteile find das gemeinfchaftliche Widerlager, die innere Kuppel und die äufsere Kuppel oder die Schutzkuppel. Letztere bildet gleichfam das Dach, um fchädliche Witterungseinflüffe vom inneren Kuppelgewölbe fernzuhalten. In der Regel treten beide Kuppelgewölbe in geringer Höhe über ihrem Widerlager zu einem gemeinfchaftlichen Gewölbftücke zufammen und zweigen fich erft von diefem Fufskörper aus nach oben hin voneinander ab.

Fig. 312.



Ein hervorragendes Bauwerk einer Doppelkuppel mit Pendentifs, Tambour und Laterne ift die bekannte Kuppel der *Peters*-Kirche in Rom (Fig. 312). Die gleichfalls berühmte Doppelkuppel des Domes zu Florenz ift ihrer Geftaltung nach, wie aus dem in Art. 85 (S. 163) Gefagten näher gefolgert werden kann, als eine dem Kloftergewölbe angehörende Haubenkuppel oder Walmkuppel mit Tambour und Laterne anzufehen.

241. Flachkuppel.

Ift die Erzeugende der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes irgend ein Flachbogen *ab* (Fig. 313), fo entfteht die einfache Flach-

kuppel, welche ſpäter als ſog. böhmiſches Kappengewölbe noch einer näheren Beſprechung zu unterziehen iſt.

Der Grundkreis G der Flachkuppel geht bei quadratiſcher, rechteckiger oder regelmäſsig-vieleckiger Grundriſsbildung durch die Ecken der Grundriſsfigur. Nach dem Feſtſtellen der Laibungsfläche der Flachkuppel iſt das Austragen ihrer Anſchluſslinien, d. h. der Stirnlinien der Flachkuppel, ſoweit dieſelben für die Seitenebenen des zu überdeckenden Raumes in Betracht kommen, leicht zu bewirken. Setzt man eine Flachkuppel F auf Pendentifs P (Fig. 314), ſo tritt in der ſog.

Fig. 313.

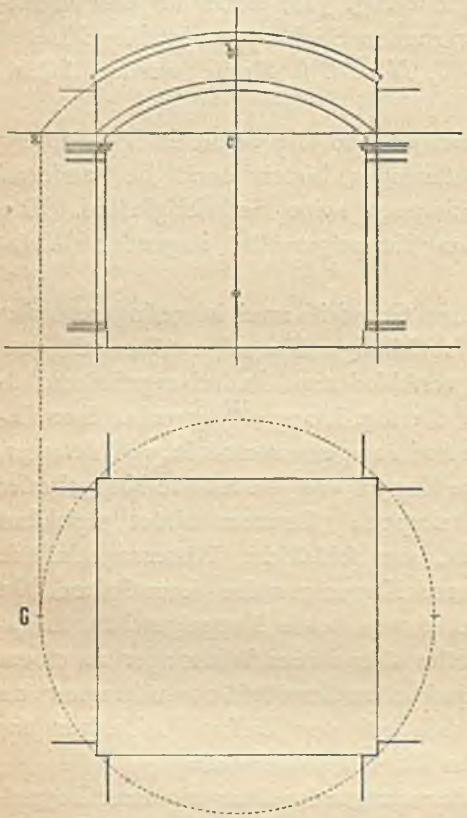
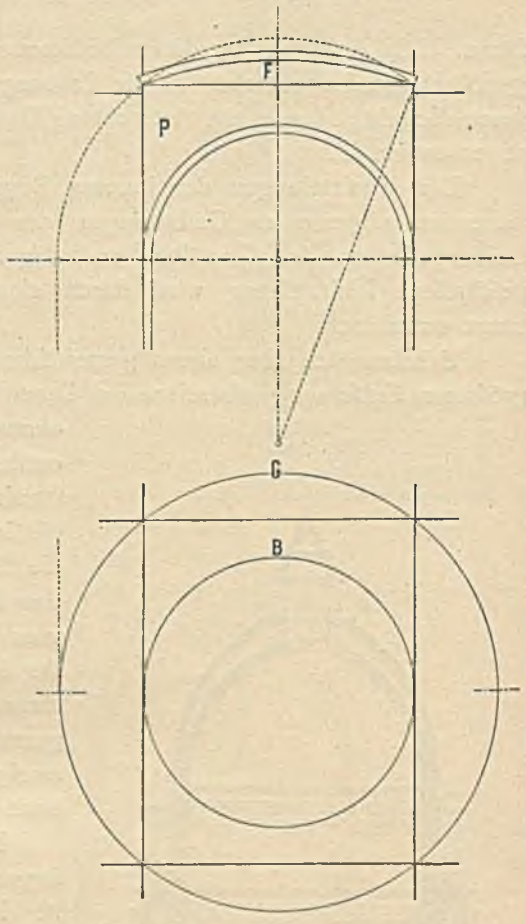


Fig. 314.



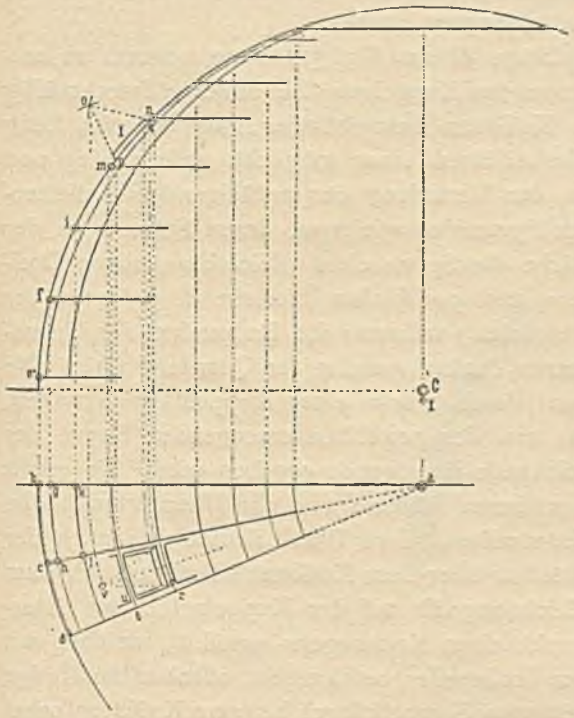
Flachkuppel mit Pendentifs nur eine geringe Umgeſtaltung des in Art. 236 (S. 366) bezeichneten Syſtems der Hängekuppel ein. Die Kuppelfläche mit den Pendentifs P beſitzt neben ihrem beſonderen Grundkreiſe G eine andere Erzeugende als die Flachkuppel mit dem ſelbſtändigen Grundkreiſe B. Dieſer liegt ſtets innerhalb der Grundriſsfläche des zu überwölbenden Raumes, berührt dabei ihre Seiten oder erhält einen gröſseren oder geringeren Abſtand von denſelben.

Die häufig ſehr niedrig gehaltene, tellerförmig geſtaltete Flachkuppel (Teller, Nabel, Calotte) wird oft vorteilhaft von den Pendentifs der Unterkuppel durch ein ringförmig geführtes Geſims getrennt.

242. Kaſſettierte Kuppelgewölbe.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes kann in mannigfaltigſter Weiſe durch Malerei, Stuck, vortretende Rippen u. ſ. w. verziert werden. Vielfach erfolgen Ausſtattung und Gliederung der Laibung der Kuppelgewölbe durch die ſchon beim Tonnengewölbe in Art. 44 (S. 94) erwähnten Kaſſetten. Dieſelben können mit ihren Stegen die wechſelvollſten Formen annehmen, dabei beſonders geordnete, nebeneinander liegende oder miteinander verſchlungene Felder bilden und in mancherlei Weiſe mit Gliederungen, Roſetten, Arabesken, figürlichen Darſtellungen in einfacher oder reicher Ausſtattung verſehen werden. In der Nähe des Scheitels des Kuppelgewölbes läſst man zur Vermeidung der hier zu klein erſcheinenden Kaſſetten den ſog. Spiegel oder Nabel der Kuppel meiſtens ohne Kaſſettenteilung. Je nachdem der Scheitel des Gewölbes mit einem Deckenlicht verſehen wird oder ſeine urſprüngliche Gewölbbildung behält, iſt eine entſprechende Ausſchmückung des Gewölbſpiegels vorzunehmen.

Fig. 315.



243. Kaſſetten-Anordnung: I. Verfahren.

Für die Anordnung der Kaſſetten ſollen einige Grundlagen mitgeteilt werden, welche im allgemeinen die möglichſte Einfachheit bewahren.

Das zeichneriſche Ausmitteln der Kaſſetten mit den trennenden Stegen kann nach Fig. 315 auf folgendem, ſehr einfachem Wege vorgenommen werden.

Auf dem Grundkreiſe oder der Kämpferlinie $b\,d$ der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes beſtimmt man gleiche Teilweiten $b\,c$, $c\,d$ u. ſ. f. und ſetzt die nach den Teilpunkten b, c, d u. ſ. f. gezogenen Halbmeſſer $a\,b$, $a\,c$, $a\,d$ u. ſ. f. als wagrechte Projektionen der Mittellinien der nach dem Scheitel der Kuppel aufſteigenden Stege feſt. Soll den Kaſſetten eine nahezu quadratiſche Form gegeben werden, ſo trägt man auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um C beſchriebener Viertelkreis mit dem Halbmeſſer $a\,b$ gewählt, zugleich die lotrechte Projektion der Mittellinie des Steges $a\,b$ iſt, unter Beachtung einer paſſenden Entfernung über die Kämpferebene des Gewölbes, z. B. von e aus, die Teilweite $b\,c$ des Grundkreiſes $b\,d$ als $e\,f$ ab. Hierauf ermittelt man die Grundriſsprojektion des Punktes f auf $a\,b$ in g und beſchreibt um a mit dem Halbmeſſer $a\,g$ einen Kreis. Derſelbe giebt die Grundriſsprojektion der Mittellinie des erſten, konzentriſch mit der Kämpferlinie der Kuppel ziehenden Kaſſettenſteges. Seine Schnitte g, h mit den Steglinien $a\,b$, $a\,c$ u. ſ. f. ſind die oberen Endpunkte der Teilriſſe der erſten Kaſſettenreihe. Die unteren Endpunkte der Teilriſſe dieſer Reihe erhält man nach Ermitteln der Grundriſsprojektion des Punktes e auf $a\,b$. Die Schnitte des Kreiſes, welcher durch dieſe Grundriſsprojektion beſtimmt und in der Zeichnung punktiert dargeſtellt iſt, mit den Geraden $a\,b$, $a\,c$ u. ſ. f. ſind die geſuchten Endpunkte.

Liegt bei einer ſog. Ueberhöhung der Kuppel die Kämpferebene unter C, ſo erhält die Kaſſettenanlage infolge der günſtigen Annahme des Punktes e in zweckmäſsiger Weiſe einen entſprechend hohen Sockel. Hierdurch iſt ſelbſt bei einem kräftig ausladenden Kämpfergeſims die untere Kaſſettenreihe noch deutlich und vollſtändig vom Fuſsboden des überwölbten Raumes aus zu erkennen.

Für die Teillinien der zweiten Kaſſettenreihe wird die Weite $g\,h = f\,i$ auf der Erzeugenden abgetragen und nunmehr wiederum ganz im Sinne des für das Ausmitteln des erſten Kaſſettenzuges Geſagten verfahren. Auf dem beſchriebenen Wege erhält man nach und nach die ſämtlichen Netzlinien für die Kaſſetten.

Sollen über Ecke geſtellte oder vieleckig begrenzte Kaſſetten angewendet werden, ſo kann das ſoeben beſprochene Netz als Hauptnetz für das Einzeichnen der Teillinien beliebig geformter Kaſſetten leicht benutzt werden.

Die Stege zwiſchen den aufſteigenden Kaſſettenreihen treten vom Kaſſettenſockel bis zum Kuppelſpiegel mit ſtetig verjüngter Breite auf. Ihre Grenzlinien ſind Meridianbogen der Kuppelfläche. Setzt man die gewünſchte Breite dieſer Stege unter Beachtung der Mittellinien des Hauptnetzes im Grundriſs am Sockel der Kaſſettenreihen feſt, ſo ergeben ſich durch Ziehen der zugehörigen Halbmeſſer die wagrechten Projektionen der Seitenlinien, wie z. B. su, der aufſteigenden Stege.

Die Breite der ſämtlichen Querſtege der Kaſſetten wird in der Grundriſsprojektion meiſtens gleich groſs genommen. In der Aufriſsprojektion zeigen ſich dieſe Querſtege dann in Abſchnitten auf der Erzeugenden vom Sockel der Kaſſettenanlage bis zum Spiegel der Kuppel in verjüngter Breite.

Die zeichneriſche Darſtellung der Stege iſt aus Fig. 315 ohne weiteres zu entnehmen. Die Kaſſetten ſollen Vertiefungen im Kuppelgewölbe bilden. Zweckmäſsig iſt die Vertiefung bei den gröſseren Kaſſetten beträchtlicher, als bei den ſtetig kleiner werdenden Kaſſetten. Zum Herbeiführen einer möglichſt geſetzmäſsig und nicht zu ſchroff erfolgenden Abnahme der Vertiefung der aufſteigenden Kaſſettenzüge bildet man die Vertiefungen nach Pyramiden wie pqo, deren Spitze o in der Ebene der Erzeugenden der Kuppelfläche die Spitze eines gleichſchenkeligen Dreieckes iſt. Die Länge der Schenkel po und qo ſolcher Dreiecke iſt jedesmal der Teilweite mn der zugehörigen Kaſſette gleich, während die Endpunkte der Grundlinie dieſer einzelnen Dreiecke die inneren Punkte p und q der Querſtege ſind. Die innere Abſchluſsfläche der Kaſſetten wird durch Stücke einer Kuppelfläche erhalten, welcher eine beſondere, in der Form von der gewählten erzeugenden Kurve der eigentlichen Laibungsfläche etwas abweichende Erzeugende gegeben wird. Sie erhält für die unteren Kaſſettenreihen einen gröſseren Abſtand von der Haupterzeugenden der Kuppel als für die oberen Kaſſettenreihen. Ihre Wahl richtet ſich nach der Tiefe, welche man den Kaſſetten unmittelbar über dem Kaſſettenſockel und vor dem Kuppelſpiegel geben will. In der Zeichnung iſt auf der Kuppelachſe der unterhalb C gelegene Punkt I als Mittelpunkt eines Kreisbogens gewählt, welcher mit dem die Tiefe der Kaſſetten feſtlegenden Halbmeſſer beſchrieben, offenbar das ſtetige Wachſen der Vertiefungen der Kaſſetten vom Kuppelſpiegel bis zum Kaſſettenſockel bedingt. Für eine Kaſſette über pq iſt ein Stück I dieſes Bogens gezeichnet.

Iſt für eine aufſteigende Kaſſettenreihe die Spitze o der zugehörigen Pyramide, iſt aufserdem die Abſchluſslinie I der einzelnen Kaſſetten durch die Aufriſsprojektion in einer Meridianebene beſtimmt, ſo laſſen ſich die wagrechten Projektionen der einzelnen Kaſſetten finden. Für die Kaſſette über pq iſt v die wagrechte Projektion der Pyramidenſpitze o. Mit Benutzung des Punktes v und der Aufriſsprojektionen der Kaſſette pq wird, wie aus der Zeichnung unmittelbar zu erkennen iſt, die Darſtellung des Grundriſſes der Kaſſetten leicht ermöglicht.

Sollen die Kaſſetten ſtaffelartig angelegte Umrahmungen erhalten, ſo iſt das für die Ausmittelung der Kaſſetten angegebene Verfahren nur der Zahl der Staffeln entſprechend oft zu wiederholen.

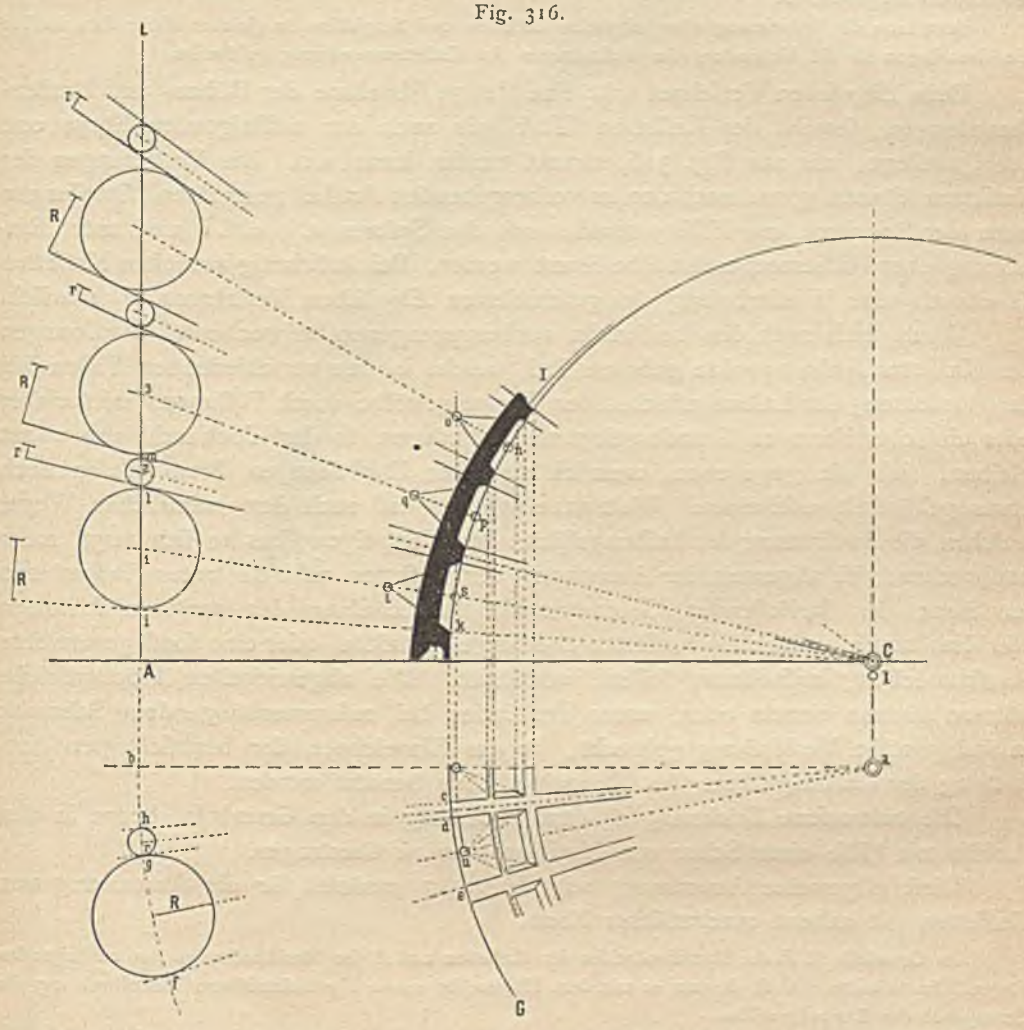
214. II. Verfahren.

Ein zweites Verfahren für die Geſtaltung der Kaſſetten mit ihren Stegen iſt unter der Bezeichnung »*Emy*'ſches Verfahren« bekannt. Hierbei wird nach Fig. 316 der Kreis G der oberen Kante k des Kaſſettenſockels als Teilkreis für die Weiten ed

der unteren Kaſſettenreihe und der Breiten cd des Fuſses der Stege zu Grunde gelegt. Die Meridianſchnitte ac, ad, ae u. ſ. f. beſtimmen die Begrenzungen der Kaſſettenreihen.

Für die Aufriſſe der Kaſſetten und Stege auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um C beſchriebener Viertelkreis angenommen iſt, werden Hilfskreiſe mit dem Halbmeſſer R für die Kaſſetten und dem Halbmeſſer r für die Stege benutzt, welche mit den Teilbreiten de und cd des Teilkreiſes G in Abhängigkeit gebracht werden. Hierzu beſchreibt man im Grundriſs mit dem beliebigen, entſprechend groſs gewählten Halbmeſſer ab um a den Kreisbogen bf und erweitert die Strahlen ac, ad, ae bis zu ihren Schnitten h, g, f mit dem Kreisbogen bf. Die Linien ah und ag ſollen Tangenten des kleinen Kreiſes mit den Berührungspunkten h und g werden.

Fig. 316.



Der Schnitt der hier nicht gezeichneten Lote in h auf ah und in g auf ag beſtimmt den Mittelpunkt dieſes Kreiſes und die Gröſse ſeines Halbmeſſers r. Aufserdem ſollen die Linien ag und af Tangenten des groſsen Kreiſes mit den Berührungspunkten g und f werden. Lote in g auf ag und in f auf af ſchneiden ſich im Mittelpunkte des geſuchten Kreiſes, wonach alsdann die Gröſse des Halbmeſſers R zu beſtimmen iſt.

Für den Aufriſs wird in der Meridianebene CA der Kuppel die Länge $CA = ab$ abgetragen und in A auf CA das Lot AL errichtet. Durch den gegebenen, in der oberen Sockelkante der Kaſſettenreihen liegenden Punkt k wird die entſprechend verlängerte Gerade Ci gezogen. Das auf Ci an beliebiger Stelle errichtete Lot R erhält die Länge des Halbmeſſers R des für die Kaſſettenbreite feſtgeſtellten Hilfskreiſes gf. Zieht man durch den Endpunkt des Lotes R die Parallele zu Ci, ſo trifft

dieſelbe die Gerade AL im Punkte 1. Der um 1 mit dem Halbmeſſer R beſchriebene Kreis wird für die Höhe der erſten Kaſſettenreihe maſsgebend. Die verlängerte Gerade Ck iſt aus Gründen, welche, wie leicht erſichtlich, durch die Zeichnung an und für ſich bedingt ſind, eine Tangente des Kreiſes. Zieht man von C aus eine zweite Tangente Cl dieſes Kreiſes, ſo wird die Höhe der erſten Kaſſettenreihe auf der Kuppelerzeugenden erhalten.

Zum Feſtlegen der nun folgenden Steghöhe wird wiederum in einem beliebigen Punkte der Tangente Cl das Lot r von der Länge des Halbmeſſers r des für die Stege ermittelten Hilfskreiſes hg errichtet und durch den Endpunkt dieſes Lotes eine Parallele zu Cl gezogen, um im Schnitte 2 dieſer Parallelen mit AL den Mittelpunkt des für die Steghöhe maſsgebenden Kreiſes mit dem Halbmeſſer r zu erhalten. Eine von C aus an dieſen Kreis gezogene Tangente Cm ſchneidet die geſuchte Steghöhe auf der Kuppelerzeugenden ab.

Setzt man die Beſtimmung aller folgenden Kaſſetten- und Steghöhen in gleicher Weiſe fort, ſo ſind alle Grundlagen für die Vollendung des Gaſamtnetzes der Kaſſettenanordnung geſchaffen.

Beim *Emy*'ſchen Verfahren tritt eine ſtetige Abnahme der Höhen- und Breitenabmeſſungen, ſowohl der Kaſſetten ſelbſt, als auch der aufſteigenden Stege und der Querſtege, wie aus Fig. 316 erkannt werden kann, ein. Die Vertiefungen der Kaſſetten können genau nach den im vorhergehenden Artikel gemachten Mitteilungen unter der Annahme von Hilfspyramiden mit den Spitzen o, q u. ſ. f. und unter Einführung einer Hilfserzeugenden I beſtimmt werden. Bei ſtaffelartig vertieften Kaſſetten iſt einfach eine Wiederholung des geſchilderten *Emy*'ſchen Verfahrens erforderlich.

245. III. Verfahren.

Wenngleich nach den beiden im vorhergegangenen beſprochenen Anordnungen der Kaſſetten Anhaltspunkte geboten ſind, welche in den verſchiedenſten Fällen bei der Ausſtattung der Laibungsflächen der Kuppelgewölbe durch Füllungen mit reicher oder einfacher Form zu Grunde gelegt werden können, ſo darf doch nicht unerwähnt bleiben, daſs die gegebenen, ziemlich einfachen Darſtellungen ihrem Weſen nach etwas gekünſtelt erſcheinen. Weit unbefangener und auch dem natürlichen Wege, welchen die Ausſtattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes an ſich zeigt, mehr entſprechend, iſt allgemein der Anordnung der Kaſſetten nahe zu treten, indem man im Sinne der darſtellenden Geometrie die Abwickelung der meiſtens ſchmalen Meridianſtreifen, welche die Kaſſetten und Stege enthalten, oder eine ſonſt gewünſchte Ausſchmückung aufnehmen ſollen, vornimmt. Die abgewickelten Flächenſtücke können alsdann einzeln oder, unter Umſtänden bei zuſammenhängendem Schmuck in ſachgemäſse Verbindung gebracht, für das Einzeichnen der beabſichtigten Ausſtattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes benutzt werden.

Die entworfene Zeichnung iſt dann rückläufig in den Grundriſs, bezw. in den Aufriſs mit Hilfe einer Schar von Meridianlinien zu übertragen.

Dieſe allgemeine Anordnung zeigt Fig. 317 zunächſt für die Anordnung von Kaſſetten mit nahezu quadratiſcher Form.

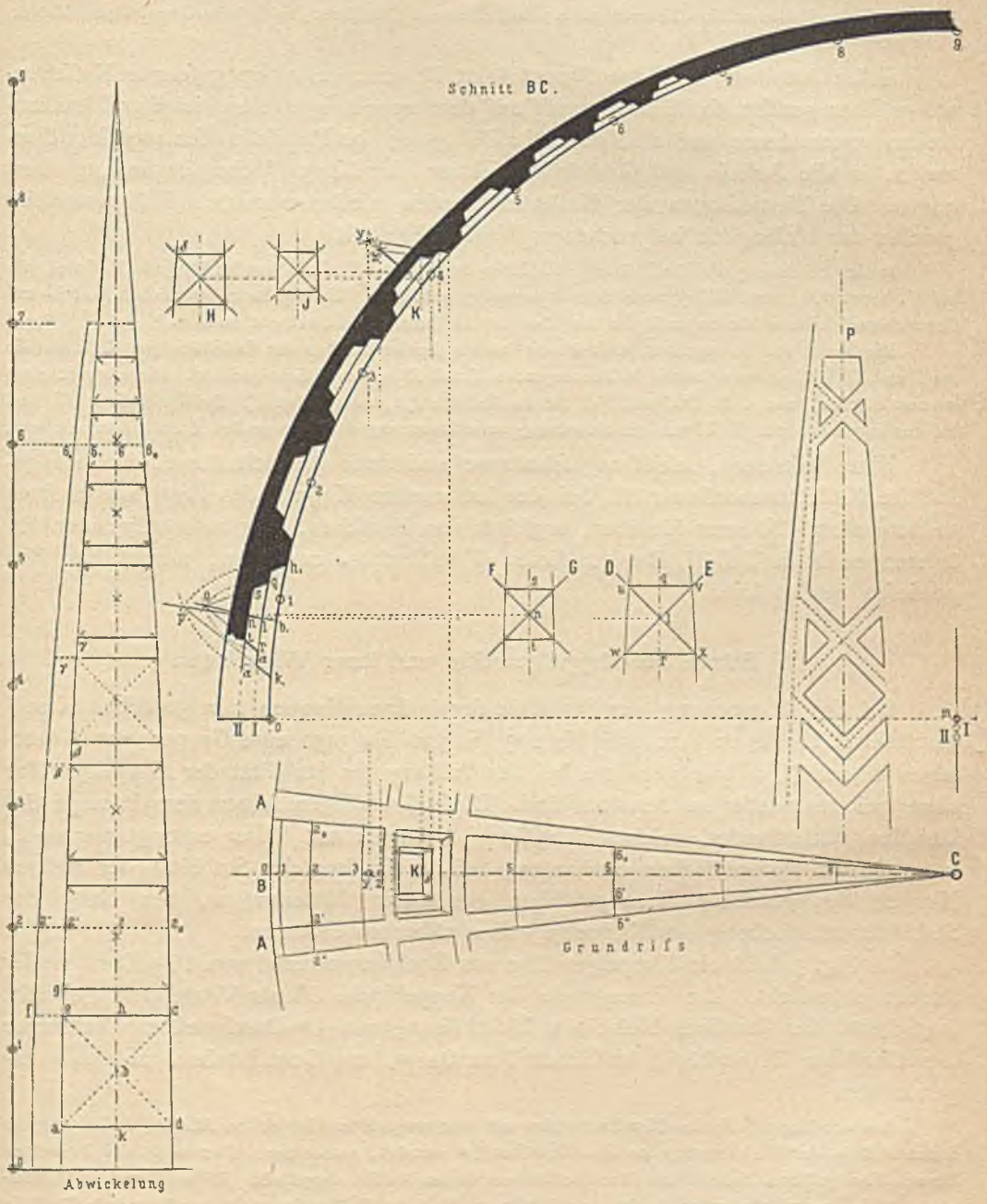
Im Grundriſs iſt B der Meridianſtreifen der Kaſſetten und A der Meridianſtreifen des aufſteigenden Steges. Im Schnitte BC iſt der um m mit dem Halbmeſſer $mo = Co$ beſchriebene Viertelkreis oq die Erzeugende des Kuppelgewölbes.

Der Viertelkreis oq iſt in q gleiche Teile geteilt. Im Plane der Abwickelung ſind die Erſtreckungen $o1$, 12 u. ſ. f. gleich den Bogenlängen $o1$, 12 u. ſ. f. auf der lotrechten Linie oq abgetragen.

Durch die Punkte o, 1, 2 u. ſ. f. gezogene Wagrechte müſſen bei der durch k lotrecht gelegten Erſtreckung der Meridianlinie über Co des Grundriſſes die erſtreckten Bogenlängen der durch o, 1, 2 u. ſ. f. um C im Grundriſs beſchriebenen Bogen der Parallelkreiſe der Kuppelfläche je zur Hälfte nach links und rechts von der Linie k aus, ſoweit dabei die Meridianſtreifen A und B in Betracht kommen, aufnehmen. So iſt z. B. bei der durch 2 angenommenen wagrechten Linie $2\,2_0 = 2\,2$, gleich der Erſtreckung der Bogenlänge $2\,2_0 = 2\,2$, im Grundriſs für den Meridianſtreifen B. Ebenſo iſt hier für den Meridianſtreifen A die Länge $2, 2_{,,}$ gleich der erſtreckten Bogenlänge $2, 2_{,,}$ im Grundriſs. In gleicher Weiſe iſt noch bei der wagrechten Linie $6\,6_0$ in der Abwickelung und dem Bogen $6_0\,6_{,,}$ im Grundriſs verfahren.

Iſt die Abwickelung der Meridianſtreifen *B* und *A* vollſtändig gezeichnet, ſo kann das Eintragen der unteren und oberen Seitenlinien der Kaſſetten in folgender Weiſe geſchehen. In der Höhe *k* der Abwickelung über dem Fuſse *o* des Kuppelgewölbes iſt *a d* als erſte untere Kaſſettenlinie feſtgelegt. Von *a* und *d* aus ſind unter einem Winkel von 45 Grad zu *a d* die Linien *a c* und *d e* gezogen. Die Wagrechte *e c* beſtimmt die obere Linie der nahezu quadratiſch geformten Kaſſette.

Fig. 317.



Um die Breite des nun folgenden Querſteges zu erhalten, iſt die Gerade *e c* bis zur Abwickelungslinie des Meridianſtreifens für den aufſteigenden Steg nach *f* zu führen und in *f* eine Linie *f g* unter 45 Grad zu *c f* zu ziehen. Die durch *g* gelegte Wagrechte giebt die untere Seite der zweiten Kaſſettenreihe. Auf dieſem Wege ſchreitet man nach und nach vor, um, wie aus dem Plane der Abwickelung

genau zu verfolgen ift, die Kaffetten- und Steganlage vollftändig in der Abwickelung zur Darftellung zu bringen.

Das Zurückführen der unteren und oberen Seitenlinien der Kaffetten auf die Gewölbfläche wird mittels der Erzeugenden $o\,q$ im Schnitte $B\,C$ vorgenommen. Hier ift z. B. die Bogenlänge $k, b,$ durch Benutzung kleiner Teilftrecken der Länge $k\,b$ gleich der Erftreckung $k\,b$ der Abwickelung abzutragen. Ebenfo ift die Bogenlänge $b, h,$ fo abzumeffen, dafs diefelbe der Erftreckung $b\,h$ gleich wird. Gleiches gilt für die Stegbreiten.

Sind alle Kaffettenhöhen hiernach auf $o\,q$ im Schnitte $B\,C$ beftimmt, fo find die Grundrifsprojektionen leicht anzugeben.

Sollte etwa, wie im Plane P ausgeführt ift, eine befonders geformte Kaffettenanlage Platz greifen, fo ift ihr Entwurf auf dem zugehörigen abgewickelten Meridianftreifen vorzunehmen und alsdann unter Einfügung von Parallelkreifen und Meridiankreifen in die Aufrifs- und Grundrifsprojektion der Kuppelfläche forgfam zu übertragen. Die Vertiefungen der Kaffetten werden wiederum mittels Hilfspyramiden ganz in der hinlänglich befprochenen Weife feftgeftellt.

In der Zeichnung find ftaffelförmige Kaffetten dargeftellt. Deshalb wurden für jede Kaffette, wie bei K, bezw. $k, h,$, zwei Hilfspyramiden in Anwendung gebracht. Die hierfür erforderlichen Aufrifs- und Grundrifsprojektionen können nach den Angaben der Zeichnung leicht erkannt werden.

Hierbei ift nur zu beachten, dafs für die inneren beiden Flächen der ftaffelförmigen Kaffetten die um I und II befchriebenen beiden Hilfserzeugenden I und II zu berückfichtigen find. Die abgewickelten inneren Flächen, wie z. B. $D\,E$ und $F\,G$ für die Kaffette $k, h,$ oder H und J für die Kaffette K, find bei der angenommenen ftaffelförmigen Anordnung unter Benutzung der Erzeugenden I und II zu zeichnen.

Eine befondere, fchief angefchnittene und ftark unterfchnittene, dreifach geftaffelte Kaffettenanordnung ift bei der kreisrunden Kuppel des Pantheon in Rom zu bemerken. Näheres hierüber, begleitet von kritifchen, fehr zu würdigenden Erörterungen ift in Teil II, Band 2 diefes »Handbuches« zu finden, worauf hier hingewiefen werden kann.

b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager.

246. Stabilität der Kuppelgewölbe.

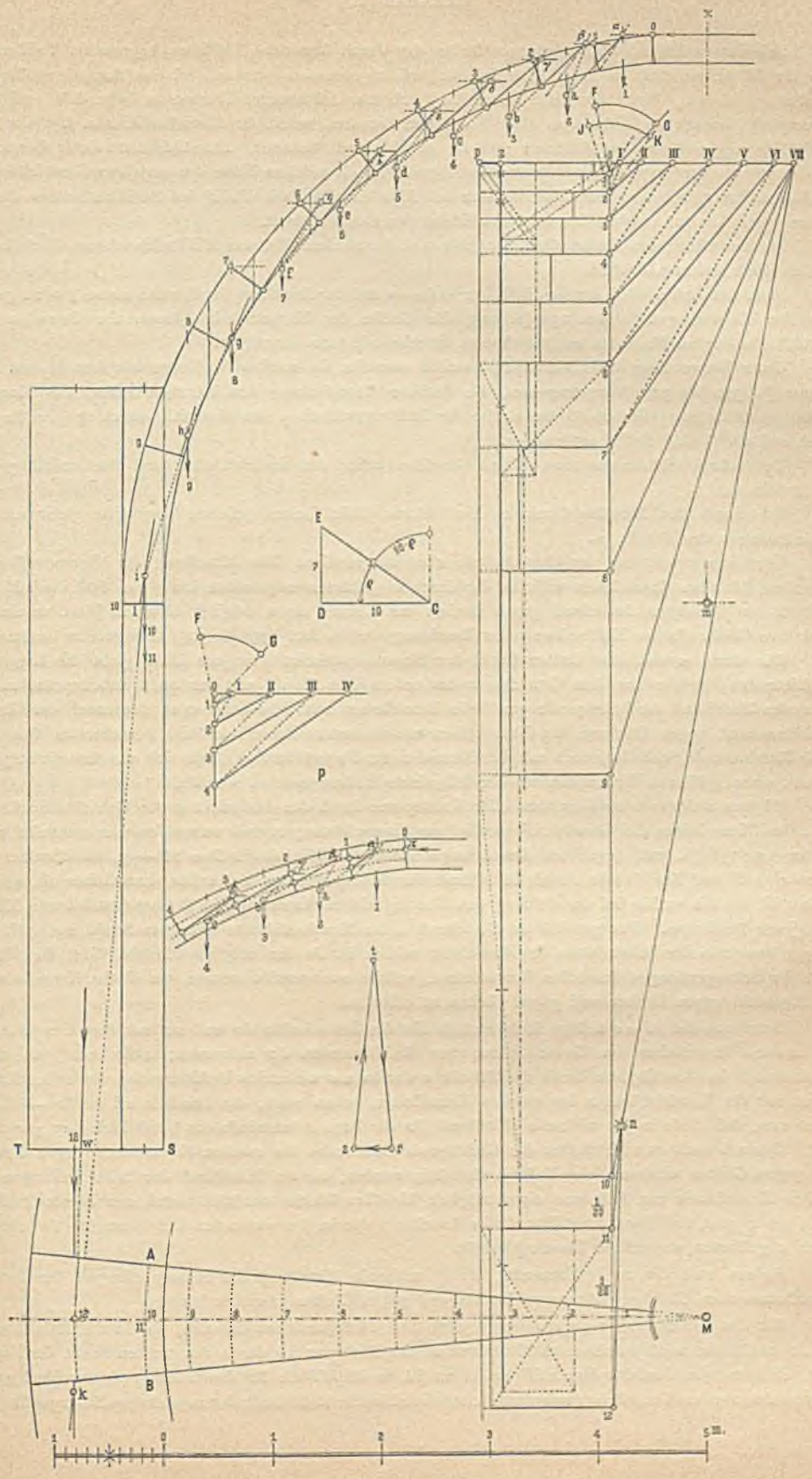
Bei der Befprechung der Stabilität der bufigen Kappen der gotifchen Kreuzgewölbe ift bereits in Art. 196 bis 203 (S. 320 bis 329) eine Gruppe von Grundlagen mitgeteilt, welche geradezu bei der Prüfung der Stabilität der Kuppelgewölbe ohne weiteres wieder zu benutzen find. Diefe Grundlagen folgen dem Prinzipe des kleinften Widerftandes, welches *Scheffler*[31]) bewiefen hat. Hier erübrigt nur noch, unter Benutzung der foeben erwähnten, bei der Prüfung der Stabilität der bufigen Kappen des gotifchen Kreuzgewölbes gemachten Mitteilungen, den Gang der Stabilitätsunterfuchung des Kuppelgewölbes näher zu erläutern.

In Fig. 318 ift ein Kuppelgewölbe aus Backfteinmaterial von $10^{\,m}$ Durchmeffer ftatifch unterfucht. Die Erzeugende der Kuppelfläche ift als Viertelkreis gewählt. Im Scheitel des Gewölbes bleibt eine Lichtöffnung von $1^{\,m}$ Durchmeffer. Die Stärke des Gewölbes ift vorläufig im Scheitel zu $0{,}25^{\,m}$, am Gewölbfufse l zu $0{,}38^{\,m}$ angenommen.

Aus der Kuppel ift der Meridianftreifen mit der wagrechten Projektion $M\,A\,B$, deffen mittlere Dicke $A\,B$ in der Widerlagsfuge 10 des Gewölbes $1^{\,m}$ beträgt, entnommen. Der nach der lotrechten Ebene $M\,10$ geführte Schnitt des Meridianftreifens ift im Aufrifs dargeftellt. Diefe Ebene ift Kräfteebene. Die Bogenfläche o bis 10 des Gewölbkörpers ift in 10 Teilftreifen zerlegt und für jede Teillinie nach den in Art. 24 (S. 60) gegebenen Ausführungen die zugehörige, nach m gerichtete Wölbfuge eingezeichnet.

31) Siehe: Scheffler, H. Die Hydraulik auf neuen Grundlagen. Leipzig 1891.

Fig. 318.



Bei der verhältnismäfsig geringen Breite der durch lotrechte Teillinien begrenzten Teilftreifen kann ihr Schwerpunkt als in ihrer Mittellinie liegend angenommen werden. Ift das Kuppelgewölbe im Scheitel gefchloffen, fo ift das erfte obere Teilftück als keilförmiger Körper zu behandeln und fein Schwerpunkt danach zu beftimmen. Die Lage der Geraden, worin die Gewichte $\cdot 1, 2$ u. f. f. der den Teilftreifen zugewiefenen Gewölbkörper wirken, ift hierdurch bekannt. Die Abfchnitte diefer Gewichtslinien innerhalb der Bogenfläche beftimmen meiftens auch die mittlere Höhe der einzelnen Gewölbkörper. Die Fufspunkte 1, 2 bis 10 der Gewichtslinien auf $M10$ im Grundrifs MAB des Meridianftreifens dienen alsdann gleichfalls zur Angabe der mittleren Dicke der Gewölbkörper.

Die um M mit den Halbmeffern $M1$, $M2$ u. f. f. zwifchen MA und MB befchriebenen Kreisbogen ergeben diefe mittleren Dicken.

Nach der freien Wahl der fog. Bafis $pz = 0{,}20\,\text{m}$ und der Annahme der Strecke $zo = 1\,\text{m}$ ift genau nach den Erörterungen in Art. 130 (S. 223) die Gröfse der Körperinhalte, bezw. der Gewichte der Teilftücke in der im Plane bei m gezeichneten Strecke o bis 10 dargeftellt.

Unter Verwendung diefes Gewichtsplanes ift nunmehr, im vollften Einklange mit dem in Art. 196 bis 202 (S. 320 bis 327) Vorgetragenen, die ftatifche Unterfuchung des Meridianftreifens des Kuppelgewölbes anzuftellen. Hierbei fei die Gröfse des Reibungswinkels ρ des Materials durch $\operatorname{tg}\rho = 0{,}7$ gegeben und als Winkel DCE aufgetragen.

Der erfte Wölbftein des oben offenen Gewölbes befitzt die Gewichtslinie 1 und das Gewicht gleich der Strecke $o1$.

Die durch den höchften Punkt o des Rückens diefes Steines geführte Wagrechte giebt mit der Gewichtslinie 1 den Schnitt α.

Die Fuge 1 wird von der Gewichtslinie 1 nicht getroffen. Die Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften, höchften Kranzfteines wirkt in der durch o geführten wagrechten Linie $o\alpha$. Soll diefe Mittelkraft für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen und Gleiten einen möglich kleinften Wert annehmen, fo ift ihre Gröfse $1o$ im Kräfteplane unter Beachtung des in Art. 199 (S. 323) Gefagten zu beftimmen.

Die durch α und den tiefften Punkt der Fuge 1 punktiert gezogene Linie giebt die Lage der Refultierenden, welche aus dem Gewichte 1 des erften Kranzfteines und der noch unbekannten in $o\alpha$ wirkenden Mittelkraft der Seitenpreffungen diefes Kranzfteines entftehen mufs, wenn eben noch der Gleichgewichtszuftand gegen Drehung des Kranzfteines um die untere Kante der Fuge 1 vorhanden fein foll. Diefe Refultierende fchliefst jedoch mit der Normalen zur Fugenrichtung 1, wie fich aus dem Kräfteplane ergiebt, einen gröfseren Winkel ein, als der feftgefetzte Reibungswinkel ρ zuläfst.

Alsdann zieht man im Gewichts- oder Kräfteplane durch den Endpunkt 1 der Gewichtsftrecke $o1$ des erften Kranzfteines die Gerade $1F$ parallel zur Fugenrichtung 1, und verwendet man nunmehr nach den in Art. 198 (S. 322) gegebenen Ausführungen fofort den Winkel $F1G = 90 - \rho$, fo fchneidet der Schenkel $1G$ eine Kraftftrecke $1o$ als Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines ab, welche gröfser ift, als die vorhin bei der Prüfung des Gleichgewichtszuftandes gegen Drehen entftehende Mittelkraft jener Preffungen. Der parallel zu $G1$ durch α im Meridianfchnitte gezogene Strahl αa trifft die Fuge 1 innerhalb der Schnittfläche des Gewölbes; mithin ift $1o$ der möglich kleinfte Wert der Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines, welche wachgerufen werden, um diefen Kranzftein im Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten zu erhalten.

Setzt man die in αa thätige Refultierende $I1$ der Seitenkräfte $1o$ und $o1$ mit dem Gewichte 12 des zweiten Kranzfteines im Gewichtsplane zur Refultierenden $I2$ zufammen; zieht man, da diefe Refultierende im Gewölbplane durch den Schnitt a der in αa wirkenden Refultierenden des erften Kranzfteines mit der Gewichtslinie 2 des zweiten Kranzfteines gehen mufs, die Parallele $a\beta$ zu $I2$ — fo erkennt man, dafs diefe in βa wirkende Mittelkraft $I2$ die Fuge 2 innerhalb des Gewölbfchnittes gar nicht trifft. Deshalb mufs zum Herftellen des Gleichgewichtszuftandes des zweiten Kranzfteines gegen Drehen und gegen Gleiten wiederum eine Zufatzkraft thätig werden, die als Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines zur Annahme eines möglich kleinften Wertes zunächft durch den oberen Punkt 1 der Fuge 1 geht und ihren Angriffspunkt im Schnitte β der in $\beta\alpha$ wirkenden Refultierenden $I2$ mit der durch 1 geführten wagrechten Linie 1β erhält.

Sodann mufs die zu beftimmende, in 1β wirkende Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines eben Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten bewirken können.

Für das Gleichgewicht gegen Drehen wird diefe Mittelkraft am kleinften, fobald die Refultierende aus $I2$ und diefer noch unbekannten Mittelkraft in der Richtung βb durch den tiefften Punkt der Fuge 2 geht. Zieht man im Gewichtsplane $2II$ parallel zu βb, fo ift III die für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen des zweiten Kranzfteines erforderliche möglich kleinfte Mittelkraft der zugehörigen Seitenpreffungen.

Für das Gleichgewicht gegen Gleiten ist diese Mittelkraft aber so zu bestimmen, dass die Richtung der Resultierenden aus der Kraft *I 2* und dieser noch unbekannten Mittelkraft mit der Normalen zur Fugenrichtung *2* keinen den Reibungswinkel ϱ überschreitenden Winkel einschliesst.

Zieht man durch den Punkt *2* im Gewichtsplane die Gerade *2 J* parallel zur Fugenrichtung *2* und verwendet man in bekannter Weise den Winkel $J2K = 90 - \varrho$, so ergiebt sich, dass die durch β parallel mit *2 K* geführte Gerade die Bogenfläche des Gewölbes innerhalb der Fuge *2* nicht trifft, dass daher zum Festsetzen der Mittelkraft der Seitenpressungen des zweiten Kranzsteines die Prüfung des Gleichgewichtszustandes gegen Drehung allein hier schon massgebend wird.

Für alle folgenden Fugen tritt eine Berücksichtigung des Reibungswinkels nicht mehr ein (vergl. Art. 203, S. 333 und Fig. 283).

Für die Fuge *3* kommt zunächst die in βb wirkende Resultierende *II 2* in Betracht. Dieselbe setzt sich alsdann in *b* mit dem Gewichte *2 3* des dritten Kranzsteines zu einer Resultierenden *II 3* zusammen. Die Gerade γb parallel zu *II 3* durch *b* im Gewölbplane geführt, giebt ihre Lage für die Bogenfläche des Gewölbes. Sie schneidet die durch den oberen Punkt *2* der Fuge *2* gezogene Wagrechte in γ. Die durch γ und den tiefsten Punkt der Fuge *3* geführte Gerade γc bedingt die Lage der für das Gleichgewicht gegen Drehen des dritten Kranzsteines eintretenden Resultierenden, deren Seitenkräfte als *II 3* und als die noch zu bestimmende wagrechte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines sich geltend machen. Zieht man *3 III* im Gewichtsplane parallel zu γc, so ist *III II* die gesuchte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines.

Auf ganz gleichem Wege fährt man in der Zusammensetzung der für die folgenden Kranzsteine in Frage kommenden Kräfte fort, um in den Strecken *IV III*, *V IV*, *VI V* und *VII VI* die Mittelkräfte der Seitenpressungen für den 4., 5., 6. und 7. Kranzstein durch Zeichnung zu bestimmen. Für den 8. Kranzstein oberhalb der Fuge *8* kommt eine wagrechte Mittelkraft von Seitenpressungen nicht mehr in Thätigkeit. Die in der Richtung ηg bis zur Fuge 7 auftretende Resultierende *VII 7* setzt sich in *g* mit dem Gewichte *7 8* des 8. Kranzsteines zur Mittelkraft *VII 8* zusammen. Die durch *g* parallel zu *VII 8* geführte Gerade *g h* trifft bereits die Fuge *8* innerhalb der Bogenfläche, so dass schon ohne Eintritt einer Mittelkraft von Seitenpressungen in der durch den oberen Punkt 7 geführten Wagrechten für diesen Kranzstein Sicherung gegen Drehen vorhanden ist.

Das Gleiche gilt für den 9. und 10. Kranzstein.

Aus dem Kräfteplane ergiebt sich in *I 1*, *II 2* u. s. f. bis *VII 7*, *VII 8*, *VII 9* und *VII 10* der Reihe nach jedesmal der Druck auf die entsprechende Lagerfläche der Fugen *1*, *2* u. s. f. bis *7*, *8*, *9* und *10*.

Würden diese resultierenden Drücke der Lagerfugenflächen über die äusseren, in der Rückenlinie des Meridianstreifens liegenden Fugenkanten hinausfallen oder mit der Normalen der zugehörigen Fuge von unten einen Winkel einschliessen, welcher grösser als der Reibungswinkel ϱ ist, so ist das untersuchte Kuppelgewölbe nicht standfähig, da im ersten Falle kein Gleichgewicht gegen Drehen, im letzten Falle kein Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden ist.

Die Resultierende aller wagrechten Mittelkräfte der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine ist gleich der Summe dieser Mittelkräfte, also gleich der Strecke *VII o*. Sie giebt die Grösse des wagrechten Schubes an, welcher vom Meridianstreifen des Kuppelgewölbes in der Widerlagsfuge *10* auf den Widerlagskörper übertragen wird.

Zu bemerken ist, dass dieser resultierende wagrechte Schub seinen grössten Wert *VII o* bereits für die Fuge 7 erreicht hat. Die Fuge, welcher überhaupt der grösste resultierende wagrechte Schub zunächst zu teil wird, heisst auch beim Kuppelgewölbe Bruchfuge oder Brechungsfuge. In der Zeichnung ist also Fuge 7 die Bruchfuge. Unterhalb der Bruchfuge müssen bei einem stabilen Gewölbe die Angriffspunkte der einzelnen Lagerfugendrücke $gh = VII\,8$, $hi = VII\,9$ und $il = VII\,10$ für die zugehörigen Fugen *8*, *9* und *10*, wie hier der Fall ist, innerhalb der Bogenflächen bleiben.

Wird die Forderung erhoben, dass sowohl die Angriffspunkte der Lagerfugendrücke, als auch die wagrechten Linien, worin die Mittelkräfte der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine wirken, das Gebiet des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianstreifens nicht verlassen sollen, so kann, wie der Plan *P* in Fig. 318 sofort erkennen lässt, die Stabilitätsuntersuchung des Kuppelgewölbes unter Beachtung des Flächenstückes, welches dem inneren Drittel der Bogenfläche entspricht, dem Wesen nach ganz so vorgenommen werden, wie im Hauptplane gezeigt ist. Zugleich kann hierbei auf Art. 201 (S. 326) verwiesen werden.

247. Stabilität der Widerlager.

In unmittelbarem Zusammenhange mit der statischen Untersuchung des Meridianstreifens kann die Prüfung der Stabilität des Widerlagers des Kuppelgewölbes in einfacher Weise durch Zeichnung vorgenommen werden.

Der in Fig. 318 im Grundriſs und Schnitt dargeſtellte Widerlagskörper iſt aus 2 Teilſtreifen mit den Gewichten *11* und *12* gebildet. Die Gewichtsſtrecken *10 11* des Teilkörpers *11* und *11 12* des Stückes *12* ſind im Gewichtsplane zur Vermeidung ſehr langer Kräfteſtrecken nur in $^1/_{20}$ ihrer ſonſt erforderlichen Längen aufgetragen.

Der in der Linie *i l* auf die Widerlagsfuge gelangende Druck *VII 10* ſetzt ſich mit dem Gewichte *11* des unterhalb der Fuge *10* vorhandenen Widerlagsteiles zu einer durch den Schnitt *i* der Gewichtslinie *11* mit dem Strahle *i l* gehenden Mittelkraft zuſammen. Um dieſe Mittelkraft zu beſtimmen, muſs, da das Gewicht des Teilſtreifens *11* in $^1/_{20}$ ſeiner Gröſse dargeſtellt iſt, auch die Kraftſtrecke *VII 10* nur in $^1/_{20}$ ihrer Gröſse benutzt werden.

Die Strecke *n 10* iſt $^1/_{20}$ der Strecke *VII 10*; mithin iſt *n 11* die geſuchte Mittelkraft ebenfalls in $^1/_{20}$ ihrer Gröſse.

Zieht man die Gerade *i k* parallel zur Linie *n 11*, ſo ergiebt ſich in *i k* die Lage der fraglichen Mittelkraft. Sie trifft die Gewichtslinie *12* im Punkte *k*. Die Zuſammenſetzung von *n 11* und *11 12* ergiebt die Mittelkraft *n 12*. Zieht man durch *k* die Gerade *w k* parallel zu *n 12*, ſo iſt im Strahle *w k* die Lage dieſer Mittelkraft im Plane des Widerlagers beſtimmt. Sie trifft die als feſt vorausgeſetzte Fuſsebene *S T* des Widerlagskörpers im Punkte *w*. Da der Abſtand *T w* hier noch etwas gröſser als $^1/_3$ *S T* gefunden iſt, ſo iſt entſprechende Sicherheit des angenommenen Widerlagers gegen Drehung vorhanden. Da die Richtung *w k* mit der Normalen zu *S T* einen Winkel einſchlieſst, welcher weit kleiner als der Reibungswinkel ρ bleibt, ſo iſt auch Gleichgewicht gegen Gleiten bekundet.

Will man die Stabilität des Widerlagers unter Beachtung des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianſtreifens prüfen, ſo erleidet das Weſen der hierbei zu verfolgenden Schritte, welche aufserdem mit der in Art. 23 (S. 57) beſprochenen Beſtimmung der Widerlagsſtärke des Tonnengewölbes in vollſter Uebereinſtimmung ſtehen, keine Beeinträchtigung.

248. Gewölbſtärke.

Auf Grund der Ergebniſſe der ſtatiſchen Unterſuchung des Meridianſtreifens des Kuppelgewölbes iſt die Gewölbſtärke in der in Art. 204 (S. 335) angegebenen Weiſe näher feſtzuſtellen.

Die gröſste wagrechte Mittelkraft der Seitenpreſſungen der einzelnen Kranzſteine iſt die Kraft *IV III* der vierten Kranzſchicht. Trägt man *s r = IV III* auf, zieht man durch *r* die Lotrechte zu *M B* und durch *s* die Lotrechte zu *M A* des Grundriſſes *M A B* vom Meridianſtreifen, ſo erhält man in *s t*, bezw. *t r* die normalen Seitenpreſſungen des 4. Kranzſteines. Für alle übrigen Kranzſteine ſind derartige Seitenpreſſungen kleiner, weil alle übrigen zugehörigen Mittelkräfte kleiner als *IV III* ſind.

Aus praktiſchen Gründen, namentlich zur Vermeidung einer zu bedeutenden Zahl ungleich ſtarker Wölbſchichten, geht man für die Berechnung der von den normalen Seitenpreſſungen zunächſt abhängigen Gewölbſtärke von den gröſsten dieſer Preſſungen aus. Dieſe normalen Preſſungen *s t = t r* ſind im Plane gemeſſen gleich $1{,}75$ m. Die Baſis iſt $p z = 0{,}20$ m; folglich iſt die normale Preſſung gleich $1{,}75 \cdot 0{,}20 = 0{,}35$ cbm. Die zwiſchen den Fugen *3* und *4* des Meridianſtreifens gegebene mittlere Breite des 4. Kranzſteines miſst $0{,}58$ m.

Zur Anwendung der beim Normaldrucke bei einer Tiefe gleich 1 m abgeleiteten Gleichung 53 (S. 47) iſt *N* für die Stoſsflächen des 4. Kranzſteines zu berechnen als

$$N = \frac{0{,}35 \cdot 1}{0{,}58} = 0{,}6 \text{ cbm}.$$

Nach der eben bezeichneten Gleichung ergiebt ſich für Backſteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 0{,}6)\,0{,}6} = 0{,}12 \text{ m},$$

d. h. gleich einer Backſteinbreite.

Der Lagerfugendruck für die Fuge *4* iſt gleich *IV 4*. Sieht man dieſen Druck vermöge ſeiner nur geringen Abweichung von der normalen Stellung zur Fugenrichtung *4* ſofort als zugehörigen Normaldruck an, ſo wird, da *IV 4* $= 1{,}25$ m miſst und die mittlere Dicke der Lagerfugenfläche *4* nach dem Grundriſs *M A B* des Meridianſtreifens zu $0{,}50$ m erhalten wird, unter Beachtung der Baſis $p z = 0{,}20$ m die Maſszahl des Normaldruckes der Lagerfuge *4* für die Tiefe gleich 1 m als

$$N = \frac{1{,}25 \cdot 0{,}20 \cdot 1}{0{,}50} = 0{,}5 \text{ cbm}$$

gefunden. Dieſer Wert giebt nur eine Stärke

$$d_2 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 = 0{,}50)\,0{,}50} = \backsim 0{,}11 \text{ m}.$$

Da ſonach d_2 kleiner als d_1 wird, ſo iſt in erſter Linie die Stärke $d_1 = 0{,}12$ m zu berückſichtigen.

Für die Fuge 7 ist der Lagerfugendruck gleich $VII\,7 = 3{,}10$ m und die mittlere Dicke gleich $0{,}80$ m; folglich wird, da ηg als Parallele zu $VII\,7$ als Normale zur Fugenrichtung 7 beibehalten werden kann, für die Tiefe gleich 1 m berechnet

$$N = \frac{3{,}10 \cdot 0{,}20 \cdot 1}{0{,}80} = 0{,}775 \text{ cbm} = \backsim 0{,}8 \text{ cbm}.$$

Hierfür wird die Gewölbstärke

$$d_3 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 0{,}80)\,0{,}80} = \backsim 0{,}14 \text{ m},$$

also größer als eine halbe Backsteinlänge.

Für die Widerlagsfuge 10 ist der Normaldruck entsprechend der Gewichtsstrecke $o\,10 = 9{,}35$ m bei der mittleren Dicke gleich 1 m zu berechnen als

$$N = \frac{9{,}35 \cdot 0{,}20 \cdot 1}{1} = 1{,}87 \text{ cbm}.$$

Dieser Normaldruck erfordert eine Gewölbstärke

$$d_4 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 1{,}87)\,1{,}87} = 0{,}21 \text{ m},$$

also nahezu eine Backsteinlänge.

Die im vorstehenden berechneten Gewölbabmessungen sind durchweg kleiner als die in der Zeichnung angenommenen Stärken. Sie liefern Grenzwerte, welche bei einer nunmehr zum zweitenmal durchzuführenden Stabilitätsuntersuchung des Kuppelgewölbes in Betracht zu ziehen sind.

Zu diesem Zwecke wird für den neuen Meridianstreifen, da für die Fuge 7 schon $0{,}14$ m Stärke eintreten müsste, bis zur Fuge 6 eine Gewölbstärke zu $\frac{1}{2}$ Backstein, von Fuge 6 bis zur Widerlagsfuge 10 dagegen eine Gewölbstärke zu 1 Backstein angenommen und nunmehr ganz in der bei Fig. 318 angegebenen Weise die Stabilitätsuntersuchung dieses schwächeren Meridianstreifens durchgeführt.

Im vorliegenden Falle ergiebt diese hier nicht weiter dargestellte Untersuchung jedoch den Ausweis, dass die Gewölbstärken im allgemeinen und besonders in der Widerlagsfuge 10 wieder zu vergrößern sind, so dass die in Fig. 318 vorweg angenommenen Gewölbstärken zweckmäßig beibehalten werden.

249. Widerlagsstärke.

Die in Fig. 318 enthaltene statische Untersuchung des Widerlagers, abhängig gemacht von den im Meridianstreifen wachgerufenen Kräften, welche zur Herstellung des Gleichgewichtszustandes einem möglich kleinsten Werte entsprechen, liefert das Ergebnis der sicheren Standfähigkeit des Stützkörpers, da der Angriffspunkt w der letzten in Betracht zu ziehenden Resultierenden wk noch innerhalb des inneren Drittels der Stärke $S\,T$ des Widerlagers liegt, da außerdem die Mittellinie des Druckes die Widerlagsfläche nicht verlässt und da endlich auch eine Gefahr des Gleitens nicht bekundet ist.

Sollte die Strecke Tw genau gleich $\frac{S\,T}{3}$ werden, so könnte die Breite des Teilstreifens 12 sogar noch etwas verkleinert werden.

Eine noch größere Sicherheit für die Standfähigkeit des Widerlagers lässt sich einführen, sobald, wie im Plane P von Fig. 318 angedeutet ist, die im Meridianstreifen zu ermittelnden Pressungen unter der Benutzung des inneren Drittels der Bogenfläche bestimmt und bei der fortgesetzten statischen Untersuchung des Widerlagers in bekannter Weise derart benutzt werden, dass der Angriffspunkt w den Abstand gleich einem Drittel der Widerlagsstärke von der Aufsenkante des Stützkörpers erhält.

In dem in der Zeichnung behandelten Falle ist die Stärke $S\,T$ des Widerlagers gleich $1{,}25$ m. Der Durchmesser des betrachteten Kuppelgewölbes ist 10 m; mithin ist die Widerlagsstärke gleich $\frac{1{,}25}{10} = \frac{1}{8}$ dieses Durchmessers.

250. Fußring.

Der resultierende wagrechte Schub, welcher vom Meridianstreifen bei der mittleren Dicke 1 m am Fuße in der Widerlagsfuge des Kuppelgewölbes auf den

Widerlagskörper übertragen wird, kann durch einen um den Gewölbfuſs gelegten eiſernen Ring aufgenommen und vernichtet werden.

Durch dieſen Fuſsring wird die Sicherung des Gewölbfuſses, bezw. die verminderte Beanſpruchung des Widerlagers erreicht.

Die Berechnung des meiſtens rechteckig genommenen Querſchnittes des Fuſsringes, welcher eine Zugſpannung von der Gröſse der zu vernichtenden, normal zu den Seitenebenen des Meridianſtreifens ſtehenden Seitenkräfte des reſultierenden wagrechten Schubes aufzunehmen hat, erfolgt unter Anwendung der Gleichung 152 (S. 325)

$$p = \frac{HR}{D}.$$

Hierin iſt p nunmehr als Gröſse der Zugſpannung, welche der Querſchnitt des Fuſsringes aufzunehmen hat, in Kilogramm zu beſtimmen, indem zuvor der reſultierende wagrechte Schub H in Kilogramm berechnet iſt. Bei $\frac{R}{D}$ kann R als Halbmeſſer des Bogens AB der mittleren Dicke der Widerlagsfuge und D als dieſe mittlere Dicke ſelbſt in Metern bleiben.

H wird in der Zeichnung, wie hier in *VII o*, als Linie erhalten, welche die Höhe des Steinprismas vom Wölbmaterial angiebt, deſſen rechteckige Grundfläche eine Länge von 1 m, aber eine Breite gleich der Baſiszahl, welche beim Auftragen der Gewichtsſtrecken der Teilſtreifen des Gewölbes benutzt wird, beſitzt.

Bezeichnet B die Baſiszahl (in Met.), γ das Gewicht von 1 cbm des Wölbmaterials (in Kilogr.), ſo wird

$$p = \frac{H \,.\, 1 \,.\, B \gamma R}{D} \text{ Kilogr.}$$

Iſt ferner f die geſuchte Querſchnittsfläche (in Quadr.-Centim.), s die zuläſſige Zugſpannung (in Kilogr.) für 1 qcm, ſo iſt

$$p = fs = \frac{HB\gamma R}{D} \text{ Kilogr.}$$

und folglich

$$f = \frac{HB\gamma R}{sD} \text{ Quadr.-Centim.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 153.$$

Beiſpiel. In Fig. 318 iſt $H = VII o$ zu $1{,}70$ m gemeſſen; ferner iſt $B = 0{,}20$ m, $\gamma = 1600$ kg, $R = 5{,}20$ m und $D = 1$ m; s ſei $= 700$ kg für 1 qcm. Alsdann iſt

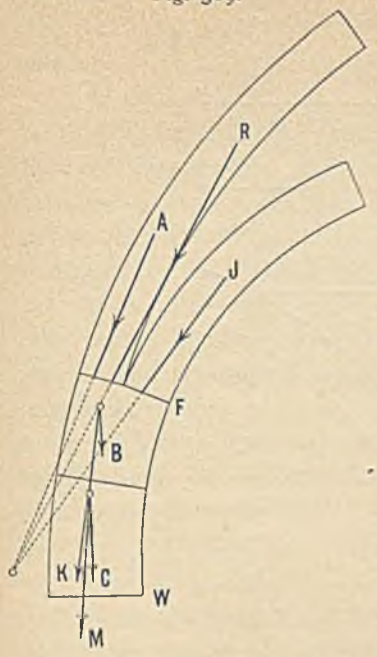
$$f = \frac{1{,}70 \,.\, 0{,}20 \,.\, 1600 \,.\, 5{,}20}{700 \,.\, 1} = 4{,}04 \text{ qcm}.$$

Ein ſchmiedeeiſerner Fuſsring mit einem rechteckigen Querſchnitte von 1 cm Breite und 4 cm Höhe würde den reſultierenden wagrechten Schub vernichten.

251. Doppelkuppel.

Bei Doppelkuppeln iſt die ſtatiſche Unterſuchung auf dem in Art. 246 (S. 376) beſchriebenen Wege für die Innen- und Aufsenkuppel beſonders vorzunehmen. Vereinigen ſich beide Kuppeln oberhalb ihres Gewölbfuſses in einer gemeinſchaftlichen Fuge F (Fig. 319), ſo erfolgt die getrennte ſtatiſche Unterſuchung der äuſseren und inneren Kuppel bis zu dieſer Fuge F. Iſt $\mathfrak{J}$ der reſultierende Fugendruck der Innenkuppel und A der reſultierende Fugendruck der Aufsenkuppel, ſo ſind dieſe für die Fuge F vorhandenen Drücke zunächſt zu einer Reſultierenden R zuſammenzuſetzen, um alsdann durch ihre Vereinigung mit den Gewichten B, C u. ſ. f. der Teile des gemeinſchaftlichen Kuppelgewölbſtückes, welches zwiſchen der Fuge F und der

Fig. 319.



Widerlagsfuge W liegt, nach und nach unter Einführung der entſtehenden Mittelkräfte K, M u. ſ. f. die Stabilitätsunterſuchung zu vollenden.

Der reſultierende wagrechte Schub, welcher vom Meridianſtreifen der Doppelkuppel in der Widerlagsfuge auf den Widerlagskörper übertragen wird, iſt gleich der Summe der ſämtlichen wagrechten Mittelkräfte der Seitenpreſſungen der einzelnen Kranzſteine der Aufsen- und Innenkuppel. Die Prüfung der Stabilität des Widerlagers ſelbſt erfolgt auch für Doppelkuppeln in der in Art. 247 (S. 379) angegebenen Weiſe. Ebenſo richtet ſich die Beſtimmung der Gewölbſtärke beider Kuppeln nach dem in Art. 248 (S. 380) Vorgetragenen.

252. Stutz- oder Hängekuppel.

Die ſtatiſche Unterſuchung der Stutz- oder Hängekuppel (Art. 235, S. 365) iſt, wie beim gewöhnlichen Kuppelgewölbe, in der Weiſe durchzuführen, als zunächſt ein am weiteſten geſpannter Meridianſtreifen der Hängekuppel, deſſen mittlere lotrechte Meridianebene in den meiſten Fällen durch eine Ecke des als Quadrat, Rechteck oder Vieleck gegebenen Grundriſſes des Gewölbes gehen muſs, der erforderlichen Prüfung unterworfen wird.

Die Ergebniſſe dieſer Prüfung ſind unmittelbar auf die weniger weit geſpannten Meridianſtreifen, welche natürlich in ihrer mittleren Fufsdicke im Grundkreiſe der Kuppel und in ihrer Belaſtung, wie gewöhnlich der Fall, keine Abweichung vom Hauptſtreifen aufweiſen müſsten, zu übertragen.

Hiernach treten dieſelben Geſichtspunkte, welche in Art. 203 (S. 329) bei der Zerlegung der bufigen Kappen gotiſcher Kreuzgewölbe angeführt ſind, im weſentlichen wieder in den Vordergrund. Auch die Beſtimmung der Gewölbdrücke, welche von den verſchieden weit geſpannten Meridianſtreifen auf die Widerlagskörper gelangen, iſt unter Beachtung des in dem bezeichneten Artikel Vorgetragenen zu treffen.

253. Kuppel mit Laterne.

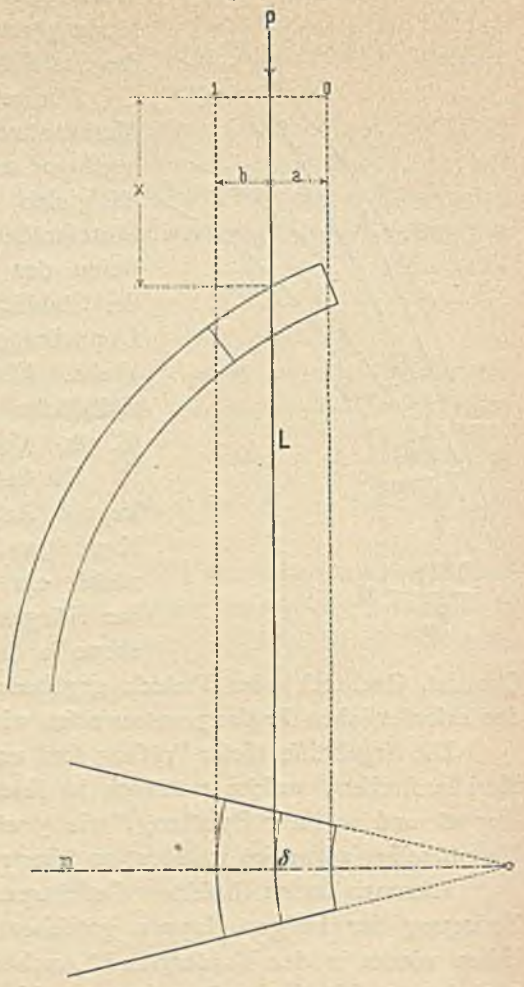
Wird das oben offene, durch den Lichtring im Scheitel begrenzte Kuppelgewölbe mit einer Laterne, deſſen Träger meiſtens der Lichtring ſelbſt iſt, verſehen, ſo erfährt das Kuppelgewölbe hierdurch eine beſondere Belaſtung, welche je nach dem Gewichte der Laterne von geringem oder erheblichem Einfluſs auf die Stabilität und die Stärke des Gewölbes ſein kann.

Wird das auf den Kranzſtein des Meridianſtreifens entfallende Gewicht des zugehörigen Laternenſtückes durch das Gewicht eines Steinprismas des Wölbmaterials erſetzt und mit dem Gewichte des Kranzſteines vereinigt, ſo iſt die Belaſtung dieſes Kranzſteines, bezw. des Teilſtückes im Meridianſtreifen bekannt. Die unter Beachtung dieſer Belaſtung einzuleitende ſtatiſche Unterſuchung des Meridianſtreifens weicht im Weſen von den zu Fig. 318 (S. 377) gegebenen Erläuterungen nicht ab.

Iſt z. B. L in Fig. 320 die lotrechte Schwerlinie des für den zu Grunde gelegten Meridianſtreifen m in Frage kommenden Laternenſtückes, ſo muſs dieſe Linie L auch Schwerlinie oder, genau genug, die Mittellinie des erſten Teilſtreifens für den zugehörigen Kranzſtein bleiben.

Man hat alſo den Abſtand a der Lotrechten L von der bekannten erſten Teillinie o zu benutzen, um durch $b = a$ die zu beſtimmende zweite Teillinie 1 feſtzulegen. Hiermit iſt die Breite $a + b = 2a$ der Steinſäule gefunden, welche das Gewicht P Kilogr. des Laternenſtückes erſetzen ſoll. Ferner iſt durch die Lage von L auch die mittlere Dicke δ des zugehörigen Kranzſteines und ſomit gleichzeitig dieſelbe mittlere Dicke δ für die Steinſäule beſtimmt.

Fig. 320.



Die Grundfläche dieſer Steinſäule kann mit hinlänglicher Genauigkeit als ein wagrecht liegendes Rechteck von der Länge $2a$ Met. und der Breite δ Met. angenommen werden. Das Gewicht von 1 cbm Wölbmaterial ſei γ Kilogr. Die zu berechnende mittlere Höhe x Met. der Steinſäule, welche das Gewicht P Kilogr. beſitzen ſoll, ergiebt ſich aus dem Ausdruck

$$2a\,\delta\,x\,\gamma = P$$

mit

$$x = \frac{P}{2a\,\delta\,\gamma} \text{ Met.} \quad . \quad 154.$$

Hiermit iſt die Beſtimmung der Belaſtung der Kuppel durch die Laterne getroffen. Die auf bekanntem Wege aufzufindenden Seitenpreſſungen und Lagerfugendrücke der einzelnen Kranzſteine geben weiteren Aufſchluſs über die einzuführende Gewölbſtärke.

Bei bedeutendem Gewichte der Laterne können die Seitenpreſſungen für den oberen Kranzſtein, alſo für den Lichtring, eine Gewölbſtärke erfordern, welche unter Umſtänden bei der Ausführung nicht geſtattet werden ſoll. Alsdann iſt die Durchbildung der Laterne mit geringerem Gewichte notwendig.

Wird ein Kuppelgewölbe in irgend einer Ringſchicht durch ein Einzelgewicht belaſtet, ſo iſt ſein Einfluſs auf die Seitenpreſſungen und Lagerfugendrücke der Kranzſteine in dem beſonderen Meridianſtreifen, deſſen Symmetrieebene die lotrechte Schwerlinie der Einzelbelaſtung enthält, unter entſprechender Berückſichtigung von Gleichung 152 (S. 325) und unter Anwendung der ſonſt erforderlichen graphiſchen Ausführungen zu beurteilen.

254. Winddruck.

Frei gelegene, kräftig emporſteigende Kuppelgewölbe haben bei ſtarken Stürmen Beanſpruchungen zu erleiden, welche eine Formänderung der Kuppel und eine Aenderung der vor der Einwirkung des Windes vorhandenen Seitenpreſſungen und Lagerfugendrücke bewirken können.

Die genaue Beſtimmung ſolcher Form- und Kräfteänderungen durch Winddruck iſt bislang noch nicht gelungen. Man wird daher bei der ſtatiſchen Unterſuchung

von Kuppelgewölben, welche neben ihrem Eigengewicht und ihrer ſonſtigen ruhenden Belaſtung noch vom Winddrucke beanſprucht ſind, einen Näherungsweg betreten müſſen.

Die einzelnen Meridianſtreifen der halben Kuppel, welche von der Windrichtung getroffen werden, erhalten durch den Winddruck ungleich groſse Belaſtungen. Der Meridianſtreifen, deſſen lotrechte Symmetrieebene zugleich Ebene des Windſtromes iſt, erfährt die gröſste Beanſpruchung. Ermittelt man unter Berückſichtigung der in Art. 218 (S. 346) gegebenen Anleitung die auf den Rückenflächen der einzelnen Kranzſteine dieſes Meridianſtreifens eintretenden normal ſtehenden, im Schwerpunkte der gedrückten Flächen angreifenden Winddrücke; ſetzt man dieſelben einzeln mit den Gewichten und der ſonſt etwa vorhandenen Belaſtung der zugehörigen Kranzſteine zuſammen, um hierdurch für jeden Kranzſtein die Reſultierende der ihn angreifenden äuſseren Kräfte zu erhalten: ſo laſſen ſich unter nunmehriger Benutzung dieſer einzelnen Reſultierenden ganz im Sinne der in Art. 246 (S. 376) gegebenen Darlegungen die ſämtlichen Seitenpreſſungen und Lagerfugendrücke des im allgemeinen am ungünſtigſten beanſpruchten Meridianſtreifens ermitteln und hiernach die Gewölbſtärken des durch Winddruck mitbelaſteten Kuppelgewölbes bemeſſen.

255. Kuppelgewölbe zwiſchen Gurtbogen.

Werden mehrere Kuppelgewölbe als Stutzkuppeln nebeneinander angeordnet und durch Gurtbogen getrennt, ſo kommen für die Beanſpruchung dieſer Gurtbogen und ihrer gemeinſchaftlichen Pfeiler Verhältniſſe in Betracht, wie ſolche ſchon in Art. 139 (S. 241) beim Kreuzgewölbe berückſichtigt ſind. Tritt infolge von ungleich weit geſpannten und ungleich belaſteten Gurtbogen, die als Widerlager einzelner, nebeneinander gereihter Hänge- oder Stutzkuppeln von verſchiedener Spannweite dienen und gruppenweiſe von einem gemeinſchaftlichen Gurtpfeiler getragen werden, ein ungünſtiger Verlauf der Mittellinie des Druckes im Pfeiler ein, ſo iſt auch hier, wie beim Kreuzgewölbe, durch entſprechende Ausmauerung der Gewölbzwickel oberhalb des Pfeilers eine Sicherung der Stabilität des Stützkörpers einzuführen. Die ſtatiſche Unterſuchung der Gurtbogen und ihrer Pfeiler erfolgt nach den mitgeteilten Grundlagen.

256. Empiriſche Regeln für die Gewölbſtärke.

Form und Belaſtung der Kuppelgewölbe bedingen unter Beachtung der Feſtigkeit und der ſonſtigen Eigenſchaften des Wölbmaterials die Gewölbſtärke. Den hierbei obwaltenden verſchiedenen Verhältniſſen können empiriſche Regeln für die Stärke der Kuppelgewölbe nicht ſofort gerecht werden.

Die Ergebniſſe dieſer Regeln ſollen im allgemeinen nur als Ausgangswerte dienen, welche der ſtatiſchen Unterſuchung und der damit zuſammenhängenden Beſtimmung der Stärke der Kuppelgewölbe vorläufig zu Grunde zu legen ſind.

Für kleinere, mäſsig belaſtete Kuppelgewölbe aus gutem Backſteinmaterial über quadratiſchem Grundriſs können folgende Gewölbſtärken als Ausgangswerte Berückſichtigung finden:

Spannweite bis:	4	6	8	10	Met.
Gewölbſtärke im Scheitel:	$\frac{1}{2}$	1	1	1	Backſtein
» am Kämpfer:	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2	»

Aehnliche Abmeſſungen können auch für die Stärke kleinerer Kuppelgewölbe aus Backſtein über Kreisgrundriſſen gewählt werden.

257. Empiriſche Regeln für die Widerlagsſtärke.

Für die Ermittelung der Widerlagsſtärke der Kuppelgewölbe ſind die nach empiriſchen Regeln anzunehmenden Werte gleichfalls nur als vorläufige Abmeſſungen anzuſehen, welche für die Stabilitätsunterſuchung der im Querſchnitte oft nach

besonderen baulichen Verhältnissen angeordneten Widerlagskörper den ersten Anhalt gewähren.

Bei verschiedenen Grosskonstruktionen der Kuppelgewölbe älterer und neuerer Zeit schwankt die Stärke der Widerlager zwischen $^1/_6$ bis etwa $^1/_{11}$ ihrer Spannweite.

Rondelet stellte die Regel auf, dass dem Kuppelgewölbe die Hälfte der Widerlagsstärke des Tonnengewölbes von gleicher Spannweite als Widerlager zugewiesen werden soll.

Allgemein genommen, kann man die Widerlagsstärke der Kuppelgewölbe näherungsweise zu $^1/_6$ bis $^1/_8$ des Kuppeldurchmessers wählen.

Wird in besonderen Fällen der in Art. 250 (S. 381) erwähnte Fusring zur teilweisen oder gänzlichen Vernichtung des in der Widerlagsfläche des Kuppelgewölbes wirkenden wagrechten Gewölbschubes angebracht, so kann die Stärke des Widerlagskörpers in geeigneter Weise herabgesetzt werden. Beruhigenden Aufschluss über die alsdann einzuführende Widerlagsstärke hat die anzustellende statische Untersuchung zu geben.

c) Ausführung der Kuppelgewölbe.

258. Allgemeines.

Die Ausführung der Kuppelgewölbe mit übereinander gelagerten konzentrischen Ring- oder Kranzschichten, deren Lagerflächen durch normal zur Laibungsfläche der Kuppel gerichtete gerade Linien erzeugt werden, deren Stossflächen lotrechten Meridianebenen des Gewölbes angehören, ist im allgemeinen sehr einfach und in vielen Fällen bei nicht zu grossen Spannweiten der Kuppeln und bei geeignetem Wölbmaterial ohne Schwierigkeiten selbst in freihändiger Mauerung zu beschaffen. Der Bildung der Lager- und Stossfugen entsprechend, erhält jeder Wölbstein im wesentlichen eine doppelt keilförmige Gestalt.

Ueber die Ausführungsweise der Kuppelgewölbe der frühesten Zeit und der Zeit der Römer über kreisrunden und vieleckigen Räumen sind in Teil II, Band 2 dieses »Handbuches« eingehende Mitteilungen gemacht, worauf hier verwiesen werden muss. Die dort näher gegebene Beschreibung der aus Quadern ohne oder mit Mörtel, aus Backsteinen, aus Backsteinen mit Gussgemäuer, aus Gussgemäuer mit Backsteinverblendung, aus Töpfen mit Gussmauerwerk oder aus eigenartig geformten Töpfen allein hergestellten Kuppelgewölbe bietet eine Fülle von Angaben über die verschiedensten Arten ihrer Ausführung dar.

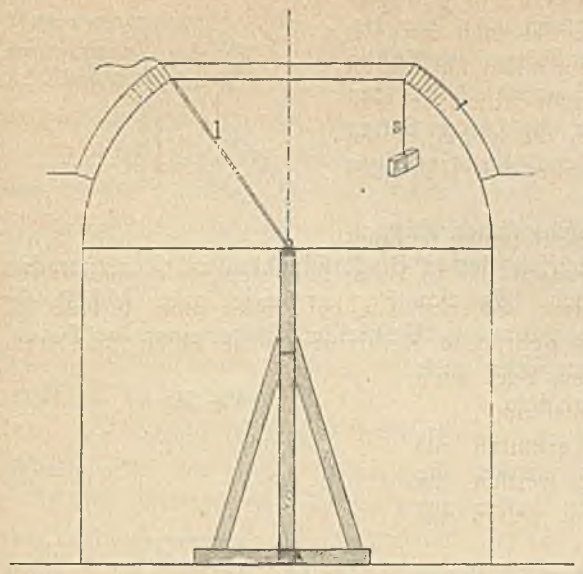
259. Rüstungen.

Die hauptsächlichsten Baumaterialien für Kuppelgewölbe der Jetztzeit sind gewöhnliche Backsteine, Hohl- oder Lochsteine, poröse Backsteine, Quader, lagerhafte, plattenförmige Bruchsteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Zementmörtel oder Zementmörtel allein.

Besondere Einrüstungen durch Lehrbogen mit Schalung werden wohl für grössere aus Quadern oder Bruchsteinen zu wölbende Kuppeln in Anwendung gebracht. Bei Backsteinkuppeln, welche in übereinander gelagerten Kranzschichten gemauert werden, ist eine derartige Einrüstung meistens nicht erforderlich.

Gehört die Laibung der Kuppel einer Kugelfläche an, so benutzt man beim Wölben die sog. Leier *l* (Fig. 321) von der Länge des Halbmessers des Kugelgewölbes. Die Leier, eine Leiste oder Latte aus Tannenholz mit etwa 5 cm Durchmesser, ist am unteren Ende mit einem Haken in eine Oese gehängt, welche auf dem Kopfe eines feststehenden Pfostens oder des Ständers eines Bockgerüstes genau im Mittelpunkte des Gewölbes angebracht ist.

Fig. 321.



Durch Drehen der Leier um diefe Oefe wird die Lage der einzelnen Kranzfchichten und die Richtung der Stofsflächen der Wölbfteine in einfachfter Weife angegeben. Beim Wölben felbft mufs, da vor dem vollftändigen Schluffe des einzelnen Kranzringes, fobald die Neigung der unteren Lagerfläche zu grofs wird, leicht das Abgleiten der Wölbfteine eintritt, das Beftreben des Gleitens durch Verwendung eines guten, möglichft fchnell bindenden Mörtels verhindert werden. In der Nähe des Gewölbfcheitels ift das Beftreben des Abgleitens am ftärkften.

Das beffere Haften des einzelnen Wölbfteines einer zu vermauernden Kranzfchicht auf feiner Lagerfläche wird zweckmäfsig durch eine befondere Belaftung des immer zuletzt verfetzten Steines unterftützt. An einem Nagel, der in einer tief gelegenen Fuge am Rücken des Gewölbes eingefchlagen ift, wird eine Schnur *s* befeftigt. Das untere Ende diefer Schnur wird mit einem Gewichte, gewöhnlich mit einem Backftein, verbunden. Die über den Wölbftein gelegte Schnur verhindert mittels des Gewichtes des frei im Inneren des Gewölbes herabhängenden Backfteines das Gleiten auf der Lagerfläche.

Sind beim Einwölben mehrere Arbeiter thätig, fo wird von jedem derfelben ftatt der Leierlatte eine an der Oefe des Ständers befeftigte Schnur, auf welcher die Länge des Kugelhalbmeffers genau bezeichnet ift, als Richtfchnur für die Lager- und Stofsfugen des Gewölbes benutzt.

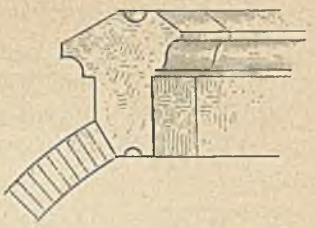
Bei gröfseren Kugelgewölben, namentlich aber bei Kuppelgewölben, für deren Erzeugende der Mittelpunkt aufserhalb der lotrechten Scheitelachfe der Gewölbfläche gewählt ift, werden Leier, bezw. Schnüre nicht gebraucht. An ihre Stelle tritt ein um die Scheitelachfe drehbarer, möglichft einfach hergerichteter Lehrbogen oder unter Umftänden die Einrüftung durch eine Schar von radial und lotrecht geftellten Lehrbogen mit Schalung.

260. Kuppelgewölbe aus Backfteinen.

Bei der Verwendung der gewöhnlichen Backfteine, der Hohl- oder Lochfteine oder der poröfen Backfteine zur Wölbung der Kuppeln ift unter der Vorausfetzung, dafs nur gutes Material benutzt wird, die der Gewölbfläche entfprechende richtige Stellung der Lager- und Stofsflächen beim Wölben der Kranzfchichten ftreng zu beachten. Die durch Waffer angenäfsten Steine werden mit gut und hinlänglich fchnell bindendem Mörtel (verlängerter Zementmörtel, bezw. reiner Zementmörtel) verfetzt. Da jeder Stein, genau genommen, doppelt keilförmig fein foll, fo mufs ein entfprechendes Zuhauen der Steine vorgenommen werden. Bei kleineren Gewölben ift diefes Zuhauen kaum zu vermeiden. Bei gröfseren Gewölben befchränkt fich das Zuhauen in der Regel nur auf die Stofsflächen der Ringfchichten, da bei den Lagerflächen die keilförmige Ausgleichung oft fchon durch die Mörtelfüllung erzielt werden kann. Im ganzen foll aber bei forgfältiger Ausführung dem fach-

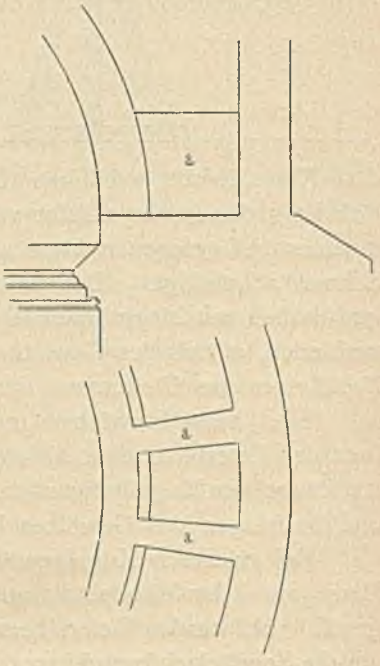
gemäfsen Zurichten der Wölbfteine Rechnung getragen werden. In den meiften Fällen wendet man zur Erzielung richtiger Lager- und Stofsfugenflächen am beften nur Binderfchichten an, weil fonft, namentlich bei den Kränzen mit geringerem Durchmeffer, die langen Seiten der Backfteine fich der Laibungsfläche des Gewölbes nicht gut anpaffen können.

Fig. 322.



In der Nähe des Scheitels des gefchloffenen Kuppelgewölbes wird das keilförmige Zufchärfen der in Binderfchichten zu vermauernden gewöhnlichen Backfteine etwas mifslich. Zweckmäfsig verwendet man deshalb für die oberen Kranzfchichten befonders gebrannte Keilfteine, fowie einen gröfseren, entfprechend geformten und gebrannten, oder auch aus einem Quader bearbeiteten Schlufsftein.

Fig. 323.



Oben offene Kuppelgewölbe erhalten als Abfchlufs einen Lichtring. Hierfür werden die Wölbfteine, wie Fig. 322 zeigt, am beften aus gutem Quadermaterial angefertigt.

261. Sporen.

Zur Vermeidung einer erheblichen Belaftung des unteren Teiles eines gröfseren Kuppelgewölbes und feines Widerlagers durch volle Hintermauerung zwifchen dem Rücken des Gewölbes und der Innenfeite des etwa noch reichlich hoch über der Kämpferebene der Kuppel aufzumauernden Widerlagskörpers bringt man oft fog. Sporen an. Die zwifchen diefen Sporen *a* (Fig. 323) entftehenden Hohlräume oder Zellen vermindern das Gewicht der eigentlichen Hintermauerung in erwünfchtem Mafse.

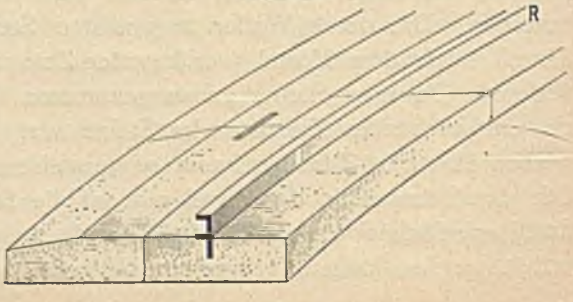
In gleicher Weife können folche Sporen am Fufse der Mauerung der Doppelkuppeln zwifchen der äufseren und inneren Kuppelfchale angebracht werden.

262. Verftärkungsgurte.

Läfst man unter Beachtung gleich grofser Teilweiten des Kuppelfufses rippenartig nach dem Scheitel oder dem Lichtkranze der Kuppel anfteigende Wölbftreifen mit gröfserer Stärke als die dazwifchenliegenden Gewölbftücke befitzen, ausführen, fo entftehen die fog. Verftärkungsgurte der Kuppel. In der Regel treten diefe etwa durchweg $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stein breiten Verftärkungsgurte um $\frac{1}{2}$ Steinftärke an der Rückenfläche des Gewölbes vor.

Als lehrreiches Beifpiel eines Kuppelgewölbes mit Verftärkungsgurten und mit zweckmäfsiger Einführung eines Fufsringes zur Vernichtung des für den Widerlagskörper nachteiligen wagrechten Gewölbfchubes ift die über der kreisrunden Vorhalle des ftädtifchen Bades zu Karlsruhe von *Durm*[32]) ausgeführte

Fig. 324.



[32]) Siehe: Zeitfchr. f. Bauw. 1874, S. 123.

Kuppel mit Lichtring zu betrachten. In Fig. 324 iſt für dieſe Kuppel die Anordnung des in einem Kranz von Sandſteinquadern eingelaſſenen, mit Blei vergoſſenen ſchmiedeeiſernen Fuſsringes R veranſchaulicht.

263. Elliptiſche Kuppeln.

Bei elliptiſchen Kuppelgewölben ſind die Lagerfugenkanten der einzelnen Kranzſchichten Ellipſen, welche durch Schnitte wagrechter Ebenen mit der Gewölblaibung erhalten werden. Die Lagerfugenflächen der Wölbkränze bilden windſchiefe Flächen, erzeugt durch gerade Linien, welche in jedem Punkte der zugehörigen Lagerfugenkante normal zur Oberfläche des Ellipſoids der Kuppel ſtehen und infolge hiervon verſchiedene Neigung zur wagrechten Ebene annehmen.

Beim Mauern der Wölbkränze kann übrigens das Windſchiefe der Lagerflächen durch entſprechende Stärke der Mörtelfüllung ohne erhebliche Nachteile für die Wölbung ausgeglichen werden.

Die Stoſsfugenflächen liegen in Meridianebenen, welche durch die lotrechte Scheitelachſe der elliptiſchen Kuppel geführt werden.

Um während der Ausführung elliptiſcher Kuppelgewölbe die richtige Bildung der Laibungsfläche und die genaue Stellung der Lager-, bezw. Stoſsfugenflächen aufrecht zu erhalten, ſind, von der lotrechten Hauptachſe der Kuppel ſtrahlenförmig auslaufend, mehrere Lehrbogen aufzuſtellen, deren äuſsere Begrenzungslinien nach den ihnen zukommenden Meridianſchnitten zu beſtimmen ſind.

264. Kaſſettierte Kuppelgewölbe.

Die Mauerung kaſſettierter Kuppelgewölbe in einzelnen Kranzſchichten, wobei die Kranzteile der Kaſſetten nur in geringerer Stärke als die Kaſſettenſtege auszuführen ſind, erfolgt wie bei den nicht kaſſettierten Kuppelgewölben.

Iſt unter beſonderen Verhältniſſen bei dieſen Gewölben eine vollſtändige Einrüſtung mit Schalung notwendig, ſo ſind für die Kaſſetten Holzkaſten als Hilfsrüſtung auf der Schalung zu befeſtigen. Dieſe Holzkaſten ſind im allgemeinen in der in Art. 44 (S. 94) beſchriebenen Weiſe anzufertigen.

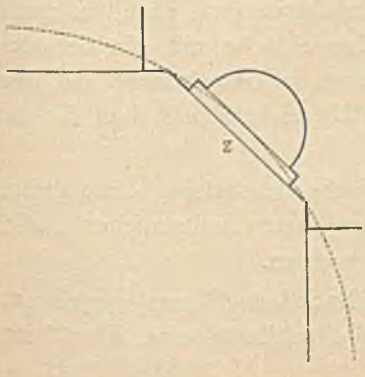
265. Hänge- oder Stutzkuppeln; Pendentifs.

Die Ausführung der Hänge- oder Stutzkuppeln weicht von der Herrichtung der vorhin beſprochenen Kuppelgewölbe nicht ab.

Beſondere Beachtung verdienen jedoch die bei dieſen über quadratiſchen, recht- oder vieleckigen Räumen eintretenden Stutzkuppeln in Frage kommenden Eckzwickel oder Pendentifs, deren Geſtaltung in Art. 235 bis 237 (S. 365 bis 367) näher gekennzeichnet iſt.

In aller Strenge iſt der Fuſs des Eckzwickels eine gerade Linie, wenn nicht, wie z. B. bei der Kuppel der Peterskirche in Rom, veranlaſst durch eine beſondere Grundriſsbildung der Widerlagskörper des Gewölbes, die Eckzwickel z nach Fig. 325 eine ausgebreitete Grundfläche erhalten.

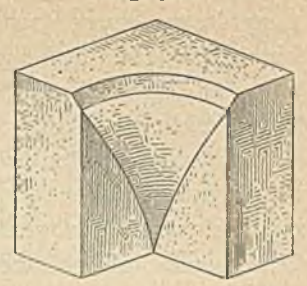
Fig. 325.



Zur Vermeidung des in einer Schneide auslaufenden Anſatzes der Eckzwickel wird auch bei Hängekuppeln aus Backſteinmauerwerk als Anfänger dieſer Zwickel am beſten ein gröſserer, regelrecht bearbeiteter Quader (Fig. 326) verſetzt, welcher dem unteren Backſteinringe ein geeignetes Auflager bietet. Aufserdem kann aber auch in nicht unzweckmäſsiger Weiſe die Aufmauerung der Gewölbzwickel

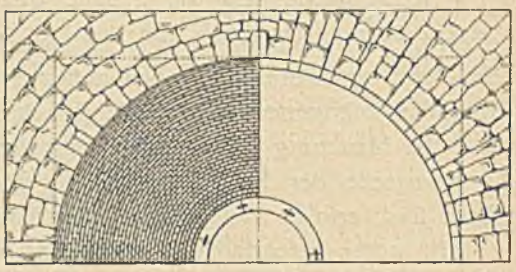
in wagrechten Schichten mit allmählicher, der Laibungsfläche des Gewölbes entſprechender Vorkragung, wie Fig. 327 angiebt, vorgenommen werden. Die Stoſsfugenflächen dieſer Zwickelmauerung werden nach lotrechten Meridianebenen der Kuppel geordnet. In dieſer Weiſe wurden von *Moller* die Pendentifs der Kuppelgewölbe über den Treppenhäuſern im Theater zu Mainz ausgeführt.

Fig. 326.



Vorkragungen *C* in wagrechten Schichten mit darüber gelegten, nach und nach vorgeſchobenen Mauerbogen *A*, *B* zeigt die Pendentifanordnung in Fig. 328. Hierbei entſteht zwiſchen der Aufmauerung *C* und dem unteren Mauerbogen *A* eine beſonders zu ſchlieſsende gröſsere Fuge *h*. Zwiſchen dem höchſten Mauerbogen *1 2 3 4* und dem hier aus Quadern angenommenen Fuſskranze der nach Art. 236 (S. 366) geſtalteten Oberkuppeln bleiben bei *2* im Grundriſſe nur noch kleine Zwickelſtücke, welche durch wagrechte Schichten mit Vorkragung oder durch Ringſchichten geſchloſſen werden können.

Fig. 327.



Im allgemeinen zeigt dieſe Herſtellung der Pendentifs, welche in ähnlicher Weiſe z. B. bei den Kuppeln der Markuskirche in Venedig vorkommt, einige Nachteile. Der Schub der Mauerbogen *A*, *B* u. ſ. f. bewirkt für die Gurtbogen der Stirnſeiten der Unterkuppel eine ungünſtige Beanſpruchung, welche leicht eine Verdrückung und Verdrehung der Gurtbogen im Gefolge haben kann.

266. Kuppel mit Tambour.

Wird zwiſchen den Pendentifs und der Oberkuppel der ſog. Tambour, welcher als cylindriſcher, röhrenförmiger Mauerkörper nur einen erhöhten Fuſs für die Oberkuppel bildet, eingefügt, ſo ſetzt ſich dieſer Tambour unmittelbar auf die von den Pendentifs getragene erſte Kranzſchicht.

267. Einrüſtung.

Die Einrüſtung für das Wölben der Hängekuppeln kann, falls nicht ſehr groſse Spannweiten in Betracht kommen, auf die in der Richtung der Diagonalen des zu überwölbenden Raumes aufzuſtellenden Lehrbogen beſchränkt werden, nachdem zuvor am Mauerwerk der Stirnſeiten die Stirnlinien der Kuppelfläche mit Kreide oder Kohle genau aufgezeichnet ſind. Dieſe Stirnlinien geben in Gemeinſchaft mit den Rückenlinien der Diagonallehrbogen für geübte Maurer hinreichenden Anhalt für die regelrechte Ausführung des Gewölbes.

268. Kuppelgewölbe aus Bruchſteinen.

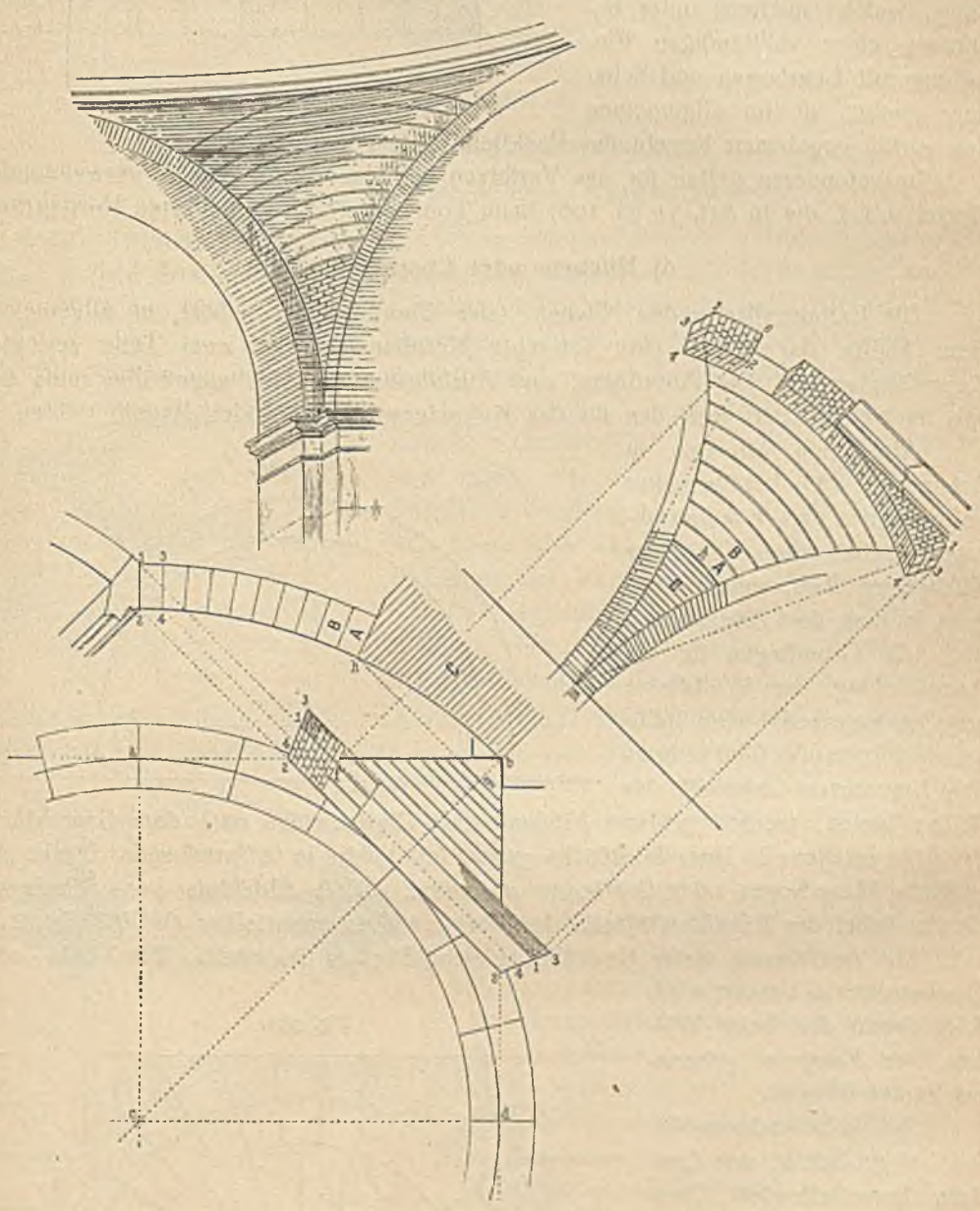
Gute und lagerhafte Bruchſteine, wenn ihre einfache Bearbeitung ohne groſse Mühe zu erreichen iſt, namentlich aber die leichteren Arten vulkaniſcher Tuffe, können zur Herſtellung der Kuppelgewölbe gebraucht werden.

Die Ausführung der Wölbung folgt den für Backſteinwölbung gegebenen Grundlagen. In den meiſten Fällen wird bei Bruchſteinwölbung eine Einrüſtung durch Lehrbogen mit Schalung erforderlich.

Kuppelgewölbe aus Quadern werden gleichfalls in übereinander gelagerten Kranzſchichten hergeſtellt. Die ſtets zu beachtende Beſtimmung, wonach die Erzeugenden der Lagerflächen der Wölbſteine normal zur Laibungsfläche der Kuppel ſtehende gerade Linien ſein ſollen, während die Stoſsfugenflächen in Meridianebenen

269. Kuppelgewölbe aus Quadern.

Fig. 328.

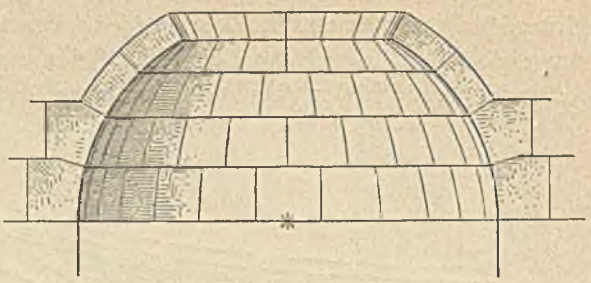


liegen müſſen, welche durch die lotrechte Scheitelachſe des Gewölbes gelegt werden, bedingt den Fugenſchnitt der Wölbquader.

Die Stoſsfugen ſind bei den übereinanderliegenden Kränzen nach Fig. 329 in gegenſeitigen, auf Kuf geordneten Verband zu bringen. Die Ausmittelung der

Brettungen der Kranzſteine iſt nach den einfachſten Lehren der darſtellenden Geometrie vorzunehmen. Auſserdem iſt die Bearbeitung der Wölbſteine nicht ſchwierig.

Fig. 329.



Die Ausführung der Wölbung, welche meiſtens unter Benutzung einer vollſtändigen Einrüſtung mit Lehrbogen und Schalung erfolgt, iſt im allgemeinen den vorhin gegebenen Regeln der Backſteinwölbung entſprechend.

Im beſonderen gelten für das Verſetzen der Quader, für den zu verwendenden Mörtel u. ſ. f. die in Art. 51 (S. 106) beim Tonnengewölbe angeführten Vorſchriften.

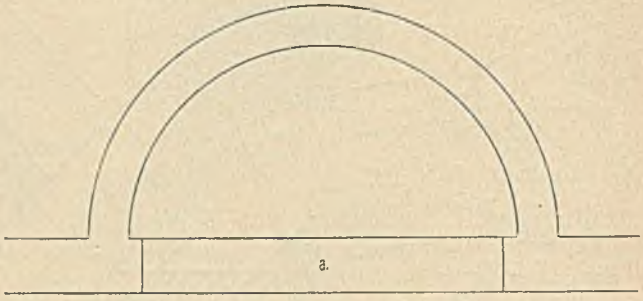
d) Niſchen- oder Chorgewölbe.

270. Allgemeines.

Die Laibungsfläche des Niſchen- oder Chorgewölbes gehört im allgemeinen einer Hälfte der durch eine lotrechte Meridianebene in zwei Teile zerlegten Kuppelfläche an. Die Anordnung und Ausführung der Niſchengewölbe muſs ſich alſo im weſentlichen nach den für das Kuppelgewölbe geltenden Regeln richten.

Abgeſehen von den in Art. 101 (S. 188) bereits näher beſprochenen, als Ecküberführungen behandelten Eck- oder Niſchengewölben, welche übrigens in dem dort Angeführten auch die Grundlagen für die Ausmittelung der Wölbſteine aus Quadermaterial über halbkreisförmigem oder ſonſt krummlinig begrenztem Grundriſſe der Niſche bieten, werden gröſsere Niſchen- oder Chorgewölbe nach dem Grundriſs in Fig. 330 meiſtens in ihrer Stirnfläche gegen ſelbſtändig in entſprechender Stärke ausgeführte Mauerbogen oder Gurtbogen *a* geſetzt. Dieſe Abſchluſs- oder Stirnbogen dienen dabei der Stirnſchnittfläche des Chorgewölbes unmittelbar als Widerlager.

Fig. 330.

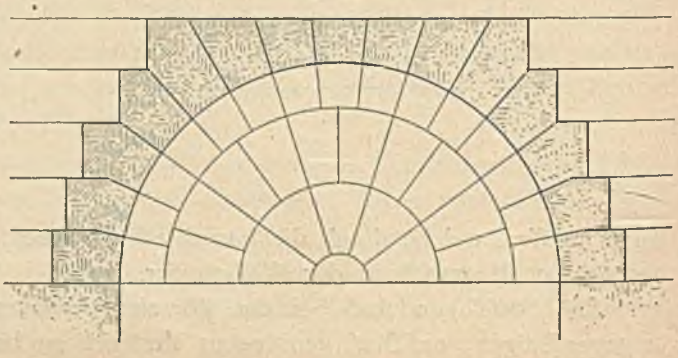


271. Ausführung.

Die Ausführung dieſer Gewölbe, gleichgültig ob Backſtein-, Bruchſtein- oder Quadermaterial benutzt wird, folgt genau den beim Wölben der Kuppeln gekennzeichneten Wegen.

Soll in beſonderen Fällen bei gröſseren, aus Quadern herzuſtellenden Chorgewölben ein nach Fig. 331 gebildeter Fugenſchnitt gewählt werden, welcher ohne Anwendung eines ſelbſtändigen Abſchluſsbogens die

Fig. 331.



Wölbung ohne Einführung von Kranzſchichten mit wagrechten Lagerkanten geſtattet, ſo entſpricht dieſe Anordnung hinſichtlich der Ausmittelung des Fugenſchnittes im allgemeinen dem in Art. 101 (S. 188) Vorgetragenen.

Sollen Chorgewölbe kaſſettenartig gegliedert werden, ſo iſt das in Art. 264 (S. 389) Geſagte gleichfalls zu befolgen.

Ebenſo entſprechen ihre Stabilitätsunterſuchung und die Beſtimmung ihrer Gewölbſtärke den hierüber beim eigentlichen Kuppelgewölbe gemachten Angaben.

19. Kapitel.

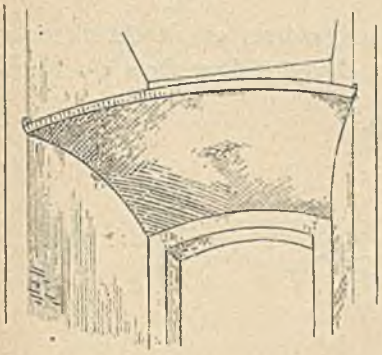
Böhmiſche Kappengewölbe.

a) Geſtaltung der böhmiſchen Kappengewölbe.

272. Form.

Die Laibungsfläche des böhmiſchen Kappengewölbes entſpricht derjenigen einer flachen Stutz- oder Hängekuppel. Im Gegenſatz zum preufsiſchen Kappengewölbe, deſſen Wölbfläche einem Cylindermantel angehört, beſitzt das böhmiſche Kappengewölbe eine ſphäriſche oder ſphäroidiſche Laibungsfläche.

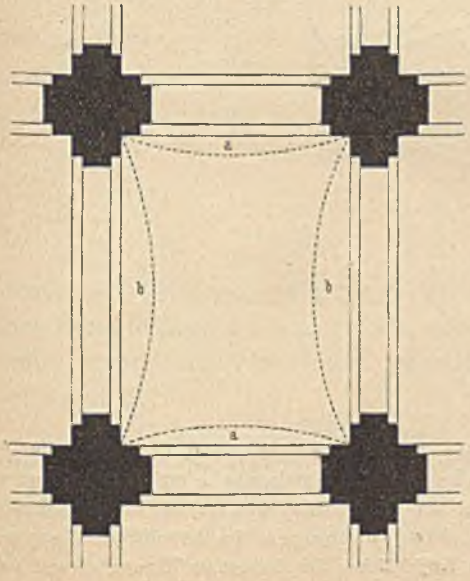
Fig. 332.



Das böhmiſche Kappengewölbe, auch böhmiſche Kappe, in Oeſterreich Platzelgewölbe genannt, kann über regel- oder unregelmäſsig geſtalteten Grundriſſen in Anwendung kommen. Regelmäſsige Grundriſſe haben aber die einfachere und ſchönere Entwickelung der Form dieſer Gewölbe im Gefolge.

Das böhmiſche Kappengewölbe iſt zur Herrichtung einer maſſiven Decke mit geringer Pfeilhöhe und mäſsiger Stärke vorzüglich geeignet. In der Regel wird jedoch, um die Gewölbſtärke nicht über $\frac{1}{2}$ Backſteinlänge zu ſteigern, die gröſste Gewölbweite ſelten über 5 m genommen. Die Pfeilhöhe wird zu $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$, meiſtens zu $\frac{1}{10}$ der Länge der gröſsten Diagonale der Grundriſsfigur des zu überwölbenden Raumes gewählt.

Fig. 333.



Die Stirnbogen, alſo die an allen Umfangsmauern des Raumes auftretenden Kämpferlinien des böhmiſchen Kappengewölbes (Fig. 332) ſind Flachbogen.

Hierdurch wird die Anlage von gröſseren Thür- oder Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern erleichtert oder auch nach Fig. 333 bei mehrfach aneinander gereihten Gewölben die Auflöſung der Widerlagsmauern in Eckpfeiler mit dazwiſchen geſpannten Gurtbogen, deren Wölblinien den Stirnbogen a, b zweckmäſsig angepaſst werden, in einfacher Weiſe möglich.

273. Darſtellung.

Für die Darſtellung der Laibungsfläche des böhmiſchen Kappengewölbes iſt, abge-

ſehen davon, ob ein Teil einer reinen Kugelfläche oder einer kugelförmigen Fläche als Wölbfläche eingeführt werden ſoll, die gegenſeitige Höhenlage der tiefſten Punkte der Kämpferlinien, alſo der Kämpfer- oder Fuſspunkte des Gewölbes vorzuſchreiben. Hierfür gelten folgende Annahmen: die ſämtlichen Kämpferpunkte liegen in einer einzigen wagrechten Ebene, der eigentlichen Kämpferebene, oder die Kämpferpunkte liegen in verſchiedenen wagrechten Ebenen. Sollen ſämtliche Kämpferpunkte in einer ſchiefen Ebene liegen, ſo entſteht das ſteigende böhmiſche Kappengewölbe. Dieſen Annahmen folgend, ſoll die Geſtaltung der Laibungsflächen des böhmiſchen Kappengewölbes näher beſprochen werden.

α) Sämtliche Kämpferpunkte liegen in einer wagrechten Ebene.

274. Kugelfläche.

Die Laibungsfläche ſoll einem Teile einer Kugelfläche angehören.

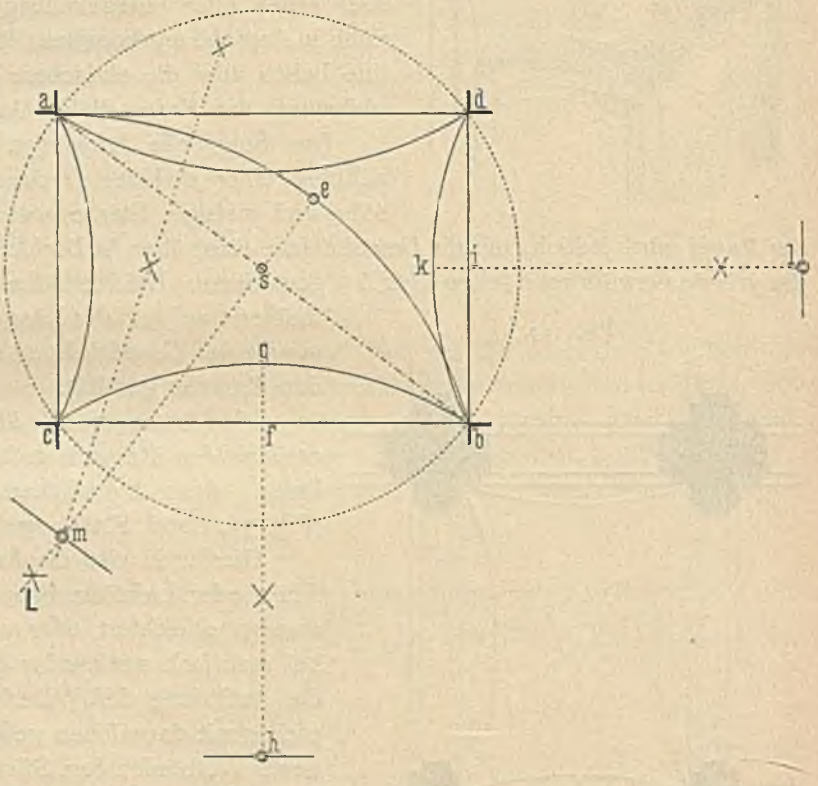
Läſst ſich durch die ſämtlichen Ecken der Grundriſsfigur des zu überwölbenden Raumes ein Kreis legen, welcher als Parallelkreis der ihrem Halbmeſſer nach noch näher zu beſtimmenden Kugelfläche zu gelten hat, ſo gehört dieſer Parallelkreis der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes an, und ſämtliche Fuſspunkte der Kämpferlinien ſind Punkte dieſes Parallelkreiſes.

Iſt der Grundriſs des Gewölbes ein Dreieck, ein Quadrat, ein Rechteck oder ein regelmäſsiges Vieleck, ſo iſt durch die Ecken der Grundriſsfigur ſtets ein Kreis zu beſchreiben.

275. Rechteckiger Grundriſs.

In Fig. 334 iſt das Rechteck *a b c d* der Grundriſs des Gewölbefeldes und *s* der Mittelpunkt des durch die Ecken *a*, *b*, *c* und *d* gehenden Parallelkreiſes. Die beliebig durch *s* geführte, hier mit der Diagonalen *a b* ſich deckende Gerade *a b* iſt der Durchmeſſer dieſes Parallelkreiſes irgend einer Kugelfläche.

Fig. 334.



Der Mittelpunkt dieſer Kugelfläche liegt auf einer in *s* lotrecht auf der Ebene des Parallelkreiſes ſtehenden Geraden *L*. Trägt man die frei gewählte Pfeilhöhe *s e* des Gewölbes auf dieſer Lotrechten *L* ab, ſo hat man durch die 3 Punkte *a*, *e*, *b* einen Kreis zu legen, deſſen Mittelpunkt *m* auf *L* in bekannter Weiſe zu ermitteln iſt. Der Punkt *m* iſt der Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher die Laibungsfläche des Gewölbes angehört. Der Kreisbogen *a e b*, der ſog. Diagonalbogen des böhmiſchen Kappengewölbes, iſt ein Teil des gröſsten Kreiſes der ermittelten Kugelfläche. Die lotrechten Ebenen *c b* und *b d*

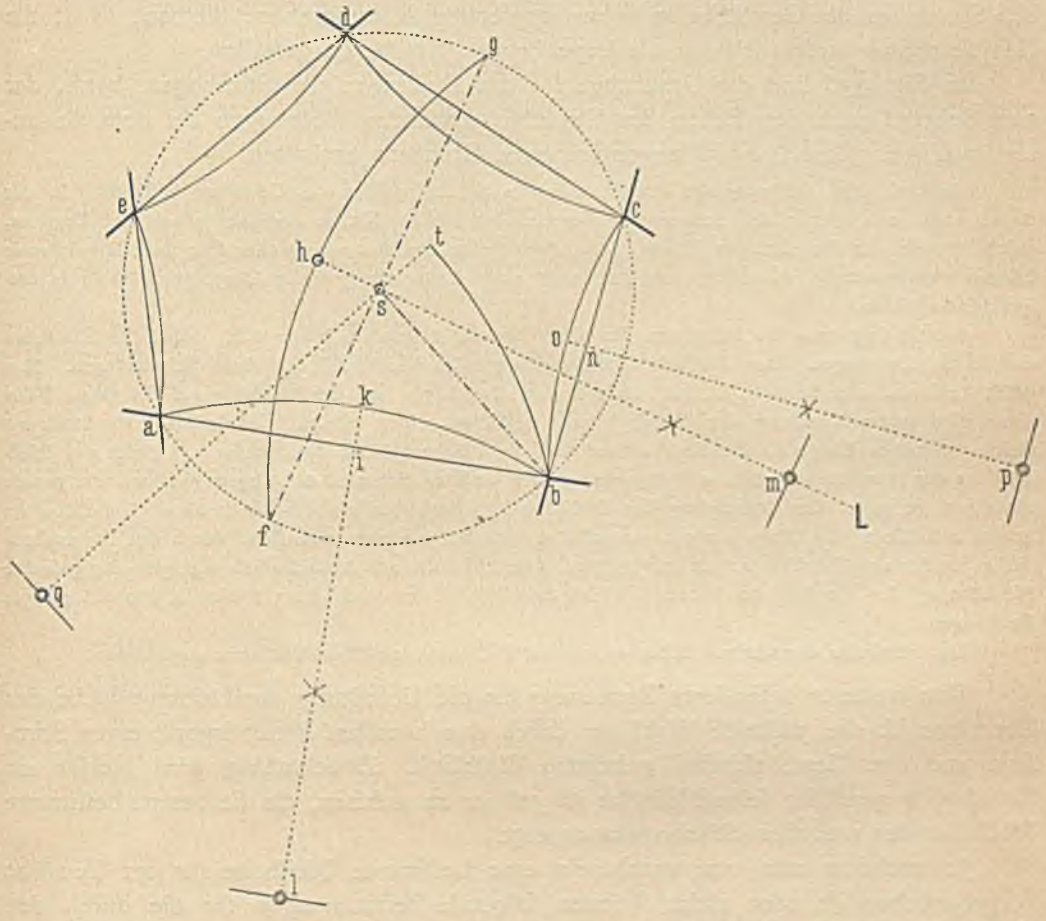
der Widerlager des Gewölbes ſchneiden die Kugelfläche nach Kreiſen, deren Teile cgb, bezw. bkd die Stirnlinien des Gewölbes an den langen Seiten cb, ad, bezw. an den kurzen Seiten bd, ca des rechteckigen Raumes werden. Errichtet man im Halbierungspunkte f der Seite cb das Lot fh, ſo iſt, da der Mittelpunkt m der Laibungsfläche des Gewölbes von der wagrechten Kämpferebene den Abſtand sm erhalten hat, die Länge $fh = sm$ auf dem Lote fh abzutragen, um in h den Mittelpunkt für den Stirnbogen cgb zu beſtimmen. Die Pfeilhöhe dieſes Bogens iſt fg.

Für die Ausmittelung des Stirnbogens bkd iſt der gleiche Weg zu verfolgen. Hierbei iſt $il = fh = sm$ zu nehmen, ſo daſs l der Mittelpunkt, ik die Pfeilhöhe dieſes Stirnbogens wird.

276. Vieleckiger Grundriſs.

Iſt die Grundriſsprojektion des Gewölbes ein regelmäſsiges Vieleck, ſo iſt die Beſtimmung der Kreisbogen für die Stirnlinien und Diagonalbogen, wie im vorhergehenden Artikel für das Rechteck gezeigt wurde, vorzunehmen. Dieſe Beſtimmungen

Fig. 335.



ſind auch beim unregelmäſsigen Vieleck zu treffen, ſobald, die gleiche Höhenlage der Kämpferpunkte vorausgeſetzt, die Grundriſsprojektion des Gewölbes die Führung eines durch ſämtliche Ecken gehenden Kreiſes geſtattet, wie in Fig. 335 angenommen iſt.

Dieſer durch die Ecken des unregelmäſsigen Fünfeckes $abcdc$ gelegte Kreis mit dem Mittelpunkte s iſt der Parallelkreis der für die Laibung des Gewölbes feſtzulegenden Kugelfläche.

Die beliebig durch s geführte Gerade fg iſt als eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Sehne eines gröſsten Kreiſes der Kugelfläche anzunehmen. Auf dem in s auf fg errichteten Lote L

wird sh als gewählte Pfeilhöhe abgetragen und hiernach der Mittelpunkt m auf L für den durch die 3 Punkte f, h und g gehende Kreis beſtimmt. Alsdann iſt mh der Halbmeſſer der für die weitere Geſtaltung des Gewölbes maſsgebenden Kugelfläche.

Für den Stirnbogen der Seite ab iſt das im Halbierungspunkte i auf ab errichtete Lot il gleich dem Abſtande sm zu nehmen. Der um l mit dem Halbmeſſer la beſchriebene Kreisbogen akb iſt ſofort der geſuchte Stirnbogen mit der Pfeilhöhe ik. Der Stirnbogen boc mit der Pfeilhöhe no hat den Mittelpunkt p. Die Länge des in n auf bc errichteten Lotes np iſt wiederum gleich $sm = il$.

In gleicher Weiſe ſind die Stirnbogen ſämtlicher Seiten des Gewölbes auszutragen. Für irgend einen, z. B. von s nach der Ecke b ziehenden Wölbbogen iſt auf dem in s auf bs errichteten Lote die Strecke $sq = sm$ zu nehmen, um dieſen Wölbbogen in dem mit dem Halbmeſſer qb um q beſchriebenen Kreisbogen bt, deſſen Pfeilhöhe st offenbar gleich sh werden muſs, zu erhalten.

277. Kugelförmige Fläche.

Läſst ſich durch die Ecken der vieleckigen Grundriſsprojektion des böhmiſchen Kappengewölbes kein Kreis legen, ſollen aber dennoch die ſämtlichen Fuſspunkte der Stirnlinien des Gewölbes in ſeiner wagrechten Kämpferebene bleiben, ſo iſt die Gewölblaibung weſentlich nur als kugelförmige Fläche zu geſtalten.

In Fig. 336 ſind die Grundzüge für das Austragen der Stirnbogen, bezw. der vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes ziehenden Wölbbogen bei dem als unregelmäſsiges Viereck $abcd$ angenommenen Grundriſs enthalten.

Zunächſt wird die wagrechte Projektion s des Scheitelpunktes des Gewölbes beſtimmt. In der Regel wählt man hierfür den Schwerpunkt der Grundriſsfläche. Nimmt derſelbe jedoch eine Lage an, welche für die von ihm nach den Ecken a, b, c, d gezogenen Strahlen voneinander ſehr ſtark abweichende Längen ergeben würde, ſo verlegt man den Punkt s zur Ausgleichung dieſer Längenunterſchiede in entſprechender Weiſe.

Sodann legt man die Stirnlinien des Gewölbes auf folgendem Wege feſt. Sämtliche Stirnlinien ſind flache Kreisbogen. Ihre Pfeilhöhen ſtehen im geraden Verhältniſſe zu ihren Sehnenlängen. Man wählt für irgend eine Seite, z. B. ad, einen flachen Kreisbogen mit der Pfeilhöhe $1e$. In einem Hilfsplane wird unter Benutzung der Schenkel eines beliebigen, hier rechten Winkels $404'$ ein Stück 01 gleich der halben Länge $a1$ der Seite ad auf dem einen Schenkel 04, die Strecke $01'$ gleich der Pfeilhöhe $1e$ der Stirnlinie der Seite ad dagegen auf dem anderen Schenkel 04 abgetragen und die gerade Linie $11'$ gezogen. Zur Beſtimmung der Pfeilhöhe $2f$ der Stirnlinie der Seite ab wird dieſelbe im Punkte 2 halbiert, die Länge $a2$ von 02 auf dem Schenkel 04 abgetragen und durch den Endpunkt 2 dieſer Strecke eine Parallele $22'$ zu $11'$ geführt. Der Abſchnitt $02'$ des Schenkels $04'$ giebt die geſuchte Pfeilhöhe $2f$ der Stirnlinie der Seite ab. Dieſe Stirnlinie iſt der durch die 3 Punkte a, f und b gelegte Kreisbogen.

Die Stirnlinien der übrigen Seiten bc und cd ſind nach demſelben Verfahren zu zeichnen.

Von weiterer beſonderer Bedeutung für die Geſtaltung der Laibungsfläche des Gewölbes iſt die paſſende Wahl der durch den höchſten Punkt irgend einer Stirnlinie und den Gewölbſcheitel gehenden Wölblinie. Zweckmäſsig wird hierfür ein Kreisbogen gewählt; ſeine Pfeilhöhe iſt gröſser zu nehmen, als die bereits beſtimmte Pfeilhöhe des weiteſten Stirnbogens anzeigt.

Je nachdem nun von vornherein eine beſtimmte Pfeilhöhe für das Gewölbe vorgeſchrieben iſt oder nicht, können folgende Beſtimmungen für die durch den Gewölbſcheitel gehende Wölblinie getroffen werden.

Bleibt der Gewölbepfeil noch willkürlich, ſo legt man der Richtung der längſten Seite der Grundriſsfigur, z. B. cd, entſprechend, eine Gerade A durch s und durch den Halbierungspunkt 1 oder 3 der mit dieſer längſten Seite zuſammentreffenden Seiten da oder cb. In der Zeichnung iſt der Punkt 1 angenommen. Die Gerade A ſoll in der wagrechten Kämpferebene liegen und als Spur einer lotrechten Ebene angeſehen werden, welche in ihrem Schnitte mit der Gewölbfläche die vorhin erwähnte Wölblinie als Kreisbogen liefern ſoll.

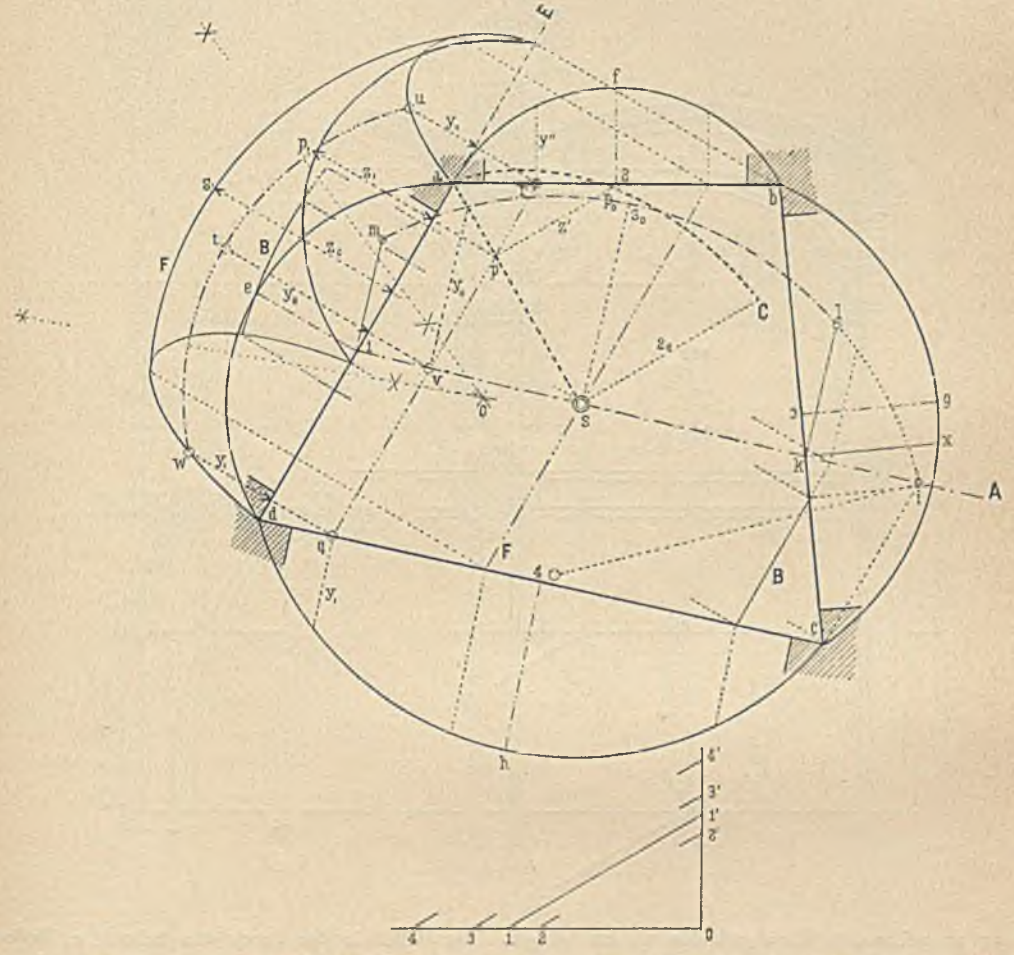
Die Ebene ſchneidet den Stirnbogen der Seite ad in e und den Stirnbogen der Seite bc in x. Errichtet man in 1 und 3 Lote auf A, nimmt man $1m = 1e$ und $kl = kx$, ſo ſind m und l zwei feſte Punkte der geſuchten, bis zur Kämpferebene niedergedrehten Wölblinie. Projiziert man parallel zur

Seite $a d$ den Endpunkt c der längſten Seite $c d$ nach i auf A, ſo iſt hierdurch ein dritter Punkt dieſer Wölblinie beſtimmt. Der durch die 3 Punkte m, l und i gelegte Kreisbogen ſtellt ſie feſt; $s s_0$ iſt ihre Pfeilhöhe.

Wird dagegen die Pfeilhöhe dieſer Wölblinie vorweg angenommen, ſo hat man in s auf A das Scheitellot zu errichten und auf dieſem die gegebene Pfeilhöhe abzutragen. Der durch die beiden feſten Punkte m, l und durch den höchſten Punkt des Scheitellotes gelegte Kreisbogen, welcher natürlich hierbei vom Punkte i unabhängig iſt, wird alsdann die geſuchte Wölblinie in der in A ſtehenden lotrechten Ebene.

Mit Hilfe der Stirnlinien und der Wölblinie $m l i$, bezw. $m s_0 l$ kann die weitere Ausmittelung der Gewölblaibung vorgenommen werden.

Fig. 336.



Legt man durch den beliebigen Punkt v der Geraden A parallel zur Seite $a d$, welche als Ausgangsſeite für die zeichneriſchen Darſtellungen gewählt wurde, eine lotrechte Ebene mit der wagrechten Spur $q r$, ſo erzeugt dieſelbe auf der Laibungsfläche den Schnitt $w t u$, welcher als der durch die 3 Punkte w, t und u geführte Kreisbogen mit dem Mittelpunkte o beſtimmt werden kann. Die Punkte w, t und u ſind ihrer Lage nach bekannt. Für w iſt $d w = y_1$ des Stirnbogens $d h c$; für t iſt $r t = y_0$ der Wölblinie $m s_0 l$, und für u iſt $y_{,,}$ des Stirnbogens $a f b$ maſsgebend. Auf demſelben Wege ſind auch die Kreisbogen F und B für die parallel zur Seite $a d$ aufgeſtellten lotrechten Ebenen mit den im Grundriſs gezeichneten wagrechten Spuren F, bezw. B leicht zu ermitteln.

Ebenſo einfach iſt ferner das Austragen irgend einer vom Gewölbſcheitel nach einer Gewölbecke ziehenden Wölblinie. Die Bogenlinie C iſt für die Richtung $s a$ eingetragen. Für dieſelbe iſt die Länge

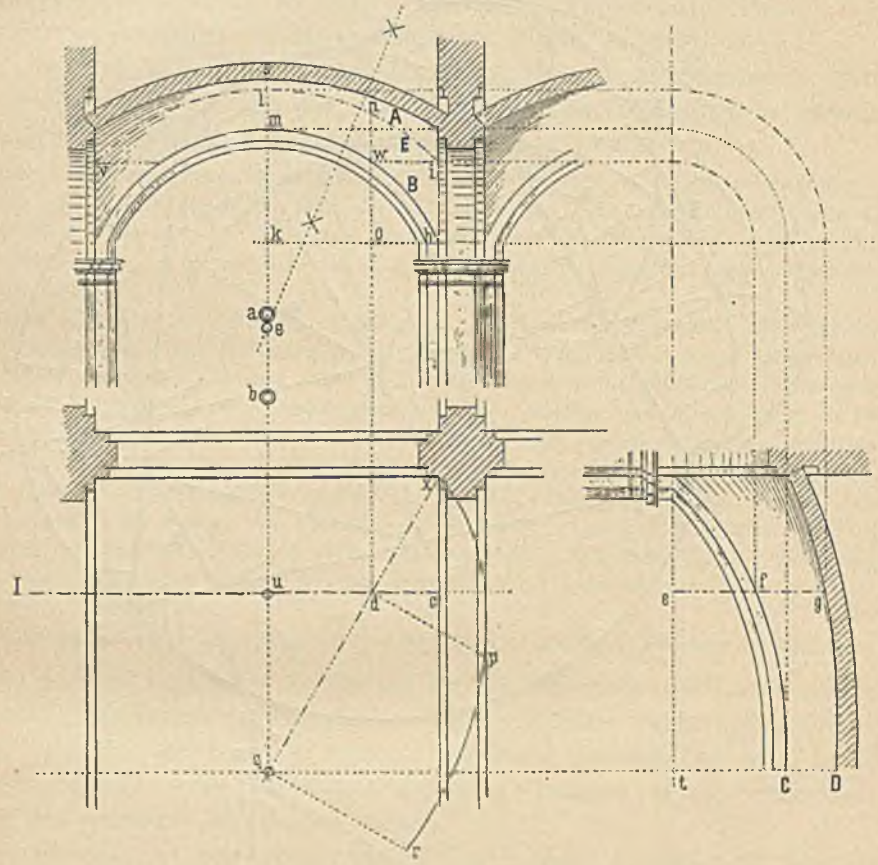
des in s auf as errichteten Lotes $sC = ss_0$, die Länge der in p auf as fenkrecht ftehenden Linie pp_0 gleich der Ordinate z, der Schnittlinie wtu u. f. f. Für die Bogenlinien nach sb, sc u. f. f. gelten diefelben Mafsnahmen. Mittels lotrechter, parallel zu ad aufgeftellter Ebenen werden die zugehörigen Schnittlinien der Laibungsfläche feftgelegt und hiernach einzelne Punkte diefer gefuchten Bogenlinie ermittelt.

278. Gleich hohe Stirnbogen: Anordnung I.

Wird bei rechteckigem Grundrifs des böhmifchen Kappengewölbes die Forderung geftellt, alle Stirnbogen mit gleicher Pfeilhöhe einzuführen, fo kann die kugelförmige Geftaltung der Laibungsfläche nach Anleitung von Fig. 337 bewirkt werden.

Der Stirnbogen der fchmalen Rechteckfeite fei der um a befchriebene flache Kreisbogen B mit der Pfeilhöhe km. Der Stirnbogen C der langen Seite erhält diefelbe Pfeilhöhe $tC = km$. Diefer Stirnbogen C ift ein Stück einer Ellipfe, wofür einzelne Punkte, z. B. f, auf bekanntem, auch aus der Zeich-

Fig. 337.



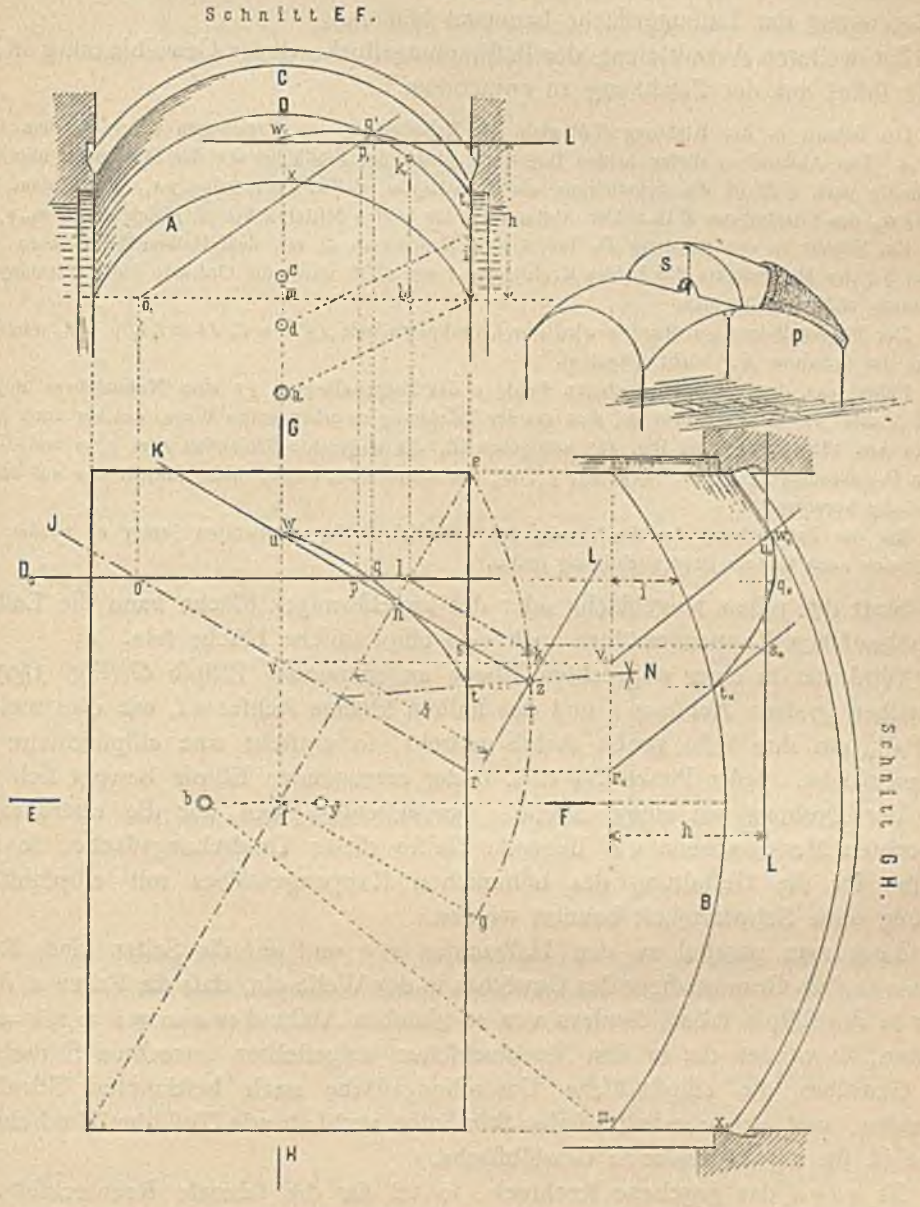
nung zu erfehenden Wege gefunden werden können. Die Wölblinie der durch den Scheitel s, deffen wagrechte Projektion in der Kämpferebene der Punkt q ift, parallel zur fchmalen Rechteckfeite geführten lotrechten Ebene fei der um b befchriebene Kreisbogen A, während die Wölblinie D in der durch den Gewölbefcheitel parallel zur langen Rechteckfeite geführten lotrechten Ebene als flacher Kreisbogen, wobei jedoch $tD = ks$ und die Höhenlage des Anfchlufspunktes an der fchmalen Stirnfeite gleich der Höhe tC über der Kämpferebene fein mufs, gewählt werden möge. Nach diefen gegebenen Beftimmungsftücken läfst fich die kugelförmige Laibung des Gewölbes in folgender Weife ermitteln.

Man führt an beliebiger Stelle parallel zur Ebene des Stirnbogens B eine Ebene I durch die Gewölbfläche. Diefelbe fchneidet die Stirnbogen C der langen Rechtecksfeiten in f. Die Ordinate diefes Punktes ift ef.

Wird durch f eine wagrechte Ebene gelegt, fo erhält man in der Aufrifsprojektion unterhalb A die Punkte i und v. Die Ebene I fchneidet die Scheitellinie D in g. Trägt man eg von k nach l, fo

kann man durch die 3 Punkte *i*, *l*, *v* einen Kreisbogen *E* mit dem Mittelpunkte *e* legen, welcher als Erzeugende der kugelförmigen Laibung des Gewölbes für die Ebene *I* auftritt. Genau ſo ſind für verſchiedene, parallel zur ſchmalen Rechtecksſeite aufgeſtellte Ebenen die zugehörigen Wölblinien oder Erzeugenden der Wölbfläche zu beſtimmen. Für das Austragen des Diagonalbogens *r x* über *q x* iſt ſofort *q r* = *k s* und *d p* = *o n*, wie aus der Zeichnung zu erſehen, zu verwenden.

Fig. 338.



279. Anordnung II.

Eine zweite Art der Geſtaltung kugelförmiger Gewölblaibung für böhmiſche Kappengewölbe, deren Stirnbogen gleich groſse Pfeilhöhen erhalten ſollen, kann bei rechteckigem Grundriſs in vorteilhafter Weiſe nach Fig. 338 zur Anwendung kommen.

Die Stirnbogen der Rechteckſeiten ſind als flache Kreisbogen *A*, bezw. *B* mit gleicher Pfeilhöhe *m x* gewählt. Läſst man den Stirnbogen *A*, ſtets in einer lot-

rechten Ebene parallel mit der ſchmalen Rechtecksſeite bleibend, auf den Stirnbogen B der langen Seiten ſtetig fortrücken, wie der Plan P mit der Scheibe S, deren obere Begrenzung dem Stirnbogen A entſprechen würde, näher angiebt, ſo entſteht eine beſondere Gewölblaibung, deren Eigenſchaften für die Ausführung des böhmiſchen Kappengewölbes nicht ungünſtig ſind.

Ebenſo hätte man auch umgekehrt den Stirnbogen der langen Rechteckſeite zur Erzeugung der Laibungsfläche benutzen können.

Zur weiteren Ausmittelung der Beſtimmungsſtücke dieſer Gewölblaibung iſt das Nötige ſofort aus der Zeichnung zu entnehmen.

Der Schnitt in der Richtung EF giebt als Scheitellinie den Kreisbogen C gleich dem Kreisbogen A. Der Abſtand ac dieſer beiden Bogen iſt gleich der Pfeilhöhe mx der Stirnbogen überhaupt. Im Schnitte nach GH iſt die Scheitellinie ein Kreisbogen, deſſen Halbmeſſer $yx_{,,}$ gleich dem Halbmeſſer $bm_{,,}$ des Stirnbogens B iſt. Der Abſtand by der beiden Mittelpunkte iſt gleich $mx = m_{,,}x_{,,}$.

Ein Schnitt in der Richtung D_0 liefert den Kreisbogen D mit dem Halbmeſſer $di = ax$. Der Abſtand ad der Mittelpunkte der beiden Kreisbogen A und D iſt durch die Ordinate i des Stirnbogens B im Schnitte GH zu beſtimmen.

Der Diagonalbogen ge über fe wird durch Ordinaten, wie $fg = mC$, $lk = l,k$, u. ſ. f., unter Verwertung des Schnittes EF leicht feſtgelegt.

Führt man durch einen beliebigen Punkt z des Diagonalbogens ge eine Normalebene mit den Spuren N und Nr, ſo erhält man auf dem aus der Zeichnung zu erkennenden Wege, welcher auch bereits z. B. in Art. 186 (S. 303) bei Fig. 263 angegeben iſt, die wagrechte Projektion t, n, q, w und die lotrechten Projektionen $t_{,}$, $q_{,}$, $w_{,}$, bezw. $t_{,,}$, $q_{,,}$, $w_{,,}$ der Schnittlinie, welche dieſe Normalebene auf der Gewölblaibung hervorruft.

Bei der Beſprechung der Ausführung des böhmiſchen Kappengewölbes (unter c) werden dieſe Schnittlinien noch weitere Berückſichtigung finden.

280. Ellipſoidiſche Fläche.

Statt der reinen Kugelfläche oder der kugelförmigen Fläche kann die Laibung des böhmiſchen Kappengewölbes auch eine ellipſoidiſche Fläche ſein.

Wird die in einer wagrechten Ebene angenommene Ellipſe G (Fig. 339) mit der halben groſsen Achſe mo und der halben kleinen Achſe ml, wie dies meiſtens der Fall, um ihre feſte groſse Achſe gedreht, ſo entſteht eine ellipſoidiſche Umdrehungsfläche. Jeder Punkt l, I u. ſ. f. der erzeugenden Ellipſe bewegt ſich während der Drehung auf einem Kreiſe. Berückſichtigt man nur die oberhalb der wagrechten Meridianebene nE liegende Hälfte dieſer Umdrehungsfläche, ſo kann dieſelbe für die Geſtaltung des böhmiſchen Kappengewölbes mit ellipſoidiſcher Laibung ohne Schwierigkeit benutzt werden.

Legt man parallel zu den Halbachſen mo und ml die Seiten eines Rechteckes $abcd$ als Grundriſsfigur des Gewölbes in der Weiſe ein, daſs die Ecken a, b, c, d nicht in die Ellipſe fallen, ſondern von m gleichen Abſtand $ma = mb = mc = md$ erhalten, ſo werden die in den Rechteckſeiten aufgeſtellten lotrechten Stirnebenen des Gewölbes die ellipſoidiſche Umdrehungsfläche nach beſtimmten Stirnlinien ſchneiden, und der oberhalb dieſer Stirnlinien verbleibende Teil der Umdrehungsfläche iſt die zu verwendende Gewölbfläche.

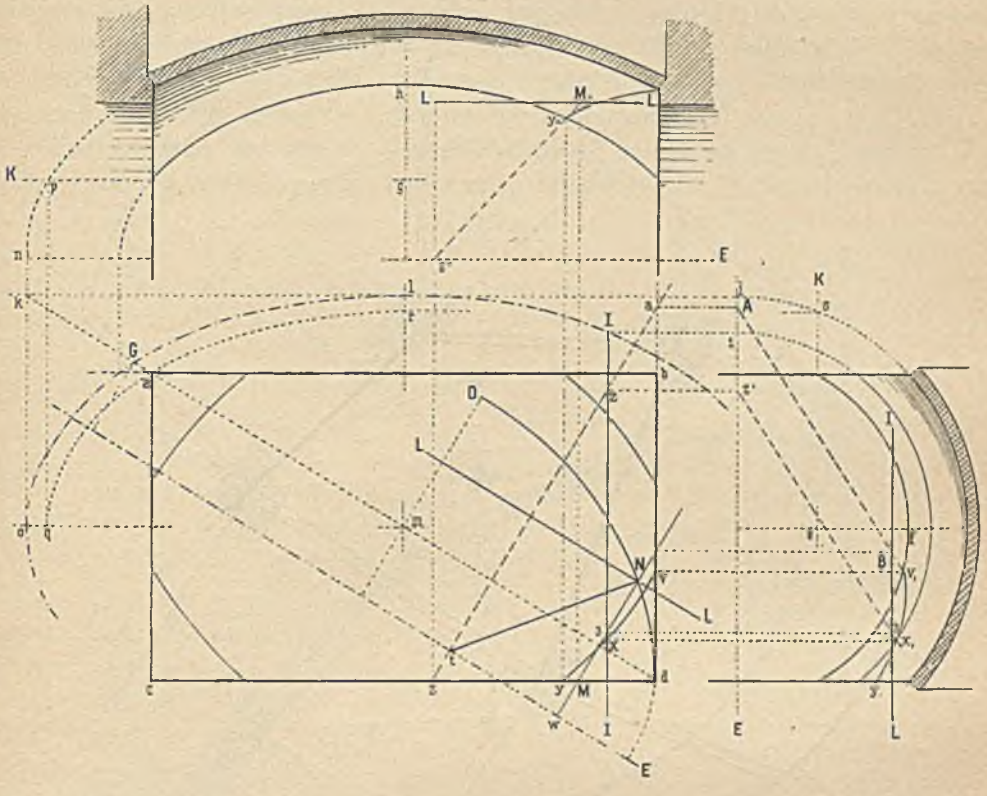
Iſt $abcd$ das gegebene Rechteck, ſo ſei für die ſchmale Rechteckſeite bd, bezw. ac ein flacher Kreisbogen mit der Pfeilhöhe ef in Rückſicht auf die Kämpferebene gewählt. Die Scheitellinie in der lotrechten Ebene ml iſt als ein zum Stirnbogen konzentriſcher Kreisbogen zu nehmen. Gehörig erweitert, trifft dieſe Scheitellinie die Kämpferebene K in s und die wagrechte Meridian- oder jetzt die Grundebene in i. Erweitert man in der Grundebene die Diagonale da des gegebenen Rechteckes, zieht man durch i die Gerade ik parallel zu ab und hierauf ko parallel zu ac,

ſo erhält man in $m l$ die halbe kleine Achſe und in $m o$ die halbe groſse Achſe der erzeugenden Ellipſe G, welche hiernach in der Meridianebene der Umdrehungsfläche gezeichnet werden kann. Nunmehr ſind alle Stücke gegeben, um die ellipſoidiſche Laibung des Gewölbes zu bilden.

Der Stirnbogen der Seite $a b$ iſt ein leicht darzuſtellendes Ellipſenſtück mit der Pfeilhöhe $g h = e f$. Die Scheitellinie in der Richtung $m o$ entſpricht der erzeugenden Ellipſe. Aus der Zeichnung iſt hierfür das Nähere ſofort erſichtlich.

Auch der Diagonalbogen D gehört einem Ellipſenſtücke an. Die halbe groſse Achſe für die erforderliche Ellipſe des Diagonalbogens iſt gleich $m G$, und die halbe kleine Achſe iſt wiederum gleich $m l$.

Fig. 339.



Der für den Diagonalbogen D gezeichnete Normalſchnitt der Normalebene mit den Spuren $N t$ und $t a$ liefert auf der Gewölbfläche die Kurve, deren wagrechte Projektion $v x y$ und deren lotrechte Projektion v, x, y, in bekannter Weiſe mit Hilfe der lotrechten Schnitte nach $b d$, $I I$ und $a b$, ſowie der wagrechten Geraden L, wie aus der Zeichnung hervorgeht, zu finden iſt.

Bemerkt ſei noch, daſs in der Kämpferebene durch die Ecken a, b, c, d eine Ellipſe gelegt werden kann, deren halbe groſse Achſe in $m q$, deren halbe kleine Achſe in $m r$ erhalten wird.

β) Die Kämpferpunkte liegen in verſchiedenen wagrechten Ebenen.

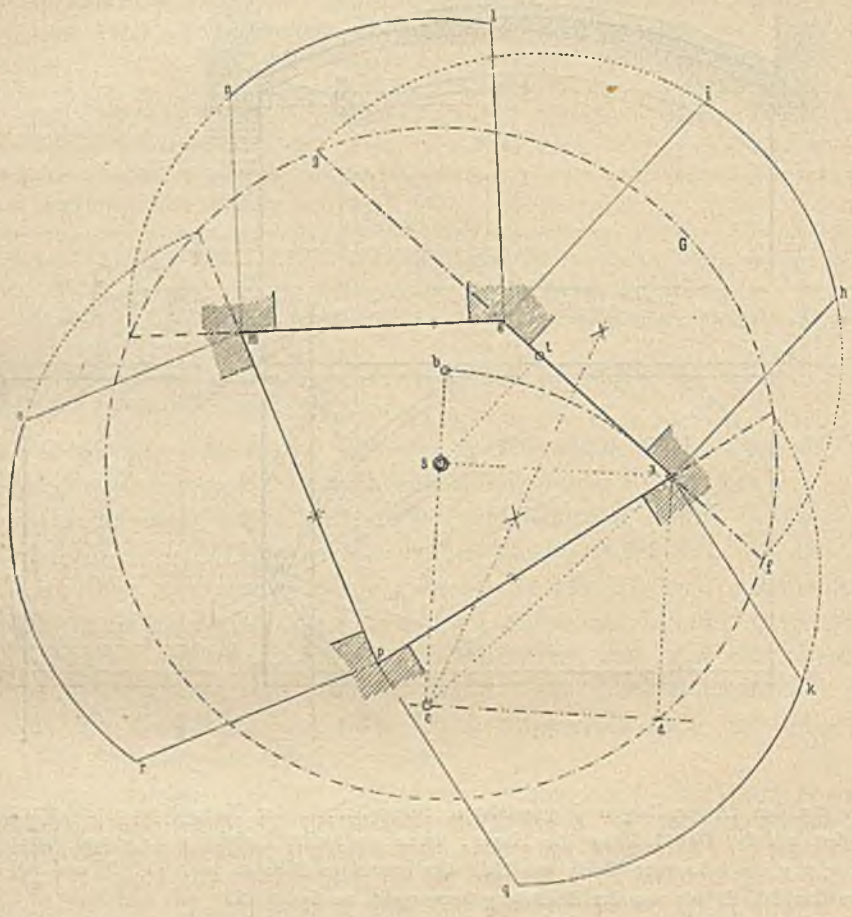
281. Kugelfläche.

Böhmiſche Kappengewölbe mit ungleich hoch gelegenen Fuſspunkten der Stirnlinien zeigen meiſtens kein ſchönes Ausſehen. Iſt man genötigt, über unregelmäſsigen Grundriſſen mehr untergeordneter Räume das böhmiſche Kappengewölbe als Raumdecke zu verwenden, ſo iſt es angezeigt, einen Teil der reinen Kugelfläche als Laibungsfläche des Gewölbes zu benutzen und von der ellipſoidiſchen Fläche ganz abzuſtehen.

In dieſem Falle iſt die Ausmittelung der Stirnlinien und der vom Scheitelpunkte nach den Fuſspunkten dieſer Stirnlinien gerichteten Wölblinien in einfacher Weiſe nach Fig. 340 vorzunehmen.

Das unregelmäſsige Viereck *a e m p* ſei der Grundriſs des Gewölbes. Der Schwerpunkt *s* der Grundriſsfläche möge die wagrechte Projektion des Gewölbſcheitels ſein. Die Wölblinie *a b*, welche vom Fuſspunkte *a* bis zum Gewölbſcheitel zieht, iſt als Kreisbogen bei der angenommenen Pfeilhöhe *s b* um *c* als Mittelpunkt, der auf der gehörig verlängerten Geraden *s b* liegt, mit dem Halbmeſſer *c a* beſchrieben. Dieſer

Fig. 340.



Halbmeſſer wird, ſobald ſeine Gröſse nicht kleiner als die Länge irgend eines anderen Eckſtrahles *s m* oder *s p* u. ſ. f. iſt, ſofort auch als Halbmeſſer der Kugelfläche, welcher die Laibung des Gewölbes entnommen werden ſoll, beibehalten. Der um *s* mit dem Halbmeſſer *c a* beſchriebene Kreis *G* iſt der in der wagrechten Grundebene *c d* liegende gröſste Kreis der Kugel.

Würde derſelbe zum Teile in die Grundriſsfigur fallen, ſo müſste die Pfeilhöhe *s b* der Wölblinie *a b* entſprechend verkleinert werden.

Der Mittelpunkt der Kugel liegt in einem lotrechten Abſtande *s c* unter der durch *a* geführten wagrechten Ebene.

Um den Stirnbogen der Seite ae auszutragen, erweitert man ae, bis der gröfste Kreis G in f und g geſchnitten wird. Der um t beſchriebene Halbkreis $ghif$ ergiebt in hi die geſuchte Stirnlinie. Der Punkt t iſt bekanntlich auch der Fufspunkt des von s auf ae gefällten Lotes.

Auf demſelben Wege ſind die ſämtlichen Stirnlinien zu ermitteln. Die Seiten ae, em u. ſ. f. können für die einzelnen Stirnlinien ohne weiteres als in der Grundebene G liegend betrachtet werden, ſo dafs $ah = ad = ak$, $ei = el$, $mn = mo$, $pr = pq$ gefunden und hiernach die gegenſeitige Höhenlage der Fufspunkte der an den Ecken des Gewölbes zuſammentretenden Stirnlinien beſtimmt wird. Die Wölblinien über se und sm ſind gleichfalls mit Hilfe des gröfsten Kreiſes G auf dem beſchriebenen Wege zu erhalten.

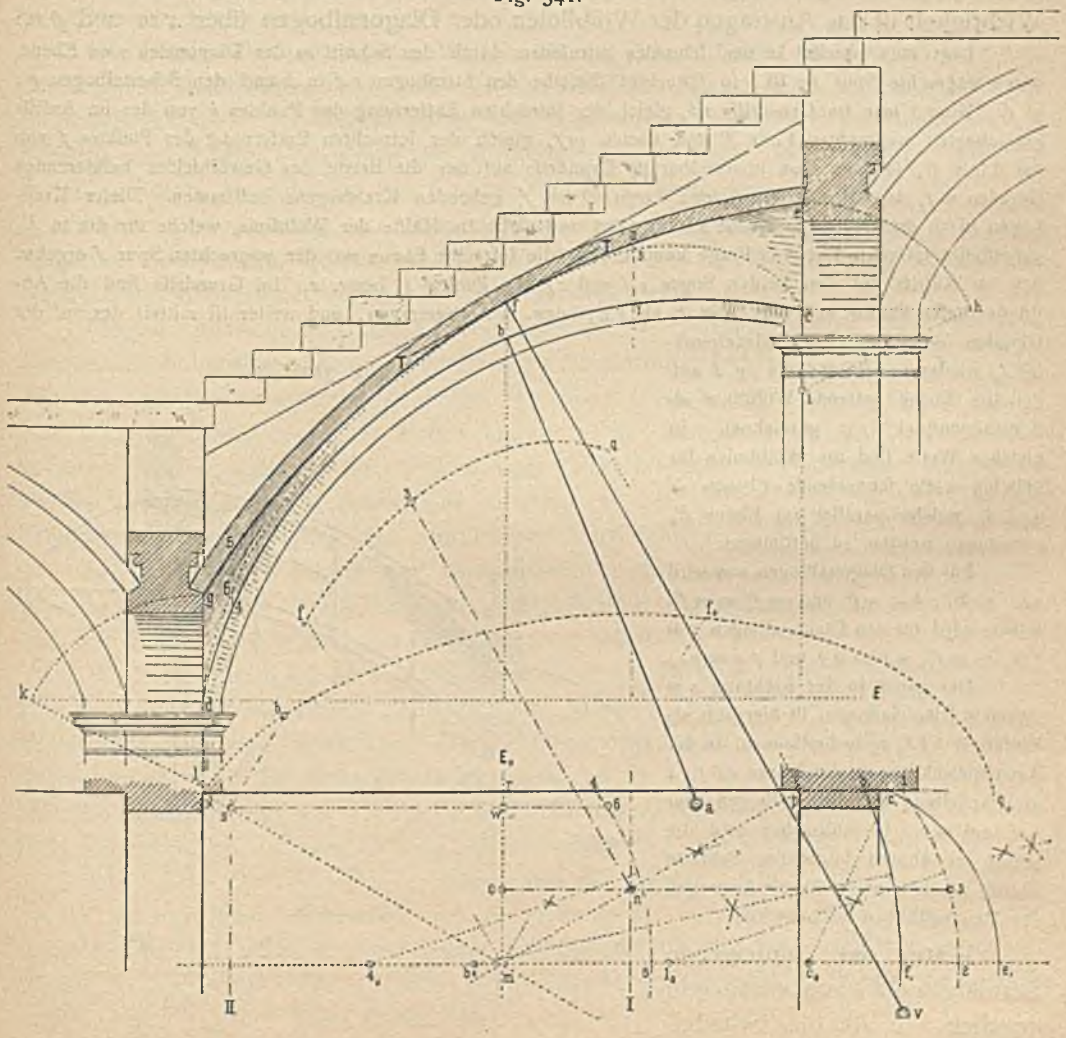
γ) Die Kämpferpunkte liegen in einer ſchiefen Ebene.

282. Steigende böhmiſche Kappen: Anordnung I.

Bei anſteigenden böhmiſchen Kappengewölben, welche meiſtens nur über rechteckigem oder quadratiſchem Gewölbfelde ausgeführt werden, liegen die Fufspunkte der beiden anſteigenden Stirnbogen in einer ſchiefen Ebene, während die Fufspunkte der anderen beiden Stirnbogen je für ſich in einer wagrechten Ebene enthalten ſind. Die Laibungsflächen dieſer Gewölbe werden kugelförmig geſtaltet.

Entſprechend der für die Hauptſcheitellinie ge feſtgelegten Tangente TT, deren Richtung einer vorweg beſtimmten Steigungslinie, z. B. derjenigen eines

Fig. 341.



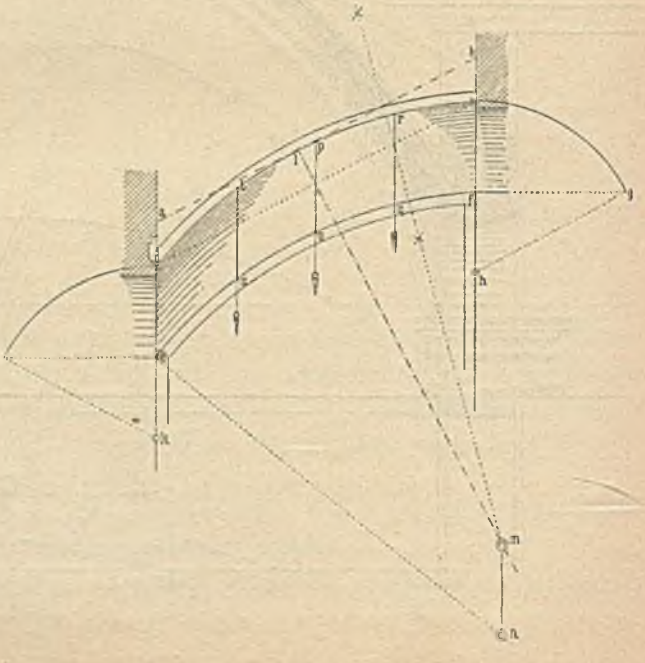
Treppenlaufes in Fig. 341, zugewiefen ift, wird auf dem in f auf $T\,T$ errichteten Lote $f\,v$ der Punkt v aufgefucht, welcher als Mittelpunkt für den durch den feften Punkt g und den Berührungspunkt f gehenden Kreisbogen $g\,f\,e$ gilt. Der Punkt f ift vorweg als lotrechte Projektion des Schnittes m der Diagonalen des rechteckigen Gewölbfeldes auf $T\,T$ zu beftimmen. Der Punkt g ift feiner Lage nach durch den gewählten Stirnbogen $g\,k$ mit dem Halbmeffer $l\,k$ und der Pfeilhöhe $d\,g$ bekannt.

Der Scheitelbogen $g\,f\,e$ trifft die Stirnfeite $i\,e$ in e. Diefer Punkt ift Scheitelpunkt des Stirnbogens an der oberen fchmalen Rechteckfeite. Diefer Stirnbogen befitzt, wie der Bogen $g\,k$, die Pfeilhöhe $e\,c = d\,g$ und den Halbmeffer $i\,h = l\,k$. Durch die Punkte d und c find die Fufspunkte der anfteigenden Stirnlinie des Gewölbes nunmehr gegeben. Wählt man auf der Lotrechten $m\,f$ die an fich fonft beliebige Höhe $b\,f$ derart, dafs b mäfsig tiefer als c fällt, fo ift durch die 3 Punkte c, b, d der als anfteigende Stirnlinie auftretende Kreisbogen zu legen. In der Zeichnung ift a fein Mittelpunkt.

Hierdurch find alle für die Geftaltung des anfteigenden böhmifchen Kappengewölbes mit kugelförmiger Laibung erforderlichen Grundlagen gefchaffen. Von Wichtigkeit ift das Austragen der Wölblinien oder Diagonalbogen über $x\,m$ und $p\,m$.

Legt man parallel zu den fchmalen Stirnfeiten durch den Schnitt m der Diagonalen eine Ebene, deren wagrechte Spur E_0 ift, fo fchneidet diefelbe den Stirnbogen $c\,d$ in b und den Scheitelbogen $g\,e$ in f. Nimmt man im Grundriffe $r\,b$, gleich der lotrechten Entfernung des Punktes b von der im Aufrifs gezeichneten wagrechten Linie E und ebenfo $m\,f$, gleich der lotrechten Entfernung des Punktes f von der Linie E, fo kann man unmittelbar im Grundrifs auf der die Breite des Gewölbfeldes halbierenden Geraden $m\,f$, den Mittelpunkt b_0 des durch b, und f, gehenden Kreisbogens beftimmen. Diefer Kreisbogen ift in die wagrechte Ebene niedergelegt und giebt die Hälfte der Wölblinie, welche für die in E_0 aufgeftellte lotrechte Ebene in Frage kommt. Für die lotrechte Ebene mit der wagrechten Spur I ergeben fich im Aufrifs auf den beiden Bogen $c\,d$ und $e\,g$ die Punkte 1, bezw. 2. Im Grundrifs find die Abftände diefer Punkte von der Linie E als $r\,1$, bezw. $m\,2$ abgetragen, und weiter ift mittels des auf der Geraden $m\,f$, gefundenen Mittelpunktes l_0 wiederum die für die in I aufgeftellte Ebene geltende Wölblinie als Kreisbogenftück $1\,2$ gezeichnet. In gleicher Weife find die Wölblinien für beliebig viele fchneidende Ebenen II u. f. f., welche parallel zur Ebene E_0 genommen werden, zu beftimmen.

Fig. 342.



Für den Diagonalbogen $x\,m$ wird nun z. B. $s\,b = w\,6$ und $m\,f_0 = m\,f_1$. Ferner wird für den Diagonalbogen $p\,m$ $f\,m_{11} = m\,f_1$, $n\,3 = o\,3$ und $p\,q = r\,c_1$.

Der ganze in der Richtung $x\,m$ ziehende Diagonalbogen ift hiernach als Wölblinie $x\,b\,f_0\,g_0$ zu beftimmen. In der Aufrifsprojektion ift die Kurve $d\,6\,f\,3\,c$ die Darftellung der Diagonalbogen über $x\,m$ und $m\,p$. Je zahlreicher man die vorhin erwähnten lotrechten Schnitte nimmt, um fo genauer ift das Austragen der Diagonalbogen zu bewirken.

Wäre der anfteigende Stirnbogen $d\,b\,c$ von vornherein gegeben, fo ift die Scheitel-

linie $g\,e$ in paſſender Weiſe zu wählen. Hierdurch tritt aber im Feſtlegen der Wölbfläche an ſich keine weſentliche Aenderung der beſchriebenen Maſsnahmen ein.

283. Anordnung II.

Eine andere Geſtaltung der Laibungsfläche des anſteigenden böhmiſchen Kappengewölbes iſt in Fig. 342 veranſchaulicht. Dieſelbe entſpricht vollſtändig den in Art. 279 (S. 399) gegebenen Anordnungen. Der Stirnbogen der ſchmalen Rechteckſeite wird, wie dort erklärt, einfach ſtets ſich parallel bleibend und lotrecht ſtehend an den beiden aufſteigenden Stirnbogen der langen Rechteckſeiten fortgeführt. Derart geſtaltete Laibungsflächen ſind für die Ausführung der anſteigenden böhmiſchen Kappengewölbe zu empfehlen, weil dieſelben unter Benutzung von Rutſchbogen, welche bereits in Art. 41 (S. 90) Erwähnung gefunden haben, gewölbt werden können.

b) Stärke der böhmiſchen Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

284. Stabilität der Kappen.

Das böhmiſche Kappengewölbe gehört der Gruppe der Kuppelgewölbe an. Die Geſichtspunkte, welche bei der Ermittelung der Stärke dieſer Gewölbe nebſt ihren Widerlagern zu beobachten ſind, bleiben auch beim böhmiſchen Kappengewölbe beſtehen, gleichgültig ob die Laibungsfläche als reine Kugelfläche oder als kugelförmige Fläche ausgebildet iſt.

Die Stärke der böhmiſchen Kappen iſt bei den üblichen in Wohnräumen vorkommenden Belaſtungen und ihren an ſich mäſsigen Spannweiten ſelten gröſser als $^1/_2$ Backſteinlänge. Bei beſonders groſsen Spannweiten, bezw. bei erheblich ſtarken Belaſtungen iſt die Vornahme der ſtatiſchen Unterſuchung der Kappen und die darauf geſtützte Berechnung der Gewölbſtärke zu empfehlen.

Dieſe Unterſuchung und Beſtimmung der Gewölbſtärke iſt ganz nach den Angaben auszuführen, welche in Art. 203 bis 206 (S. 329 bis 336) für die buſigen Gewölbkappen gotiſcher Kreuzgewölbe enthalten ſind.

285. Stabilität der Widerlager.

Mögen Gurtbogenſtellungen oder geſchloſſene Umfangsmauern als Widerlagskörper des böhmiſchen Kappengewölbes in Anwendung gebracht werden, ſo richtet ſich die Stabilitätsunterſuchung dieſer Stützkörper wiederum zunächſt nach den in Art. 209 (S. 338) gegebenen Erörterungen. Die hierdurch bekannt gewordenen äuſseren angreifenden Kräfte, welche vom Gewölbe auf die Widerlager übertragen werden, ſind ſodann im Sinne des in Art. 137 bis 139 (S. 238 bis 241) bei der Prüfung der Standfähigkeit der Stützkörper Vorgeführten in Betracht zu ziehen.

286. Empiriſche Regeln: Stärke der Kappen.

In den meiſten Fällen der praktiſchen Ausführung des böhmiſchen Kappengewölbes können die durch Erfahrung feſtgeſtellten Abmeſſungen der Gewölbſtärke und der Stärke der Widerlager beibehalten werden.

Wird die Pfeilhöhe des böhmiſchen Kappengewölbes nahezu gleich $^1/_{10}$ der Diagonale der Grundriſsfigur genommen, ſo iſt die Gewölbſtärke bis 5 m Spannweite gewöhnlich gleich $^1/_2$ Backſtein. Bei gröſserer Spannweite, welche aber 7 m ſelten überſchreitet, wird die Pfeilhöhe zweckmäſsig zu $^1/_7$ bis $^1/_8$ der Diagonale feſtgeſetzt und die Gewölbſtärke am Scheitel zu $^1/_2$ Backſtein, am Widerlager bis zu 1 Backſtein angenommen. Dabei iſt eine Ausmauerung der Gewölbzwickel anzuraten.

287. Widerlagsſtärke.

Die Stärke der Widerlager beträgt bei der üblichen Höhe derſelben etwa $^1/_4$ bis $^1/_5$ der gröſsten Spannweite des Gewölbes, nie aber unter $2\,^1/_2$ Stein. Treten mehrere, durch Gurtbogen voneinander geſchiedene, vollſtändig gleichartig geſtaltete böhmiſche Kappengewölbe in Reihen nebeneinander auf, ſo genügen meiſtens $1\,^1/_2$ Stein breite und $1\,^1/_2$ bis 2 Stein ſtarke Gurtbogen.

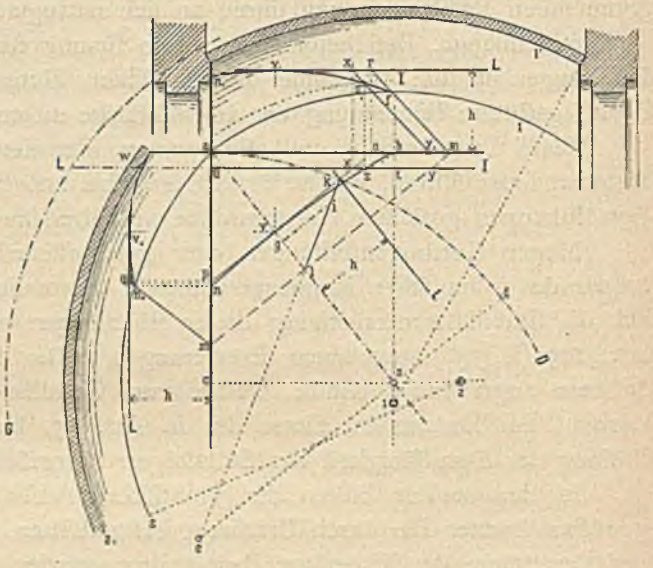
c) Ausführung der böhmifchen Kappengewölbe.

288. Material. Als Wölbmaterial für das böhmifche Kappengewölbe werden faft ausfchliefslich Backfteine und gut bindender Mörtel benutzt.

289. Einrüftung. Das Einwölben erfolgt freihändig. Beim Wölben dienen als Lehre nur aus leichten Brettern angefertigte Wölbfcheiben, welche vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes aufgeftellt, als fog. Diagonalbogen die allgemeine Geftaltung der Gewölbfläche anzeigen. An den Widerlagskörpern werden die Stirnlinien oft nur mit Kohle oder Kreide genau vorgezeichnet und die Widerlagsflächen hier mäfsig eingearbeitet, fo dafs diefes Syftem der Stirnlinien in Gemeinfchaft mit den Diagonalbogen, bezw. Wölbfcheiben hinreichende Mittel zur richtigen Ausführung der Wölbung gewährt. Nur in befonderen Fällen werden auch aufser den Diagonalbogen noch leichte Wölbfcheiben, vom Scheitel aus rechtwinkelig nach den Widerlagern gerichtet, aufgeftellt.

Das Einwölben erfolgt aus allen Gewölbecken gleichzeitig nach Art des Schwalbenfchwanzverbandes in einzelnen von den Stirnlinien des Gewölbes freihändig über die Diagonalbogen hinweggeführten Schichten mit Backfteindicke und $\frac{1}{2}$ Stein, bezw. 1 Stein Höhe. Gut bindender Mörtel bedingt die möglichft innige Verkittung der forgfältig beim Vermauern angenäfsten Steine. Zuletzt bleibt eine nahezu quadratifche Oeffnung für das Einfetzen des Schlufsfteines.

Fig. 343.

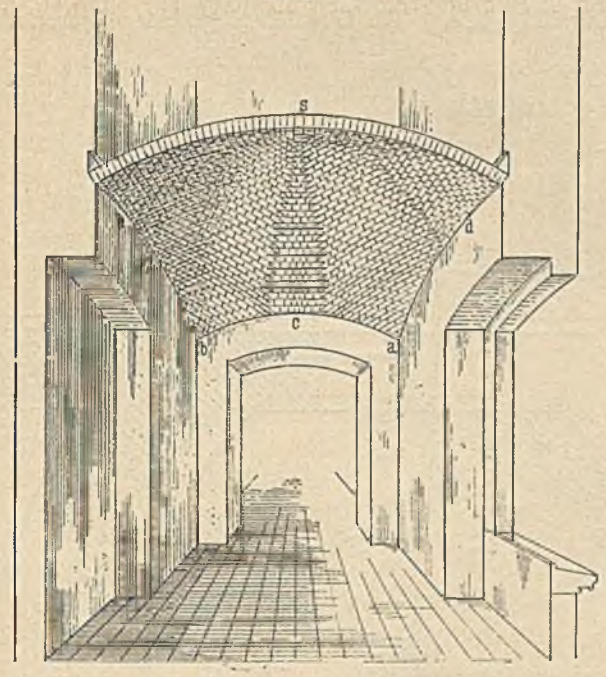


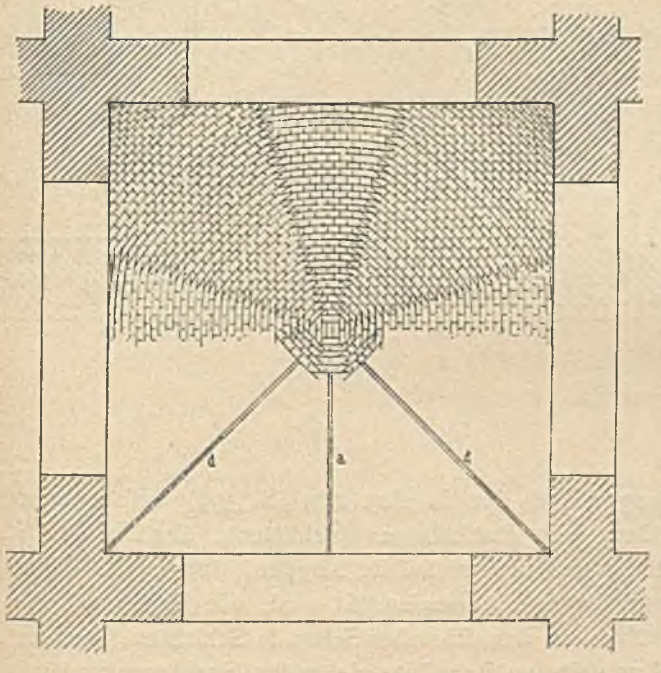
Genau genommen follen die Lagerkanten der einzelnen Wölbfchichten ftets in Normalebenen zu den Diagonalbogen liegen. In Fig. 343 ift für das böhmifche Kappengewölbe über rechteckigem Grundrifs mit den Stirnlinien $1a$, $2a$ und dem Diagonalbogen D für die Normalebene mit den Spuren xl und mm nach der in Art. 186 (S. 303) gegebenen Anleitung und auf dem aus der Zeichnung deutlich zu entnehmenden Wege die Darftellung der wagrechten Projektion $nvzb$ und der lotrechten Projektionen $fz, v, n,$ bezw. $n_1 v_1 w$ der zugehörigen Lagerkante vorgenommen. Würde für das Wölbgebiet $absc$ eine Schar folcher Lagerkanten beftimmt und diefe Schar in fymmetrifcher Anordnung auf die noch übrigen drei Wölbgebiete übertragen, fo hätte man die Grundlage, um für das etwa im Rohbau mit farbigen Steinen in beftimmter Mufterung auszuführende Gewölbe eine ftreng richtige Bauzeichnung anfertigen zu können.

Werden die einzelnen auf Schwalbenfchwanzverband zufammentretenden Schichten bei gröfseren Spannweiten reichlich lang, fo erfolgt das Einwölben nach Fig. 344 von den Ecken a, b u. f. f. aus nach dem Schwalbenfchwanzverband, von

der Mitte der Widerlager nach dem Scheitel zu jedoch in dreieckigen Wölbgebieten *c*, *d*, *e* u. f. f. auf Kufverband. In diefem Falle find aufser den Wölbfcheiben *d* der Diagonalbogen noch Wölbfcheiben *a* für die auf Kuf zu wölbenden Zwifchenftücke erforderlich.

Fig. 344.





Für einen regelmäfsig vieleckigen Raum ift das Einwölben auf Schwalbenfchwanzverband nach Fig. 345 vorzunehmen. Die Lagerkanten find wiederum Schnitte von Normalebenen der Diagonalbogen mit der Gewölbfläche.

Das Austragen der Stirnlinien nach der Annahme des Diagonalbogens *a b* mit der Pfeilhöhe *s c* und dem hiervon abhängigen gröfsten Kreife *G* der Kugelfläche, welcher die Gewölbfläche angehört, ift nach dem in Art. 281 (S. 401) Gefagten bewirkt. Ebenfo ift in der hinlänglich befprochenen Weife die Grundrifsprojektion *g h* einer Lagerkante der Normalebene *N* des Diagonalbogens *a c* gezeichnet.

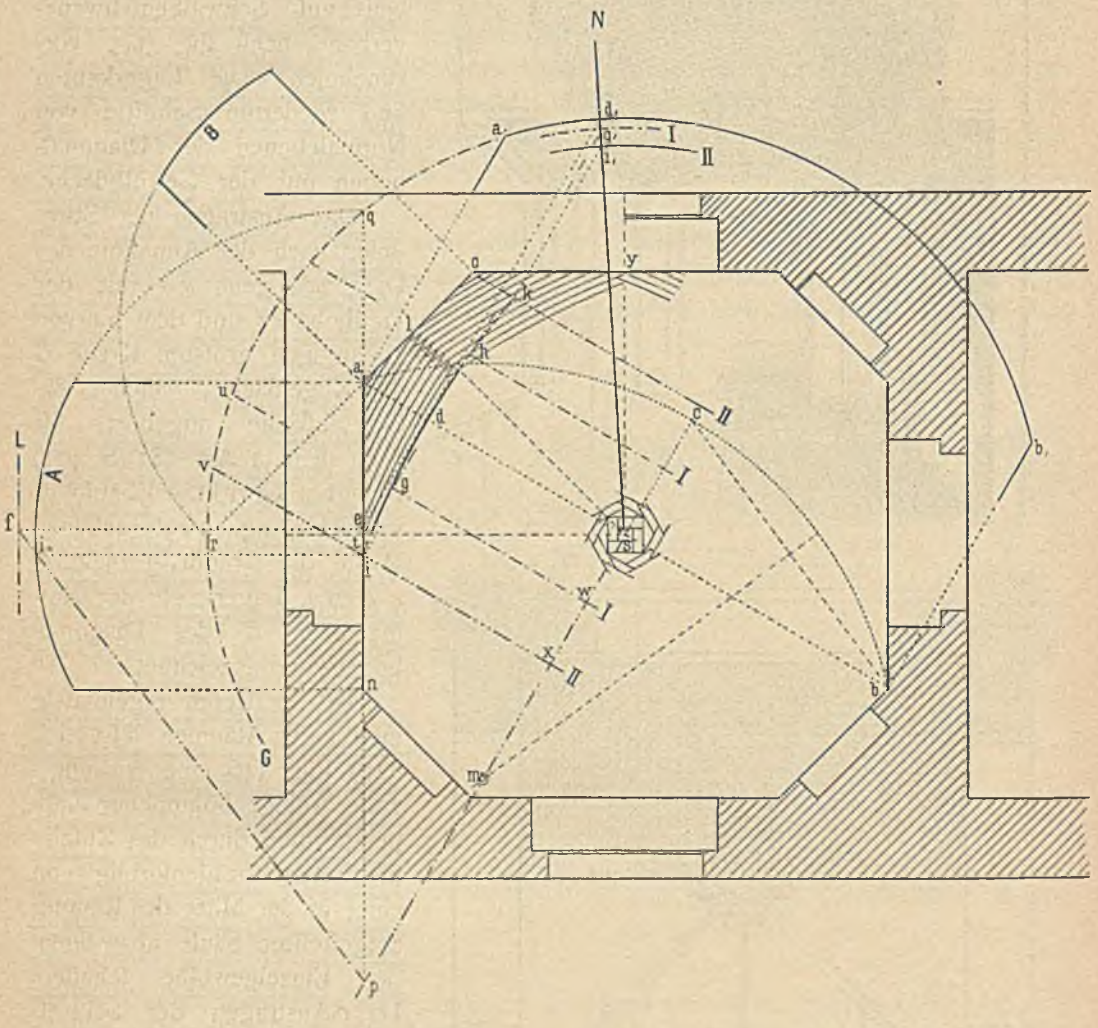
Bei gröfseren regelmäfsig vieleckigen Räumen läfst fich nach Fig. 346 eine wirkungsvolle Anlage böhmifcher Kappengewölbe durch das Zufammentreten ftrahlenförmig von einer in der Mitte des Raumes aufgeftellten Säule abzweigender Einzelgewölbe fchaffen. Das Austragen der Schnittlinien der einzelnen Kappen, das Ausmitteln ihrer Stirnlinien nach der Annahme des durch die Kämpferpunkte *a*, *b*, *c*, *d* eines Gewölbfeldes gehenden Kreifes *A* mit dem Mittelpunkte *m* und nach dem Feftfetzen der Pfeilhöhe *m h* bergen nach dem für die Geftaltung des böhmifchen Kappengewölbes Vorgetragenen keine Schwierigkeit.

Bei der Ausführung des hier befprochenen Gewölbes werden in der Richtung

der Diagonalen $a\,c$, $b\,d$ u. f. f. Verftärkungsgrate gemauert, gegen welche fich die auf Schwalbenfchwanzverband gewölbten, meiftens nur $^1/_2$ Backftein ftarken Kappen, wie bei r, o, im Grundrifs angegeben ift, lagern. Hierzu ift bei $r_{,,} q_{,,}$ noch ein befonderer Normalfchnitt nach bekannten Mafsnahmen gezeichnet.

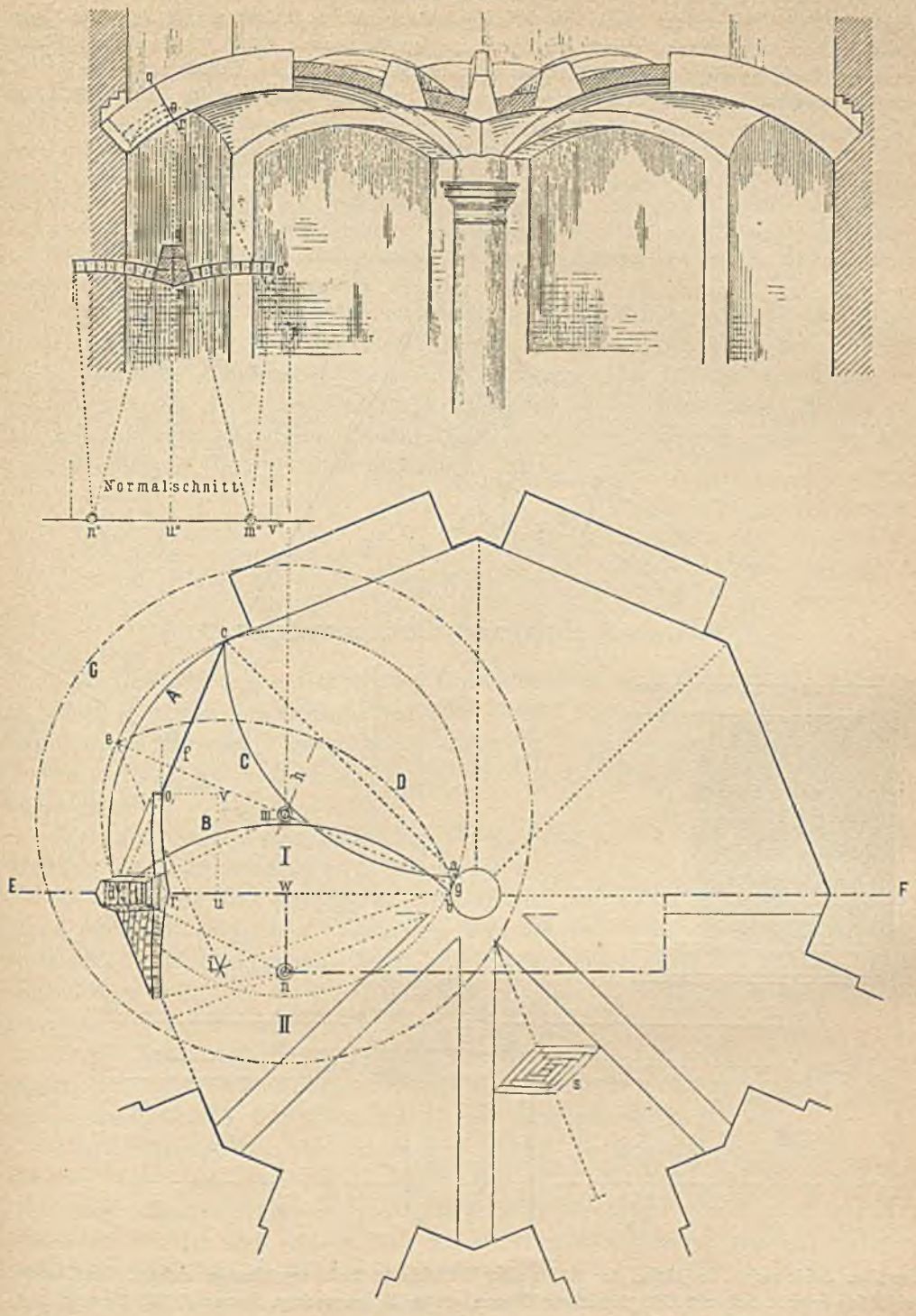
Der Schnitt in der Richtung $E\,F$ bringt die Gewölbanlage zur näheren Anfchauung.

Fig. 345.



Sollen böhmifche Kappengewölbe der in Art. 279 (S. 399) befchriebenen Geftaltung nach unter Anwendung von Rutfchbogen (Schlitten), ähnlich den in Art. 41 (S. 90) erwähnten Rutfchbogen für preufsifche Kappen, über rechteckigem Gewölbfelde von gröfserer Länge eingewölbt werden, fo wird, wie Fig. 347 bei G zeigt, der gröfsere Teil des Gewölbes an den fchmalen Seiten in Schichten gemauert, deren über das Gewölbe von Langfeite zu Langfeite ziehenden Stofsfugenkanten in Normalebenen $b\,h$, und $b\,q$, zur Stirnlinie B der anderen Seiten des Raumes liegen, während das in der Mitte des Gewölbes einzufügende Wölbgebiet auf Kuf ausgeführt wird, wobei hier die Lagerkanten Ebenen $a\,s$, angehören, welche fich fämtlich in der

Fig. 346.

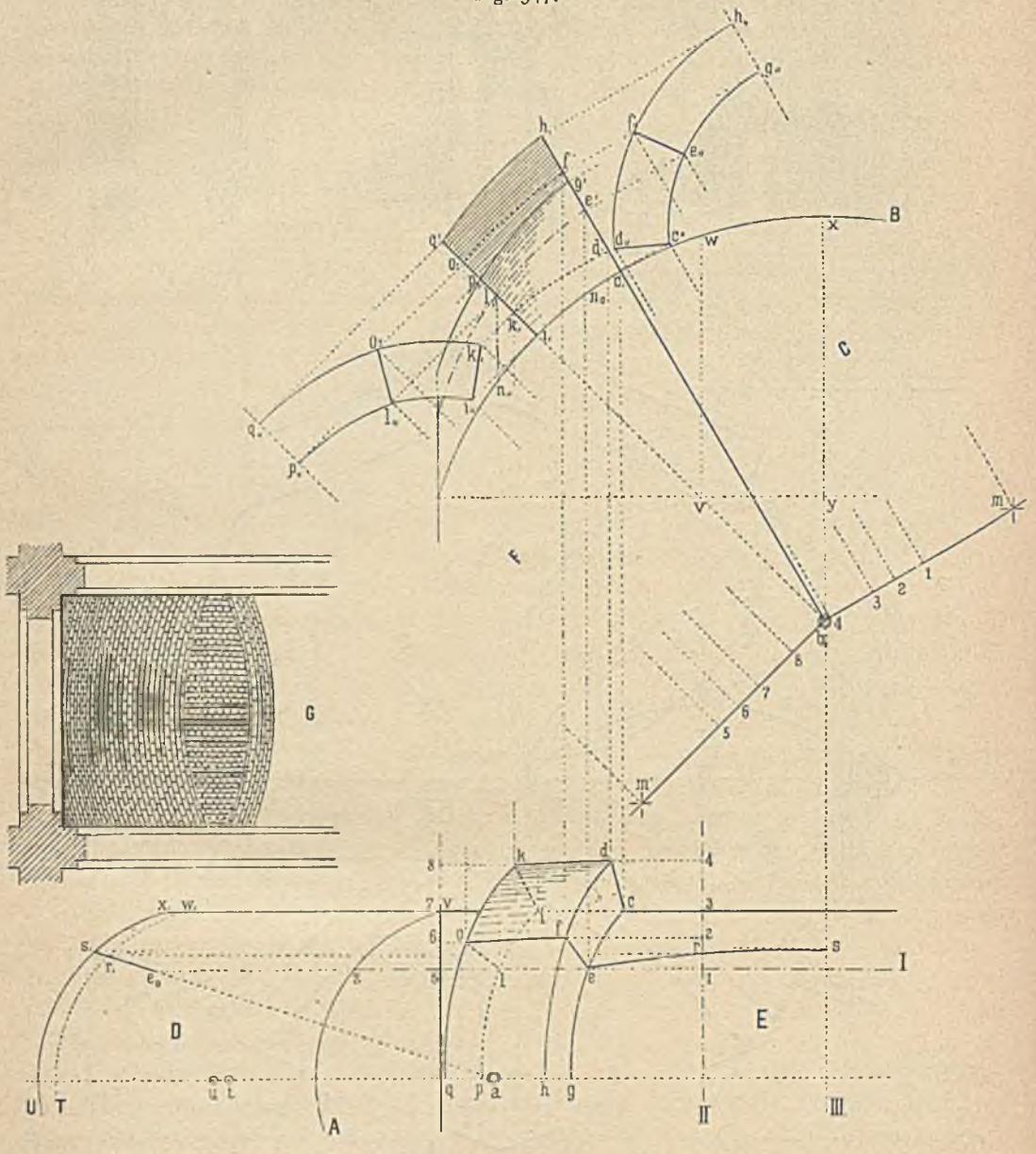


geraden Verbindungslinie der Mittelpunkte der Stirnlinien der ſchmalen Rechteckſeiten ſchneiden.

Hierdurch entſtehen zwei Gruppen beſonders gebildeter Wölbverbände. Ueber die Art dieſer Verbände giebt die Zeichnung näheren Aufſchluſs.

Die Gerade $b\,h$, ift die Spur einer Normalebene des Stirnbogens B. Diefe fchneidet das Gewölbe in der zur Hälfte dargeftellten, nach dem Stirnbogen A abgeleiteten Fläche $c_{,,}\,g_{,,}\,h_{,,}\,d_{,,}$. Die Lagerfugen $c_{,,}\,d_{,,}$, bezw. $e_{,,}f_{,,}$ ftehen fenkrecht zur Kurve $c_{,,}\,e_{,,}\,g_{,,}$; die normale Stärke des Gewölbes ift durch $c_{,,}\,d_{,,} = e_{,,}f_{,,} = g_{,,}\,h_{,,}$ gegeben. Ebenfo ift die Schnittfläche $l_{,,}\,p_{,,}\,q_{,,}\,k_{,,}$ des Gewölbes für die Normalebene $b\,q$, ausgetragen und unter Beachtung der vorhin erwähnten Geftaltung der Laibungsfläche des

Fig. 347.



Gewölbes die lotrechte Projektion der Hälfte einer Wölbfchicht ftark vergröfsert gezeichnet. Die Grundrifsprojektion ergiebt fich mit Hilfe lotrechter Ebenen, wofür die wagrechten Spuren *I*, *III*, bezw. *1*, *2*, *3*, *4* parallel der langen Umfangsfeite des rechteckigen Grundriffes genommen find, ohne befondere Umftände. Infolgedeffen werden auch die Stofsfugenkanten $c\,e\,g$, bezw. $i\,l\,p$ in der wagrechten Projektion erhalten. Da die einzelnen Schichten nach Art des *Moller*'fchen Verbandes gemauert werden, das keilförmige Zufchärfen der Steine nach den Ebenen $b\,h$, und $b\,q$, durch Ausgleichung der Dicke der Mörtelfugen in den Stofsflächen aber vermieden werden kann, fo ergiebt fich beim Wölben felbft fchon mit grofser

Näherung der richtige Verlauf der Stofsfugenkanten ceg, ilp u. f. f., wenn nur von vornherein in der Nähe der Fufspunkte des Gewölbes eine der Zeichnung entfprechende Richtung der Stofsfugenkanten innegehalten wird.

Die Lagerfugenkanten des mittleren Gewölbgebietes E find in den wagrechten Projektionen leicht aufzufinden. Für die Ebene as, ift ers ein Stück der wagrechten Projektion einer Lagerkante. Die lotrechte Ebene mit der wagrechten Spur II fchneidet die Gewölblaibung nach dem Kreisbogen T, wofür $vw_1 = vw$ des Stirnbogens B ift. Der Halbmeffer $w_1 t$ ift gleich dem Halbmeffer va des Stirnbogens A der fchmalen Rechteckfeite. Der Mittelpunkt t liegt, der Erzeugung der Wölbfläche entfprechend, auf der verlängerten Geraden ag. Die Ebene as, fchneidet den Bogen T in r_1; die auf II gelegene wagrechte Projektion diefes Punktes ift alfo r, und folglich wird r ein Punkt der wagrechten Projektion der gefuchten Lagerfugenkante. Nach gleichem Verfahren find zahlreiche Punkte e, s diefer Lagerkante zu finden.

Bei forgfältiger Ausführung der Wölbung auf Rutfchbogen kann die Laibung diefer Gewölbe felbft ohne Putz bleiben. In ähnlicher Weife kann auch das Einwölben längerer anfteigender böhmifcher Kappengewölbe bei der Anwendung von Rutfchbogen ausgeführt werden. Als Leitfchienen für die Rutfchbogen dienen zwei an den Langfeiten aufgeftellte Wölbfcheiben, deren obere Begrenzung nach den Stirnlinien der langen Umfangsfeiten abgerundet ift.

20. Kapitel.

Gufsgewölbe und hängende Gewölbe.

Die Herftellung von Decken aus Gufsmauerwerk oder Grobmörtel, beftehend aus einem Gemenge von Steinabfällen oder kleinen Steintrümmern, Steinfchlag, und Mörtel wurde von den Römern fchon frühzeitig vorgenommen. Die Form diefer Decken entfprach im wefentlichen der Geftaltung der Tonnengewölbe, Kreuz- und Kuppelgewölbe. 290. Gufsgewölbe.

Ueber die Ausführung diefer fog. Gufsgewölbe find in Teil II, Band 2 diefes »Handbuches« eingehendere Mitteilungen enthalten.

Dem Gebiete des eigentlichen Gewölbbaues find derartige Gufsmörteldecken jedoch nicht hinzuzurechnen. Nach dem Erhärten des Grobmörtels bildet die Gufsmörteldecke eine zufammenhängende, mehr oder weniger elaftifche Schale, welche ihrem Gefüge nach von der Anordnung der gewölbten Steindecken in hohem Grade abweicht.

In der Neuzeit ift die Herrichtung von Decken aus Gufsmörtel unter dem Beibehalten beftimmter Gewölbformen wieder fehr rege geworden. Sie werden vielfach und in mannigfachfter Geftaltung und Gröfse zur Anwendung gebracht.

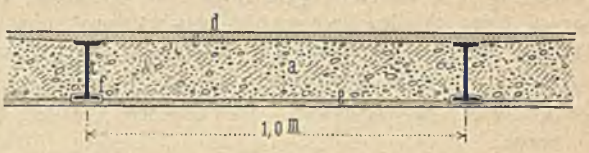
Die Ausführung der als Decken in der Form von Gewölben auftretenden Gufsgewölbe, wobei ein etwa aus 1 Teil Zement, 2 Teilen Sand und 3 bis 6 Teilen Steinfchlag oder Schlackenkies durch entfprechenden Zufatz von Waffer bereiteter Grobmörtel benutzt wird, erfolgt ftets auf einer vollftändig mit Schalung verfehenen Einrüftung des zu überdeckenden Raumes.

Der Grobmörtel oder Beton wird auf die Schalung in dünnen, 10 bis 15 cm dicken Lagen gleichförmig ausgebreitet und hierauf in forgfamer Weife feftgeftampft. Unter ftetem Annäffen durch Waffer, welches mittels einer Giefskanne in dünnen Strahlen der unteren Lage zu teil wird, erfolgt das Auftragen der nach und nach folgenden Betonfchichten, bis die beabfichtigte Dicke der zu bildenden Decke

erreicht iſt. Hierbei werden auch gleichzeitig die Gewölbzwickel durch Grobmörtel ausgeglichen.

Im allgemeinen iſt die Herſtellung der Grobmörteldecken einfach. Werden ſie ähnlich den ſcheitrechten oder geraden Gewölben mit ebener Unterfläche verſehen, ſo entſtehen die geraden Betondecken. Die Betonplatte iſt eine Füllplatte zwiſchen eiſernen Trägern. Solche Decken ſind bereits im vorhergehenden Teile des vorliegenden Heftes behandelt.

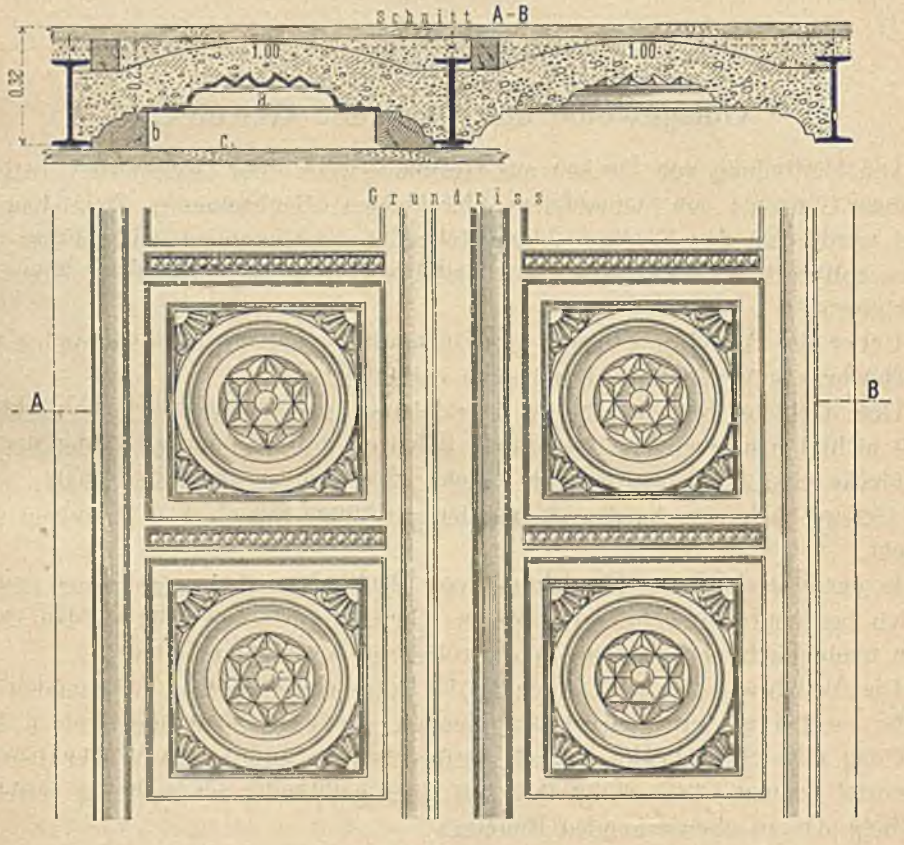
Fig. 348.



Ein weiteres Beiſpiel einer geraden Betondecke zeigt Fig. 348. Sie iſt im neuen Herzoglichen Krankenhauſe in Braunſchweig ausgeführt.

Zwiſchen den 15 cm hohen, in 1 m von Mitte zu Mitte verlegten Walzeiſenträgern, deren untere Flanſche zum beſſeren Haften des 1,5 bis 2,0 cm ſtarken Deckenputzes *e* mit einem Streifen Drahtgewebe *f* umlegt ſind, ruht die Betonfüllung, zuſammengeſetzt aus 1 Teil Portlandzement, 3 Teilen reinem, ſcharfen

Fig. 349.



Kies und 4 Teilen zerkleinerten, geſiebten und gewaſchenen Kohlenſchlacken, der ſog. Kokeaſche. Der Fußboden über der Decke beſteht zunächſt aus einer dünnen Schlackengrußlage zum Iſolieren, ſodann aus einem 2,5 bis 3,0 cm ſtarken Zementanſtriche *c* und endlich aus einem Linoleumbelage *d*.

Statt des Zementanſtriches iſt auch in beſonderen Räumen und in den Gängen ein Terrazzo-, bezw. ein Flieſenbelag verwendet.

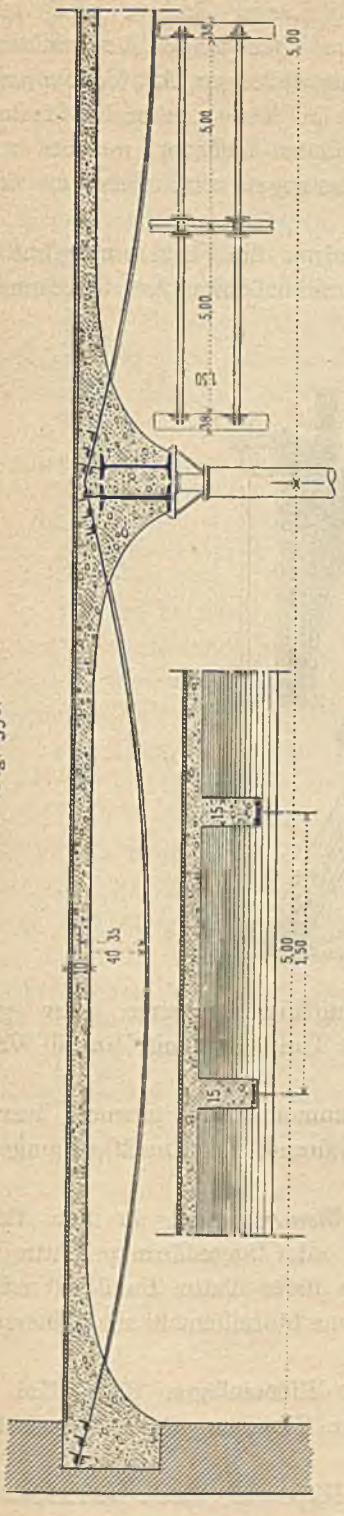


Fig. 350.

Giebt man dem Betonkörper die bogenartige Gewölbform, ſo erhält man die ſog. gewölbte Betondecke oder die Betonkappe. Auch dieſe Deckenbildungen ſind bereits im vorhergehenden Hefte näher beſchrieben.

Häufig erhalten ſolche Betonkappen über beſſer ausgeſtatteten Räumen Kaſſetten. Ein Beiſpiel hierfür zeigt die nach Fig. 349 ausgeführte Decke im Gebäude der Herzoglichen Finanzbehörde in Braunſchweig.

Zur Herſtellung der ausgiebig gegliederten Kaſſetten des Betonkörpers ſind gußeiſerne Formkaſten *a* benutzt. Dieſelben ſind für jedes Deckenfeld in entſprechender Weite auf der Unterrüſtung, beſtehend aus dem Bretterboden *c* und den ſorgfältig geſtützten Lagerhölzern *b* verlegt, ſo daß über dieſer Lage der Stampfformen der Betonkörper aufgebracht werden kann. Nach Beſeitigung der Unterrüſtung und der Formkaſten, deren obere Begrenzungen die Gliederungen der Kaſſette bilden, alſo in Rückſicht auf leichtes Ablöſen vom Beton entſprechend ſchräg oder gekrümmt zu geſtalten ſind, erſcheinen die Kaſſetten in der gewünſchten Form.

291. *Rabitz-* und *Monier-*Decken.

Außer den Betondecken finden in gerader oder gewölbter Deckenform noch die ſog. *Rabitz-* und die *Monier*-Decken mannigfache Verwendung.

Im vorhergehenden Heft dieſes »Handbuches« iſt hierüber ſchon Näheres mitgeteilt.

Bei den in Gewölbform hergerichteten *Rabitz*-Decken erhält die eigentliche Mörtelmaſſe, der ſog. *Rabitz*-Putz (ſiehe Teil III, Band 2, Heft 1 dieſes »Handbuches«, Abt. III, Abſchn. 1, A, Kap. 10 unter c, 1), durch Einlage eines der Geſtaltung der gewölbten Decke nachgeformten Drahtgewebes eine beſondere Unterſtützung und Haltbarkeit. Hierbei können einzelne ſtärkere Eiſendrähte als Hauptträger des Drahtgewebes eingeführt werden.

Dieſes Drahtſyſtem wird vollſtändig mit dem Mörtelputz überzogen, bis die gewünſchte Form der Decke erzielt iſt. Die Drahteinlage kann in der Mitte oder im unteren Viertel der Decke bleiben.

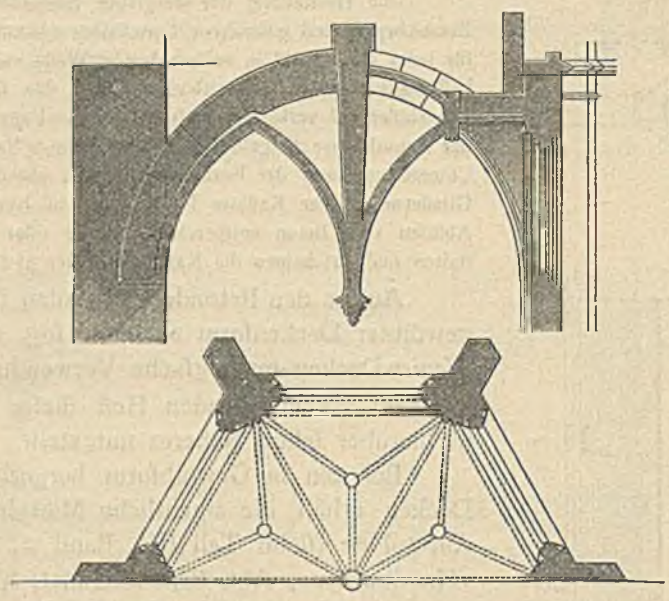
Vielfach entſpricht die gewählte Gewölbform den preußiſchen Kappen mit oft ſehr geringer Pfeilhöhe. Es iſt aber nicht ausgeſchloſſen, bei *Rabitz*-Decken auch die Formen der Kloſter-, Kreuz- und Kuppelgewölbe zu Grunde zu legen. Alsdann muß das Drahtgewebe in ſeiner Geſamtanordnung das Gerippe dieſer Gewölbform abgeben. Vielfach treten aber derartige gewölbte *Rabitz*-Decken nur als Scheingewölbe unter beſonders hergerichteten, an ſich vollſtändig tragfähigen Raumdecken auf.

Bei den *Monier*-Decken wird die Gewölbform durch die Einlage eines aus

ſtarkem Eiſendraht beſtehenden Gerippes angebahnt. Dieſes Gerippe wird aus 5 bis 25 mm im Durchmeſſer ſtarken eiſernen Längs- und Querſtangen hergerichtet. An den Kreuzungsſtellen der Stäbe wird durch Drahtumwindungen ihre Verbindung bewirkt. Dieſes Tragſyſtem der Decke iſt ein mit 10 bis 15 cm, unter Umſtänden mit 20 cm weiten Maſchen verſehenes, korbartig gebildetes Geflecht, welches zur Herſtellung der geplanten Decke mit Zementmörtel überzogen wird (ſiehe an der eben genannten Stelle dieſes »Handbuches«).

Giebt man dem korbartigen Drahtgeflecht als Gerippe die Form von cylindriſchen, ſphäriſchen oder ſphäroidiſchen Gewölben der verſchiedenſten Art, ſo können

Fig. 351[33]).



dieſe Bildungen von Gufsgewölben, zumal da die Tragfähigkeit ebener, bezw. gekrümmter *Monier*-Platten ziemlich bedeutend iſt, unter Umſtänden mit Vorteil Verwendung finden.

Das Drahtgerippe hat die Aufgabe, die Zugſpannungen der ebenen, bezw. gekrümmten belaſteten Mörtelplatte aufzunehmen, während die Druckſpannungen dem erhärteten Zementmörtel zu teil werden ſollen.

Aus dieſem Grunde iſt bei der Anordnung der *Monier*-Platten, da man ſtatt des eigentlichen Gewölbes hier die elaſtiſche ebene oder bogenförmige Platte in Betracht zu ziehen hat, das Drahtgerippe der Zugſeite dieſer Platte thunlichſt nahe zu legen, ſo daſs an dieſer Seite nur eine äuſserſt dünne Mörtelſchicht als Ueberzug des Drahtwerkes vorhanden zu ſein braucht.

Ueber die Berechnung der Betongewölbe mit Eiſeneinlagen ſiehe Teil I, Band 1, Heft 2, 3. Aufl. (Art. 115, S. 95, insbeſondere Gleichung 82 u. 83) dieſes »Handbuches«.

292. Gurtträgerdecken.

Die Forderung, das zur Herſtellung einer aus Eiſen und Beton beſtehenden Deckenbildung eingefügte Eiſen in einen einzigen auf Zug in Anſpruch genommenen Deckenteil zu legen, hat zur Konſtruktion der in neuerer Zeit mehrfach ausgeführten ſog.

33) Fakſ.-Repr. nach: Gottgetreu, R. Lehrbuch der Hochbau-Konſtruktionen. Teil I. Berlin 1880. S. 190.

Gurtträgerdecken, Syſtem *Möller*, Veranlaſſung gegeben. Die Bauweiſe dieſer Decken iſt der Firma *Drenkhahn & Sudhop* in Braunſchweig geſetzlich geſchützt und wurde bereits im vorhergehenden Heft dieſes »Handbuches« vorgeführt. Daſelbſt wurde ſchon geſagt, daſs dieſe Decken als eine Reihe von Fiſchbauchträgern erſcheinen. Die oberen Gurtungen liefern die zuſammenhängende Deckentafel, welche durch die lotrechten Wände der unten fiſchbauchartig begrenzten Stege geſtützt wird. Dem unteren Rande in geringem Abſtande folgend, iſt in dieſe Stege ein Zugband aus Flacheiſen eingebracht, welches an beiden Enden in der oberen Deckentafel durch aufgenietete Querwinkel verankert wird. Hierdurch wird das Uebertragen der Spannung der Eiſenzuggurtung auf die Betondeckentafel als Druckgurtung ermöglicht. Zweckmäſsig wird das Flacheiſen zum Feſthalten des Putzes der unteren Fläche des Steges mit Drahtgewebe umlegt.

Fig. 350 veranſchaulicht eine Konſtruktion von Gurtträgerdecken, wie ſie bei landwirtſchaftlichen Gebäuden ausgeführt werden.

Walzeiſenträger, durch gufseiſerne Säulen geſtützt, tragen die Felder der Gurtträgerdecken. Da die Walzeiſenträger vom Betonkörper mit umhüllt werden, ſo ſind dieſelben hierdurch bei Feuersgefahr gegen unmittelbaren Angriff der Flammen geſchützt. Die Ausführung erfolgt auf einer kaſtenartigen, verſchalten Unterrüſtung.

293. Hängende Gewölbe.

Werden bei einer gewölbten Decke einzelne Stützkörper, wie Pfeiler, Säulen u. ſ. w. fortgelaſſen und wird hierfür Erſatz durch eine oberhalb des Gewölbes in kräftiger Weiſe hergerichtete Tragkonſtruktion geſchaffen, an welche die zu ſtützenden Teile aufgehängt werden, ſo entſteht das ſog. hängende Gewölbe (Fig. 351).

Der Hauptbeſtandteil desſelben wird alſo ſtets das mit gröſster Sicherheit zu konſtruierende Tragwerk bleiben, möge dasſelbe als Gurtbogenſyſtem aus Stein oder unter ausſchlieſslicher Verwendung von Eiſen hergerichtet werden. Im allgemeinen müſſen die hängenden Gewölbe als äuſserſt gekünſtelte Deckenbildungen angeſehen werden. Bei der Möglichkeit des leicht eintretenden Verſchiebens oder Senkens ihrer aufgehängten Stützpunkte iſt auch die nötige Sicherheit ihrer Standfähigkeit nur durch das Aufwenden koſtſpieliger und zuſammengeſetzter Nebenkonſtruktionen zu erreichen. Ihre Anwendung kann aus dieſen Gründen nicht empfohlen werden. Ein näheres Eingehen auf ihre Anordnung erſcheint hier überflüſſig.

Beiſpiele von hängenden Gewölben, namentlich aus der Zeit der Spätgotik, ſind in groſser Zahl bei den Kirchenbauten Englands zu finden.

C. Verglafte Decken und Deckenlichter.

Von Adolf Schacht und Dr. Eduard Schmitt.

294. Ueberficht.

Verglafte Decken und Deckenlichter, welch letztere meift »Oberlichter«[34]) geheifsen werden, haben den Zweck, den unter ihnen befindlichen Räumen Licht zuzuführen, diefelben aber zugleich gegen das Eindringen von Staub, kalter Luft etc. abzufchliefsen. Da die verglaften Dächer und Dachlichter im nächftfolgenden Hefte (Abt. III, Abfchn. 2, F, Kap. 39) diefes »Handbuches« eine gefonderte Behandlung erfahren werden, fo find an diefer Stelle im wefentlichen nur folche Deckenlichter zu befprechen, welche entweder:

1) die nach oben zu abfchliefsende Decke eines Raumes, bezw. einen Teil diefer Decke bilden, oder

2) welche in Zwifchendecken gelegen find, bezw. die Zwifchendecke felbft bilden.

Hiernach bleiben die in äufseren Dachflächen liegenden lichtdurchlaffenden Flächen, die man zuweilen auch als »Oberlichter« bezeichnet, welche aber im »Handbuch der Architektur« die Benennung »Dachlichter« führen, unberückfichtigt. Hingegen werden Deckenlichter, welche man in Bürgerfteigen, Bahnfteigen und fonftigen regelmäfsig zu betretenden Flächen anordnet und die teils zu der einen, teils zu der anderen der vorhin gefchiedenen Arten gezählt werden können, mitbefprochen werden.

Dies vorausgefchickt, laffen fich im folgenden unterfcheiden:

a) Deckenlichter, welche ftändig begangen, bezw. befahren werden, und

b) verglafte Decken (Glasdecken) und Deckenlichter, welche für gewöhnlich gar nicht, fondern höchftens nur zum Zweck der Reinigung oder Ausbeffenung betreten werden.

Wenn deshalb die nachfolgende Unterfcheidung auch nicht vollftändig zutreffend ift, fo mögen die unter a fallenden Deckenlichter kurzweg als begehbare und die unter b einzureihenden Konftruktionen als nicht begehbare bezeichnet werden.

Bezüglich der den Lichtöffnungen zu gebenden Abmeffungen fei auf Teil III, Band 2, Heft 5 (Abt. III, Abfchn. 2, F, Kap. 39: Verglafte Dächer und Dachlichter [unter a]) und auf Teil III, Band 3, Heft 1 (Abt. IV, Abfchn. 1, A, Kap. 1: Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht[35]), fowie bezüglich der Gemäldegalerien auf Teil IV, Band 6, Heft 4 (Abt. VI, Abfchn. 4, B, Kap. 4, unter c, 1) diefes »Handbuches« verwiefen.

[34]) Im »Handbuch der Architektur« wird der Gebrauch der Bezeichnung »Oberlicht« vermieden, um Mifsverftändniffen vorzubeugen. Wie bekannt, nennt man nicht felten hoch einfallendes Seitenlicht gleichfalls »Oberlicht«. (Vergl. auch Teil III, Band 3, Heft 1 [Abt. IV, Abfchn. 1, A, Kap. 1] und Band 4, 2. Aufl. [Abt. IV, Abfchn. 4, Kap. 1] diefes »Handbuches«.)

[35]) 2. Aufl.: Teil III, Band 4 (Abt. IV, Abfchn. 1, A, Kap. 1: Verforgung der Gebäude mit Sonnenlicht).

21. Kapitel.

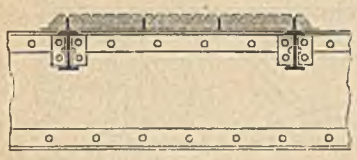
Begehbare Deckenlichter.

295. Deckenlichter aus Glasplatten.

Im Inneren der Gebäude werden begehbare Deckenlichter erforderlich, wenn ein Raum das Licht aus dem darüber gelegenen Raume erhalten und wenn in letzterem der Verkehr nicht unterbrochen werden foll. Alsdann mufs die zwifchen beiden befindliche Decke lichtdurchläffig, alfo im wefentlichen aus Glas konftruiert werden. Die beide Räume trennende Zwifchenkonftruktion ift für den unteren »Deckenlicht«, bezw. »verglafte Decke« und für den oberen »Glasfufsboden«.

Die Konftruktion eines derartigen Deckenlichtes läuft im allgemeinen darauf hinaus, dafs man zwifchen die meift eifernen Haupttragebalken der Decke, welche in der Regel I-förmigen Querfchnitt und die der vorkommenden gröfsten Belaftung entfprechenden Abmeffungen erhalten, fchwächere Querträger aus geeigneten Formeifen, meift ⊥-Eifen, fetzt und diefelben durch Winkellafchen mit erfteren verbindet. In die Fache des fo gebildeten fchmiedeeifernen Roftes werden die Glasplatten (meift in Kitt) verlegt. Fallen die gedachten Querträger fehr ftark aus, fo ftellt man fie am beften aus I-Eifen her und lagert erft auf diefen die ⊥-Eifen, welche die Glasplatten aufzunehmen haben (Fig. 352). Im allgemeinen empfiehlt es fich, für alle diefe Träger, bezw. Stäbe hohe, aber fchmale Profile zu wählen, um möglichft wenig Licht zu verfperren.

Fig. 352.



1/25 w. Gr.

Sind Räume von bedeutenden Grundrifsabmeffungen mit einer durchgehenden und begehbaren verglaften Decke zu überfpannen, fo wird eine gröfsere Zahl von ftärkeren Längs- und Querträgern erforderlich; häufig genügen dann einfache Walzbalken nicht mehr, und es kommen Blechträger zur Verwendung. Die durch die Längs- und Querträger gebildeten Fache haben alsdann meift eine fo beträchtliche lichte Weite, dafs für die Lagerung der Glasplatten noch befondere Sproffen anzuordnen find[36]).

Fig. 353.

Glashartgufs-Fufsbodenplatte der Aktiengefellfchaft für Glasinduftrie vorm. *Friedr. Siemens* zu Dresden.

Für die Glasplatten verwendet man häufig Rohglas, welches für die in der Regel vorkommenden Verhältniffe meift 20 bis 25 mm ftark zu wählen fein wird[37]).

Ueber das Prefshartglas, welches infolge feiner grofsen Biegungsfeftigkeit und feiner Widerftandsfähigkeit gegen Stofswirkungen im vorliegenden Falle in erfter Reihe in Frage kommen follte, liegen noch nicht fo allgemein günftige Erfahrungen vor, dafs feine Benutzung unbedingt empfohlen werden könnte; Tafeln, die vorher auf das forgfältigfte geprüft worden find, fpringen fpäter bisweilen ohne erfichtliche Urfache. Durch Aenderungen im Fabrikationsvorgang ift indes in neuerer Zeit diefem Mifsftand begegnet worden,

[33]) Ein einfchlägiges Beifpiel fiehe in: Fortfchritte auf dem Gebiete der Architektur, Heft 2, S. 7.

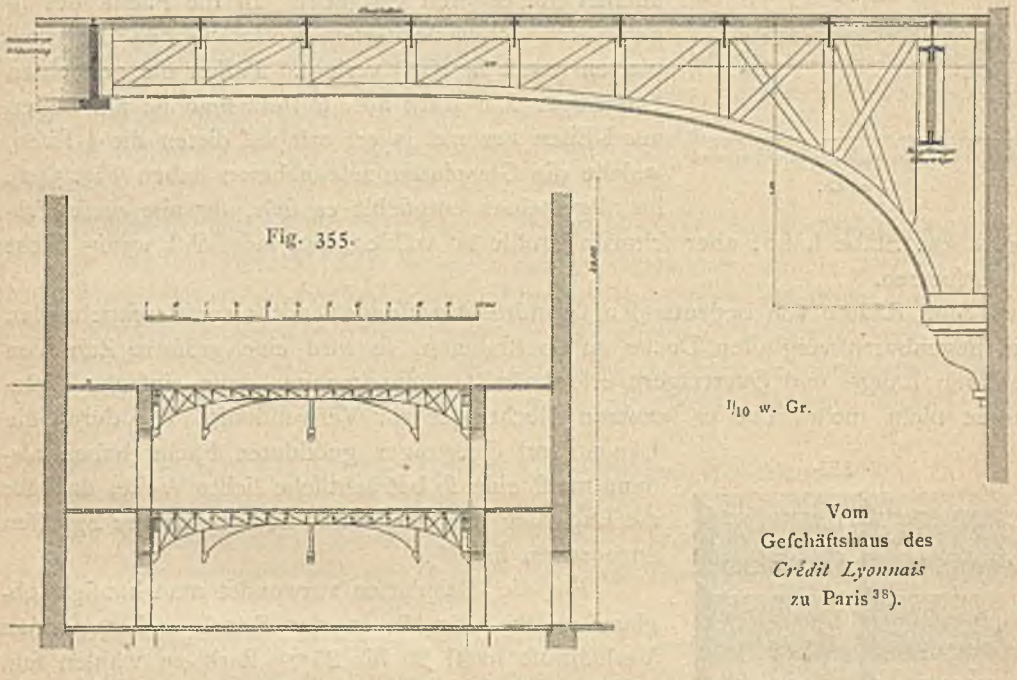
[37]) Ueber Berechnung der Glasdicke fiehe Teil III, Band 3, Heft 5 (Abt. III, Abfchn. 2, F, Kap. 39, unter b, 3) diefes »Handbuches«.

und die von der Aktiengeſellſchaft für »Glasinduſtrie vorm. *Fried. Siemens*« zu Dresden erzeugten »Glashartguſs-Fuſsbodenplatten« (Fig. 353) haben ſich bewährt.

Jedenfalls muſs auch noch des von *Friedr. Siemens* in Dresden in neuerer Zeit erzeugten Drahtglaſes (Rohglas, in deſſen Innerem ſich ein feinmaſchiges Eiſendrahtgewebe von 1 mm Stärke befindet) gedacht werden, welches für den fraglichen Zweck benutzt werden kann; ſchon bei einer Dicke von 6 bis 8 mm kann es ohne Gefahr des Durchbrechens betreten werden.

Damit die Glasplatten für das Begehen nicht zu glatt ſind, werden ſie nicht ſelten an ihrer Oberfläche gerieft oder kreuzweiſe gefurcht hergeſtellt; ſie heiſsen dann wohl auch Glasflieſen (ſiehe Fig. 352 u. 353). Letztere werden namentlich in Pariſer Geſchäftshäuſern in groſsem Umfange verwendet; ſie meſſen dort 35 cm im Geviert, ſind 60 bis 70 mm dick und mit 10 mm tiefen, einander kreuzenden Rieſen verſehen; die Platten werden gegoſſen und haben eine etwas grünliche Farbe. Die

Fig. 354.



Vom Geſchäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris[38]).

eben erwähnten Glashartguſs-Fuſsbodenplatten meſſen 15 bis 42 cm im Geviert und ſind nach drei verſchiedenen Muſtern gerieft. In neueſter Zeit hat die »Aktiengeſellſchaft für Glasinduſtrie vorm. *Friedr. Siemens*« zu Dresden ſog. »genarbte Drahtglasplatten« in den Handel gebracht, welche das Ausgleiten, das auf ungenarbtem Glas vorkommen kann, verhüten; ſie werden in Breiten bis zu 75 und in Längen bis zu 120 cm geliefert.

Als erſtes Beiſpiel ſei die einſchlägige Konſtruktion im Geſchäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris (Fig. 354 u. 355[38]) vorgeführt. In demſelben ſind zwei Kellergeſchoſſe übereinander angeordnet, welche beide nur mittelbares Licht von oben her — durch die Deckenlichter, bezw. durch gläſerne Fuſsböden — erhalten.

[38]) Nach: Contag, M. Neuere Eiſenconſtructionen des Hochbaues in Belgien und Frankreich. Berlin 1889. S. 12, 13 u. Taf. 6.

Im Inneren des im Grundrifs zwölfeckig geftalteten Treppenhaufes (Fig. 355) von 16 m Durchmeffer, welches nach oben durch ein verglaftes Zeltdach abgefchloffen ift, befindet fich in beiden Kellergefchoffen eine ringförmige Pfeilerftellung, auf welcher die maffive Treppenkonftruktion des Erdgefchoffes ruht. Der innerhalb diefer Pfeiler freibleibende kreisförmige Raum von 10 m Durchmeffer ift durch ein Deckenlicht abgefchloffen, deffen Tragwerk nach Art der Kuppel-, bezw. Zeltdächer angeordnet ift. Die 8 radial geftellten Hauptträger (Binder) desfelben liegen mit ihrer Oberkante nahezu bündig mit dem Fufsboden des darüber befindlichen Gefchoffes und find als Fachwerkträger konftruiert (Fig. 354); fie ruhen an den Umfaffungen auf ftelnernen Konfolen und find daf elbft durch einen ringförmigen Gitterträger miteinander verbunden; in der Mitte ftofsen die Hauptträger in einem achteckigen gufseifernen Schlufsring zufammen. Zwifchen diefen Trägern liegen, parallel zu den Umfaffungen, 8 fchwächere Träger (Pfetten) von I-förmigem Querfchnitt, welche fchiefwinkelig mittels gufseiferner Knaggen und Ecken angefchloffen find und die I-Eifen tragen, in denen die Glasfliefen ruhen (fiehe auch Fig. 352).

Fig. 356.

Von der Univerfitätsbibliothek zu Halle [39]).

1/250 w. Gr.

Solche Glasfliefenbeläge find in fämtlichen Lichthöfen des genannten Gefchäftshaufes zu finden; fie find auch in anderen Pariler Bauten, z. B. im *Comptoir d'escompte*, in den *Grands Magafins du Printemps* etc., verwendet worden und haben bezüglich der Erhellung der darunter gelegenen Räume fehr günftige Ergebniffe geliefert [38]).

Als weiteres hierher gehöriges Beifpiel diene das über dem Treppenhaus der Univerfitätsbibliothek zu Halle a. S. angebrachte Deckenlicht (Fig. 356 [39]).

Diefes ziemlich zentral gelegene Treppenhaus wird von oben beleuchtet; die Treppe führt nur bis zum I. Obergefchofs; das ganze II. und III. Obergefchofs bildet ein Büchermagazin. Das Deckenlicht des Treppenhaufes befindet fich im Mittelgang des letzteren, und das Licht fällt durch ein über diefem angeordnetes Dachlicht ein. Der Verkehr in diefem Mittelgange durfte nicht unterbrochen werden; deshalb mufste das Deckenlicht begehbar konftruiert werden. Auf einer untergelegten Balkenlage aus I-Eifen liegt ein Roft von hochkantig geftellten Flacheifen mit 30 cm Mafchenweite; die Flacheifen find mit Hilfe von Winkellafchen miteinander verfchraubt; letztere dienen den Glasplatten als Auflager. Die Glasplatten find aus kreuzgekerbtem Rohglas hergeftellt, deffen geringfte Stärke in den Kerben noch 2,5 cm beträgt [39]).

Aus Glasplatten gebildete begehbare Deckenlichter kommen indes nicht blofs im Inneren der Gebäude vor, fondern fie find auch in manchen anderen Fällen zur Anwendung gekommen. Namentlich waren in neuerer Zeit die Umbauten der Bahnhöfe gröfserer Städte Veranlaffung zur Ausführung folcher Deckenlichter, fobald es fich darum handelte, die einzelnen Bahnfteige untereinander und mit dem Empfangsgebäude durch unterirdifche Gänge oder Tunnel zu verbinden.

Diefen dem Perfonen-, Gepäck- und Poftverkehr dienenden Tunneln wird die Haupterhellung allerdings durch die Treppenmündungen oder durch künftliches Licht zugeführt; indes an denjenigen Stellen, wo diefe Tunnel unter Zwifchenbahnfteigen liegen, zu denen keine Treppen emporführen, ebenfo für andere unter den Bahnfteigen befindliche unterirdifche Räume werden Deckenlichter angeordnet, und diefe müffen naturgemäfs dem auf den betreffenden Bahnfteigen herrfchenden Verkehre genügenden Widerftand leiften.

Derartige Deckenlichter erhielten meift eine genügend ftarke Verglafung, die in einem unterftützenden engen Eifenroft ruht. Fig. 357 zeigt ein im Freien gelegenes Deckenlicht der fraglichen Art in Querfchnitt und Längsfchnitt; behufs

[39]) Nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1885, S. 338 u. Bl. 49.

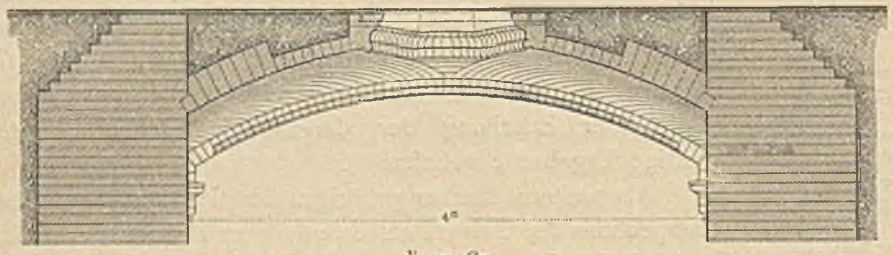
Fig. 357.

1/50 w. Gr.

Ableitung der atmoſphäriſchen Niederſchläge ſind die Glastafeln der Quere nach geneigt angeordnet; der Roſt iſt aus L- und ⊥-Eiſen zuſammengeſetzt.

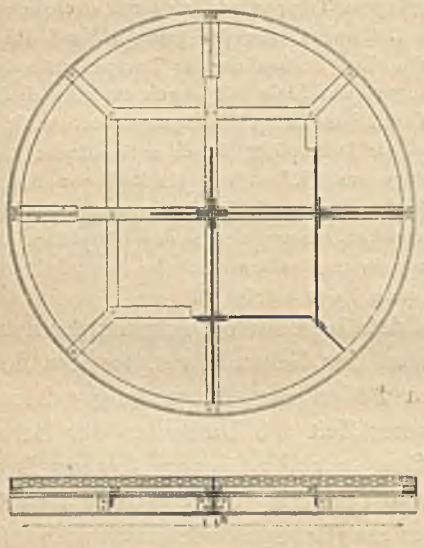
In Fig. 359 iſt ein kreisrundes Deckenlicht von 1,50 m lichtem Durchmeſſer dargeſtellt, wie es in den gewölbten Decken der Tunnel im Hauptbahnhof zu Hannover

Fig. 358.



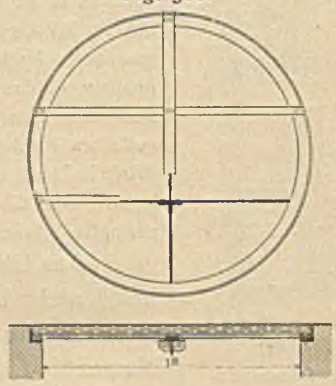
1/60 w. Gr.

Fig. 359.



1/30 w. Gr.

Fig. 360.



Vom Hauptbahnhof zu Hannover.

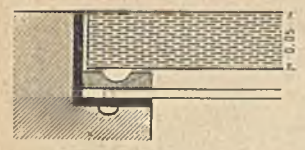
zur Ausführung gekommen iſt, und in Fig. 360 ein ſolches von 1,00 m Durchmeſſer daſelbſt. Fig. 358 veranſchaulicht den oberen Teil des betreffenden Tunnels im Querſchnitt, woraus erſichtlich iſt, daſs ſich über der Durchbrechung des Gewölbes Stirnmauern *s* erheben, die oben einen Steinkranz tragen, worin der eiſerne Roſt lagert.

Nicht immer iſt für die Herſtellung der Stirnmauern der erforderliche Raum vorhanden, und man muſs alsdann den Abſchluſs gegen die Gewölbüberſchüttung durch eine Eiſenkonſtruktion bewirken [40]).

[40]) Zwei hierher gehörige Beiſpiele ſind zu finden im oben genannten Hefte von: Fortſchritte auf dem Gebiete der Architektur (S. 10 u. Fig. 10, ſowie 11 [S. 12]).

Die Glasplatten erhalten meiſt zwiſchen 2,5 und 4,0 cm Dicke und werden entweder in ein Kittbett (Fig. 357) oder auf einen Zwiſchenrahmen aus Holz (Fig. 361) gelagert. Letzterer erhält zur Aufnahme und Ableitung des Schwitzwaſſers und des an den Seitenkanten der Platten durchſickernden Aufsenwaſſers an ſeiner Oberſeite häufig eine Rille. Indes iſt ein Kittbett, am beſten ein ſolches aus einem der Feuchtigkeit und den ſonſtigen äuſseren Einflüſſen längere Zeit Widerſtand leiſtenden Aſphaltkitt, vorzuziehen, weil dadurch die gleichmäſsigere Auflagerung der Glasplatten geſichert iſt.

Fig. 361.



1/5 w. Gr.

Statt der Glastafeln ſind in lebhaft von Fuhrwerken benutzten Durchfahrten etc. auch ſchon Pflaſterwürfel aus Rohglas verwendet worden, welche in Abmeſſungen bis zu 165 mm Stärke bei 150 mm Seitenlänge und einem Gewicht von 9 kg erzeugt werden.

In der Regel erſcheint es geboten, unter begehbaren Deckenlichtern, welche nach einer der im vorhergehenden beſchriebenen Konſtruktionen ausgeführt ſind, ein Drahtgitter anzuordnen, welches bei etwaigem Bruch der Glasplatten etc. den darunter befindlichen Perſonen den erforderlichen Schutz gewährt. Bei Verwendung von genügend dickem Drahtglas ſind ſolche Vorkehrungen nicht notwendig.

296. Deckenlichter aus Glasprismen und -Linſen.

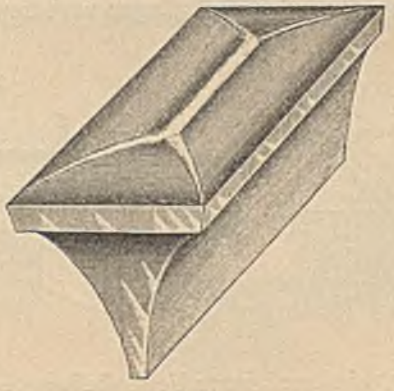
Schon ſeit längerer Zeit hat man vielfach, beſonders in Nordamerika und England, zur Erhellung von Kellerwohnungen, von im Kellergeſchoſs gelegenen Geſchäftsräumen, von rückwärtigen Teilen erdgeſchoſſiger Werkſtätten und Läden, von Räumen, welche vor ſtädtiſchen Gebäuden unter dem Bürgerſteig angeordnet ſind, von Fluren etc., welche vom Sonnenlicht entweder gar nicht oder nur in ſehr

Fig. 362.

Fig. 363.

Fig. 364.

Fig. 366.



1/4 w. Gr.

Fig. 365.

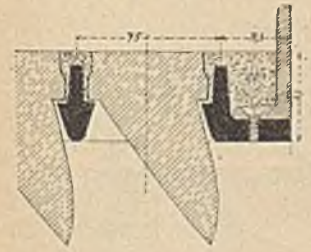
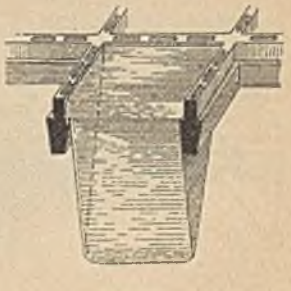


Fig. 367 [41]).



[41]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

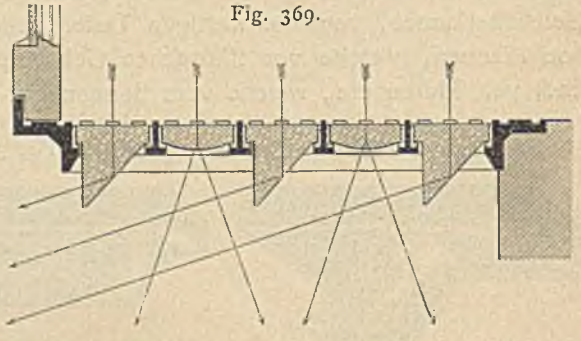
geringem Maſse erreicht werden, Glasprismen und Glaslinſen verwendet. Die im vorhergehenden Artikel vorgeführten Glasplatten werden hauptſächlich dann benutzt, wenn in einen unterirdiſch gelegenen Raum Lichtſtrahlen lotrecht von oben einfallen ſollen; Glasprismen und -Linſen hingegen können nicht nur unter gleichen Verhältniſſen, ſondern auch dann Anwendung finden, wenn man einem unterirdiſchen Raum hohes Seitenlicht zuführen will. In letzterem Falle werden in den Bürgerſteigen, den Hofräumen etc. Lichtſchächte angeordnet und dieſe alsdann in der Höhe der Bürgerſteig-, Hof- etc. Oberkante mit einem gußeiſernen Roſt abgedeckt, in deſſen einzelne Maſchen Gläſer eingeſetzt und eingekittet werden, von denen jedes entweder ein einzelnes Prisma oder eine einzelne Linſe bildet oder an ſeiner Unterfläche eine Anzahl von kleineren Prismen oder Linſen trägt.

Fig. 368 [41]).

Fig. 362 u. 363 zeigen zwei Glasprismen der Firma *Warmbrunn, Quilitz & Co.* zu Berlin; erſteres mißt 8 × 15 cm in der Grundfläche und iſt etwa 2,3 cm hoch; letzteres hat 6,5 × 17,5 cm Fläche und ca. 2,3 cm Höhe. In Fig. 364 iſt eine Glaslinſe derſelben Firma veranſchaulicht mit 7,5 × 7,5 cm Grundfläche und 2,3 cm Höhe.

In Fig. 367 [41]) hängt in jeder Maſche eines eiſernen Roſtes ein einzelnes Prisma von 6 × 11 cm Grundfläche und 10 cm Höhe, während bei der Anordnung in Fig. 368 [41]) die 30 bis 50 cm im Geviert meſſenden Glastafeln an ihrer Unterfläche mit je 7 halbkugelförmigen Linſen (um 2,5 bis 4,0 cm vorſpringend) verſehen ſind. Bei dem durch Fig. 369 veranſchaulichten, aus England ſtammenden Deckenlicht ſind in die Maſchen des Eiſenroſtes abwechſelnd je ein Glasprisma und eine Glaslinſe verſenkt.

Fig. 369.



Hermann Schwinning in Berlin verwendet Prismen von der Geſtalt in Fig. 366, welche 15,5 × 68,0 cm meſſen; an der oberen Fläche beſitzen ſie eigenartig geformte Rippen, welche das Ausgleiten der Fußgänger verhüten. Sie werden in Rahmen

Fig. 370.

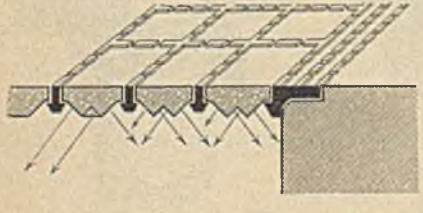
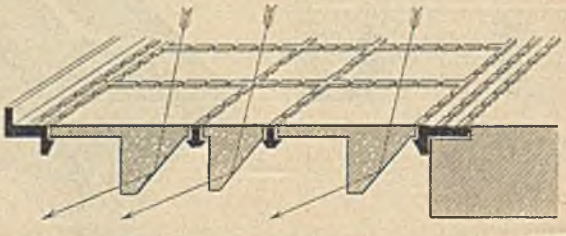
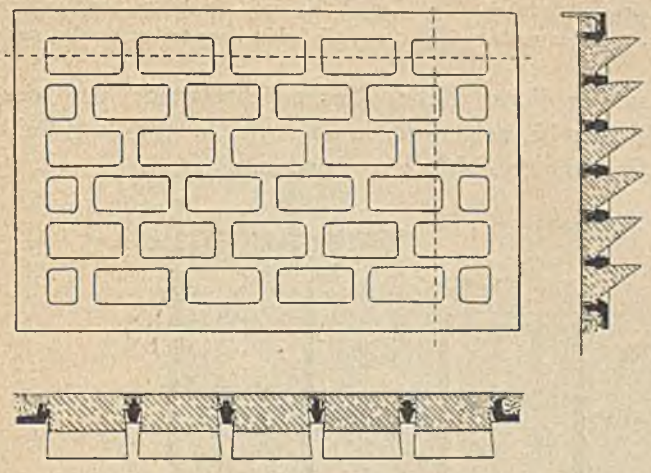


Fig. 371.



aus Schmiedeeiſen geſetzt, die nach ihrer Fertigſtellung verzinkt werden, alſo gegen Roſt geſchützt ſind. Die Prismen werden darin faſt Glas an Glas mittels Zement verlegt, und auf 1 qm Lichtfläche entfallen 80 Stück ſolcher Glaskörper.

Fig. 372.



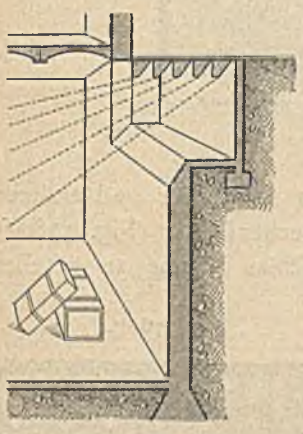
1/125 w. Gr.

Zu erwähnen ſind auch noch die der neueſten Zeit entſtammenden »Luxferprismen«[42]). Fig. 372 zeigt einen im Bürgerſteig verlegten Eiſenrahmen, durch den die »Multiprismen« in Zement verlegt ſind; Fig. 365 giebt die Form derſelben näher an. Dieſelbe Anſtalt erzeugt auch »Luxferglasflieſen«.

In manchen Fällen hat man Glasplatten verwendet, welche an ihrer Unterfläche mit prismenartig geſtalteten Vorſprüngen, bezw. Vertiefungen verſehen ſind, wie dies z. B. Fig. 370 zeigt.

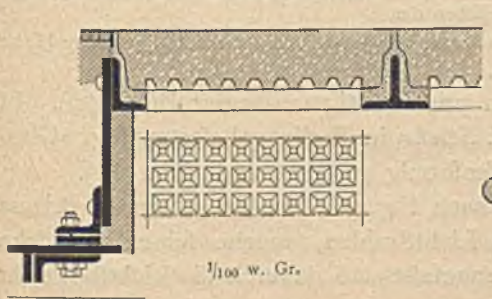
Letztere Anordnung, ebenſo die Ausführungen in Fig. 371, 373 u. 375 rühren von der Firma *Gebr. Klencke* in Hemelingen bei Bremen her, welche ſeit längeren Jahren ſolche Glaserzeugniſſe in den Handel gebracht hat. In Fig. 372 u. 373 wird das Licht hauptſächlich nach einer Seite geworfen, ſo daſs der zu erhellende Raum nicht unmittelbar unter dem Deckenlicht zu liegen braucht; die betreffenden Glaskörper ſind $9{,}2 \times 11{,}8$ cm und $18{,}0 \times 11{,}8$ cm groſs. Bei der Anordnung nach Fig. 370 wird das Licht nach allen Seiten zerſtreut, ſo daſs dabei vorausgeſetzt iſt, der zu erhellende Raum befinde ſich gerade unter dem Deckenlicht. Neuerdings hat die genannte Firma auch Einfalllichter für ſolche Flächen in den Handel gebracht, die einem Wagenverkehr ausgeſetzt ſind; die einzelnen Gläſer ſind kleiner und dicker und erfordern einen kräftigeren Rahmen. Fig. 375 endlich zeigt die Anwendung von Glasprismen, wenn durch eine Steintreppe hindurch der darunter gelegene Raum erhellt wird; man kann indes auch die Glasprismen ſelbſt ſtufenartig übereinander ſetzen.

Fig. 373.



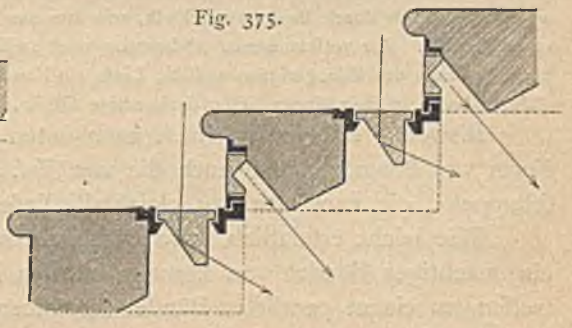
Aehnlich geſtaltet ſind die in Frankreich gebräuchlichen, zumeiſt aus der Fabrik von Saint-Gobain herrührenden Glaskörper. Fig. 374[43]) ſtellt einen Teil einer Glasdecke dar, durch welche ein groſser, im Erdgeſchoſs gelegener Saal des *Comptoir d'escompte* zu Paris erhellt wird.

Fig. 374[43]).



1/100 w. Gr.

Fig. 375.



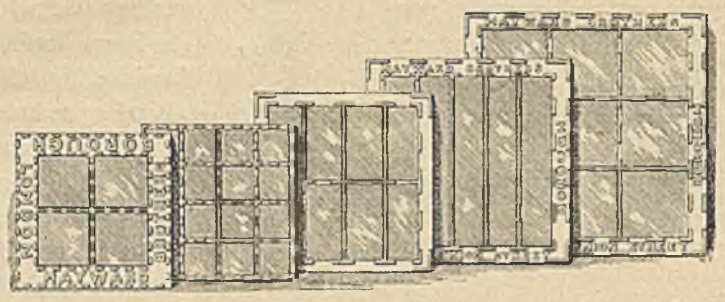
[42]) Erzeugt vom »Deutſchen Luxfer-Prismen-Syndikat« zu Berlin.

[43]) Nach: *La ſemaine des conſtr.*, Jahrg. 10, S. 92.

Diese Decke wird von eisernen Säulen getragen, auf denen zunächst Zwillingsbalken (aus je zwei I-förmig gestalteten Blechträgern zusammengefügt) ruhen. Zwischen diesen sind die ⊥-förmigen Sprossen angeordnet, in welche die Prismengläser, nachdem vorher ein Bett aus Glaserkitt ausgebreitet worden war, verlegt worden sind.

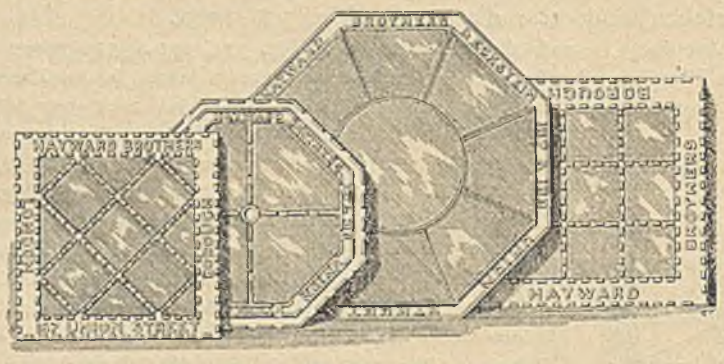
Welche Mannigfaltigkeit in der Form solche »Deckenlichtplatten« und der Gestaltung ihrer Oberfläche zu finden ist, zeigen die in Fig. 376 u. 377 dargestellten Erzeugnisse von *Hayward Brothers & Eckstein* zu London.

Fig. 376.



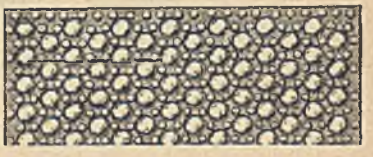
1/15 w. Gr.

Fig. 377.



In den Bürgersteigen der Hauptverkehrsstrafsen von New York und anderen Städten der Vereinigten Staaten findet man zahlreiche Deckenlichter (Fig. 378[44]), welche die unter den Bürgersteigen gelegenen unterirdischen Räume zu erhellen haben. Sie bestehen aus einem gufseisernen Rost, in dessen kreisförmige Durchbrechungen Glaslinsen eingesetzt sind (Fig. 380[45]).

Fig. 378[44]).



An die Linsen ist eine schraubenförmige Nut angegossen; in die Durchbrechungen des Eisenrostes ist ein Stift eingesteckt; Einsetzen und Abdichten der Glaslinsen erfolgen mit Hilfe eines eigenen Schlüssels durch Bajonettverschlufs, wie dies aus Fig. 380 zu ersehen ist. Zur vollkommenen Abdichtung wird zwischen den konischen Hals des Eisengerippes und die Linse ein Kautschukring gelegt. Auch die schon genannte Firma *Gebr. Klencke* in Hemelingen liefert linsenartige Gläser.

Bisweilen sind diese Linsen nach unten prismenartig verlängert (Fig. 379). In Form von Prismen enden auch die von *Jul. Staehr* in Berlin gelieferten sog. »Glasschuppen«, die nach oben zu gleichfalls linsenförmig gestaltet sind (Fig. 381).

Wie leicht ersichtlich, wird durch ein nach Fig. 362 bis 367 geformtes Prisma ein mächtiges Bündel von konvergierenden Lichtstrahlen, welche seine Oberfläche treffen, zu einem parallelen Bündel zusammengefafst und dadurch die Lichtstärke für

[44]) Vielfach von den *Humbold-Iron-Works* in New York und von *F. M. Hicks & Co.* in Chicago ausgeführt.
[45]) Fakf.-Repr. nach: HAARMANN's Zeitschr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

den darunter befindlichen Raum nicht allein vermehrt, ſondern in vielen Fällen darin das Licht auch beſſer verteilt. Ganz ähnlich verhält es ſich mit der Linſenform. Die Wirkung der Prismen und Linſen kann noch erhöht werden, wenn man das

Fig. 379.

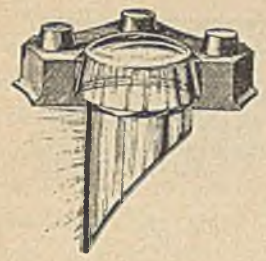
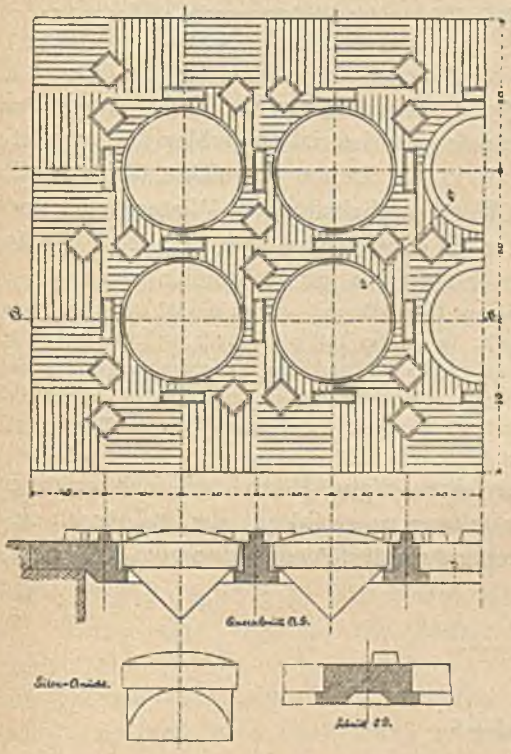


Fig. 380 [45]).

durch dieſelbe geleitete Licht auf groſse Spiegelflächen führt; ſobald letztere um eine wagrechte Achſe drehbar ſind, kann man ſie zu jeder Tageszeit in eine ſolche Stellung bringen, daſs ſie das Licht in den zu erhellenden Raum in möglichſt günſtiger Weiſe zurückwerfen.

Fig. 381.



Einfalllichtgitter mit Glasſchuppen von *Jul. Staehr* zu Berlin.

Unter günſtigen Verhältniſſen erreicht man hiernach mit den hier vorgeführten Anordnungen eine ganz gute Wirkung; allerdings betragen die Koſten ſolcher Glaskörper das 5 bis 6fache derjenigen einer Verglaſung mit Rohglasplatten. Auch iſt bei den Glaslinſen zu beachten, daſs ſie unter Umſtänden wie Brenngläſer wirken, daſs alſo unmittelbar unter denſelben lagernde entzündbare Stoffe gefährdet werden können.

Eine lichtverſtärkende Wirkung der Prismen und Linſen tritt naturgemäſs nicht ein; im Gegenteil, ein Teil des Lichtes geht ſtets durch Auffaugung und Zerſtreuung verloren, und zwar umſomehr, je unreiner das Glas iſt. Deshalb iſt es geboten, zu den Prismen nur das reinſte, waſſerklare Glas ohne Bläschen, Körner etc. zu verwenden.

Man prüft ein Prisma, indem man es gegen das Licht hält. Zeigt es ſich von einer dunkeln Zone umgeben, die nach der Mitte ſchwächer wird, ſo iſt es minderwertig; zeigt es ſich rundum hell, ſo iſt es gut. Dann betrachte man die Oberfläche. Wirft letztere das Licht rein zurück, d. h. mit ungewiſſem, welligem Schimmer, ſo iſt das Prisma gut hergeſtellt; erſcheint das zurückgeworfene Licht aber matt und ungleich hell, ſo iſt das Prisma weniger gut.

Sollen die mit Hilfe von Prismen oder Linſen konſtruierten Deckenlichter begangen werden, ſo muſs man, da die Glaskörper an ihrer Oberfläche ziemlich glatt ſind, wie ſchon mehrfach geſagt, dafür ſorgen, daſs darüber ſchreitende Perſonen

nicht ausgleiten. Deshalb verſieht man entweder die Glaskörper an ihrer Oberfläche mit einer Riefung oder mit Warzen, wodurch ſie allerdings in ihrer Lichtdurchläſſigkeit beeinträchtigt werden, oder man gieſst an die Oberkante der Stege des eiſernen Roſtes Zäpfchen etc. (Fig. 370 u. 371) an, wodurch das Ausgleiten verhindert wird. Die Linſen in Fig. 379 u. 380 ragen über das Eiſengerippe hervor, ſo daſs das Ausgleiten nicht in zu hohem Maſse zu befürchten iſt; um jedoch das Glas vor Beſchädigung zu ſchützen und dem Fuſsgänger einen ganz ſicheren Halt zu gewähren, ſind an den Roſt dreikantige Stollen oder Warzen angegoſſen.

Fig. 382.

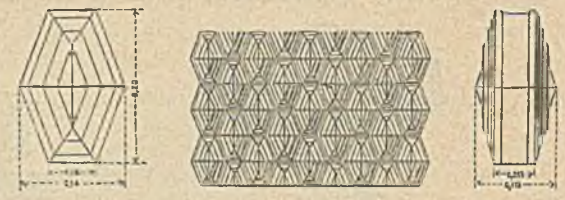
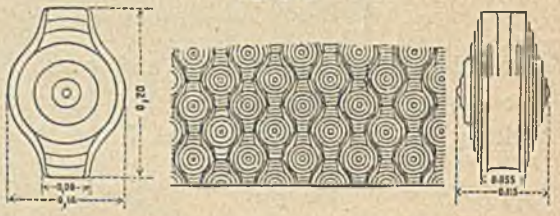


Fig. 383.



Glashohlſteine der Glashüttenwerke »Adlerhütten« zu Penzig. 1/10 w. Gr.

297. Decken aus Glasbauſteinen.

Seit einigen Jahren erzeugen die Glashüttenwerke »Adlerhütten, *H. Mayer & Co.*« zu Penzig in Schleſien ſog. Glasbauſteine oder Glashohlſteine, Syſtem *Falconnier*, welche ſich wie andere Steine mit Hilfe von Mörtel zu gewölbten Decken vereinigen laſſen; die Herſtellung geſchieht genau ſo über einer Verſchalung, wie bei einem flachen Backſteingewölbe. Decken aus ſolchem Material empfehlen ſich namentlich dort, wo möglichſt viel zerſtreutes Licht in die Räume eingeführt werden ſoll, z. B. für groſse und tiefe Arbeitsſäle, für Künſtlerarbeitsſtätten, Wintergärten und andere Pflanzenhäuſer, Operationsſäle etc., auch dann, wenn eine thunlichſt gleichmäſsige Temperatur gewünſcht wird, wie in Eisfabriken, Schlächtereien etc.

Dieſe Glasbauſteine ſind linſenartige Hohlkörper aus Glasmaſſe und werden ſowohl als ganze, wie auch als Dreiviertel-, Halbe- und Viertelſteine hergeſtellt; ſie werden halbweiſs, weiſs, milchweiſs und in ſatten, dunkeln Farben erzeugt. Fig. 382 zeigt Glasbauſteine in Sechseckform, die zuſammengefügt einer Bienenwabe ähnlich ſind; in Fig. 383 ſind flaſchenförmige Glasſteine mit rundem Mittelteil dargeſtellt. Von ſolchen Glasbauſteinen ſind für 1 qm Decke ca. 60 Stück notwendig, von denen jeder ca. 700 g wiegt. Als Mörtel werden Zement- und Gipsmörtel verwendet.

Die Glashohlſteine ſind infolge ihrer eigenartigen Form bei ſehr kräftiger Wandung äuſserſt widerſtandsfähig und nur ſchwer zu zerſtören; die im Inneren eingeſchloſſene Luft bildet auch bei ſtarken Temperaturunterſchieden eine gute Iſolierung, ſo daſs ein Schwitzen nicht eintritt.

22. Kapitel.

Nicht begehbare Deckenlichter und verglaſte Decken.

a) Allgemeines.

298. Ueberſicht.

Im nachſtehenden handelt es ſich ſowohl um kleinere verglaſte Lichtflächen, welche in Balken- oder gewölbte Decken eingefügt ſind, als auch um Deckenkonſtruktionen, welche in ihrer ganzen Ausdehnung (von umrahmenden Flächenſtreifen, Hohlkehlen u. dergl. etwa abgeſehen) verglaſt ſind.

Die gröfsten verglafsten Decken dieser Art sind wohl diejenigen, welche die Bedeckung gröfserer Binnenhöfe (glasbedeckte Lichthöfe) bilden und die Benutzung der letzteren als Innenräume ermöglichen. Von bedeutenderer Ausdehnung sind nicht selten die verglafsten Teile der Decken in den Deckenlichtsälen von Museen und Ausstellungsgebäuden, ebenso die Deckenlichter über Flurhallen, Treppenhäusern etc.

Ueber den hier in Frage kommenden Deckenlichtern und Glasdecken befindet sich meistens ein geschlossener Raum; nur sehr selten münden dieselben in das Freie. Aus dem über der Lichtfläche vorhandenen Raume fallen die Lichtstrahlen in den darunter befindlichen Raum ein; um dies zu ermöglichen, ist in den häufigsten Fällen über dem Deckenlicht, bezw. über der verglafsten Decke ein verglafstes Dach angeordnet, so dafs man die innere Glasdecke und das äufsere Dachlicht[46]) zu unterscheiden hat. Verhältnismäfsig selten wird der Raum über der Glasdecke durch Seitenlicht erhellt; eine ausreichende Beleuchtung des Raumes unter derselben wird alsdann nur schwer zu erzielen sein.

Die im nachfolgenden zu besprechenden verglafsten Lichtflächen sind ausdrücklich als »nicht begehbar« bezeichnet worden; infolge dessen mufs in allen Fällen, wo es möglich ist, dafs Personen aus Unvorsichtigkeit etc. auf eine solche Lichtfläche geraten können, durch Einfriedigung oder anders geartete Verwahrung Vorsorge getroffen werden, damit niemand das Deckenlicht, bezw. die Glasdecke betreten kann.

299. Form.

Die in Rede stehenden Deckenlichter und verglafsten Decken haben in den allermeisten Fällen die rechteckige Grundform; Deckenlichter, welche in Kuppelgewölbe eingefügt sind, solche über Treppenhäusern etc. erhalten wohl auch kreisförmige, halbkreisförmige oder nach den besonderen Verhältnissen auch noch andere Grundrifsgestalten.

Konstruktion und Ausführung gestalten sich am einfachsten, wenn man das Deckenlicht, bezw. die verglafste Decke eine einzige wagrechte Ebene bilden läfst. Indes wird man nur bei Deckenlichtern von geringer Ausdehnung die Tragesprossen völlig wagrecht anordnen; meist werden sie schwach ansteigend ausgeführt, weil dadurch einerseits ein besseres Aussehen erreicht, andererseits auch vermieden wird, dafs infolge des unvermeidlichen Sackens der Sprossen die Glasfläche eine nach unten gewölbte Form erhält.

Man hat aber die Glasflächen auch stärker ansteigen lassen, so dafs das Deckenlicht, bezw. die Glasdecke die Form eines flachen Sattel- oder Zeltdaches, wohl auch die Gestalt einer abgestumpften Pyramide erhalten hat; selbst nach oben gekrümmte Querschnittsformen sind ausgeführt worden. Im nachstehenden werden mehrfach Beispiele solcher gegliederter Glasdecken vorgeführt werden.

300. Reinigung und Schutz der Glasflächen.

Ueber den verglafsten Lichtflächen lagern sich Staub und andere Verunreinigungen ab, weshalb dafür gesorgt werden mufs, dafs eine zeitweilige Säuberung der Glasscheiben stattfinden kann. Bei Deckenlichtern von geringerer Ausdehnung ist meist keine besondere Vorkehrung zu treffen, weil man die Reinigung in der Regel von ihrem Umfange aus vornehmen kann; demnach wird nur Vorkehrung zu treffen sein, dafs die das Deckenlicht begrenzenden Streifen der Decke betreten werden können.

Bei gröfseren Deckenlichtern und Glasdecken hingegen hat man mehrfach Einrichtungen getroffen, durch welche das Begehen der verglafsten Flächen, also auch

[46]) Häufig werden die Bezeichnungen »inneres Oberlicht« und »äufseres Oberlicht« gebraucht. Wie schon bemerkt wurde, wird im vorliegenden nur von ersterem, nicht aber von letzterem die Rede sein.

das Vornehmen der Reinigung, von Ausbeſſerungen etc. möglich iſt. Laufſtege, wie ſie bei Dachlichtern vorkommen[47]), ſind verhältnismäſsig ſelten zur Anwendung gebracht worden; meiſt werden einzelne hierzu geeignete Trageſproſſen oder andere hauptſächlich tragende Konſtruktionsteile ſo ſtark ausgeführt, daſs ein Laufbrett über dieſelben gelegt werden und ein Arbeiter darauf treten kann.

Bisweilen hat man feſte oder bewegliche Leitern zu gleichem Zwecke angeordnet; letztere laufen mit ihren Rollen in einem Abſtande von ca. 20 bis 30 cm über der Glasfläche auf Schienen, welche an den aufrechten Stegen hierzu geeigneter Trageſproſſen angebracht ſind. Auch Rollwagen, deren Räder gleichfalls auf Schienengleiſen fahren und die durch ein Triebwerk in Bewegung geſetzt werden, ſind angewendet worden.

Bei einigen Ausführungen erfolgt die Säuberung der Glasflächen von Staub und Schmutz durch Abſpülen mit Waſſer; in einiger Höhe über der Glasdecke, z. B. längs des Firſtes des über derſelben befindlichen Daches etc., iſt zu dieſem Ende ein Waſſerrohr angeordnet, oder es wird eine einfache, an die Waſſerleitung angeſchraubte Schlauchſpritze in Anwendung gebracht. Es empfiehlt ſich in dieſem Falle, die Glasdecke ohne Querſproſſen zu konſtruieren und derſelben ein entſprechendes Gefälle zu geben; das Spülwaſſer wird am beſten nach einer kleinen Traufrinne mit Abfallrohr geleitet.

Wenn die Möglichkeit vorliegt, daſs von oben aus ſchwerere Gegenſtände (z. B. Bruchſtücke von dem Dachlicht angehörigen Glasſcheiben etc.) auf die verglaſten Deckenflächen fallen können, wodurch der Bruch einzelner ihrer Glasſcheiben hervorgebracht werden könnte, ſo iſt die Gefahr vorhanden, daſs die im darunter befindlichen Raume ſich aufhaltenden Perſonen etc. beſchädigt werden. In ſolchen Fällen muſs über der verglaſten Deckenfläche ein Gitterwerk oder ein Drahtnetz angeordnet werden, welches die herabfallenden Gegenſtände aufzuhalten hat. Daſſelbe bringt allerdings den Miſsſtand mit ſich, daſs es nicht allein den Lichteinfall etwas beeinträchtigt, ſondern auch die Reinigung der Glasflächen erſchwert. Letzterem Uebelſtande lieſse ſich wohl dadurch abhelfen, daſs man das ſchützende Drahtnetz unterhalb der verglaſten Deckenfläche anbringt; allein das Ausſehen der letzteren würde dadurch unſchön werden. Sind es ſonach nur zerbrochene Glasſcheiben des über der Decke befindlichen Dachlichtes, welche gefürchtet werden, ſo wähle man am beſten für letzteres eine Glasſorte, die das Zerbrechen ſo gut wie ausſchlieſst: Rohglas von genügender Dicke, Preſshartglas oder, noch beſſer, Drahtglas.

301. Schweiſswaſſerbildung.

Wenn wärmere, ſtark angefeuchtete Luft die verglaſten Teile der Decke an der Unterſeite trifft, ſo wird ſich an denſelben, insbeſondere an den die Wärme gut leitenden metallenen Konſtruktionsteilen, Waſſer in Tropfenform niederſchlagen; dieſes Schweiſs-, Schwitz-, Beſchlag- oder Kondenſationswaſſer darf weder die Erhellung beeinträchtigen, noch von der Decke herabtropfen. Die Menge des ſich niederſchlagenden Waſſers hängt einerſeits von dem Maſse ab, in welchem der Raum unter der Decke mit feuchtwarmer Luft gefüllt ſein wird, andererſeits davon, ob der Raum zwiſchen innerer Glasdecke und äuſserem Dachlicht auf die Dauer genügend warm gehalten werden kann, ſo daſs die verglaſten Lichtflächen nicht zu ſtark abgekühlt werden.

Erhebt ſich über dem Deckenlicht ein ſeitlich abgeſchloſſener Lichtſchacht von genügender Höhe, ſo wird die auf erſteres ausgeübte Abkühlung nur eine ſehr geringe,

[47]) Siehe Teil III, Band 2, Heft 5 (Abt. III, Abſchn. 2, F, Kap. 42) dieſes »Handbuches«.

und Vorkehrungen zur Abführung des Schweifswaffers werden alsdann kaum notwendig fein. Würde man den Raum zwifchen Decken- und Dachlicht völlig luftdicht abfchliefsen können, fo wäre jedem Befchlagen des erfteren vorgebeugt. Sobald jedoch über den verglaften Lichtflächen ein derartiger Lichtfchacht fehlt, fo wird zur kälteren Jahreszeit eine ftärkere Abkühlung derfelben kaum ausbleiben, insbefondere wenn die das Dachlicht umgebenden Dachflächen eine nicht zu dichte Eindeckung, namentlich eine folche ohne Bretterverfchalung oder gar eine Metalldeckung, erhalten. Im letzteren Falle ift demnach ein bedeutenderes Befchlagen der Glasdecke zu erwarten, fobald die Luft unter derfelben warm und ftärker angefeuchtet ift, und bei der Konftruktion mufs hierauf Rückficht genommen werden.

In hierzu geeigneten Fällen befteht ein gut wirkfames Mittel gegen die Schweifswafferbildung darin, dafs man die Abluftkanäle des unter der Glasdecke befindlichen Raumes, bezw. der benachbarten Räume in den Zwifchenraum zwifchen Decken- und Dachlicht leitet; da die Abluft immer warm fein wird, fo werden die Glasflächen auch von oben erwärmt und das Entftehen von Schweifswaffer dadurch vermieden.

Bisweilen hat man die Bildung von Schweifswaffer an der Unterfeite der Glasdecke dadurch zu verhüten verfucht, dafs man, ähnlich wie bei Schaufenftern, eine Luftunterfpülung derfelben bewirkt hat. Man hat z. B. zwifchen der Unterkante der Glasdecke und der fie umfchliefsenden Umrahmung einen freien Zwifchenraum von einigen Centimetern Breite gelaffen oder einen durchbrochenen Fries angeordnet; alsdann herrfcht ober- und unterhalb der Glasfläche eine fortwährende Luftbewegung; die Unterfeite derfelben wird abgekühlt, und das Befchlagen der letzteren wird nicht eintreten. Eine folche Unterfpülung ift indes nicht leicht durchzuführen, und in nicht feltenen Fällen ift fie in Rückficht auf die Benutzung des unter derfelben befindlichen Raumes ausgefchloffen. Alsdann ift für Abführung des Schweifswaffers Sorge zu tragen, was meift dadurch gefchieht, dafs man die Sproffen mit geeigneten Schweifswafferrinnen verfieht; doch kann dies auch in der Weife bewirkt werden, dafs man das Deckenlicht über die Decke hinaushebt, um das Schweifswaffer über letztere hinaus ableiten zu können.

302. Wärmeftrahlung.

Der Zwifchenraum zwifchen verglafter Decken- und verglafter Dachfläche wird zur Sommerszeit durch die Sonnenftrahlen fehr ftark erwärmt; die Folge davon ift, dafs von der Glasdecke nach unten eine fehr bedeutende Wärmeftrahlung ausgeht, wodurch nicht felten im Raume unter der Glasdecke eine geradezu unerträgliche Hitze entfteht. Um einen folchen Zuftand zu verhüten, bringe man in den Dachflächen geeignete Oeffnungen an, die man im Winter fchliefsen und durch welche man im Sommer den erforderlichen Luftumlauf hervorbringen kann. In England werden zu gleichem Zwecke die Dachlichter alljährlich mit weifser Farbe angeftrichen. Ob durch Anwendung des von *Zsigmondy* erfundenen fog. Schirmglafes (für Wärmeftrahlen undurchläffiges Glas) dem in Rede ftehenden Uebelftande wird abgeholfen werden können, bleibt abzuwarten[48]).

Dafs bei jeder, auf anderweitigem Wege erzielten Erwärmung der verglaften Deckenflächen von oben der gleiche Erfolg erzielt werden kann, ift felbftverftändlich.

303. Deckenlichtfchächte.

Die Lichtfchächte, welche fich über Deckenlichtern erheben, haben ähnlich wie die zur Lüftung, zur Aufnahme von Fahrftühlen etc. dienenden Schächte den

[48]) Siehe: Polyt. Journ., Bd. 287, S. 17, 68, 108 — ferner: Journ. f. Gasb. u. Waff. 1893, S. 574, 592, 610 — endlich: Deutfche Bauz. 1894, S. 161.

Nachteil, dafs fie bei ausbrechender Feuersgefahr die Verbreitung des Feuers in hohem Grade begünftigen. Deshalb ift eine thunlichft feuerfichere Umfchliefsung derfelben zur Ausführung zu bringen.

Ift eine unmittelbare Unterftützung der Umfaffungswände durch Mauern oder Träger zu ermöglichen, fo find diefelben maffiv herzuftellen; fonft mufs man fich mit einer Ausführung in Drahtputz, mit *Rabitz*-Wänden oder einer ähnlichen, als feuerficher anzuerkennenden Konftruktion begnügen. Die Umfaffungswände find mindeftens 20 cm über die Dachfläche zu führen und dürfen mit Fenftern zur Erhellung der Dachbodenräume nicht verfehen werden.

304. Sproffen.

Für die Sproffen der verglaften Lichtflächen werden meift paffende Formeifen gewählt. Hierzu eignen fich fowohl hochkantig geftellte Flacheifen, T-, I- und ┼-Eifen, als auch die bekannten Fenfter- oder Sproffeneifen (Fig. 384 u. 385 [49]).

Fig. 384.

Fig. 385 [49]).

Fig. 386.

Fig. 387 [50]).

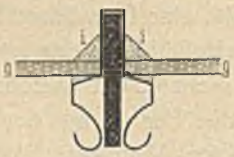


Fig. 388 [50]).

Die in die Auflagerflächen der letzteren bisweilen eingewalzten Rinnen können etwa von oben kommendes Waffer aufnehmen; doch erfüllen fie nicht immer diefen Zweck, weil fie fich durch Staub und Schmutz bald verfetzen. Für die Befeftigung des Kittauflagers find folche Rinnen indes ganz zweckmäfsig. Sollen hochkantig geftellte Flacheifen in Verwendung kommen, fo müffen durch Kappen aus Zink-, Kupfer- oder Bleiblech die erforderlichen Auflagerflächen gefchaffen werden (Fig. 387 u. 388 [50]); diefe Blechverkleidung kann auch dazu benutzt werden, etwa notwendige Schweifswaffernnnen zu bilden.

Aufser eifernen Sproffen kommen auch folche aus Zink und aus Meffing, felbft folche aus Holz zur Anwendung. Zinkfproffen haben fich nicht bewährt, weil diefes Metall eine nur geringe Tragfähigkeit befitzt und bei Temperaturfchwankungen fehr bedeutende Längenänderungen zeigt; beffer find Sproffen aus Zink mit Eifenkern.

Die Haupttragefproffen, welche in 50 bis 60 cm Abftand verlegt werden, werden am beften aus Formeifen hergeftellt; für die fie unterteilenden Zwifchenfproffen kann man unter Umftänden auch Meffing- und Holzteile benutzen (Fig. 389 [51]).

Anders geformte Sproffen, namentlich die fog. Rinnenfproffen, kommen hauptfächlich für verglafte Dächer und Dachlichter, fehr felten für Glasdecken und Decken-

[49]) Siehe auch: Teil I, Band 1, erfte Hälfte (Art. 280, S. 192, unter β [2. Aufl.: Art. 268, S. 241, unter b]) diefes »Handbuches«.

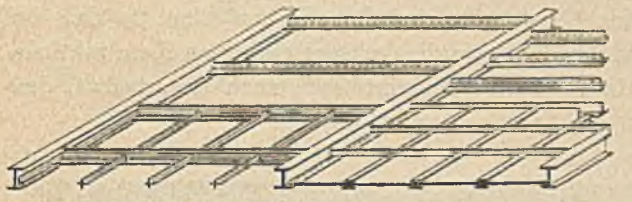
[50]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 245.

[51]) Fakf.-Repr. nach: Baukunde der Architekten. Bd. I, Teil 1. Berlin 1890. S. 568.

lichter zur Verwendung. In dieſer Beziehung ſowohl, als auch bezüglich mancher anderer Einzelheiten ſei auf das in Teil III, Band 3, Heft 5 (Abt. III, Abſchn. 2, F, Kap. 39: Verglaſte Dächer und Dachlichter) dieſes »Handbuches« Vorgeführte verwieſen.

Die Anordnung der Sproſſen in einem rechteckig geformten Deckenlicht gewöhnlicher Art erfolgt nach Art eines eiſernen Roſtes, wie dies Fig. 389 [51]) zeigt. Bei anders geſtalteten Deckenlichtern iſt man in der Regel beſtrebt, eine der Grundriſsform angepaſste, thunlichſt regelmäſsige Sproſſenverteilung zu erzielen. Soll in der Verglaſung ein geometriſches Muſter erſcheinen, ſo iſt letzteres für die Sproſſenanordnung maſsgebend.

Fig. 389 [51]).



Während bei der Berechnung von verglaſten Dächern und Dachlichtern auſser dem Eigengewicht der Konſtruktion auch die Beanſpruchung durch Winddruck und Schneelaſt zu berückſichtigen iſt, kommen bei Glasdecken und Deckenlichtern vielfach nur die vom Eigengewicht herrührenden Beanſpruchungen in Frage, ſo daſs die Querſchnitte der Haupttrageſproſſen hiernach zu ermitteln ſind [52]). Wenn indes bei gröſseren Glasdächern die Möglichkeit geboten ſein ſoll, daſs Arbeiter unmittelbar über den Glasflächen Ausbeſſerungen, Reinigungen etc. vornehmen können, ſo muſs bei Berechnung der Tragkonſtruktion das Gewicht dieſer Arbeiter, der von ihnen mitgeführten Geräte etc. mitberückſichtigt werden.

Fig. 390 [53]).

305. Verglaſung.

Die Glasſcheiben werden meiſt in Kittfalze oder in Bleifaſſungen verlegt. Bei Sproſſen aus ⊥- und ┼-Eiſen und ſolchen aus Fenſtereiſen iſt, wie Fig. 384 u. 385 zeigen, das Einbetten in Kitt *i* ohne weiteres möglich. Beſteht die Sproſſe aus hochkantig geſtelltem Flacheiſen, ſo bietet entweder der Zinkmantel die Möglichkeit dar, die Glasſcheiben in Kitt zu verlegen (Fig. 387), oder man ſetzt auf das Flacheiſen zunächſt eine Kappe *a* (Fig. 388) auf, die man am beſten aus verbleitem Eiſenblech herſtellt, und auf den wagrechten Lappen dieſer Kappe können die Glasſcheiben *g* in Kitt *i* gelagert werden.

Auf der Oberſeite von ⊥- und I-Eiſen laſſen ſich Kittfalze nicht in genügend einfacher Weiſe bilden; auch geht bei letzteren infolge von Bewegungen die erforderliche Dichtigkeit nicht ſelten verloren, und wenn das Eindringen von Waſſer zu befürchten iſt, ſo ſchützt man wohl auch den Kittfalz durch Deckleiſten von Holz, Blei oder Zink. Dieſe Miſsſtände ſind bei Bleifaſſungen nicht vorhanden. Letztere werden am einfachſten durch Verwendung ſog. Bleirippen hergeſtellt, wie ſie z. B. *Grover & Co.* in Längen von ca. 5,5 cm erzeugen. Fig. 390 *a* [53]) ſtellt eine ſolche Rippe ohne Glaseinlage dar; dieſelbe wird auf einer

[52]) Die einſchlägigen Formen und Zahlenwerte ſind an der eben genannten Stelle des »Handbuches der Architektur« zu finden.

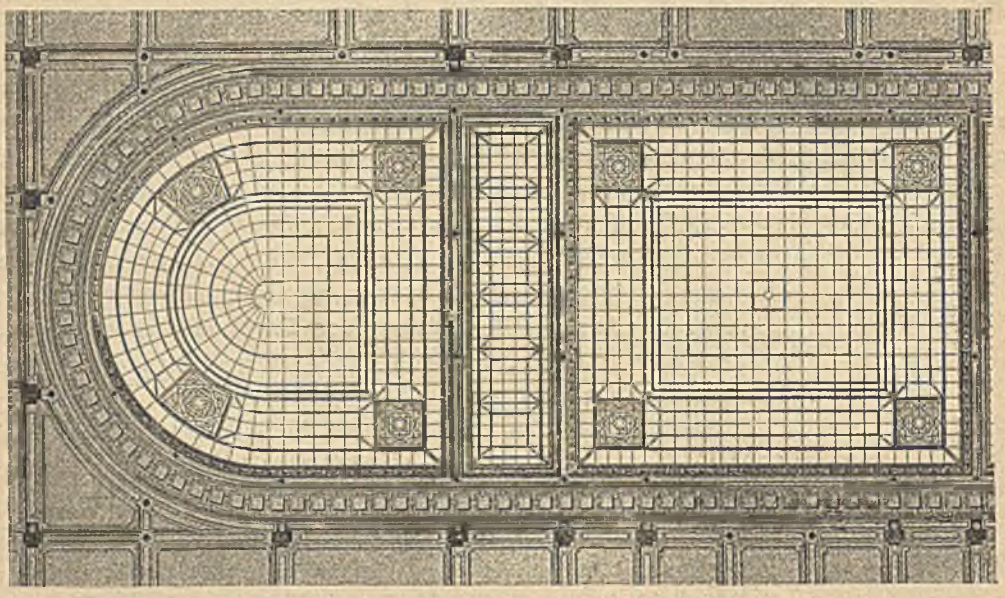
[53]) Nach: Deutſche Bauz. 1887, S. 417.

Holzunterlage mit Kupfernägeln befeſtigt und nach dem Einlegen der Glasſcheibe entſprechend umgebogen, wodurch ein dichter Anſchluſs entſteht. Fig. 391 *b* zeigt die Verwendung der Bleirippen für hölzerne Sproſſen und Fig. 386 *c* für ſolche aus T- und I-Eiſen.

In Fig. 386 iſt die von *Mackenzie* angegebene Bleifaſſung dargeſtellt; durch dieſelbe wird der gröſste Teil des Fenſtereiſens eingehüllt, und auch die beiden Rinnen ſind mit Blei ausgefüttert.

Bleifaſſungen gewähren noch den weiteren Vorteil, daſs ſie nicht eine unveränderlich feſte Verbindung zwiſchen Glasſcheibe und Sproſſe herſtellen, ſo daſs bei ſtarken Temperaturänderungen eine gewiſſe Beweglichkeit der einzelnen Konſtruktionsteile möglich iſt und die Glastafeln vor Bruch bewahrt ſind; auch ſei erwähnt, daſs

Fig. 391.



Von den *Magaſins du Bon Marché* zu Paris[54]).
1/300 w. Gr.

die Bildung von Schweiſswaſſer faſt ganz vermieden iſt, da ſich die Temperatur innen und auſsen nahezu vollſtändig ausgleicht.

Groſse Glastafeln hat man wohl auch ganz frei auf die Trageſproſſen gelagert; Stoſsfugen werden durch zwiſchengelegte, den Fenſterbleien ähnliche, gezogene Meſſingſtreifen gedichtet.

Die Verglaſung wird entweder mit gewöhnlichem, völlig durchſichtigem Glaſe oder, wenn man die über der Glasdecke befindlichen Räume oder Konſtruktionsteile nicht ſichtbar werden laſſen will, mit matt geſchliffenem Glaſe bewirkt; bisweilen verſieht man das letztere wohl auch mit einem dem Auge angenehmen Muſter. Wenn die Scheiben nicht zu groſs ſind, ſo genügt in der Regel Fenſterglasſtärke.

Hat man die Abſicht, gewiſſe Stimmungen oder Lichtwirkungen zu erzielen, ſo verwendet man farbiges Glas; bei reich ausgeſtatteten Glasdecken werden Gläſer in verſchiedenen Farben gewählt und zu einem nach geometriſchem Muſter oder in

54) Fakſ.-Repr. nach: *Encyclopédie d'arch.* 1880, Pl. 653.

ornamentaler Weiſe geordneten, harmoniſch wirkenden Ganzen zuſammengefügt. Für die Ausbildung derartiger farbenreicher Glasdecken ſei an dieſer Stelle in Fig. 391 [54]) ein einſchlägiges Beiſpiel hinzugefügt.

Im Gebäude des *Comptoir d'escompte* zu Paris hat *Corroyer* in der *Salle des titres* die einzelnen Felder der Glasdecke, welche durch die Längs- und Querſproſſen gebildet werden, nicht durch in gleicher Ebene gelegene Glasſcheiben ausgefüllt, ſondern die letzteren nach Art einer nach unten hängenden abgeſtumpften Pyramide angeordnet [55]).

Um Schweiſswaſſerbildung zu vermeiden, hat man in einigen Fällen das Deckenlicht mit doppelter Verglaſung verſehen, welche eine völlig abgeſchloſſene Luftſchicht einſchlieſst; letztere verhütet die Wirkungen einer von oben eintretenden Abkühlung.

306. Einteilung.

Die konſtruktive Durchbildung von verglaſten Decken und Deckenlichtern iſt in ziemlich verſchiedener Weiſe ausgeführt worden. Im nachſtehenden ſollen dieſelben unterſchieden werden in:

1) ſolche, welche in eine tragende Deckenkonſtruktion eingefügt ſind;

2) ſolche, welche an einem Dachſtuhl aufgehängt oder in anderer Weiſe mit demſelben verbunden ſind, und

3) ſolche, welche durch beſondere Tragkonſtruktionen geſtützt werden.

Nicht alle einſchlägigen Ausführungen laſſen ſich in eine dieſer drei Gruppen einreihen, da ſie nicht ſelten eine Vereinigung von zwei verſchiedenen Anordnungen darſtellen.

b) In tragende Deckenkonſtruktionen eingefügte Deckenlichter.

307. Deckenlichter in Balkendecken.

Wenn ein Deckenlicht in eine tragende Deckenkonſtruktion eingefügt oder über einem Raume eine durchweg verglaſte Decke hergeſtellt werden ſoll, ſo iſt ſtets ein Rahmen erforderlich, der die verglaſten Deckenflächen umfaſst und welcher dem aus den Trageſproſſen gebildeten Roſt als Auflager dient. Die Anordnung iſt verſchieden, je nachdem das Deckenlicht in eine Balken- oder in eine gewölbte Decke eingeſetzt wird.

Auch bei den in Balkendecken eingefügten Deckenlichtern herrſcht bezüglich der konſtruktiven Anordnung ziemliche Mannigfaltigkeit; die bemerkenswerteſten Herſtellungsweiſen ſeien im folgenden vorgeführt.

α) Iſt das Deckenlicht in eine hölzerne Balkendecke einzuſetzen, ſo wird, obwohl ſelten, der dasſelbe umfaſſende Rahmen in Holz hergeſtellt. Fig. 393 [56]) zeigt eine ſolche Ausführung.

Die Rahmenhölzer ſind ſeitlich an die Deckenbalken angeſchraubt, und damit die ganze Konſtruktion ein leichteres Ausſehen gewinnt, ſind die mittleren Deckenbalken ſchwächer gehalten und mittels Hängeſäulen mit dem Dachſtuhl verbunden.

β) Viel häufiger wird der Rahmen aus Formeiſen hergeſtellt, und es eignen hierzu ſich insbeſondere I-Eiſen. Sind die Grundriſsabmeſſungen des Deckenlichtes ſo groſse, daſs der aus den Trageſproſſen gebildete Roſt ſich nicht frei trägt, ſo werden, wie Fig. 392 zeigt, ein oder auch mehrere Zwiſchenträger angeordnet.

In Fig. 392 iſt der aus I-Eiſen gebildete Rahmen auf die Holzbalken der tragenden Decke gelegt; auf dieſem Rahmen, ſowie auf einem eingeſchalteten Zwiſchenträger ruht der aus Sproſſeneiſen zuſammengeſetzte Roſt, in den die eingekitteten Glastafeln eingefügt ſind.

---

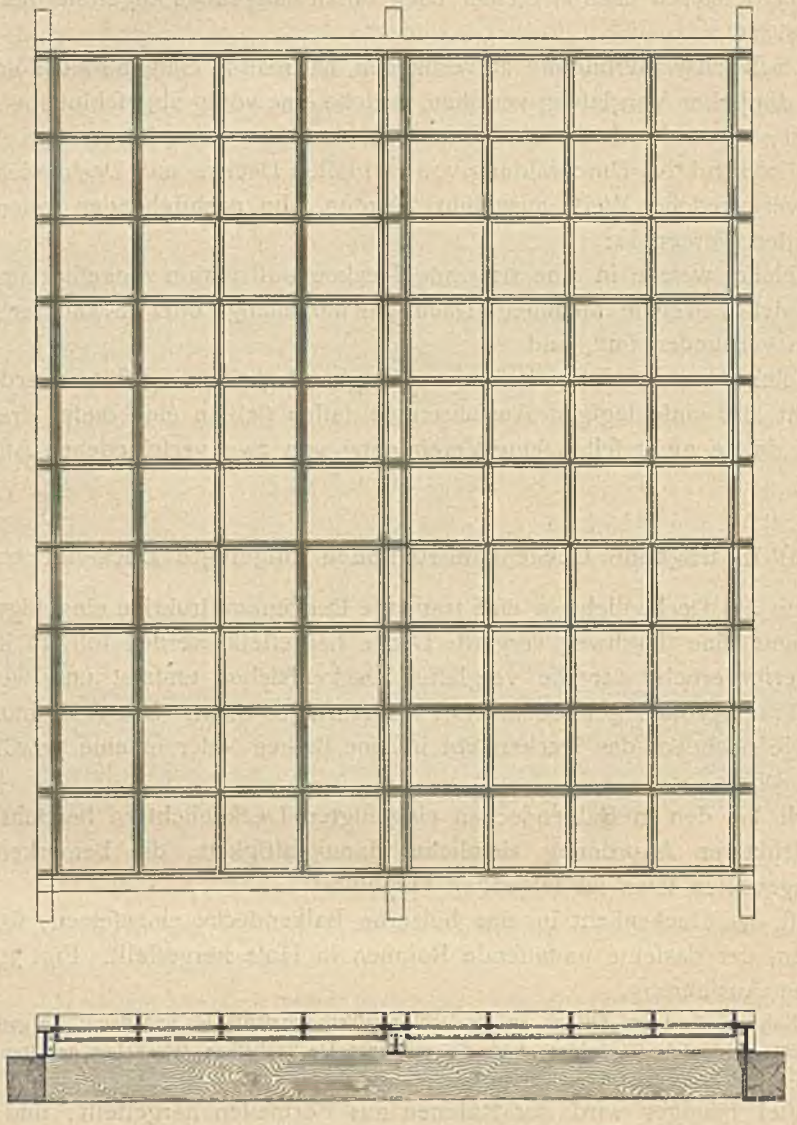
55) Siehe: Fortſchritte auf dem Gebiete der Architektur, Heft 2, S. 21 u. Fig. 38 (S. 23).

56) Nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 14.

γ) Eiſerne Rahmen ähnlicher Art werden auch verwendet, wenn über einem Raume eine durchwegs verglaſte Decke auszuführen iſt. Durch Fig. 395 iſt eine derartige Anordnung veranſchaulicht.

Die tragenden I-Eiſen ſind hier von einer Längsmauer zur anderen geſtreckt und an den Enden eingemauert; an dieſen Längsmauern ſind eingeſchobene I-Eiſenſtücke verlegt und mit den erſtgedachten I-Trägern durch Winkellaſchen verbunden.

Fig. 392.

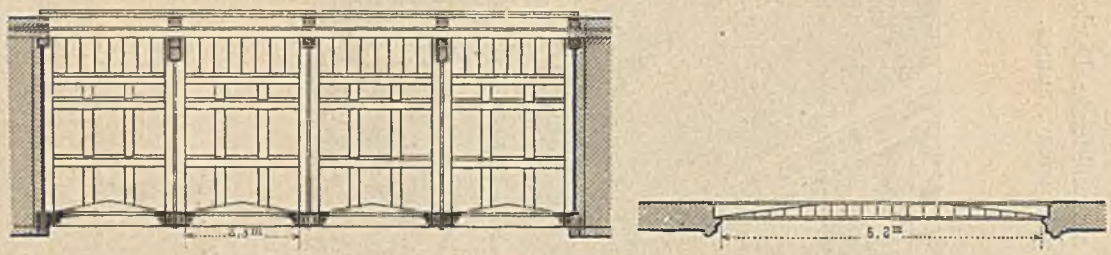


Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.
1/50 w. Gr.

308. Deckenlichter mit Hohlkehlen

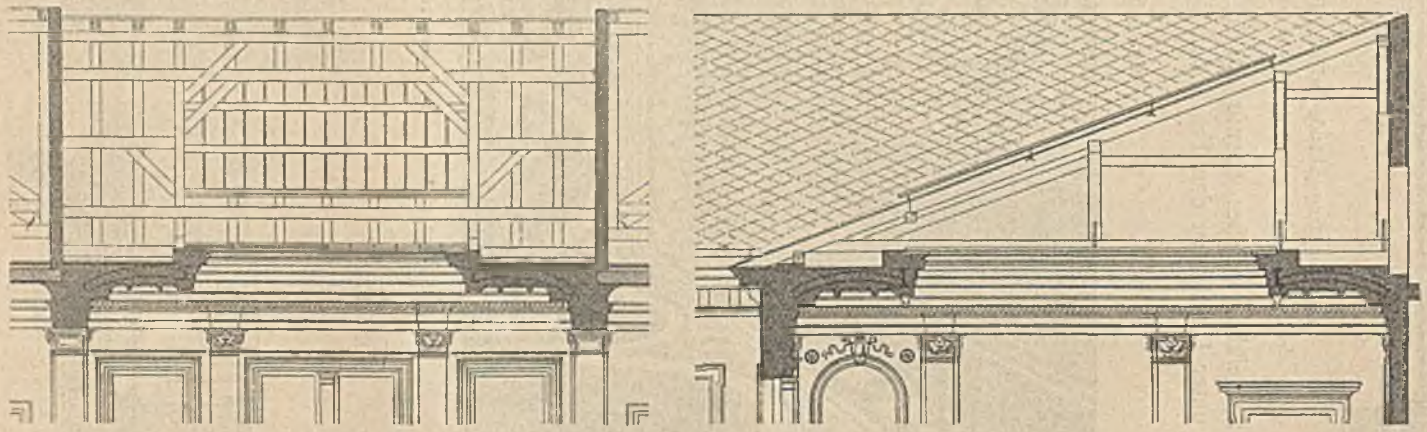
Gröſsere, von oben zu erhellende Räume erhalten nicht ſelten ein zentral angeordnetes Deckenlicht, deſſen Umrahmung in der Weiſe gebildet wird, daſs man der Länge und der Quere nach je zwei ſchmiedeeiſerne I-Träger (Walzbalken oder bei gröſseren Abmeſſungen Blechträger) verlegt; auf letzteren ruht das Sproſſenwerk des Deckenlichtes. Der Zwiſchenraum zwiſchen jedem dieſer Träger und der nächſtgelegenen Umfaſſungsmauer wird alsdann durch ein zwiſchengeſpanntes Kappen-

Fig. 393[56]).



1/150 w. Gr.

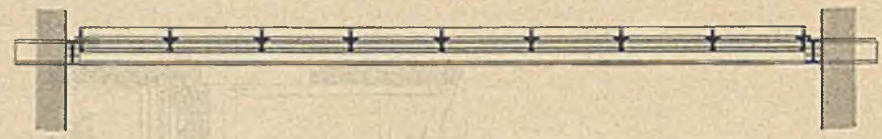
Fig. 394.



Von der Kunſtgewerbeſchule des öſterreichiſchen Muſeums zu Wien[57]).

1/125 w. Gr.

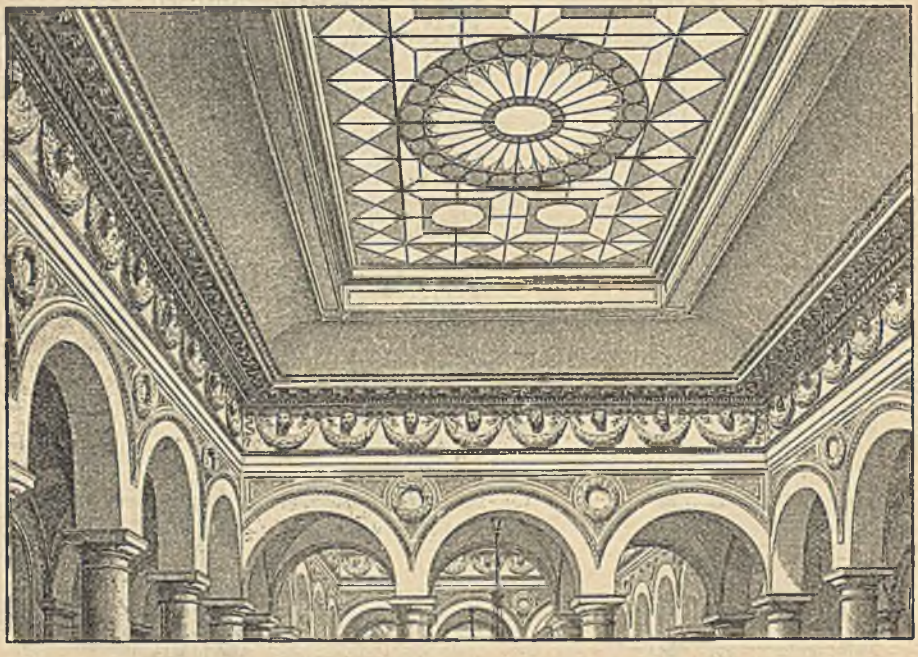
Fig. 395.



Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.
1/50 w. Gr.

gewölbe ausgefüllt, welches ebenfo die in Stuck etc. auszubildende Decke trägt, wie auch unter Umftänden den Fufsboden des darüber gelegenen Raumes.

Fig. 396.



Vom römifchen Bad am Praterftern zu Wien [58]).

Fig. 397.

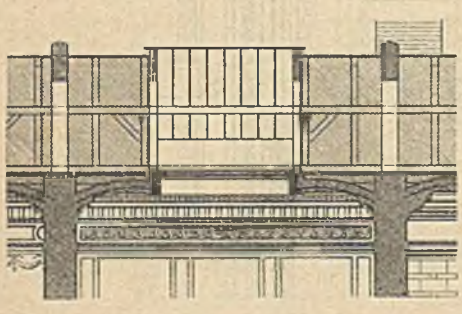
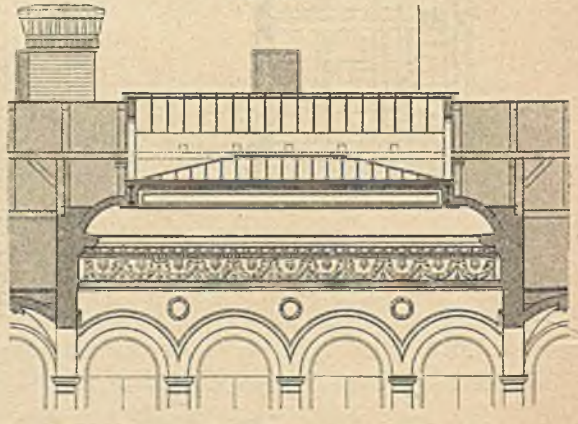
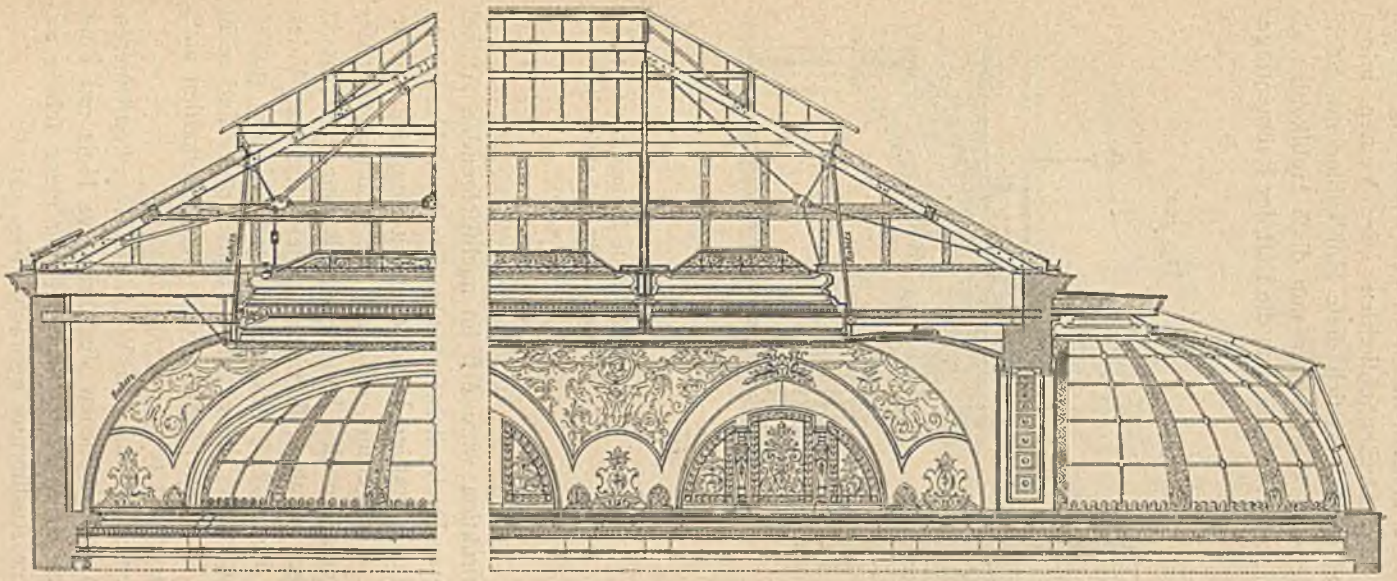


Fig. 398.



Vom römifchen Bad am Praterftern zu Wien [59]).
1/150 w. Gr.

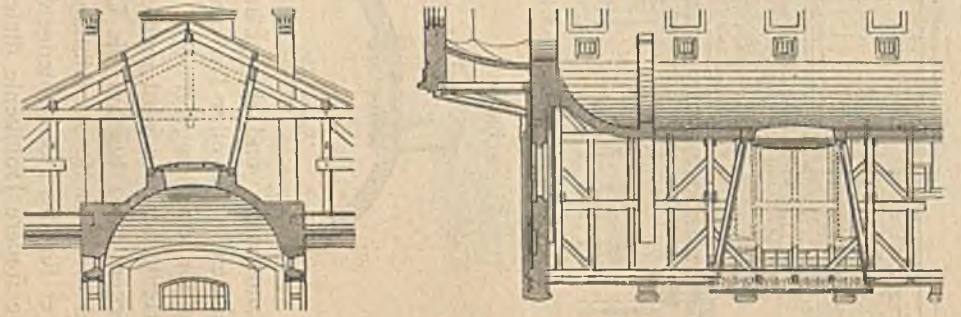
Fig. 399.



1/100 w. Gr.

Vom Hôtel Royal zu Hannover[60]).

Fig. 400.

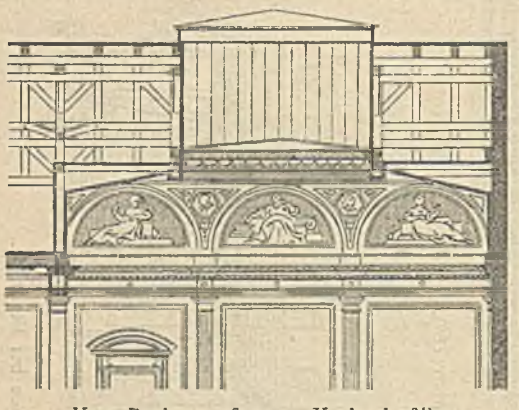


1/200 w. Gr.

Von der Strafanstalt am Plötzensee bei Berlin[62]).

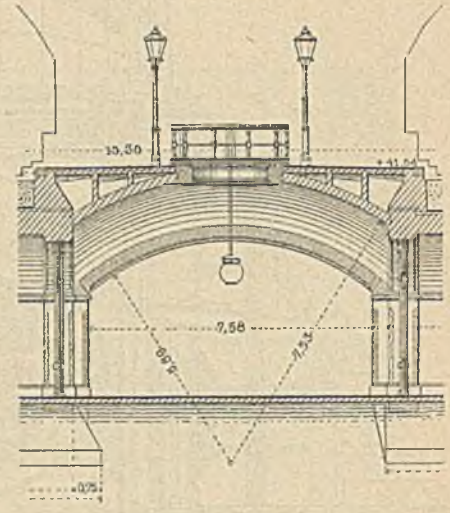
In verhältnismäfsig feltenen Fällen liegen die beiden Kämpferlinien dieſer Gewölbe in gleicher oder doch nahezu gleicher Höhe (Fig. 394 [57]); viel häufiger kommt es vor, daſs dieſelben von den I-Trägern aus nach den Umfaſſungsmauern zu erheblich abfallen und alsdann ſog. Deckenhohlkehlen oder Vouten bilden (Fig. 396 [58]); ja es fehlt nicht an Beiſpielen, wo ſich dieſe Hohlkehlen mit Stichkappen an die Rahmenträger anſchlieſsen. Würde man nun dieſe Hohlkehlen als wirkliches Spiegelgewölbe konſtruieren, ſo hätte dieſes auch die Laſt der Rahmenträger

Fig. 401.



Vom Realgymnaſium zu Karlsruhe [61]).

Fig. 402.



Von der Halteſtelle Zoologiſcher Garten der Berliner Stadteiſenbahn [63]).

1/200 w. Gr.

Fig. 403.

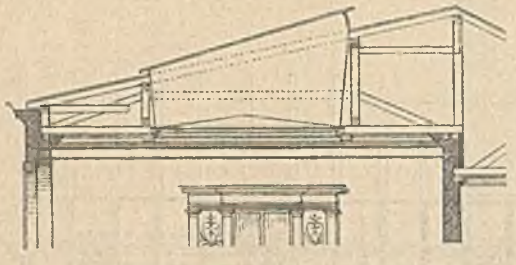
1/200 w. Gr.

aufzunehmen, und die geſamte Konſtruktion wäre erſt im nächſtfolgenden Artikel (bei den in gewölbte Decken eingefügten Deckenlichtern) zu beſprechen. Um jedoch das für ein Spiegelgewölbe erforderliche kräftige Widerlager zu umgehen, iſt es vorteilhafter und wird meiſtens auch ſo ausgeführt, daſs man die Rahmenträger des Deckenlichtes bis auf die Umfaſſungsmauern des betreffenden Raumes überſtreckt und dieſelben ſo als ſelbſtändige Träger geſtaltet; ſie bilden zugleich das eine Widerlager für das Hohlkehlengewölbe. In Fig. 397 [59]) iſt eine flachere und in Fig. 398 [59]) eine ſteilere Hohlkehle dieſer Art dargeſtellt; die eiſernen Rahmenträger ſind nicht ſichtbar, ſondern mit Stuck umhüllt. In neuerer Zeit werden dieſe Hohlkehlen auch aus *Rabitz*- oder aus *Monier*-Maſſe hergeſtellt (Fig. 399 [60]).

Anſtatt die Hohlkehlen in der einen oder anderen Weiſe maſſiv zu konſtruieren, kann man dieſelben auch nach dem ſonſt üblichen Verfahren aus Holz mit Putzverkleidung herſtellen; ja man hat an deren Stelle bisweilen nur einen ſchräg anſteigenden Deckenſtreifen aus Holz zur Ausführung gebracht (Fig. 401 [61]).

57) Nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 73.
58) Nach ebendaſ. 1874, Bl. 10.
59) Fakſ.-Repr. nach ebendaſ., Bl. 8, 9.
60) Fakſ.-Repr. nach: Zeitſchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, Bl. 24.
61) Fakſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 57.

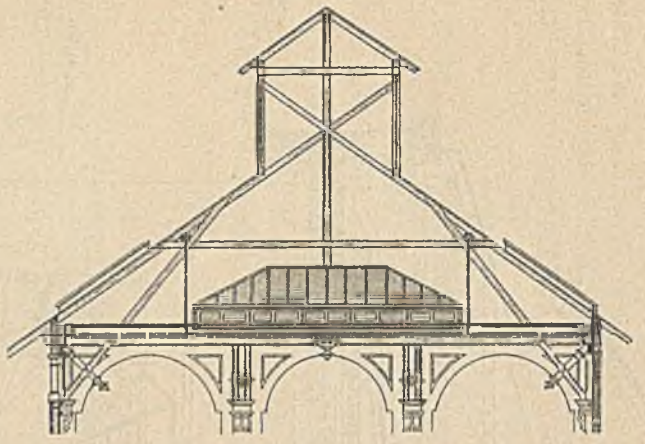
Fig. 404.



Vom phyſiologiſchen Inſtitut der Univerſität zu Heidelberg[64]).

1/200 w. Gr.

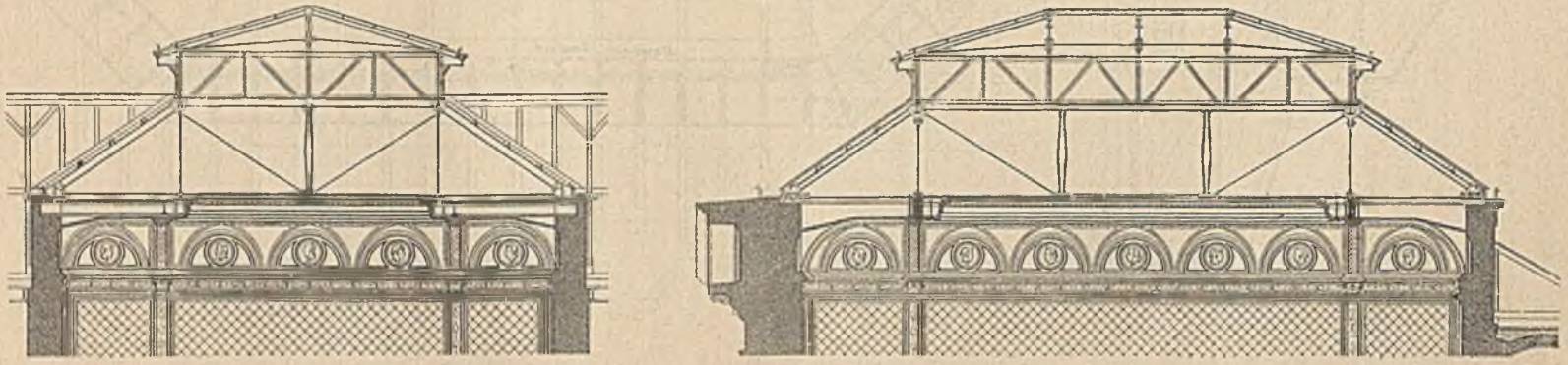
Fig. 405.



Von der Reitbahn von *Benjamin Roth Söhne* zu Frankfurt a. M.[65]).

1/200 w. Gr.

Fig. 406.



Vom Leſeſaal der Univerſitätsbibliothek zu Budapeſt[67]).

1/200 w. Gr.

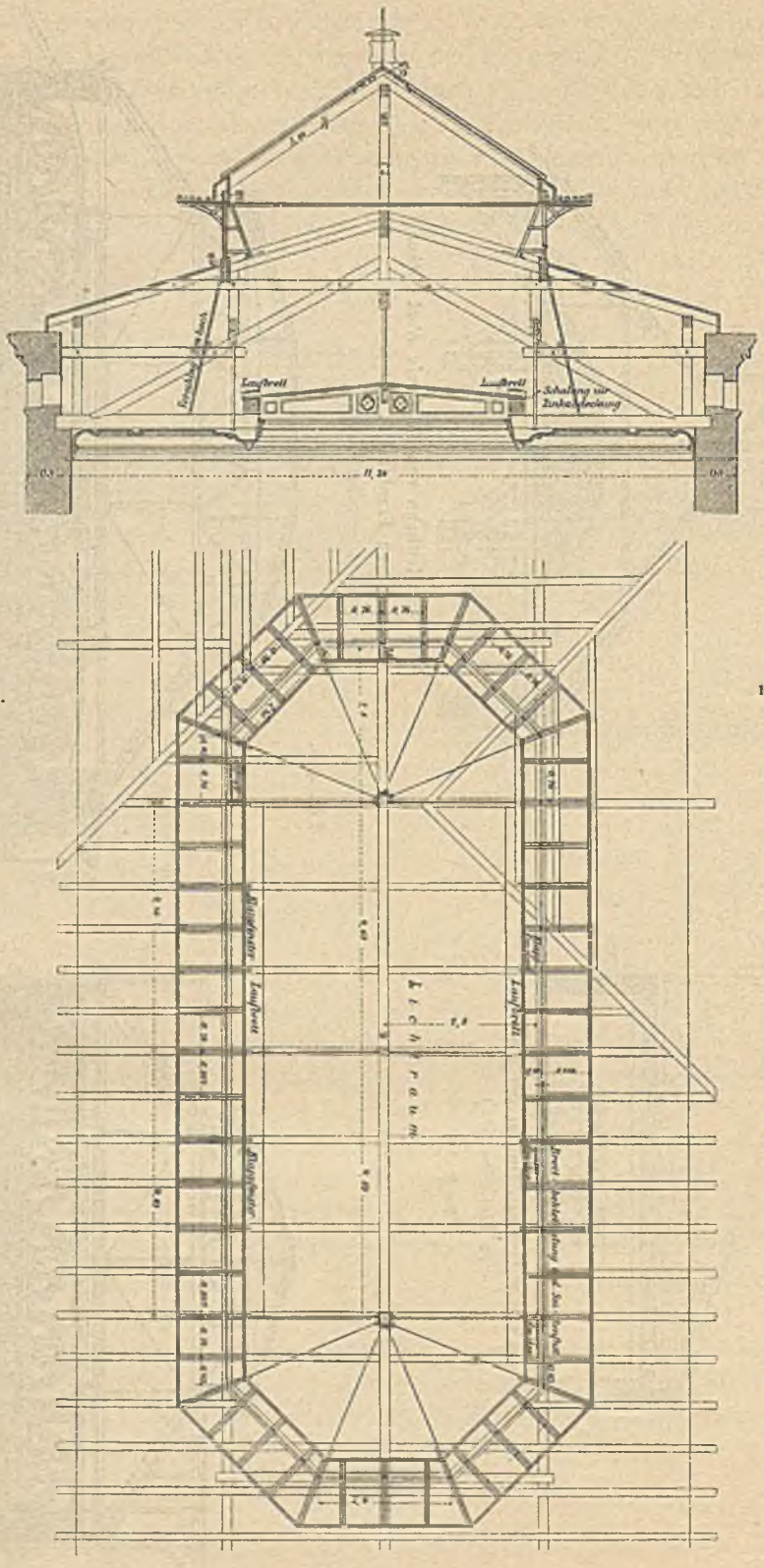


Fig. 407. 1/150 w. Gr.

Vom Leſeſaal der Univerſitätsbibliothek zu Göttingen[66]).

Schliefslich fei auch noch auf das in Art. 110 (S. 196) über die Konftruktion und Berechnung von Spiegelgewölben in Eifen und Stein Gefagte verwiefen.

309. Deckenlichter in gewölbten Decken.

Soll in eine gewölbte Decke ein Deckenlicht eingefetzt werden, fo ift gleichfalls ein dasfelbe begrenzender eiferner Rahmen anzuordnen, in welchem der Sprofsenroft lagert, der die Verglafung aufzunehmen hat. Bei Tonnengewölben wird das Deckenlicht im Grundrifs meift rechteckig, bei fphärifchen Gewölben meift kreisrund oder elliptifch geftaltet fein.

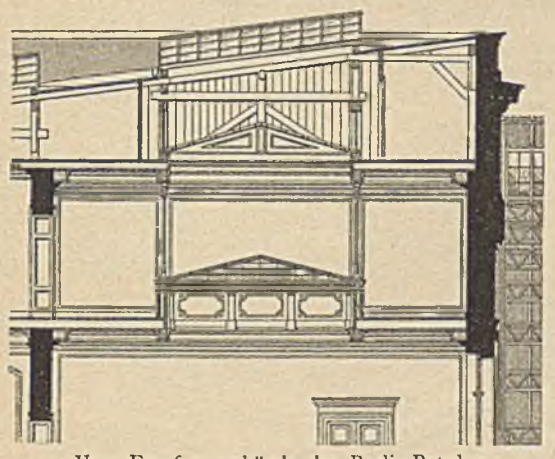
In Fig. 400 [62]) ift ein in ein Tonnengewölbe eingefügtes Deckenlicht, in Fig. 402 [63]) ein folches, das in eine Kugelkappe, und in Fig. 403 eines, welches in ein Kuppelgewölbe eingefetzt ift, dargeftellt.

c) An Dachftühlen hängende oder in anderer Weife damit verbundene Deckenlichter und Glasdecken.

310. Deckenlichter an hölzernen Dachftühlen hängend.

Wenn ein Deckenlicht gröfsere Abmeffungen zu erhalten hat oder wenn die Decke, in welche dasfelbe einzufetzen ift, nicht kräftig genug konftruiert ift, um auch das Gewicht der verglaften Lichtflächenanlage mittragen zu können, fo findet fehr häufig das Aufhängen der letzteren an den darüber befindlichen Dachftuhl ftatt. In der Regel wird der das Deckenlicht begrenzende Rahmen mittels eiferner Hängeftangen mit einem dazu geeigneten Konftruktionsteil des Dachftuhles verbunden; bei gröfseren Anlagen werden aber auch Haupttragefproffen der verglaften Lichtflächen an das Dachwerk gehängt.

Fig. 408.



Vom Empfangsgebäude der Berlin-Potsdam-Magdeburger Eifenbahn zu Berlin [68]).

1/200 w. Gr.

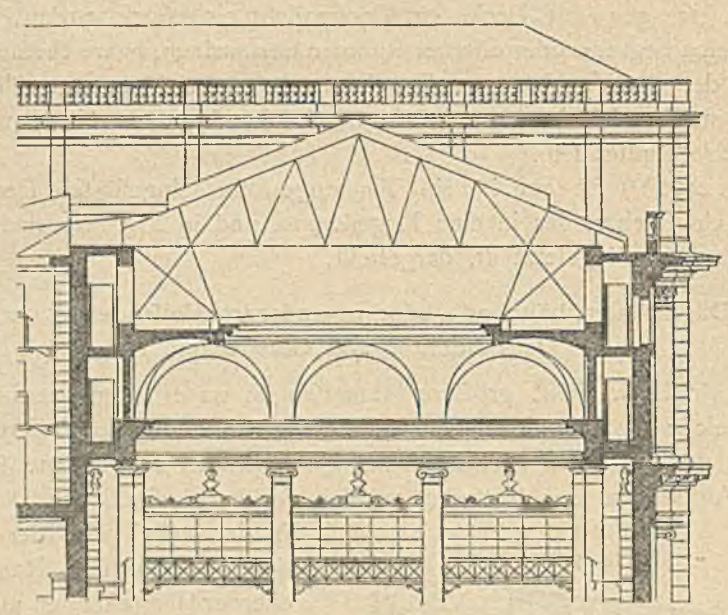
Wenn zunächft hölzerne Dachftühle, an denen Deckenlichter aufgehängt find, berückfichtigt werden follen, fo zeigt Fig. 404 [64]) eine fehr einfache Ausführung diefer Art. Aus der Abbildung ift leicht zu erfehen, wie der hölzerne Rahmen des Deckenlichtes mittels eiferner Hängeftangen an den Sparren des Dachftuhles hängt.

Eine etwas gröfsere einfchlägige Anlage ift durch Fig. 405 [65]) veranfchaulicht. Die eifernen Hängeftangen, welche den Deckenlichtrahmen tragen, find an den Pfetten befeftigt; über dem Dachfirft ift eine Laterne aufgefetzt, deren lotrechte Längswände verglaft find; die Dachflächen find mit Schiefer eingedeckt.

Ein weiteres Beifpiel ift in Fig. 407 [66]) dargeftellt. Hier find es die Stichbalken der hölzernen Balkendecke, welche mittels eiferner Stangen an die Dachkonftruktion aufgehängt find.

62) Fakf.-Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1877, Bl. 58, 59.
63) Fakf.-Repr. nach ebendaf.
64) Fakf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1883, Bl. 24.
65) Fakf.-Repr. nach ebendaf., 1884, Bl. 24.
66) Fakf.-Repr. nach: Zeitfchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1887, Bl. 11.
67) Fakf.-Repr. nach ebendaf. 1880, Bl. 28.
68) Fakf.-Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1877, Bl. 2.

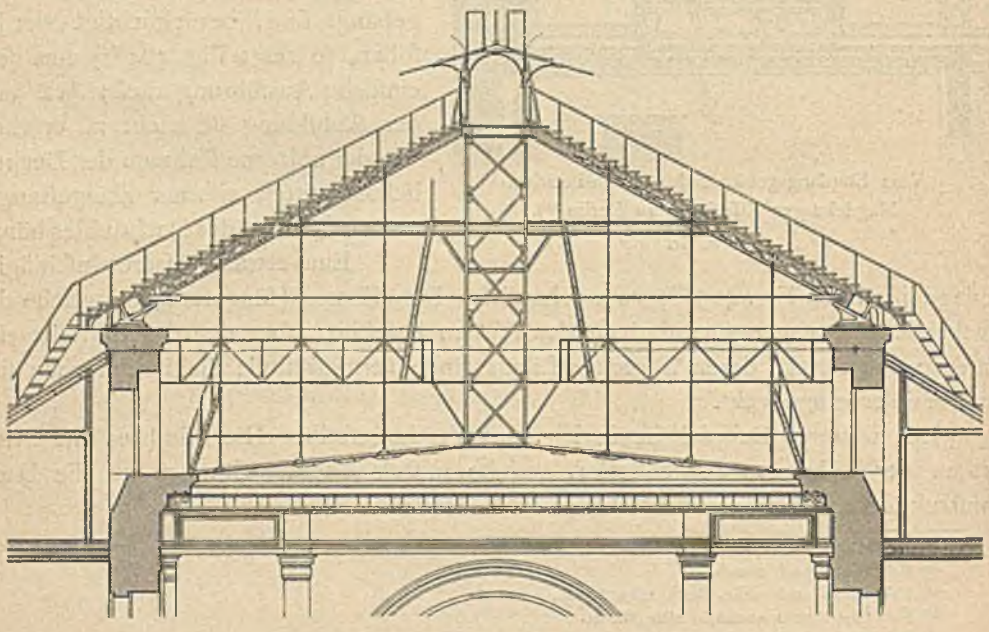
Fig. 409.



Von der Universitätsbibliothek zu Wien[69]).

1/250 w. Gr.

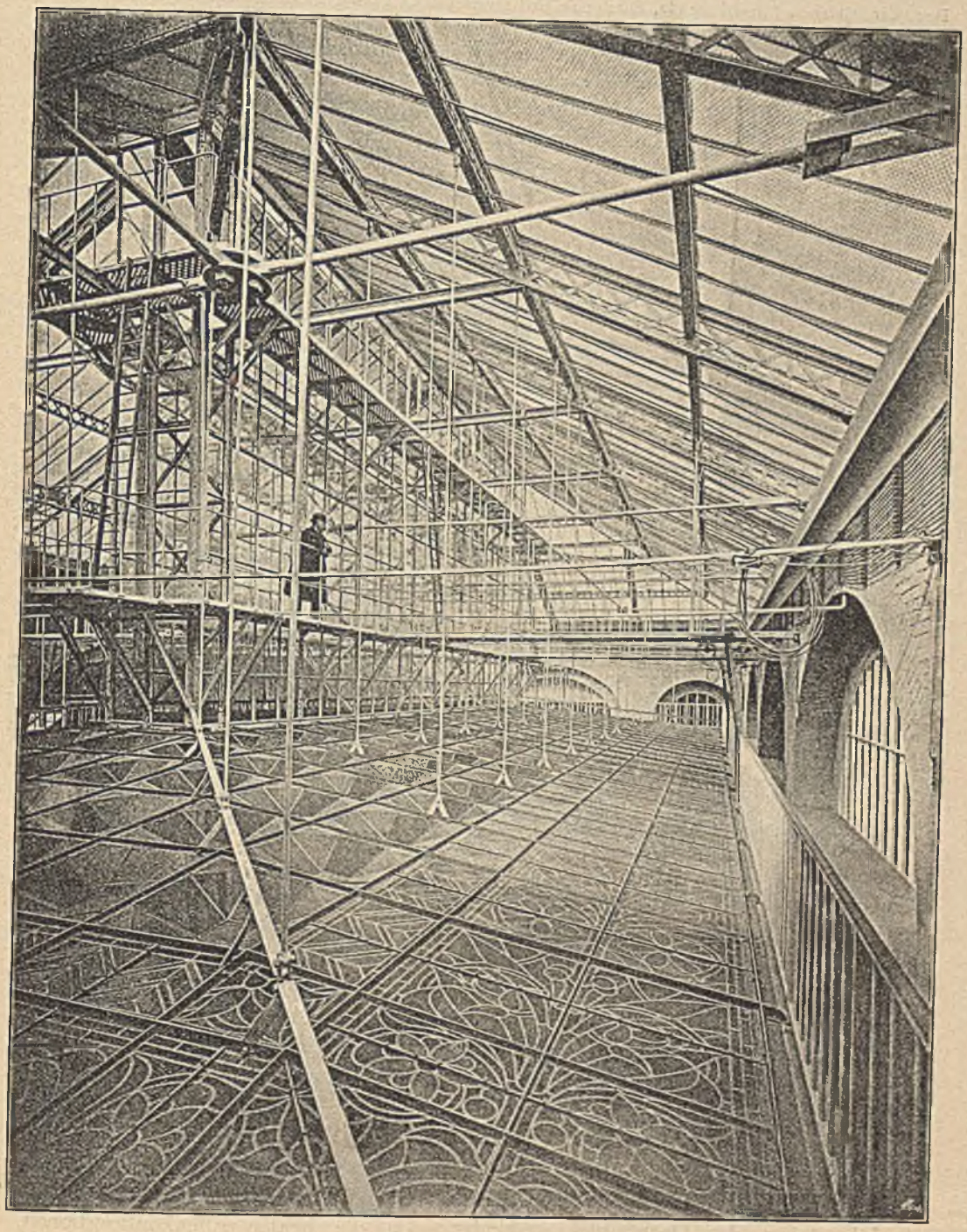
Fig. 410.



Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris[70]).

1/200 w. Gr.

Fig. 411.

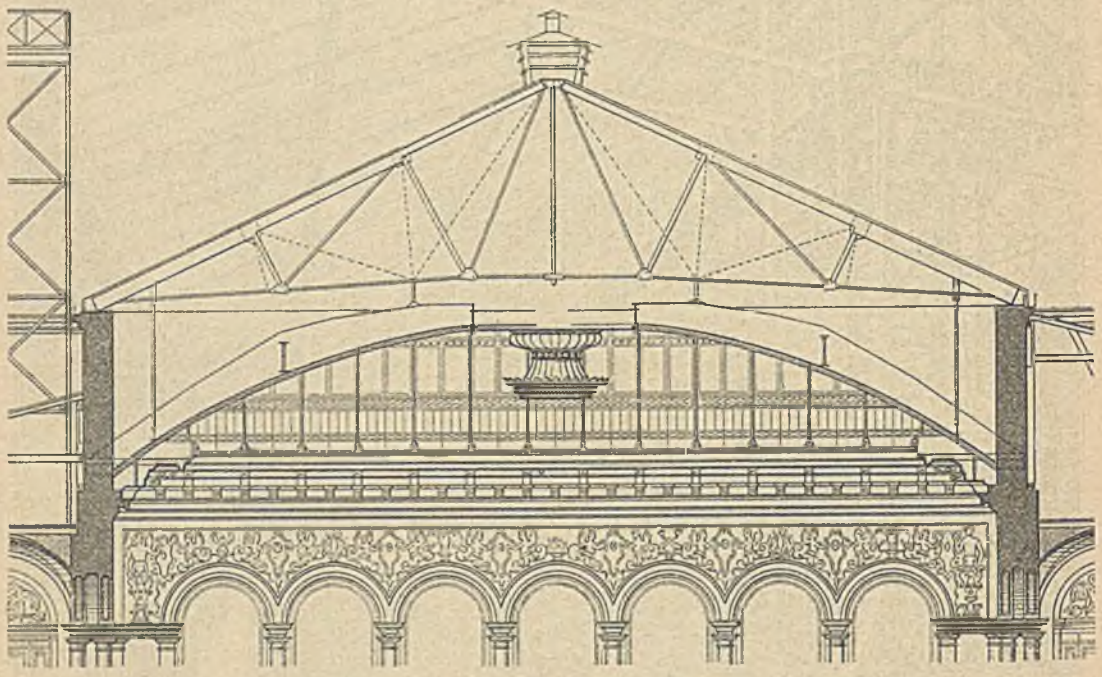


Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris [71]).

Dieſes über einem groſsen Leſeſaal angeordnete Deckenlicht wurde nachträglich zur Ausführung gebracht, nachdem bereits das Dach eingedeckt worden war. Die in der Dachfläche vorhandenen Kehlen gaben Veranlaſſung zu den in Form von halben Achtecken hergeſtellten Endigungen des Deckenlichtes. Der über letzterem ſich erhebende, durch eine Bretterverſchalung gebildete Lichtſchacht hat behufs Durchlüftung Klappenfenſter erhalten; gleichem Zwecke dienen vier Luftſauger, welche auf der Zinkeindeckung des Dachfirſtes aufſitzen. Die Verglaſung iſt mit 3 mm dickem, mattiertem Glas bewirkt worden; für bequeme Reinigung der Scheiben wurden Laufbretter angeordnet.

Die durch Fig. 408 [68]) vorgeführte Ausführung unterſcheidet ſich von den Konſtruktionen in Fig. 405, 406 u. 407 hauptſächlich dadurch, daſs in zwei übereinander

Fig. 412.



Vom groſsen Lichthof der techniſchen Hochſchule zu Berlin-Charlottenburg [72]).

1/200 w. Gr.

gelegenen Räumen Deckenlichter angeordnet ſind; beide ſind an dem darüber befindlichen hölzernen Dachſtuhl aufgehängt, der auch das Dachlicht trägt.

Für das Aufhängen von Deckenlichtern und verglaſten Decken eignen ſich im allgemeinen eiſerne Dachſtühle mehr als ſolche aus Holz, weil bei erſteren die verſchiedenen Konſtruktionsteile viel kleinere Querſchnittsabmeſſungen haben und dadurch der Lichteinfall erheblich begünſtigt wird; auch hat man bei eiſernen Dachwerken in der Anordnung der hauptſächlich in Frage kommenden Konſtruktionsteile meiſt viel freiere Hand als bei hölzernen.

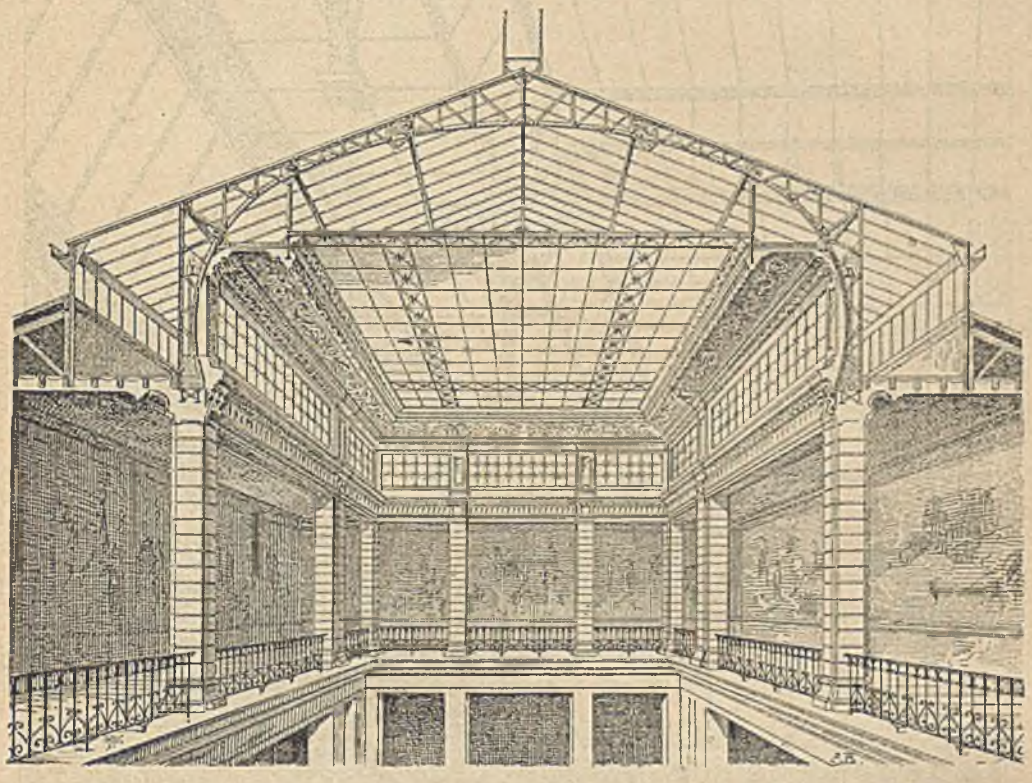
311. Dachlichter an eiſernen Dachſtühlen hängend.

Das Aufhängen geſchieht hier gleichfalls in der Weiſe, daſs man entweder den das Deckenlicht begrenzenden Rahmen oder bei gröſseren Anlagen die Hauptträger der verglaſten Lichtflächen mittels eiſerner Stangen mit hierzu geeigneten Konſtruktionsteilen des Dachſtuhles verbindet. Da die beiden Eiſenkonſtruktionen, namentlich zur Winterszeit, ziemlich verſchiedenen Wärmegraden ausgeſetzt ſind, ſo empfiehlt es ſich, die Anordnung ſo zu treffen, daſs dieſelben unabhängig voneinander kleine Bewegungen machen können.

Ein Deckenlicht, deſſen Umfaſſungsrahmen an den Dachſtuhl aufgehängt iſt, iſt in Fig. 409 [69]) dargeſtellt; dasſelbe zeigt in konſtruktiver Beziehung auch eine Verwandtſchaft mit den in Art. 308 (S. 434) beſprochenen Anlagen.

Fig. 406 [67]) zeigt eine Ausführung, bei welcher der das Deckenlicht einfaſſende Rahmen aus Blechträgern konſtruiert und mittels lotrechter eiſerner Stangen an die Dachpfetten angehängt iſt; überdies ſind auch die Querträger des Deckenlichtes durch ein Hängewerk mit dem Dachſtuhl verbunden.

Fig. 413.



Von der *Banque Secreſtat* zu Bordeaux [73]).

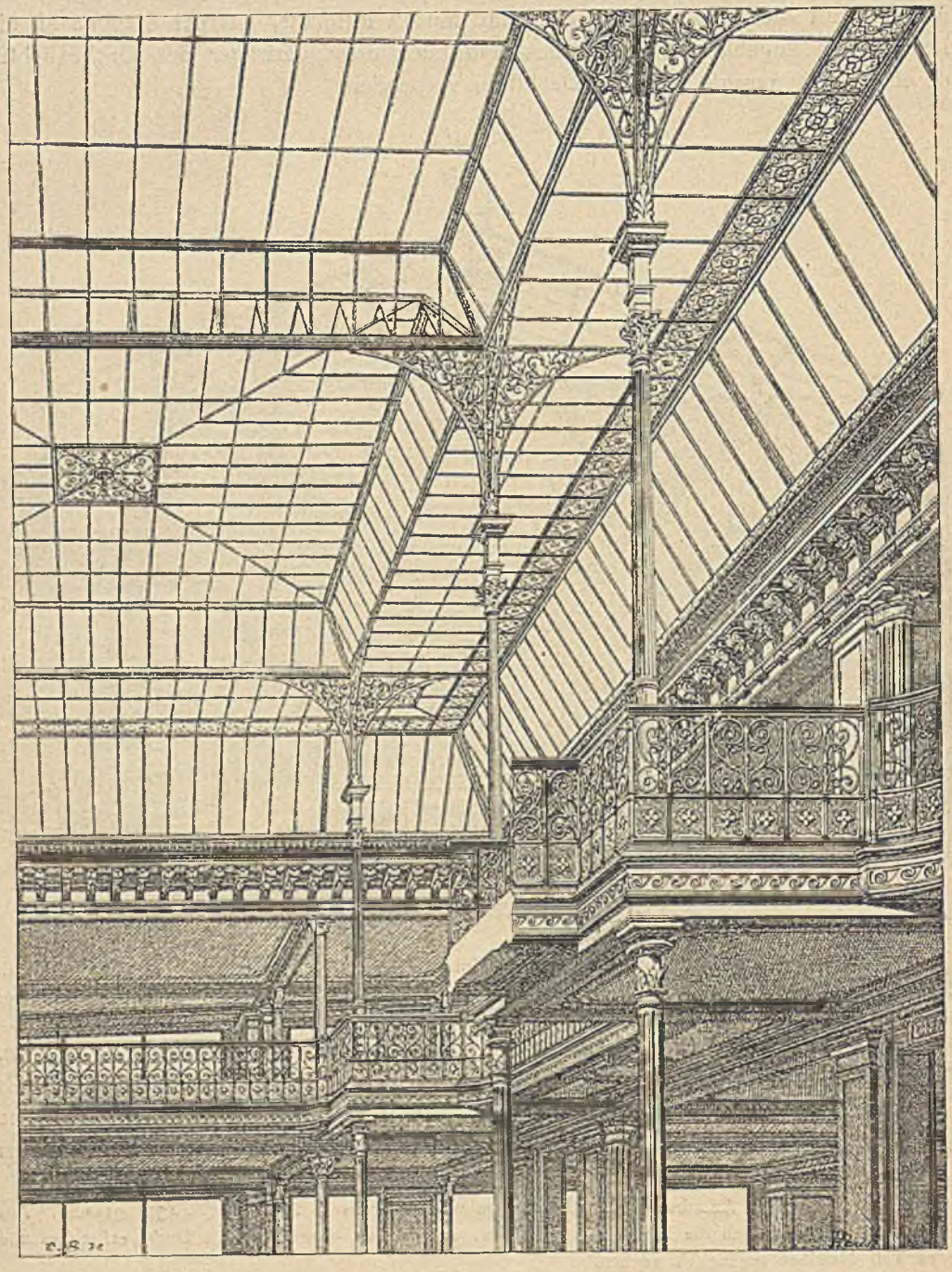
Die breite, durch Stichkappen unterbrochene Hohlkehle, welche das Deckenlicht umrahmt, iſt durch Zwickelfiguren, die Künſte und Wiſſenſchaften darſtellend, geziert, unter denen ſich Portraitmedaillons hervorragender Vertreter derſelben befinden.

Als erſtes Beiſpiel einer verglaſten Decke diene die in Fig. 410 [70]) im Schnitt veranſchaulichte Anlage. Die Hauptträger der Verglaſung ſind mittels lotrechter Eiſenſtangen an die Dachſparren gehängt, und Fig. 411 [71]) giebt eine ſchaubildliche Darſtellung des Raumes zwiſchen Decke und darüber befindlichem Dachlicht.

Der eigenartigen Anordnung der Glasſcheiben wurde bereits in Art. 305 (S. 431) gedacht. Aus Fig. 410 u. 411 ſind auch die Laufſtege zu erſehen, welche ſich über die ganze Decke erſtrecken und jeden Teil derſelben zugänglich machen.

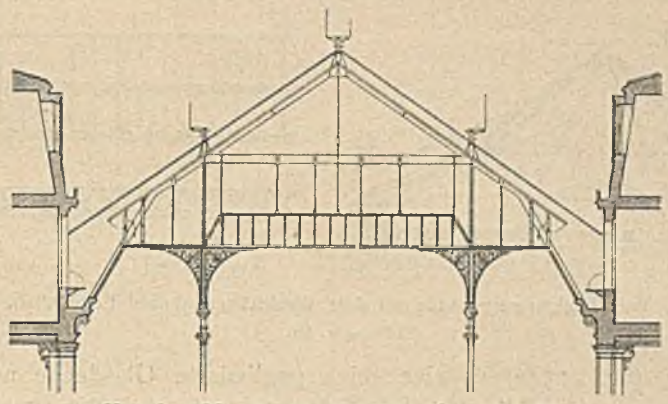
69) Fakſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 40.
70) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 534.
71) Fakſ.-Repr. nach: *Moniteur des arch.* 1885, Pl. 1.
72) Fakſ.-Repr. nach Zeitſchr. f. Bauw. 1886, Bl. 23.
73) Fakſ.-Repr. nach: *La conſtruction moderne*, Jahrg. 8, S. 537.

Fig. 414.



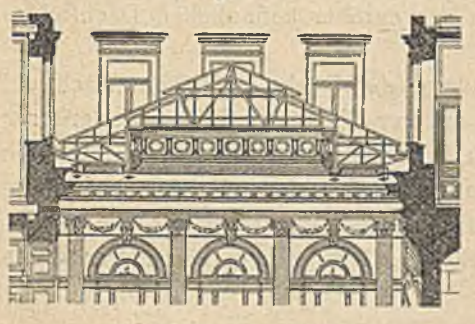
Von den *Magasins du Bon Marché* zu Paris [74]).

Fig. 415.



Von den *Magaſins du Bon Marché* zu Paris [74]).
1/200 w. Gr.

Fig. 416.



Vom Treppenhaus des Gebäudes der *Aſſicurazioni Generali* zu Trieſt [75]).
1/200 w. Gr.

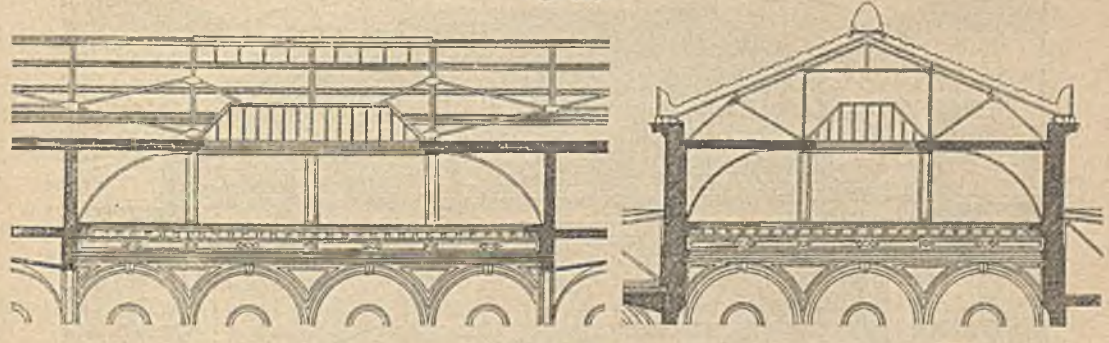
Eine verglaſte Decke von bedeutenden Abmeſſungen, jene über dem groſsen Lichthof der techniſchen Hochſchule zu Berlin-Charlottenburg, zeigt Fig. 412 [72]). Dieſelbe iſt nach oben zu gewölbt und an das darüber befindliche eiſerne Zeltdach gehängt.

Sie hat Bleiverglaſung erhalten, und dicht über ihr liegt noch eine zweite Glasdecke von gewöhnlichem Doppelglas in Kitt, um Staub und Schmutz von der erſteren abzuhalten. Dieſe Decke kann mittels gewöhnlicher Gartenſprenghähne gereinigt werden; das abflieſsende Waſſer wird in Blechrinnen geſammelt und durch die Regenfallrohre abgeführt.

Auch die aus Fig. 413 [73]) erſichtliche Glasdeckenanordnung hat beträchtliche Abmeſſungen; der darunter befindliche Saal hat 225 qm Grundfläche.

Die eigenartig geformten Dachbinder bilden mit ihren nach aufsen gekehrten lotrechten Teilen die Stützen für die Galerieanlage, welche den Saal rings umgiebt. Der die Decke einſchlieſsende, als Blechträger konſtruierte Rahmen iſt an die Dachbinder aufgehangen.

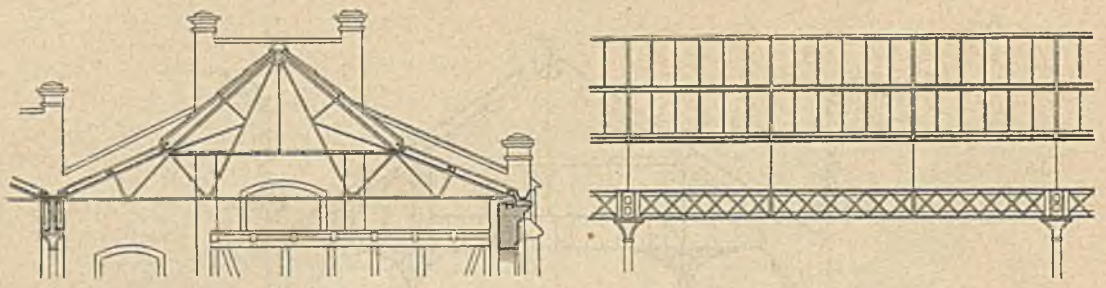
Fig. 417.



Von der öffentlichen Bibliothek zu Stuttgart [76]).
1/200 w. Gr.

[74]) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 510, 511.
[75]) Fakſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1888, Bl. 58.
[76]) Fakſ.-Repr. nach ebendaſ., Bl. 41.

Fig. 418.



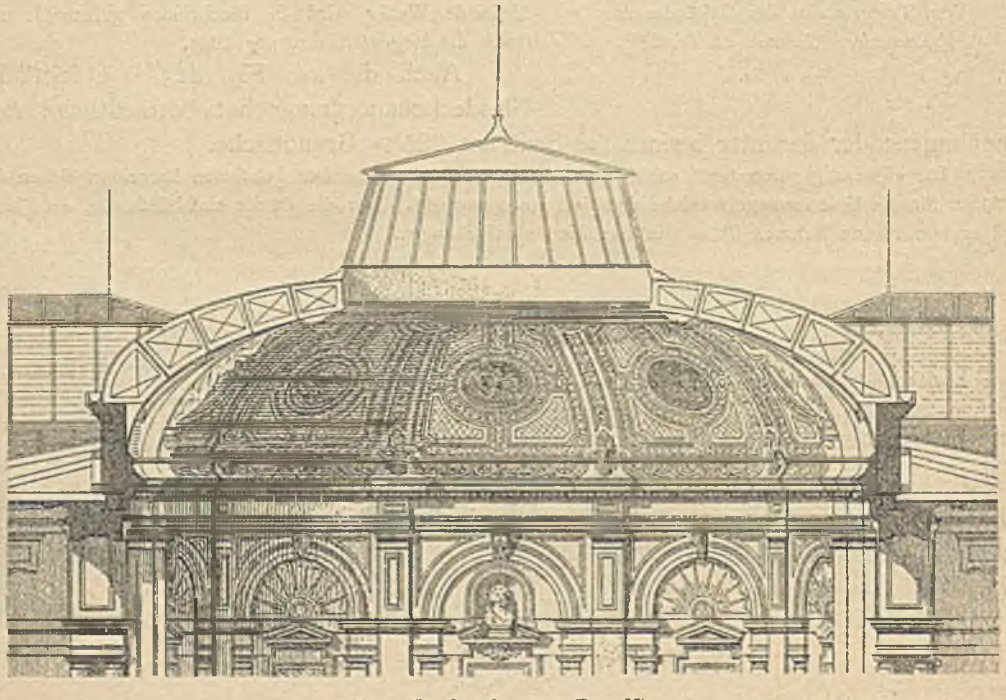
Vom Lackierereigebäude auf dem Werkſtättenbahnhof Leinhauſen.
1/100 w. Gr.

In Fig. 414 u. 415 [74]) iſt eine reich gegliederte Glasdecke aus Paris dargeſtellt. Die 6,80 m breiten Mittelteile derſelben ſind als abgeſtumpfte Pyramiden ausgebildet; der dieſelben ſtützende Rahmen ruht auf Eiſenſäulen, wodurch ſich dieſe Decke den unter 4 vorzuführenden Konſtruktionen nähert. Im übrigen iſt die Glasdecke zum gröſsten Teile an die Kehlbalken des darüber befindlichen Dachſtuhles gehängt.

312. Deckenlicht und Dachſtuhl in anderer Weiſe vereinigt.

Der über einem Deckenlicht oder einer verglasten Decke befindliche Dachſtuhl kann, aufser durch Aufhängung, auch noch in anderer Weiſe den Träger der erſteren bilden. Am häufigſten wird dies in der Weiſe ausgeführt, dafs man die unteren Gurtungen oder andere wagrechte, bezw. liegende Konſtruktionsteile der Dachbinder unmittelbar zu Trägern der verglaſten Lichtflächen macht; dabei wird verhältnismäſsig ſelten in Rückſicht auf das Deckenlicht das Tragwerk in beſonderer Weiſe

Fig. 419.



Vom Kunſtmuſeum zu Bern [77]).
1/150 w. Gr.

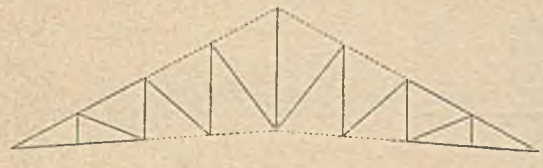
[77]) Fakſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 12.

geſtaltet; meiſt ſind die Dachbinder nach den allgemein gebräuchlichen Syſtemen geſtaltet.

Eine ſolche beſondere Geſtaltung des Tragwerkes zeigen allerdings die in Fig. 416 [75]) u. 417 [76]) dargeſtellten Anlagen, die in gewiſſem Sinne auch den Uebergang von den im vorhergehenden Artikel vorgeführten zu den in Rede ſtehenden Konſtruktionen bilden, da dabei auch eine Aufhängung an den Dachſtuhl ſich vorfindet.

Bei der durch Fig. 418 veranſchaulichten Ausführung hingegen iſt ein ſonſt auch übliches Syſtem von Dachbindern zu erblicken; doch iſt an denjenigen Knotenpunkten, in denen die Sparren geknickt ſind, der aus [-Eiſen gebildete Rahmen befeſtigt, auf welchem das Sproſſenwerk des Deckenlichtes ruht. Zum Tragen des Sproſſenwerkes dient auch noch ein ſtärkerer Längsträger, welcher mit den Firſtknotenblechen durch Hängeſtangen verbunden iſt.

Fig. 420.



Eine unmittelbare Verwendung der Dachbinder in dem Sinne, daſs die obere Gurtung das Dachlicht, die untere Gurtung das Deckenlicht aufnimmt, geſtattet u. a., wie Fig. 420 zeigt, in ſehr einfacher Weiſe der ſog. engliſche Dachſtuhl. Eine ſolche Ausführung iſt z. B. über einem Deckenlichtſaal in der Bildergalerie des alten Muſeums zu Berlin [78]) zu finden.

Auch Kuppeldachkonſtruktionen können, wie aus Fig. 419 [77]) erſichtlich iſt, in dem hier in Rede ſtehenden Sinne für das Anbringen der Deckenlichter ausgenutzt werden. In Fig. 419 nimmt der Druckring der Kuppel, welcher die Laterne zu tragen hat, auch den Umfaſſungsrahmen des Deckenlichtes auf.

d) Verglaſte Decken und Deckenlichter mit beſonderen Tragkonſtruktionen.

Wenn ein Deckenlicht, bezw. eine verglaſte Decke bedeutende Abmeſſungen hat und wenn es aus irgend welchen Gründen nicht angeht, eine konſtruktive Vereinigung mit dem darüber gelegenen Dachwerk durchzuführen, ſo müſſen beſondere Konſtruktionsteile angeordnet werden, welche die verglaſten Lichtflächen zu ſtützen, bezw. zu tragen haben. Verhältnismäſsig ſelten werden dieſe Konſtruktionsteile unter die verglaſte Decke geſetzt; meiſt befinden ſie ſich oberhalb derſelben. Hauptſächlich ſind es Freiſtützen, ausgekragte Träger, Blech- und Gitterträger verſchiedener Art, welche im vorliegenden Falle in Frage kommen. 313. Freiſtützen.

Für die Anwendung von Säulen oder anderen Freiſtützen wurde in Fig. 414 u. 415 (S. 446 u. 447) bereits ein Beiſpiel vorgeführt.

Bei manchen Ausführungen wird der Rahmen, welcher die verglaſte Decke, bezw. das Deckenlicht begrenzt, durch konſolenartige Träger geſtützt, welche in den Umfaſſungsmauern des betreffenden zu erhellenden Raumes in geeigneter Weiſe verankert ſind; bisweilen wird auch noch das Aufhängen an dem darüber befindlichen Dachſtuhle zu Hilfe genommen. 314. Ausgekragte Träger.

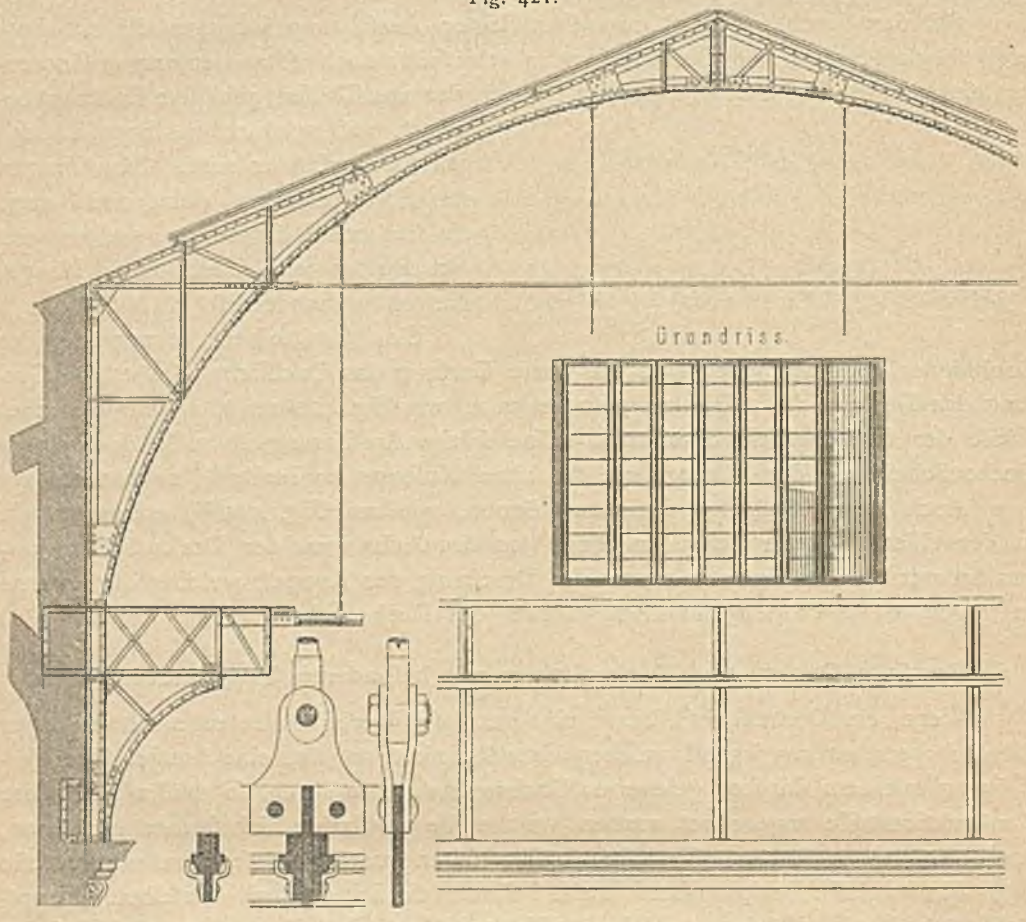
Eine groſse Glasdecke letzterer Art iſt über dem 24,18 m langen und 16,36 m breiten Lichthofe des öſterreichiſchen Muſeums für Kunſt und Induſtrie zu Wien (Fig. 421 [79]) zu finden.

[78]) Siehe darüber: Zeitſchr. f. Bauw. 1871, S. 185 u. Bl. H.

[79]) Fakſ.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.

Diefe Glasdecke wird teils durch Kraganordnungen unterftützt, teils ift fie an den eifernen Bindern des darüber befindlichen Dachftuhles beweglich aufgehängt. Eine mächtige, mit Stichkappen verfehene Hohlkehle bildet die Umrahmung der Glasdecke; fie ift gemauert, und ihr fehr bedeutendes Gewicht wird im wefentlichen von eifernen Kragträgern aufgenommen, welche zum Teile von den Dachbindern getragen werden, zum Teile in den Umfaffungsmauern feft verankert find. Fig. 421 zeigt diefe Träger, und durch eine der beigefügten Teilabbildungen ift die Verbindung der Hängeftange mit den Hauptfproffen der Glasdecke im einzelnen veranfchaulicht[80]).

Fig. 421.



Vom grofsen Lichthof des öfterreichifchen Mufeums für Kunft und Induftrie zu Wien[79]).
1/100, bezw. 1/600 w. Gr.

Derlei auskragende Konftruktionsteile können auch in Holz ausgeführt werden, wie dies die Glasdecken in den Deckenlichtfälen desfelben Mufeums zeigen (Fig. 422[81]).

315. Blech-, Gitter- und andere Träger.

Im allgemeinen einfacher geftaltet fich die Konftruktion der verglaften Decken, wenn man ihr Sproffenwerk durch eiferne Träger, die als Blechträger, Gitterträger oder Bogenträger ausgebildet fein können, unterftützt. Die hauptfächlich vorkommenden Anordnungen find die folgenden:

α) Man bildet die vier Teile des rechteckigen Rahmens, welcher die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht umfchliefst, als Blech- oder Gitterträger aus. Fig. 423 zeigt hierfür ein Beifpiel.

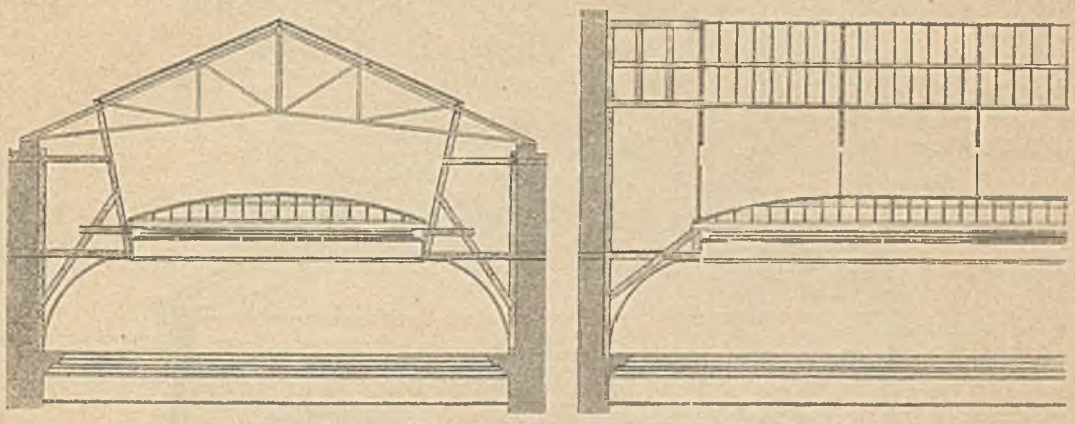
[80]) Bezüglich weiterer Konftruktionseinzelheiten fiehe: WIST, J. Studien über ausgeführte Wiener Bau-Conftructionen. Wien 1872. S. 47 u. Taf. 39.

[81]) Fakf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.

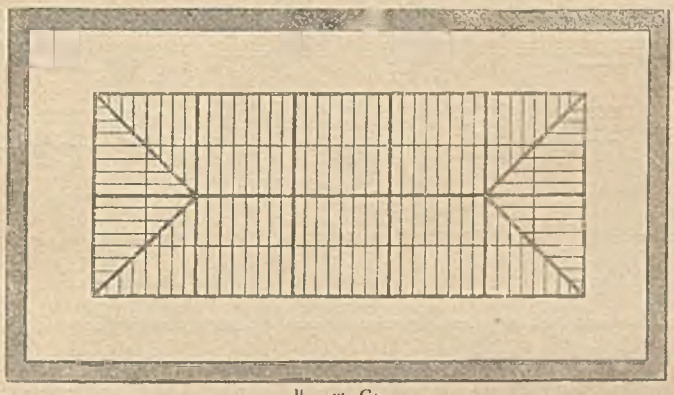
Hier ift der Rahmen aus vier Gitterträgern zufammengefetzt, auf deren unteren Gurtungen das Sproffenwerk ruht, während die oberen Gurtungen der beiden Längsträger der Ueberdachung als Auflager dienen. Der Rahmen felbft wird durch Kragträger geftützt; in der Längenrichtung der Glasdecke find noch zwei gewalzte I-Träger angeordnet, welche diefelbe in drei Felder teilen.

β) Eine weitere Anordnung befteht darin, dafs man in der Längen- und Querrichtung des zu überdeckenden Raumes ftärkere Träger verlegt, auf deren unteren Gurtungen das Sproffenwerk lagert. Bei etwas gröfserer Breitenabmeffung der Decke

Fig. 422.



1/100 w. Gr.



1/200 w. Gr.

Vom öfterreichifchen Mufeum für Kunft und Induftrie zu Wien [81]).

werden diefe Träger eine fo bedeutende Höhe erhalten, dafs man fie, des Lichteinfalles wegen, kaum als Blechträger, fondern als Gitterträger ausführen wird.

In Fig. 424 [82]) ift ein einfchlägiges Beifpiel veranfchaulicht.

Für diefe Glasdecke find der Länge und der Quere nach je zwei Fachwerkträger angeordnet, welche auf den Umfaffungswänden gelagert und überdies durch Hängeftangen mit dem darüber befindlichen Dachftuhl verbunden find. Die Konftruktion des die Glasdecke umrahmenden undurchfichtigen Teiles (aus gewölbten Hohlkehlen etc. gebildet) ift an jene Fachwerkträger angehängt.

Auch die in Fig. 425 [83]) dargeftellte Ausführung, bei der die in Rede ftehenden Träger nach Art der Dachbinder ausgebildet find, gehört hierher.

Hier ift die fchwere gewölbte Hohlkehle gleichfalls mit den Eifenträgern verbunden; indes hat auch eine Verankerung mit den Umfaffungsmauern ftattgefunden.

---

[82]) Nach: Allg. Bauz. 1879, Bl. 69.

[83]) Fakf. Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1879, Bl. 2.

Fig. 423.

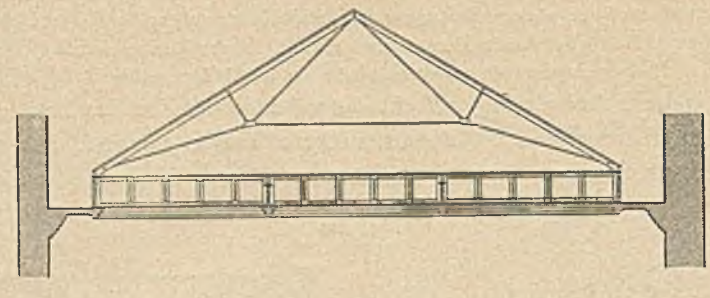
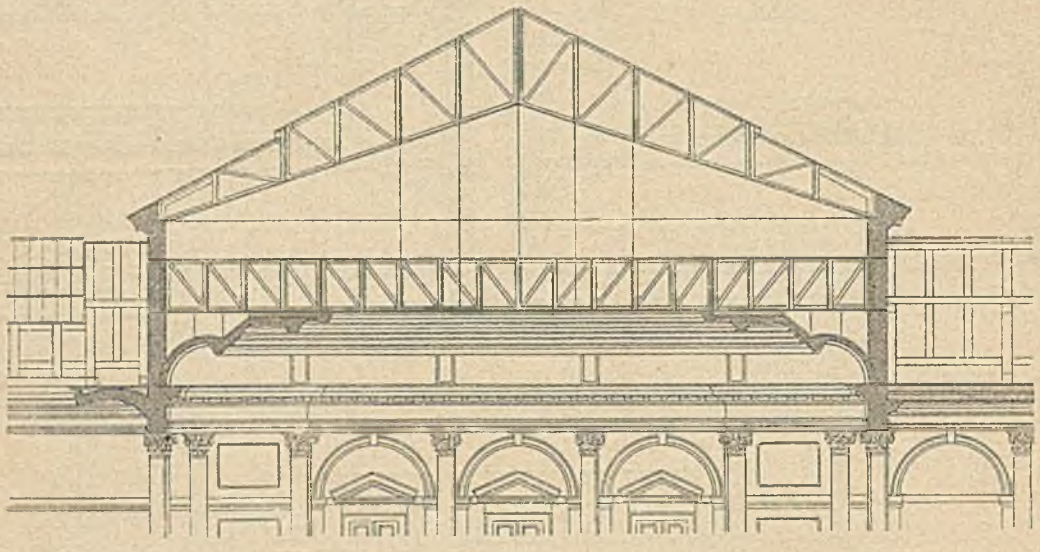
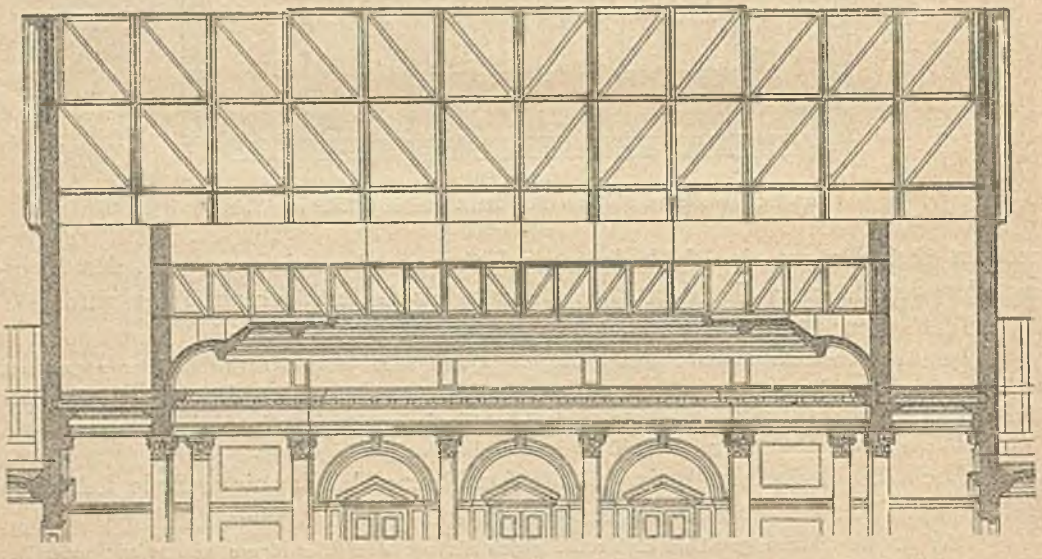


Fig. 424.



Querſchnitt.

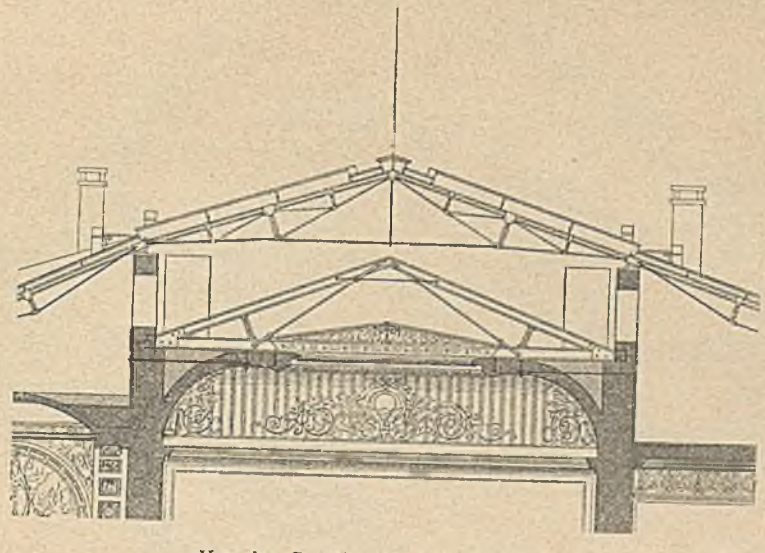


Längenſchnitt.

Vom Sitzungsſaal des Landhauſes zu Brünn [82]).

1/200 w. Gr.

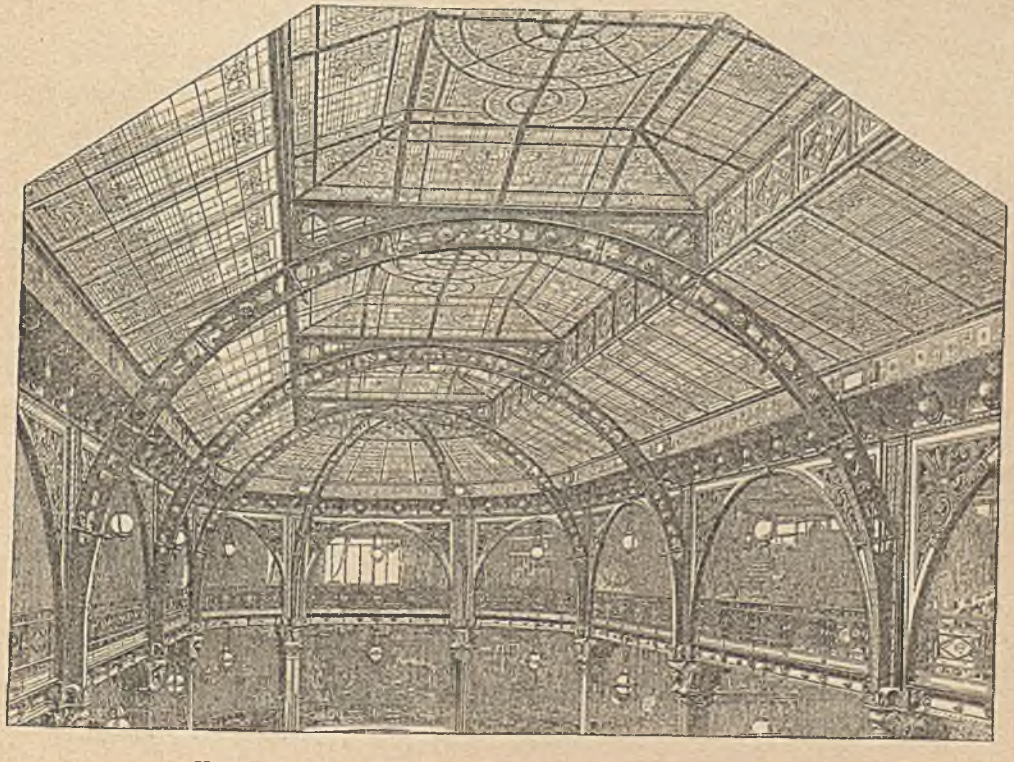
Fig. 425.



Von der Gemäldegalerie zu Kaſſel [83]).

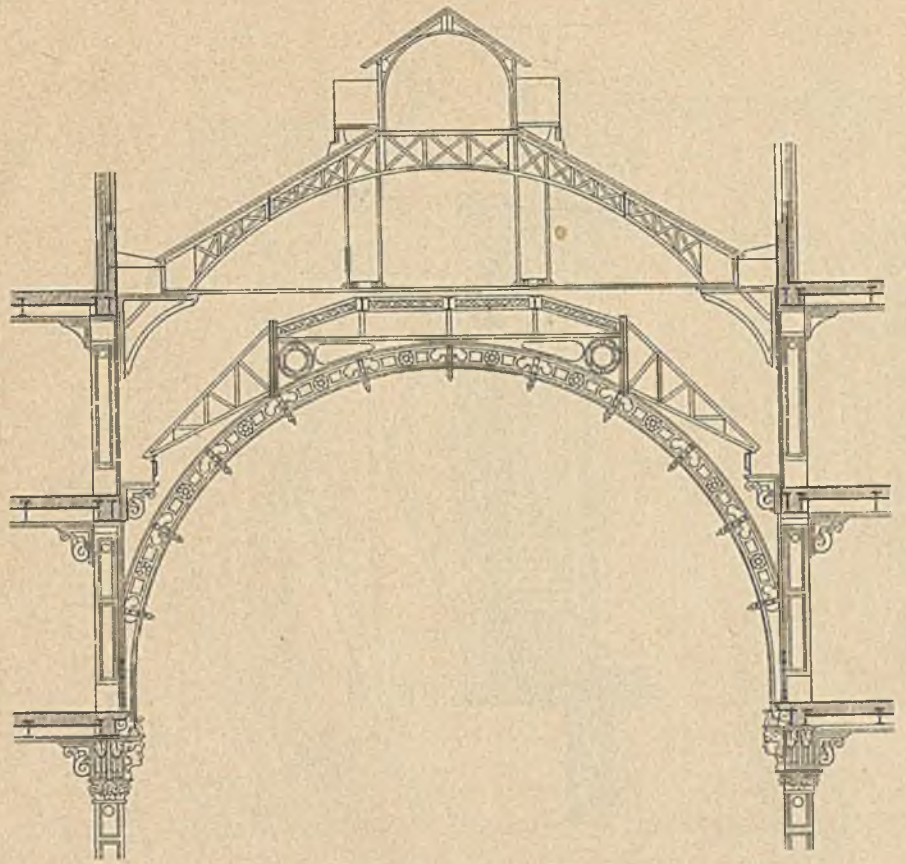
1/150 w. Gr.

Fig. 426.



Von der groſsen Halle der *Magaſins du Printemps* zu Paris [84]).

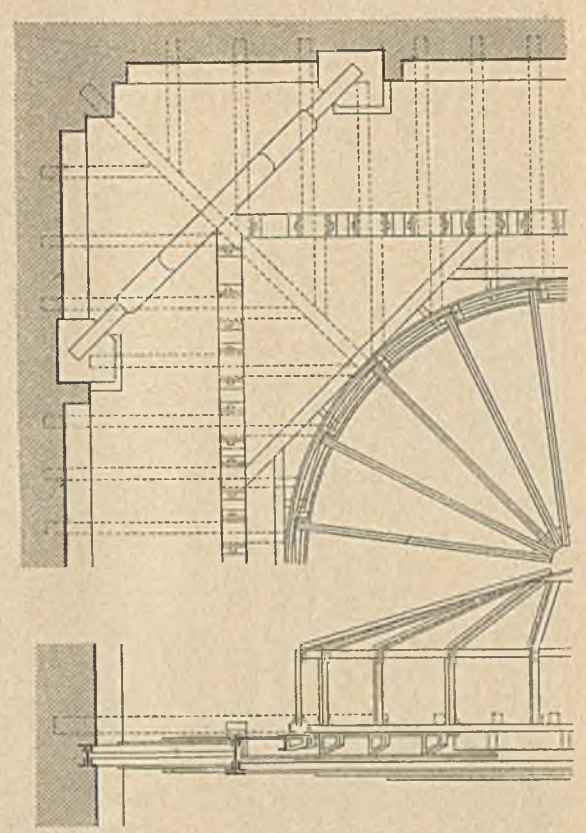
Fig. 427.



Querfchnitt zu Fig. 426 [84]).

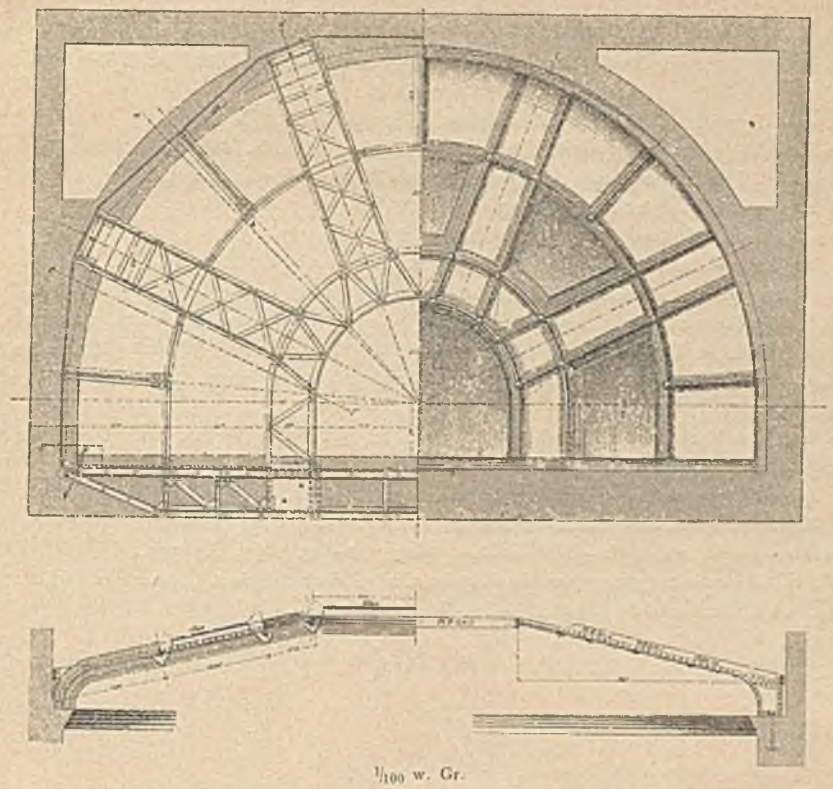
1/150 w. Gr.

Fig. 428.



1/100 w. Gr.

Fig. 429[85]).



1/100 w. Gr.

γ) In wenigen Fällen ſind die Glasdecken von unten aus durch eiſerne Bogenträger unterſtützt worden. Eine bemerkenswerte Konſtruktion dieſer Art zeigen Fig. 426 u. 427[84]); die tragenden Teile der Glasdecke ruhen mit den Füſsen auf Konſolen, im übrigen auf Bogenträgern.

δ) Weniger einfach wird die Anordnung der Träger, ſobald die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht nicht, wie ſeither ſtets vorausgeſetzt wurde, rechteckig geſtaltet iſt, ſondern eine andere Grundform beſitzt. Je nachdem die letztere gebildet iſt und je nach den anderen maſsgebenden Verhältniſſen wird die Ausführung allerdings eine ziemlich verſchiedene ſein.

So z. B. wird man bei einem kreisrunden Deckenlicht über einem quadratiſchen Raume die eiſernen Träger nach Fig. 428 anordnen können.

Der innere Ring dieſer Eiſenkonſtruktion trägt nicht allein das Sproſſenwerk des Deckenlichtes, ſondern auch die zeltdachförmig abgeſchloſſene Dachlaterne.

Iſt hingegen der zu überdeckende Raum ſelbſt rund geſtaltet, ſo ordnet man die Hauptträger am beſten radial an, wie dies z. B. bei der durch Fig. 429[85]) veranſchaulichten Glasdecke über einem halbrunden Treppenhaus von 4,70 m innerem Halbmeſſer geſchehen iſt.

Die Eiſenkonſtruktion bildet hier die Hälfte einer Kuppel, in der die auf Druck beanſpruchten Konſtruktionsteile als Gitterträger ausgebildet ſind. Als eigentliches Tragſyſtem ſind dabei der gitterförmige Druckring, die 4 radial angeordneten Gitterſparren, der Zugring, welcher die Auflager der letzteren verbindet, und der wagrechte Fachwerkträger, welcher die fehlende Kuppelhälfte erſetzt, zu betrachten[85]).

[84]) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 5, S. 42, 43.

[85]) Nach: Zeitſchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 315 u. Bl. 749.

Litteratur

über »Verglaſte Decken und Deckenlichter«.

Schwatlo. Ueber die Anlage von Oberlichtern in eleganten Räumen. Zeitſchr. f. Bauw. 1867, S. 442.

Becker. Ueber Glaslinſen. Zeitſchr. f. Bauweſen 1868, S. 309.

Conſtruction von Oberlichten. Haarmann's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

Die Straſsen-Einfall-Lichter. Haarmann's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1881, S. 188.

Patentirte Einfall-Lichter mit halbprismatiſchen Linſen in Treppenform. Baugwks.-Ztg. 1881, S. 443.

Hayward's pavement lights. Architect, Bd. 27, S. 139.

Oberlicht-Conſtruction. Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 244.

Oberlichter von Linſen- und Prismenglas. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

Laugerey. *Vitres-dalles et planchers translucides. La ſemaine des conſtr.*, Jahrg. 9, S. 582.

Barré, L.-A. *Planchers en fer et en dalles de verre. La ſemaine des conſtr.*, Jahrg. 10, S. 90.

Frangenheim. Einfache Verglaſung der Dächer und Oberlichte. Deutſche Bauz. 1887, S. 417.

Boileau, L.-C. *Les plafonds vitrés. L'architecture,* Jahrg. 3, S. 159; Jahrg. 4, S. 53, 519, 533; Jahrg. 5, S. 41.

Fortſchritte auf dem Gebiete der Architektur. Nr. 2: Verglaſte Decken und Deckenlichter. Von A. Schacht & E. Schmitt. Darmſtadt 1894.

»*Drippleſs*« *and* »*Safety*« *pavement lights. Building news,* Bd. 72, S. 59.

Eckstein, W. *Interior lighting. Builder,* Bd. 74, S. 465.

Beleuchtung dunkler Räume durch »Einfalllichte«. Baugwks.-Ztg. 1899, S. 1373.

Greene, W. H. *Prismatic lighting for the illumination of dark interiors. American architect,* Bd. 69, S. 34. *Architects' and builders' magazine,* Bd. 1, S. 377.

POLITECHNIKA ŚLĄSKA BIBLIOTEKA GŁÓWNA w Gliwicach

Berichtigungen.

S. 9, Fig. 9: Statt »*bu*« zu lesen: »*b — u*«.
S. 40, Zeile 9 v. o.: Statt »*a a*« zu lesen: »*a d*«.
S. 40, Zeile 3 v. u.: Statt »*a*« zu lesen: »*d*«.
S. 67, Zeile 12 v. u.: Statt »$o_1 p l q VI$« zu lesen: »$o_1 p l q III$«.

Wichtigstes Werk für Architekten,

Ingenieure, Bautechniker, Baubehörden, Baugewerkmeister, Bauunternehmer.

Handbuch der Architektur.

Unter Mitwirkung von Prof. Dr. **J. Durm**, Oberbaudirektor in Karlsruhe und Prof. **H. Ende**, Geh. Regierungs- und Baurat, Präsident der Kunstakademie in Berlin, herausgegeben von Prof. Dr. **Ed. Schmitt**, Geh. Baurat in Darmstadt.

Erster Teil.

ALLGEMEINE HOCHBAUKUNDE.

1. Band, Heft 1: **Einleitung.** (Theoretische und historische Uebersicht.) Von Geh. Rat † Dr. A. v. Essenwein, Nürnberg. — **Die Technik der wichtigeren Baustoffe.** Von Hofrat Prof. Dr. W. F. Exner, Wien, Prof. H. Hauenschild, Berlin, Prof. Dr. G. Lauboeck, Wien und Geh. Baurat Prof. Dr. E. Schmitt, Darmstadt. Zweite Aufl.; Preis: 10 M., in Halbfrz. geb. 13 M.

Heft 2: **Die Statik der Hochbau-Konstruktionen.** Von Geh. Baurat Prof. Th. Landsberg, Darmstadt. Dritte Auflage. Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

2. Band: **Die Bauformenlehre.** Von Prof. J. Bühlmann, München. (Vergriffen.) Zweite Auflage in Vorbereitung.

3. Band: **Die Formenlehre des Ornaments.** Von Prof. P. Lauser, Stuttgart. In Vorbereitung.

4. Band: **Die Keramik in der Baukunst.** Von Prof. R. Borrmann, Berlin. Preis: 8 Mark, in Halbfranz gebunden 11 Mark.

5. Band: **Die Bauführung.** Von Geh. Baurat Prof. H. Koch, Berlin. Preis: 12 M., in Halbfrz. geb. 15 M.

Zweiter Teil.

DIE BAUSTILE.

Historische und technische Entwickelung.

1. Band: **Die Baukunst der Griechen.** Von Oberbaudirektor Prof. Dr. J. Durm, Karlsruhe. Zweite Auflage. Preis: 20 Mark, in Halbfranz gebunden 23 Mark.

2. Band: **Die Baukunst der Etrusker und der Römer.** Von Oberbaudirektor Prof. Dr. J. Durm, Karlsruhe. (Vergriffen.) Zweite Auflage in Vorbereitung.

3. Band, Erste Hälfte: **Die altchristliche und byzantinische Baukunst.** Zweite Auflage. Von Prof. Dr. H. Holtzinger, Hannover. Preis: 12 Mark, in Halbfranz gebunden 15 Mark.

Zweite Hälfte: **Die Baukunst des Islam.** Von Direktor J. Franz-Pascha, Kairo. Zweite Auflage. Preis: 12 Mark, in Halbfranz gebunden 15 Mark.

4. Band: **Die romanische und die gotische Baukunst.**

Heft 1: **Die Kriegsbaukunst.** Von Geh. Rat † Dr. A. v. Essenwein, Nürnberg. Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

Heft 2: **Der Wohnbau.** Von Geh. Rat † Dr. A. v. Essenwein, Nürnberg. Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

Heft 3: **Der Kirchenbau.** Von Reg.- u. Baurat M. Hasak, Berlin. In Vorbereitung.

Heft 4: **Die Ausstattung der Kirchen.** Von Reg.- u. Baurat M. Hasak, Berlin. In Vorbereitung.

5. Band: **Die Baukunst der Renaissance in Italien.** Von Oberbaudirektor Prof. Dr. J. Durm, Karlsruhe. In Vorbereitung.

6. Band: **Die Baukunst der Renaissance in Frankreich.** Von Architekt Dr. H. Baron v. Geymüller, Baden-Baden.

Heft 1: **Historische Darstellung der Entwickelung des Baustils.** Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

Heft 2: **Struktive und ästhetische Stilrichtungen. — Kirchliche Baukunst.** Preis: 24 Mark, in Halbfranz gebunden 27 Mark.

Heft 3: **Profanbaukunst. — Dekoration.** In Vorbereitung.

7. Band: **Die Baukunst der Renaissance in Deutschland, Holland, Belgien und Dänemark.** Von Direktor G. v. Bezold, Nürnberg. Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

Jedes Heft bildet ein für sich abgeschlossenes Ganzes und ist auch einzeln käuflich.

DRITTER TEIL.

DIE HOCHBAU-KONSTRUKTIONEN.

1. Band: **Konstruktions-Elemente** in Stein, Holz und Eisen. Von Geh. Regierungsrat Prof. G. BARKHAUSEN, Hannover, Geh. Regierungsrat Prof. Dr. F. HEINZERLING, Aachen und Geh. Baurat Prof. E. MARX, Darmstadt. — **Fundamente.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

2. Band: **Raumbegrenzende Konstruktionen.**

Heft 1: **Wände und Wandöffnungen.** Von Geh. Baurat Prof. E. MARX, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 24 Mark, in Halbfranz gebunden 27 Mark.

Heft 2: **Einfriedigungen, Brüstungen und Geländer; Balkone, Altane und Erker.** Von Prof. † F. EWERBECK, Aachen und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Gesimse.** Von Prof. A. GÖLLER, Stuttgart. Zweite Auflage. Preis: 20 M., in Halbfranz geb. 23 M.

Heft 3, a: **Balkendecken.** Von Geh. Regierungsrat Prof. G. BARKHAUSEN, Hannover. Zweite Aufl. Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

Heft 3, b: **Gewölbte Decken; verglaste Decken und Deckenlichter.** Von Geh. Hofrat Prof. C. KÖRNER, Braunschweig, Reg.-Baumeister A. SCHACHT, Hannover und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 24 Mark, in Halbfranz gebunden 27 Mark.

Heft 4: **Dächer im allgemeinen; Dachformen.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Dachstuhl-Konstruktionen.** Von Geh. Baurat Prof. TH. LANDSBERG, Darmstadt. (Vergriffen.) Zweite Auflage unter der Presse.

Heft 5: **Dachdeckungen;** verglaste Dächer und Dachlichter; massive Steindächer, Nebenanlagen der Dächer. Von Geh. Baurat Prof. H. KOCH, Berlin, Geh. Baurat Prof. E. MARX, Darmstadt und Geh. Oberbaurat L. SCHWERING, St. Johann a. d. Saar. Zweite Auflage. Preis: 26 Mark, in Halbfranz gebunden 29 Mark.

3. Band, Heft 1: **Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Fenster, Thüren** und andere bewegliche Wandverschlüsse. Von Geh. Baurat Prof. H. KOCH, Berlin. (Vergriffen.) Zweite Auflage unter der Presse.

Heft 2: **Anlagen zur Vermittelung des Verkehrs in den Gebäuden** (Treppen und innere Rampen; Aufzüge; Sprachrohre, Haus- und Zimmer-Telegraphen). Von Ober-Ingenieur J. KRÄMER, Dresden, Kaiserl. Rat PH. MAYER, Wien, Baugewerkschullehrer O. SCHMIDT, Posen und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 14 Mark, in Halbfranz gebunden 17 Mark.

Heft 3: **Ausbildung der Wand-, Decken- und Fussbodenflächen.** Von Prof. B. ROSS, Hannover. In Vorbereitung.

4. Band: **Anlagen zur Versorgung der Gebäude mit Licht und Luft, Wärme und Wasser.** Versorgung der Gebäude mit Sonnenlicht und Sonnenwärme. Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — Künstliche Beleuchtung der Räume. Von Geh. Regierungsrat Prof. H. FISCHER und Prof. Dr. W. KOHLRAUSCH, Hannover. — Heizung und Lüftung der Räume. Von Geh. Regierungsrat Prof. H. FISCHER, Hannover. — Wasserversorgung der Gebäude. Von Prof. Dr. O. LUEGER, Stuttgart. Zweite Auflage. Preis: 22 Mark, in Halbfranz gebunden 25 Mark.

5. Band: **Koch-, Spül-, Wasch- und Bade-Einrichtungen.** Von Geh. Bauräten Professoren E. MARX und Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Entwässerung und Reinigung der Gebäude;** Ableitung des Haus-, Dach- und Hofwassers; Aborte und Pissoirs; Entfernung der Fäkalstoffe aus den Gebäuden. Von Privatdocent Bauinspektor M. KNAUFF, Berlin und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Aufl. Preis: 18 M., in Halbfranz geb. 21 M.

6. Band: **Sicherungen gegen Einbruch.** Von Geh. Baurat Prof. E. MARX, Darmstadt. — **Anlagen zur Erzielung einer guten Akustik.** Von Geh. Baurat A. ORTH, Berlin. — **Glockenstühle.** Von Geh. Finanzrat F. KÖPCKE, Dresden. — **Sicherungen gegen Feuer, Blitzschlag, Bodensenkungen und Erderschütterungen; Stützmauern.** Von Baurat E. SPILLNER, Essen. — **Terrassen und Perrons, Freitreppen und Rampen-Anlagen.** Von Prof. † F. EWERBECK, Aachen. — **Vordächer.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Eisbehälter und sonstige Kühlanlagen.** Von Stadtbaurat † G. OSTHOFF, Berlin und Baurat E. SPILLNER, Essen. Zweite Auflage. Preis: 12 Mark, in Halbfranz gebunden 15 Mark.

VIERTER TEIL.

ENTWERFEN, ANLAGE UND EINRICHTUNG DER GEBÄUDE.

1. Halbband: **Die architektonische Komposition.** Allgemeine Grundzüge. Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — Die Proportionen in der Architektur. Von Prof. A. THIERSCH, München. — Die Anlage des Gebäudes. Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — Die Gestaltung der äusseren und inneren Architektur. Von Prof. J. BÜHLMANN, München. — Vorräume, Treppen-, Hof- und Saal-Anlagen. Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. Zweite Auflage.
Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

2. Halbband: **Gebäude für die Zwecke des Wohnens, des Handels und Verkehrs.**

Heft 1: **Wohngebäude.** Von Geh. Hofrat Prof. C. WEISSBACH, Dresden. Unter der Presse.

Heft 2: **Gebäude für Handel und Verkehr.** In Vorbereitung.

Heft 3: **Gebäude für den Post-, Telegraphen- und Fernsprechdienst.** Von Postbaurat R. NEUMANN, Erfurt. Preis: 10 Mark, in Halbfranz gebunden 13 Mark.

3. Halbband: **Gebäude für die Zwecke der Landwirtschaft und der Lebensmittel-Versorgung.**

Heft 1: **Landwirtschaftliche Gebäude und verwandte Anlagen.** Von Prof. A. SCHUBERT, Kassel und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage.
Preis: 12 Mark, in Halbfranz gebunden 15 Mark.

Heft 2: **Gebäude für Lebensmittel-Versorgung** (Schlachthöfe und Viehmärkte; Märkte für Lebensmittel; Märkte für Getreide; Märkte für Pferde und Hornvieh). Von Stadtbaurat † G. OSTHOFF, Berlin und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

4. Halbband: **Gebäude für Erholungs-, Beherbergungs- und Vereinszwecke.**

Heft 1: **Schankstätten und Speisewirtschaften, Kaffeehäuser und Restaurants.** Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — **Volksküchen und Speiseanstalten für Arbeiter; Volks-Kaffeehäuser.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Oeffentliche Vergnügungsstätten.** Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — **Festhallen.** Von Oberbaudirektor Prof. Dr. J. DURM, Karlsruhe. — **Gasthöfe höheren Ranges.** Von Baurat H. v. D. HUDE, Berlin. — **Gasthöfe niederen Ranges, Schlaf- und Herbergshäuser.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage.
Preis: 13 Mark, in Halbfranz gebunden 16 Mark.

Heft 2: **Baulichkeiten für Kur- und Badeorte.** Von Architekt † J. MYLIUS, Frankfurt a. M. und Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — **Gebäude für Gesellschaften und Vereine.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT und Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — **Baulichkeiten für den Sport. Sonstige Baulichkeiten für Vergnügen und Erholung.** Von Oberbaudirektor Prof. Dr. J. DURM, Karlsruhe, Architekt † J. LIEBLEIN, Frankfurt a. M., Oberbaurat Prof. R. REINHARDT, Stuttgart und Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 11 Mark, in Halbfranz gebunden 14 Mark.

5. Halbband: **Gebäude für Heil- und sonstige Wohlfahrts-Anstalten.**

Heft 1: **Krankenhäuser.** Von Prof. O. KUHN, Berlin. Preis: 42 M., in Halbfranz gebunden 45 M.

Heft 2: **Verschiedene Heil- und Pflege-Anstalten** (Irren-Anstalten, Entbindungs-Anstalten, Heimstätten für Genesende); **Versorgungs-, Pflege- und Zufluchtshäuser.** Von Stadtbaurat G. BEHNKE, Frankfurt a. M., Oberbaurat und Geh. Regierungsrat † A. FUNK, Hannover und Prof. K. HENRICI, Aachen. (Vergriffen.) Zweite Auflage in Vorbereitung.

Heft 3: **Bade- und Schwimm-Anstalten.** Von Stadtbaumeister F. GENZMER, Wiesbaden.
Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

Heft 4: **Wasch- und Desinfektions-Anstalten.** Von Stadtbaumeister F. GENZMER, Wiesbaden.
Preis: 9 Mark, in Halbfranz gebunden 12 Mark.

Jedes Heft bildet ein für sich abgeschlossenes Ganzes und ist auch einzeln käuflich.

6. Halbband: **Gebäude für Erziehung, Wissenschaft und Kunst.**

Heft 1: **Niedere und höhere Schulen** (Schulbauwesen im allgemeinen; Volksschulen und andere niedere Schulen; niedere techn. Lehranstalten u. gewerbl. Fachschulen; Gymnasien und Real-Lehranstalten, mittlere techn. Lehranstalten, höhere Mädchenschulen, sonstige höhere Lehranstalten; Pensionate u. Alumnate, Lehrer- u. Lehrerinnen-Seminare, Turnanstalten). Von Stadtbaurat G. Behnke, Frankfurt a. M., Oberbaurat Prof. † H. Lang, Karlsruhe, Architekt † O. Lindheimer, Frankfurt a. M., Geh. Bauräten Prof. Dr. E. Schmitt und † Dr. H. Wagner, Darmstadt.
Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

Heft 2: **Hochschulen**, zugehörige und verwandte wissenschaftliche Institute (Universitäten; technische Hochschulen; naturwissenschaftliche Institute; medizinische Lehranstalten der Universitäten; technische Laboratorien; Sternwarten und andere Observatorien). Von Geh. Oberbaurat H. Eggert, Berlin, Baurat C. Junk, Berlin, Geh. Hofrat Prof. C. Körner, Braunschweig, Geh. Baurat Prof. Dr. E. Schmitt, Darmstadt, Oberbaudirektor † Dr. P. Spieker, Berlin und Geh. Regierungsrat L. v. Tiedemann, Potsdam. (Vergriffen.) Zweite Auflage in Vorbereitung.

Heft 3: **Künstler-Ateliers, Kunstakademien und Kunstgewerbeschulen; Konzerthäuser und Saalbauten.** Von Reg.-Baumeister C. Schaupert, Nürnberg, Geh. Baurat Prof. Dr. E. Schmitt, Darmstadt und Prof. C. Walther, Nürnberg. Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

Heft 4: **Gebäude für Sammlungen und Ausstellungen** (Archive; Bibliotheken; Museen; Pflanzenhäuser; Aquarien; Ausstellungsbauten). Von Baurat † A. Kerler, Karlsruhe, Stadtbaurat A. Kortüm, Halle, Architekt † O. Lindheimer, Frankfurt a. M., Prof. A. Messel, Berlin, Architekt R. Opfermann, Mainz, Geh. Bauräten Prof. Dr. E. Schmitt und † Dr. H. Wagner, Darmstadt. (Vergriffen.) Zweite Auflage in Vorbereitung.

Heft 5: **Theater und Cirkusgebäude.** Von Direktor K. Lautenschläger, München, Baurat M. Semper, Hamburg und Geh. Baurat Prof. Dr. E. Schmitt, Darmstadt. In Vorbereitung.

7. Halbband: **Gebäude für Verwaltung, Rechtspflege und Gesetzgebung; Militärbauten.**

Heft 1: **Gebäude für Verwaltung und Rechtspflege** (Stadt- und Rathäuser; Gebäude für Ministerien, Botschaften und Gesandtschaften; Geschäftshäuser für Provinz- und Kreisbehörden; Geschäftshäuser für sonstige öffentliche und private Verwaltungen; Leichenschauhäuser; Gerichtshäuser; Straf- und Besserungsanstalten. Von Prof. F. Bluntschli, Zürich, Stadtbaurat A. Kortüm, Halle, Prof. G. Lasius, Zürich, Stadtbaurat † G. Osthoff, Berlin, Geh. Baurat Prof. Dr. E. Schmitt, Darmstadt, Baurat F. Schwechten, Berlin, Geh. Baurat Prof. † Dr. H. Wagner, Darmstadt und Baudirektor † Th. v. Landauer, Stuttgart. Zweite Auflage.
Preis: 27 Mark, in Halbfranz gebunden 30 Mark.

Heft 2: **Parlaments- und Ständehäuser; Gebäude für militärische Zwecke.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. P. Wallot, Dresden, Geh. Baurat Prof. † Dr. H. Wagner, Darmstadt und Oberstleutnant F. Richter, Dresden. Zweite Aufl. Preis: 12 Mark, in Halbfranz gebunden 15 Mark.

8. Halbband: **Kirchen, Denkmäler und Bestattungsanlagen.**

Heft 1: **Kirchen.** Von Hofrat Prof. Dr. C. Gurlitt, Dresden. In Vorbereitung.

Heft 2 u. 3: **Denkmäler.** Von Architekt A. Hofmann, Berlin. Unter der Presse.

Heft 4: **Brunnendenkmäler.** Von Architekt A. Hofmann, Berlin. In Vorbereitung.

Heft 5: **Bestattungsanlagen.** Von Architekt A. Hofmann, Berlin. In Vorbereitung.

9. Halbband: **Der Städtebau.** Von Geh. Baurat J. Stübben, Köln. Preis: 32 M., in Halbfrz. geb. 35 M.

10. Halbband: **Die Garten-Architektur.** Von Baurat A. Lambert und Architekt E. Stahl, Stuttgart.
Preis: 8 Mark, in Halbfranz gebunden 11 Mark.

Das »Handbuch der Architektur« ist zu beziehen durch die meisten Buchhandlungen, welche auf Verlangen auch einzelne Bände zur Ansicht vorlegen. Die meisten Buchhandlungen liefern das »Handbuch der Architektur« auf Verlangen sofort vollständig, soweit erschienen, oder eine beliebige Auswahl von Bänden, Halbbänden und Heften auch gegen monatliche Teilzahlungen. Die Verlagshandlung ist auf Wunsch bereit, solche Handlungen nachzuweisen.

Stuttgart,
im Februar 1901.

Arnold Bergsträsser Verlagsbuchhandlung
A. Kröner.

BG Politechniki Śląskiej
nr inw.: 102 - 139222
Dyr.1 139222