



## **Balkendecken**

**Barkhausen, Georg**

**Stuttgart, 1895**

3) Ausführung der cylindrischen Kreuzgewölbe

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-77494](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-77494)

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 Nothbehelfe angesehen werden.

Die aus Flach- oder Runderisen 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. Eben so könnten bei offenen Kreuzgewölben zur Verankerung der Eckpfeiler und auch der Zwischenpfeiler die einzelnen Gurtbogen durch Ankerstangen, welche in der Kämpferebene angebracht würden, kräftig verpannt werden. Für diese einfachen Verankerungen gilt das in Art. 178 (S. 268) beim Kappengewölbe über Verstärkung seiner Widerlager Gefagte ebenfalls.

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. 446 u. 447. Bei der Anordnung I ist ein Gelenksystem gebildet, um ein zweckmäßiges Einleiten von Zugspannungen, hervorgerufen vom Gewölbschube am Widerlager der Grat- oder Gurtbogen, in die einzelnen Theile zu bewirken. Für die Berechnung der Querschnitte der Zugstangen, Ankerplatten u. f. f. ist aber zweckmäßig von einem Gewölbschube auszugehen, welcher einer Maximaldrucklinie im Grat-, bezw. Gurtbogen angehört, sonst jedoch nach dem in Art. 178 (S. 268) Vorgetragenen zu verfahren. Die Verankerung II, welche in ihrer aus der Zeichnung deutlich zu erkennenden Anordnung einer von *Durm* bei einem Tonnengewölbe mit Stichkappen ausgeführten Anker-Construction<sup>178)</sup> entspricht, läßt sich auch bei Kreuzgewölben verwenden.

263.  
Unsichtbare  
Ver-  
ankerungen.

### 3) Ausführung der cylindrischen Kreuzgewölbe.

Die Kappen und die Gratbogen der cylindrischen Kreuzgewölbe sind Bestandtheile eines Tonnengewölbes. Ihre Ausführung hat also nach den Vorschriften zu geschehen, welche in Kap. 9, unter c mitgetheilt sind. Selbst die von den Römern geschaffenen, mit großen Spannweiten behafteten Kreuzgewölbe, welche im Allgemeinen aus Backsteinmaterial in Verbindung mit Gufswerk aus Steinbrocken und Mörtel bestanden<sup>179)</sup>, hatten die Ausführung der ähnlich hergestellten Tonnengewölbe zur Grundlage.

264.  
Material.

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 Cementmörtel oder Cementmörtel allein. Das über diese Materialien beim Tonnengewölbe in Art. 150 (S. 218) Mitgetheilte trifft auch beim Kreuzgewölbe zu.

Cylindrische Kreuzgewölbe werden im Allgemeinen auf einer durch Lehrgerüste unterstützten Schalung eingewölbt.

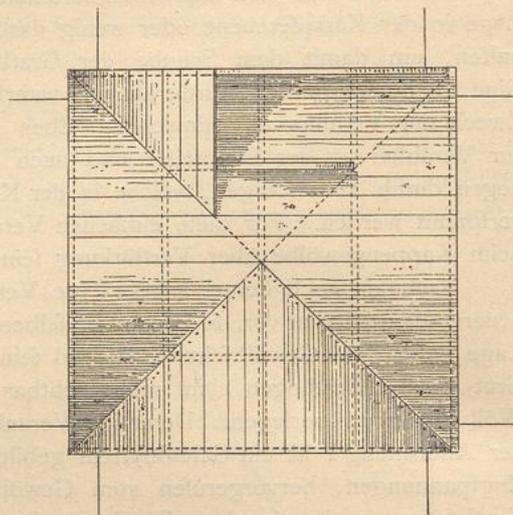
265.  
Lehrgerüste.

<sup>178)</sup> Siehe: *DURM*, J. Der neue Friedhof in Karlsruhe. *Zeitschr. f. Bauw.*, S. 3 u. Bl. 1-9.

<sup>179)</sup> Siehe Theil II, Band 2 dieses »Handbuches«.

Kleine Gewölbe, bis etwa 4<sup>m</sup> Weite, ohne Stechung können, wie in Art. 152 (S. 220) angegeben ist, nach Art eines Tonnengewölbes mit rechtwinklig angefügten Stiechkappen eingeschalt werden (Fig. 448). Hierbei werden an den Stirnen des Kreuzgewölbes einfache Lehrbogen oder auch gewöhnliche Wölfscheiben als Randbogen aufgestellt. Zwei einander gegenüber liegende Randbogen tragen eine durchgehende Schalung, welche die Mantelfläche eines gewöhnlichen Tonnengewölbes liefert. Beträgt der Abstand dieser Randbogen über 2<sup>m</sup>, so wird zur besseren Unterstützung der Schalung noch eine Wölfscheibe oder ein Lehrbogen in der Mitte zwischen den Randbogen aufgestellt. Auf der Schalung sind die Gratlinien unter Anwendung einer gefärbten Schnur genau und deutlich vorzureißen. Von denselben aus erfolgt die weitere Einschaltung der an das Gewölbe tretenden Querkappen bis zu den hierzu

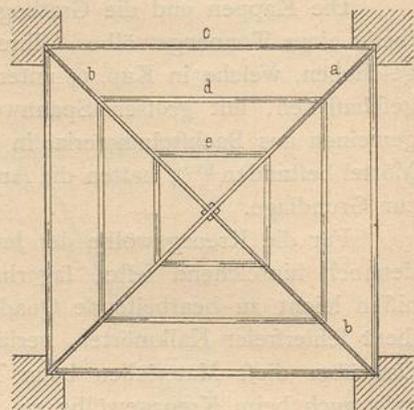
Fig. 448.



gehörigen Lehrbogen oder Wölfscheiben an den beiden anderen Randbogen. Auch diese Schalung kann nach Erfordernis noch durch Wölfscheiben unterstützt werden, welche alsdann ihr Lager auf der ersten Hauptschalung finden. Je sorgfältiger diese zweite Schalung bezüglich der Gratlinien vorgenommen ist, um so scharfer kommen die Grate nach der Ausführung des Gewölbes zum Ausdruck.

Größere Kreuzgewölbe, namentlich solche, welche Stechung erhalten sollen, müssen in anderer Weise eingerüstet werden. Sowohl für die Gratbogen, als auch für die Gewölbkappen werden besondere Lehrbogen aufgestellt. Nach Fig. 449 ist mit *a* ein ganzer, von einer Ecke zur gegenüber liegenden Ecke durchgeführter Lehrbogen für einen Gratbogen bezeichnet. Der Lehrbogen des anderen Grates besteht aus zwei Theilen *b*, welche sich gegen den Lehrbogen *a* setzen und an demselben fachgemäß befestigt werden. Wie beim Klostersgewölbe in Art. 216 (S. 322) angeführt, werden diese Gratlehrbogen auch hier an ihrer Kreuzungsstelle durch einen Pfosten (Mäkler, Mönch) unterstützt. Für die Kappen werden Randlehrbogen *c* und bei größerer Länge der Kappen noch in Entfernungen von 1,0<sup>m</sup> bis 1,5<sup>m</sup> Zwischenbogen *d, e* aufgestellt. Dieses Bogen-

Fig. 449.

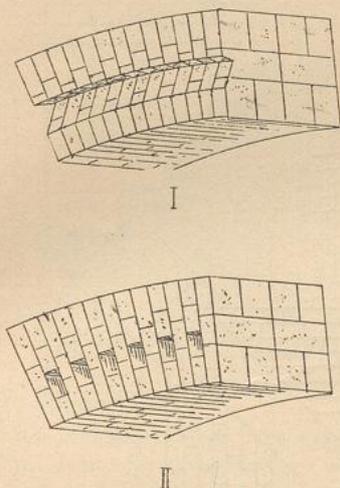


system nimmt dann die Schalbretter oder die Schallatten auf. Sie sind zur Erzielung einer scharfen Gratlinie in ihrem Lager auf jedem Gratbogen genau zusammenzuschneiden, so daß ihre Fuge hier der Wölblinie des Grates vollständig entspricht. Das Austragen der oberen Begrenzungslinien der verschiedenen Lehrbogen erfolgt

in der bei der Ausmittlung der Hauptstücke des Kreuzgewölbes gezeigten Weise. Die Construction der Lehrbogen geschieht nach den in Art. 152 (S. 220) gegebenen Mittheilungen. Eben so sind die Unterlagerungen, Ausrüstungsvorrichtungen und die Schalung des gefamnten Lehrgerüstes, wie beim Tonnengewölbe in Art. 154 bis 157 (S. 224 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

Fig. 450.



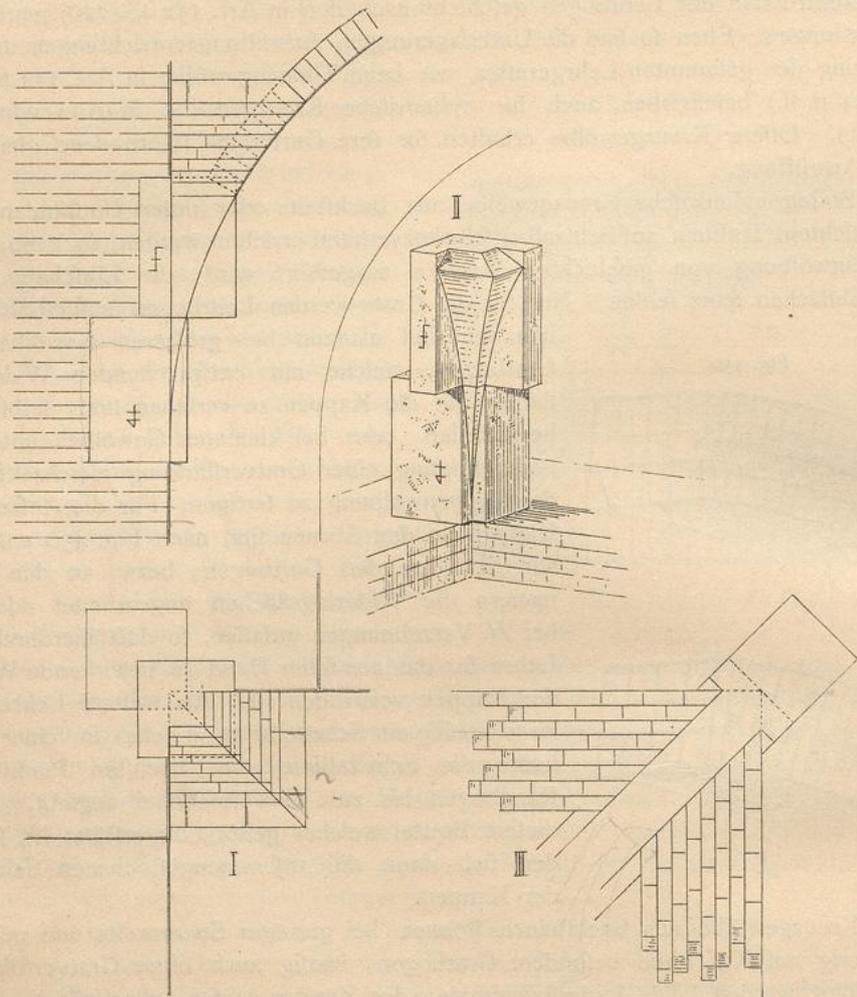
hierüber sind alsdann bei größeren Gewölben die Gratbogen, welche mit entsprechenden Widerlagsflächen für die Kappen zu versehen sind, selbständig herzustellen, oder bei kleineren Gewölben unter Berücksichtigung einer Gratverstärkung gleichzeitig mit der Kappenwölbung zu fertigen. Für die Ansätze der Kappen an den Stirnen sind nach Fig. 450 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 anliegt. Ueber diesem Brette, welches gehörig unterstützt ist, schneiden sich dann die zusammengeftochenen Schichten der Kappen.

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, gleichgiltig, ob das Gewölbe eine Stechung erhält oder nicht, in ihrer wagrechten Projection parallel mit den Axen der Kappen; sie sind, wie Fig. 451 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 Gewölbefuß für jede Kappe vorhanden ist. Sollen die Grate eine Verstärkung erhalten, so kann nach Fig. 452 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

266.  
Kreuzgewölbe  
aus  
Backsteinen.

Fig. 451.

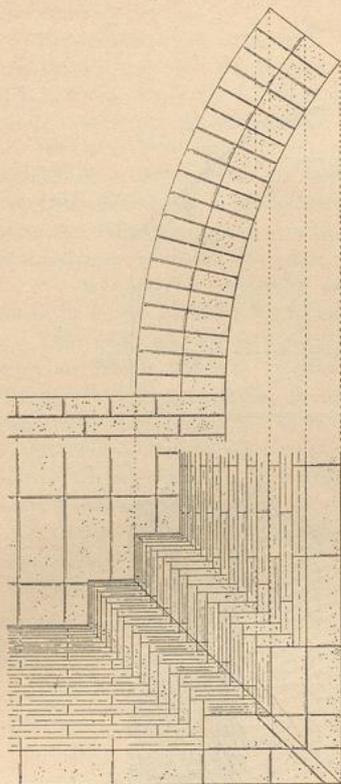


Widerlager für die Kappen bekommen, so wird hierdurch am Verbande der Kappen nichts geändert, selbst wenn dieselben einer größeren Belastung halber statt  $\frac{1}{2}$  Stein 1 Stein stark werden müßten.

Beim Vorhandensein von besonderen Gratbogen kann auch die Einwölbung der Kappen im *Moller'schen* Verbande nach der Anordnung *III* in Fig. 451 stattfinden.

In den weitaus meisten Fällen wird die Einwölbung der Kappen der cylindrischen Kreuzgewölbe aus Backstein auf Schwalbenschwanz-Verband vorgenommen. Ein einigermaßen weit gespanntes Gewölbe erhält dann am besten immer selbständig auf Kufverband ausgeführte Gratbogen. Bei strenger und fachgemäßer Durchführung der Wölbung der Kappen auf Schwalbenschwanz-Verband sollen die einzelnen Lagerflächen der Wölbchichten Ebenen angehören, welche rechtwinkelig zur Richtungsebene des Gratbogens und senkrecht zur Wöblinie desselben stehen. Die Schnittlinien dieser fog. Normalebene des Grates mit den Kappenflächen bilden die Wöblinien der Schichten. Die jeder Schicht zugehörige Widerlagsfuge, bezw. Widerlagsfläche

Fig. 452.



am Grat- und am Rundbogen voll fenkrecht zu den entstehenden Wöblinien gerichtet sein. Die für diese Forderungen nothwendigen zeichnerischen Ermittelungen sind in Fig. 453 ange stellt.

Für das zu Grunde gelegte Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundriss ist der Stirnbogen  $P$  der kleinen Seiten ein Halbkreis, der Randbogen  $U$  der langen Seiten eine halbe Ellipse mit der großen Halbaxe  $\delta u$  und der kleinen Halbaxe  $\delta \delta_1$  gleich dem Halbmesser  $\gamma u$ , bzw.  $\gamma \gamma_1$  des Halbkreises  $P$ . Die wagrechte Projection des Gewölbscheitels ist  $s$ ; die Geraden  $s\gamma$  und  $s\delta$  sind die wagrechten Projectionen der geraden Scheitellinien für die mit einer Stechung  $ab$  versehenen Kappen  $A$  und  $B$ . Die Richtungsebene des Gratbogens von der Breite  $\alpha\beta$  ist  $Rs$ .

Nach den in Art. 241 (S. 355) gemachten Mittheilungen ist auf dem aus der Zeichnung ersichtlichen Wege die lothrechte Projection  $as_1$  der Wöblinie des Grates (Gratlinie) erhalten. Dieselbe gehört hier einer Ellipse mit den halben conjugirten Durchmessern  $ab$  und  $b s_1$  an. Sollten die reellen Axen dieser Ellipse gefunden werden, so könnte man sich des in Art. 135 (S. 174) bei Fig. 284 angegebenen Verfahrens bedienen.

Für einen beliebig angenommenen Punkt  $f$  der Gratlinie ist mit Hilfe des halben Stirnbogens  $e s_1$ , entsprechend dem grundlegenden Halbkreise  $P$ , eine Tangente  $T$  fest gelegt. Die in  $f$  auf  $T$  errichtete Lothrechte giebt in  $NE$  die Spur der vorhin bezeichneten Normalebene zum Grat in der lothrechten Projectionsebene, während das in  $E$  auf  $ad$  errichtete Loth  $EF$  die Spur jener Normalebene in der wagrechten Kämpferebene bestimmt.

Die Projectionen der Schnittlinien der Normalebene in  $f$  mit den Laibungsflächen der Gewölbekappen  $A$  und  $B$  ergeben

sich in folgender Weise. Die wagrechte Projection des Punktes  $f$  ist der Punkt  $e$  auf  $Rs$ . Von  $e$  laufen die wagrechten Projectionen  $ert$  und  $eqp$  dieser gefuchten Schnittlinien aus. Dieselben sind von Bedeutung, weil sie für die Richtung der Lagerfugenkanten, bzw. für die Gestalt der Wöblinien der am Gratbogen zusammentretenden Wölbflächen der Kappen  $A$  und  $B$  maßgebend werden. Um den Grenzpunkt  $t$  am Stirnbogen  $P$  zu ermitteln, ist die Schnittlinie  $it''$  der Normalebene des Grates mit der lothrechten Stirnebene  $P$  unter Verwerthung der Höhenlage  $hf$  des Punktes  $f$  über der Kämpferebene  $ad$  gezeichnet. Für diese Schnittlinie  $it''$  ist, wie sofort erkannt werden kann,  $h_1 f_1 = hf$  und der Punkt  $i$  der Schnittpunkt der Spur  $EF$  auf der verlängerten Geraden  $u\gamma$ . Der Strahl  $if_1$  trifft den Stirnbogen  $P$  im Punkte  $t''$ . Derselbe ist die lothrechte Projection des Grenzpunktes der erwähnten Wöblinie in der Kappe  $A$ . Die wagrechte Projection desselben ist der Punkt  $t$  auf  $u\gamma$ .

Zur Bestimmung der Projectionen eines zwischen den Grenzpunkten  $e$  und  $t$  gelegenen Punktes folcher Schnittlinie ist der innerhalb  $e$  und  $t$  an beliebiger Stelle genommene Strahl  $mM$  parallel zur wagrechten Projection  $\gamma s$  der Scheitellinie der Kappe  $A$  gezogen. Derselbe ist die wagrechte Projection einer geraden Erzeugenden dieser Kappe.

Die lothrechte Projection dieser, der Stechung des Gewölbes entsprechend ansteigenden Erzeugenden ist  $m, M$ , wobei  $M$ , auf der Gratlinie  $as$ , der Punkt  $m$ , über der Kämpferebene  $ad$  offenbar eben so hoch liegen muß als  $m$ , am Stirnbogen  $P$  über  $m$  auf  $u\gamma$  liegt. Die lothrechte Projection  $m, M$ , der benutzten Erzeugenden durchstößt die Normalebene. Auf die lothrechte Projection dieses Durchstoßpunktes in  $NE$  ist durch die punktirte Lothrechte  $r$ , hingewiesen. Die wagrechte Projection  $r$  desselben liegt auf  $mM$ , und somit ist der Linienzug  $ert$  für die Kappe  $A$  ermöglicht. Auf demselben Wege ergibt sich der Zeichnung gemäß der zugehörige Linienzug  $eqp$  für die Kappe  $B$ , wie überhaupt mehrerer folcher 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 Schwalbenschwanz-Verbandes nach, die einzelnen Schnittlinien der entsprechenden Normalebenen der Gratbogen.



zutragen, welche dem Normalsschnitte mit den Spuren  $NE$  und  $EF$  zukommen, ist die erforderliche Zeichnung in  $Q$  gegeben.

Für die Wöblinien ist  $y_0 = Ef$ ,  $z = Er$ ,  $z'' = Et$ , über der lothrecht zu  $Rs$  geführten Linie  $L$ , welche danach eine Spur der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes darstellt, abgetragen und dabei  $y_0$  in der Richtung  $Rs$ ,  $z$  in der durch  $r$  parallel zu  $Rs$  gezogenen Linie u. s. f. fest gelegt. Eben so ist  $y_1 = Eq$ , und  $y'' = Ep$ , genommen.

Hiernach erhält man in  $f''''r''''t''''$ , und in  $f''''q''''p''''$ , die wirkliche Gestalt jener Wöblinien für die Kappenschicht in  $A$  und  $B$ . Da die Breite  $\alpha\beta$  und die Höhe des Gratbogens gegeben sind, so läßt sich, sobald die wirkliche Stärke der Wöblschichten oberhalb der Wöblinien angesetzt ist, mit Leichtigkeit die richtige Stellung der Widerlagsfugen senkrecht zu den betreffenden Wöblinien am Grat und an den Stirnmauern oder Randbogen eintragen und auch der wirkliche Querschnitt des Gratbogens, wie bei  $Q$  und beim Bilde  $R$  vom Anfänger des Grates gezeigt ist, fest stellen. Die lothrechte Projection  $a_0f_0$  des Querschnittes ist in der Richtung  $E_0N_0$  parallel  $EN$  nach der Ausmittlung in  $Q$  besonders gezeichnet.

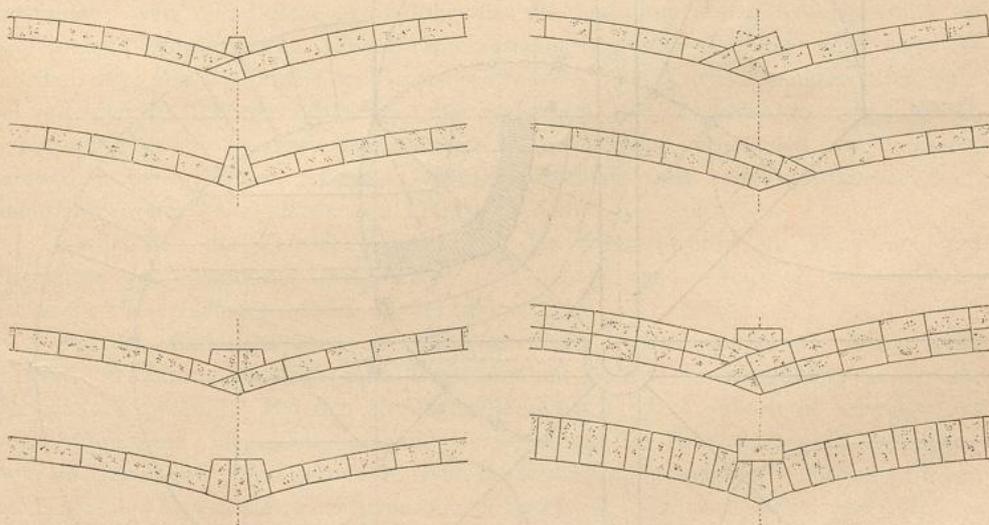
Läßt man nach der Darstellung in  $O$  die Widerlagsflächen am Grat nicht in der Form von Falzen, sondern als Flächen auftreten, welche vom Ansatz der Kappen aus nach dem Rücken des Gratbogens vollständig durchgeführt werden, so ergibt sich für den Gratkörper am Rücken zwischen den gesammten beiden Widerlagsflächen  $w$  und  $w$ , in jedem Normalsschnitte eine andere Breite, weil die Neigungswinkel der verschiedenen Normalebeneen zur wagrechten Kämpferebene in ihrer Größe stets von einander abweichen. Diesem Umstande ist bei der Ausführung der Gratbogen dadurch Rechnung zu tragen, daß mehrere Normalsschnitte für den Grat ermittelt werden. Diese Arbeit ist im Besonderen nothwendig, sobald die Gratbogen für auf Schwalbenschwanz-Verband ausgeführte Kreuzgewölbe aus Quadern hergestellt werden sollen.

Die gegebenen Ermittlungen der sog. Normalsschnitte der Gratbogen finden auch bei Kreuzgewölben über beliebig angeordneten regelmässigen oder unregelmässigen Grundrissen Anwendung.

Für Kreuzgewölbe ohne selbständige Gratbogen sind Gratverstärkungen stets zu empfehlen. Namentlich sind dieselben beim Schwalbenschwanz-Verbande gleich in

267.  
Grat-  
verstärkungen.

Fig. 454.



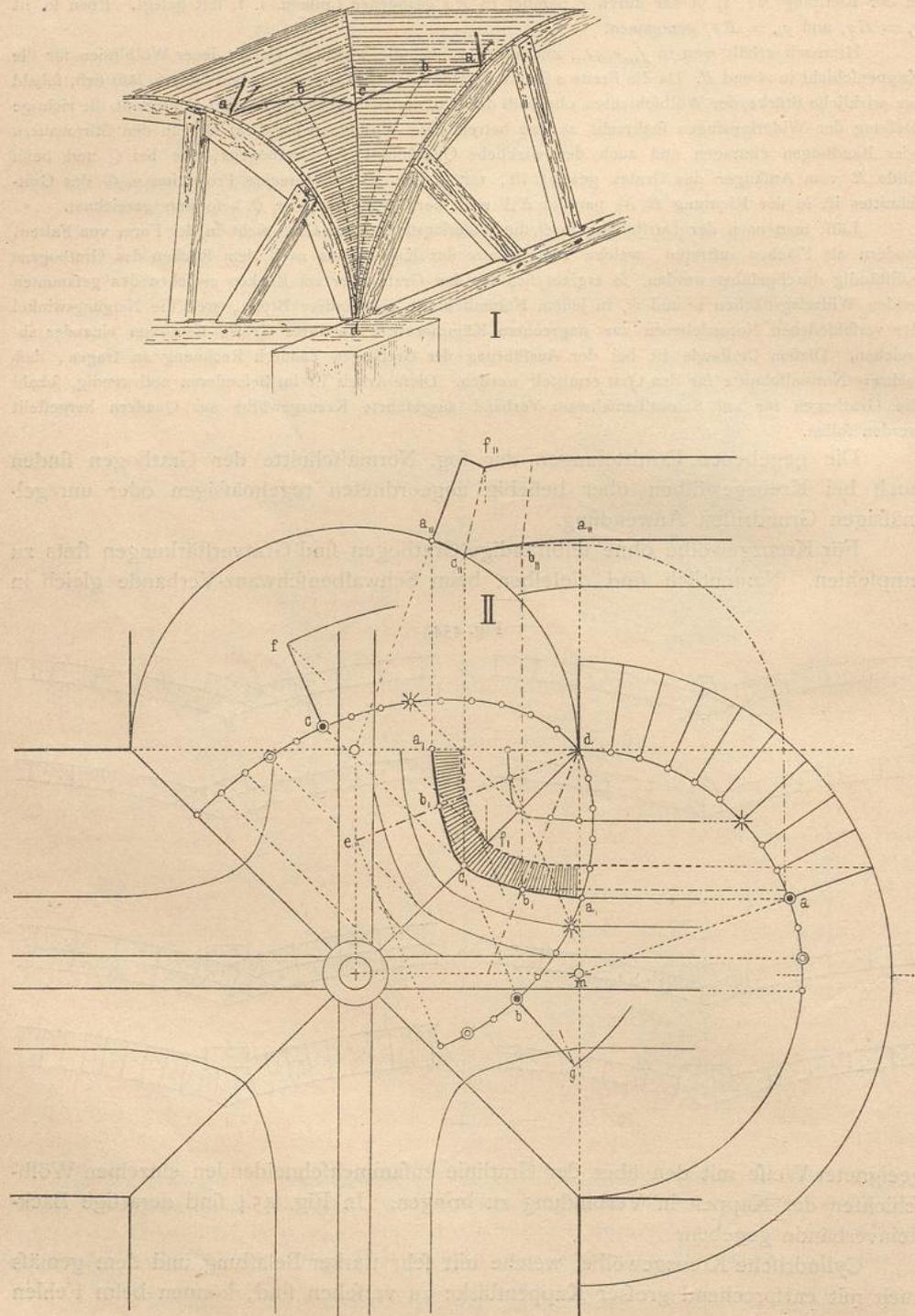
geeigneter Weise mit den über der Gratlinie zusammenschneidenden einzelnen Wöblschichten der Kappen in Verbindung zu bringen. In Fig. 454 sind derartige Backsteinverbände gegeben.

Cylindrische Kreuzgewölbe, welche mit sehr starker Belastung und dem gemäß auch mit entsprechend großer Kappenstärke zu versehen sind, können beim Fehlen

268.  
Besondere  
Verbandarten.

selbständiger Gratbogen oder der Gratverstärkungen in einem besonderen Kufverbande hergestellt werden, wobei die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten von

Fig. 455.



zwei zusammengehörigen Wölbcharen 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<sup>180)</sup> in Anwendung gebracht (Fig. 455).

Zur Feflegung der Lagerfugenkanten gilt ein Gesetz, wonach, entsprechend  $l$  in Fig. 455, vom Fußpunkte  $d$  eines Gratbogens aus eine unveränderliche Bogenlänge  $da$ , deren Endpunkt  $a$  irgend einer Lagerfuge des Stirnbogens angehört, an der Laibungsfläche der zusammentretenden Kappen nach der Darstellung  $l$  so um  $d$  gedreht wird, daß diese Bogenlänge stets auf der Wölbfläche verbleibt und mit dem Endpunkte  $a$  die Lagerfugenkanten  $abc$  und  $cba$  beschreift. 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  $II$  in Fig. 455 giebt die geometrische Ermittlung solcher Lagerfugen. Für einen Fugenpunkt  $a$  am Stirnbogen ist  $da$  die zugehörige Bogenlänge. Für den nach einer beliebigen lothrechten Ebene durch  $d$  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 ergibt sich die dem Theilpunkte  $a$  zukommende Lagerfugenkante in der wagrechten Projection als ein Linienzug  $a, b, c, b, a$ , und in der lothrechten Projection 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 zweckmäsigsten als Normalflächen ausgeführt, d. h. die geraden Erzeugenden derselben sollen Normalen wie  $cf$ ,  $bg$  u. f. f. in den betreffenden Bogenelementen  $c$ ,  $b$  u. f. f. ihrer Schnittcurven sein. Die übrige Anordnung der Lagerfugen bei den durchgeführten, geradlinig begrenzten Schlußsteinschichten ist aus der Zeichnung zu entnehmen.

Bei den Kreuzgewölben bilden sich oberhalb des Rückens und des Gewölbes an den Ecken des überwölbten Raumes stets trichterartige Vertiefungen. Die Ausfüllung dieser schachtartigen Zwickel mit Backsteinmauerwerk oder Grobmörtel (Beton) sollte bei halbkreisförmigen, bezw. halb elliptischen 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 zweckmäsig erst auf Grund einer Stabilitäts-Untersuchung entschieden, um hiernach, namentlich bei größeren Anlagen, etwaige Vortheile oder unter Umständen auch Nachtheile dieser Zwickelfüllungen klar zu stellen.

Hinsichtlich der Zeit der Ausführung der Kreuzgewölbe aus Backstein, der Vornahme der Ausrüstung derselben u. f. f. ist auf das in Kap. 9, unter c beim Tonnengewölbe Gefagte wieder zu verweisen.

Bei den Kreuzgewölben des Mittelalters ist Bruchsteinmaterial, selbst wenn dasselbe oft keine sehr lagerhafte Beschaffenheit besaß, in ausgiebiger Weise zur Verwendung gelangt. Bei den Kreuzgewölben der Jetztzeit jedoch ist vermöge des weit verbreiteten Ziegelmateriale die Verwerthung der Bruchsteine als Wölbsteine mehr in den Hintergrund gedrängt. Nur in Gegenden, in welchen zu billigen Preisen dünn-schichtige lagerhafte Bruchsteine oder hinreichend feste, aber leichte und unschwer zu bearbeitende Abarten der vulcanischen 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 regelmäsig gestalteten Bruchsteinen findet meistens eine Wölbung auf Kuf Anwendung, während bei sehr lagerhaften, nicht zu

269.  
Zwickel-  
ausmauerung.

270.  
Kreuzgewölbe  
aus  
Bruchsteinen.

<sup>180)</sup> Siehe: Deutsche Bauz. 1869, S. 259.

großen Bruchsteinen mit vorwiegend regelmäßiger Form auch eine Mauerung auf Schwalbenschwanz-Verband vorgenommen werden kann.

Für Kreuzgewölbe aus Bruchsteinen ist in Rücksicht auf das leicht erfolgende Setzen (Senken) der Kappen die Annahme einer Stechung von etwa  $\frac{1}{20}$  der größten Gratbogenweite vortheilhaft. 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.

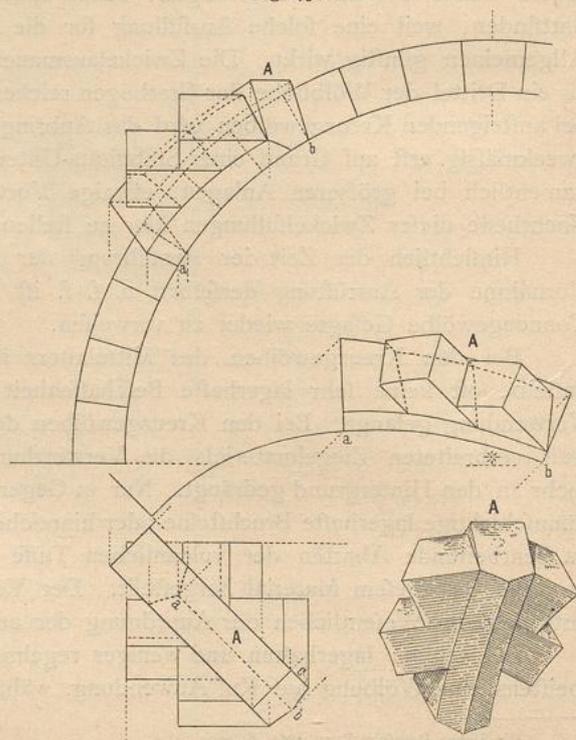
In einigen Gegenden ist es üblich, die Wölbsteine trocken auf der Schalung zu veretzen und schließlich mit flüssigem Mörtelbrei zu vergießen. Diese Einwölbungsart erfordert verhältnismäßig wenig Zeit, wohl aber die größte Aufmerksamkeit einerseits hinsichtlich der Vermeidung zu dicker Mörtelbänder, andererseits 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, gleichgiltig, welche Verbandart für das Gewölbe gewählt wird, wie beim Kreuzgewölbe aus Backstein, gleichzeitig und gleichmäßig fort schreitend, von allen Gewölbfüßen an den Ecken des Raumes aus anfangend, bis zum Schluss des Gewölbes. Für die Ausfüllung der Gewölbzwickel ist Art. 269 (S. 393) zu beachten.

271.  
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 in der Bearbeitung 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. In Folge 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 lothrechten 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. 456.

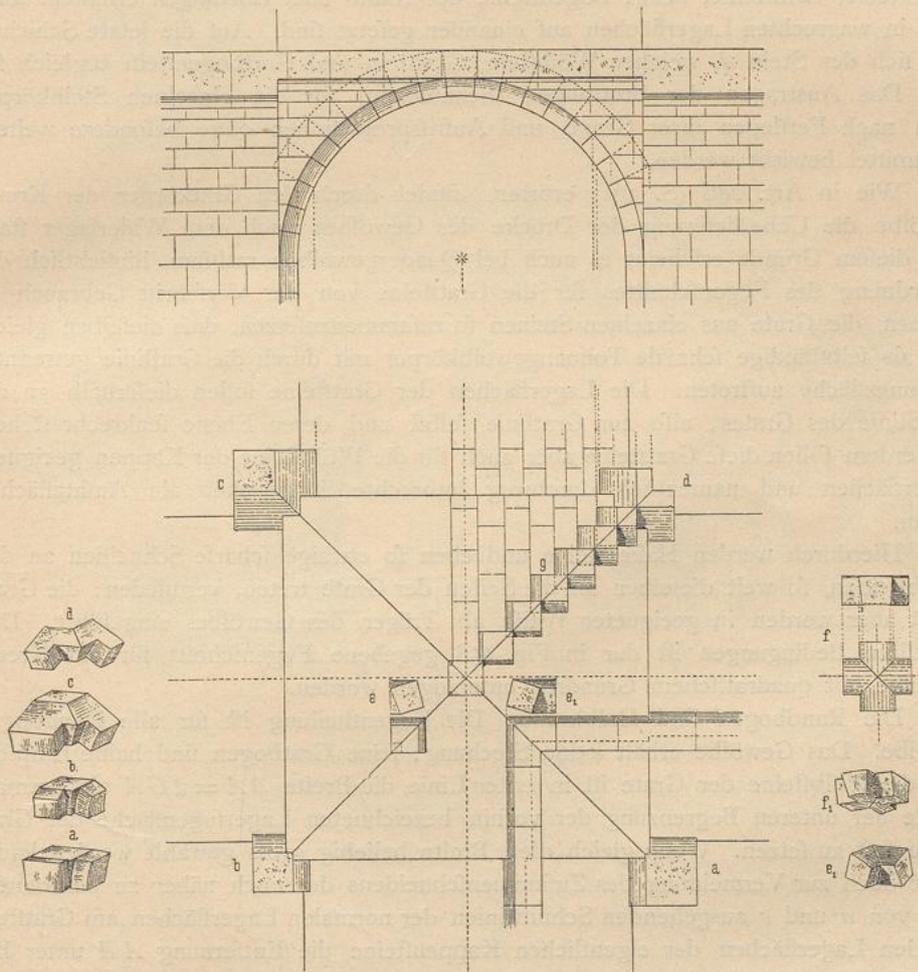


Dieser Mifsstand würde bei den Wölbsteinen auch nicht beseitigt sein, wenn die Grate, wie Fig. 456 angiebt, aus besonderen selbständigen Werkstücken *A* als für sich bestehende schmale Tonnengewölbe mit regelrechtem Fugenschnitte *a, b* u. f. f. ausgeführt würden, da deren lothrechte Seiten nur Schmieglflächen bieten, gegen welche sich die mit den Schneiden bei *c* dennoch behafteten Wölbsteine der Kappen legen.

Um Wölbsteine zu schaffen, welche sich mit lothrechten Stofsflächen und mit zur Laibungsfläche der Kappen senkrecht stehenden Lagerflächen an die Wölbkörper der Grate setzen, sind die einzelnen Grattsteine dieser Forderung entsprechend im Fugenschnitt zu behandeln.

272.  
Quadrigewölbe  
über  
quadratischen  
Grundriß.

Fig. 457.



Eine derartige Anordnung ist in Fig. 457 für ein cylindrisches Kreuzgewölbe über einer quadratischen Grundfläche gegeben. Die Grattsteine können, wie *g*, bzw. *e* zeigt, frei von besonderen, in die einzelnen Kappen reichenden Anfätzen bleiben oder, wie *e<sub>1</sub>*, bzw. *f* und *f<sub>1</sub>* erkennen läßt, mit derartigen Anfätzen versehen werden. In letzterem Falle entstehen sog. Hakensteine, wobei der Schlufsstein *f<sub>1</sub>* 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 Theil 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. f. f., wie auch die Hakensteine  $e_1, f_1$  u. f. 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 Schichten  $a, b, c$ , welche in den einzelnen Steinen nach den Angaben in Art. 266 (S. 387) 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 auf einander gesetzt sind. Auf die letzte Schicht  $c$  legt sich der Stein  $d$ , welcher Wölbstein, Gratstein und Gurtbogenstein zugleich ist.

Das Austragen der Brettungen (Schablonen) für die einzelnen Steinkörper kann nach Festlegen ihrer Grund- und Aufrifsprojectionen ohne besondere weitere Hilfsmittel bewirkt werden.

Wie in Art. 246 (S. 361) 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 rathsam, 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 durch die Gratlinie getrennter Laibungsfläche auftreten. Die Lagerflächen der Gratsteine sollen dieserhalb zu der Wöblinie des Grates, also zur Gratlinie selbst und deren Ebene senkrecht stehen. Außerdem sollen diese Gratsteine aber auch für die Wölbsteine der Kappen geeignete Lagerflächen und namentlich durchweg lothrechte Stofsflächen als Ansatzflächen bieten.

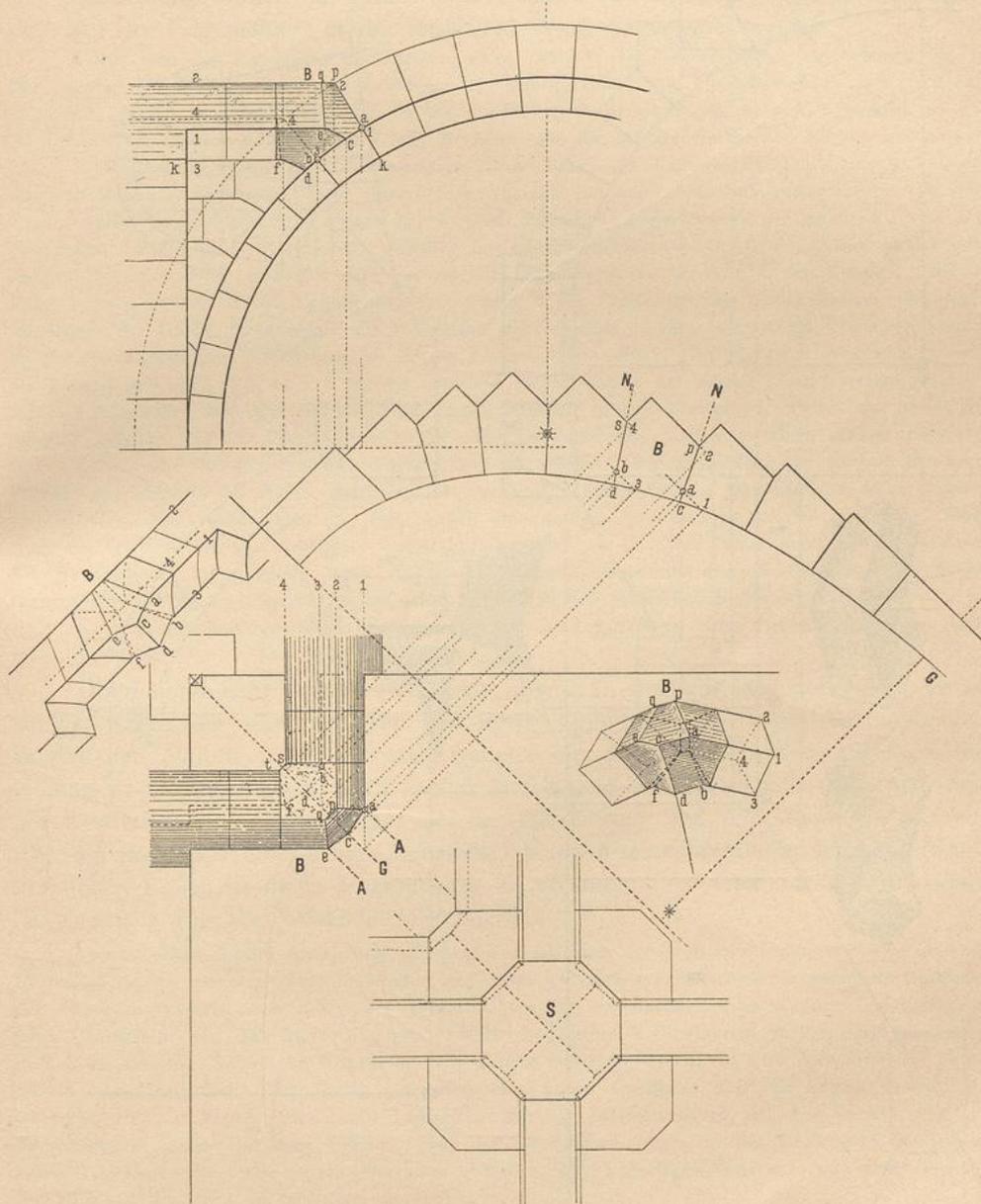
Hierdurch werden Hakensteine und eben so etwaige scharfe Schneiden an den Wölbsteinen, so weit dieselben an die Seiten der Grate treten, vermieden; die Grate selbst aber werden in geeigneter Weise als Träger des Gewölbes eingeführt. Den gestellten Bedingungen ist der in Fig. 458 gegebene Fugenschnitt für ein Kreuzgewölbe mit quadratischem Grundrifs unterzogen worden.

Die Randbogen sind Halbkreise. Die Fugentheilung ist für alle Randbogen dieselbe. Das Gewölbe erhält keine Stechung; seine Gratabogen sind halbe Ellipfen. Für die Wölbsteine der Grate ist in erster Linie die Breite  $AA = 2GA$  als normale Breite der unteren Begrenzung der vorhin bezeichneten Lagerfugenfläche der Gratsteine fest zu setzen. Wenn gleich diese Breite beliebig groß gewählt werden kann, so ist doch zur Vermeidung des Zusammen Schneidens 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 Theilung der Stirnbogen nicht zu gering zu nehmen. Im Allgemeinen wird die Breite  $AA = 25$  bis  $30$  cm genommen.

Um die Projectionen irgend eines Gratsteines, z. B. von  $B$ , zu bestimmen, hat man zu beachten, daß die wagrechte Lagerkante  $r$  eines Kappensteines mit der Lagerfuge  $12$  die in  $A$  parallel zur Richtungsebene  $G$  des Grates gedachte lothrechte 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. 266 (S. 389) näher

fest gelegt werden. Die wagrechte Erzeugende  $z$  der Lagerfugenfläche  $12$  trifft die Normalebene  $N$  im Punkte  $p$ , so dafs, wie aus der Zeichnung zu erkennen,  $ap$ , bzw.  $eq$  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. 458.



bestimmt. Für die zweite normale Lagerfläche  $bdfts$  desselben ist die Normalebene  $N_1$  maßgebend. Dieselbe ist durch den Punkt  $b$  zu führen, in welchem die Lagerkante  $3$  der Lagerfuge  $34$  des betrachteten Kappensteines die vorhin erwähnte Ebene  $A$  trifft. Die Bestimmung der Schnittfläche  $bdfts$  erfolgt genau in der für die Schnittfläche  $aceqp$  angegebenen Weise. Führt man durch die Punkte  $s$ ,



bezw.  $l$  lothrechte, parallel zu den Stirnen der am Gratstein  $B$  zusammenstossenden Kappen genommene Ebenen, so ergeben sich die Stofs- oder Ansatzflächen für die angrenzenden Kappensteine. Oberhalb der Geraden  $ts$  wird der Gratstein lothrecht abgesehnt. Aus der Zeichnung sind die sämmtlichen Projectionen dieses Steines, welche für das Anfertigen seiner Brettungen massgebend werden, zu entnehmen. Bei der Anwendung des beschriebenen Fugenschnittes nehmen sowohl die Gratsteine, deren Projectionen der Reihe nach fest zu legen sind, als auch der Schlussstein im Grundrisse eine polygonale Gestalt an.

Bei Kreuzgewölben aus Quadern über einem rechteckigen Grundrisse kann nach Fig. 459 der Fugenschnitt in der folgenden Weise angeordnet werden.

Theilt man den Randbogen der kürzeren Seite, welcher hier als Halbkreis angenommen ist, in eine ungerade Anzahl gleich grosser Wölbsteine ein und legt man, den Theilpunkten  $a_1, d_1$  u. f. f. entsprechend, die wagrechten Projectionen der ihr zugehörigen Lagerkanten  $ab, de$  u. f. f. parallel mit der Scheitellinie der kleinen Gewölbkappe  $I$  fest, so kann man die auf der Gratlinie  $G$  liegenden Punkte  $b, e$  u. f. f. als Ausgangspunkte für die wagrechten Projectionen der Lagerfugenkanten  $bc, ef$  u. f. f. der breiteren Kappe  $II$  annehmen. Diese Kanten laufen parallel mit der Scheitellinie dieser Kappe. Da dem Kreuzgewölbe keine Stechung gegeben ist, so sind sämmtliche Lagerfugenkanten gerade Linien. Der Randbogen der Kappe  $II$  ist eine halbe Ellipse. Die Lagerfugenkanten  $bc, ef$  u. f. f. haben in der wagrechten Projection einen grösseren Abstand, als die Lagerkanten  $ab, de$  u. f. f. der Kappe  $I$ , und in Folge hiervon werden, da die Lagerkanten  $bc, ef$  u. f. f. die Theilungen der Wölbsteine am elliptischen Randbogen der Kappe  $II$  bedingen, die Wölbsteine dieser Kappe in ihrer wagrechten Projection 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. f. f. für die einzelnen Wölbsteine der Kappe  $II$  verschieden gross, so dass der Randbogen derselben eine ungerade Anzahl ungleich grosser Theilungen 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 Ermittlung der Projectionen eines beliebig gewählten Gratsteines  $B$ , welcher noch durch eine perspectivische Darstellung in seiner Vorder- und Rückseite näher verdeutlicht ist, ergibt sich ohne weitere Ausführungen aus der Zeichnung. Eben so 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 Projection parallel zu den Scheitellinien der zugehörigen Kappen zu legen, während die Stofs-fugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten unter Beobachtung eines regelrechten Verbandes der Wölbsteine zu nehmen sind.

Der beschriebene Fugenschnitt kann aber z. B. bei sehr lang gestreckten 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 verschiedenen grossen Wölbsteine behafteten Kappen einen erhöhten Arbeitsaufwand. In solchen Fällen ist dieser Fugenschnitt zu verlassen. An seine Stelle tritt alsdann besser der in Fig. 460 behandelte Steinschnitt.

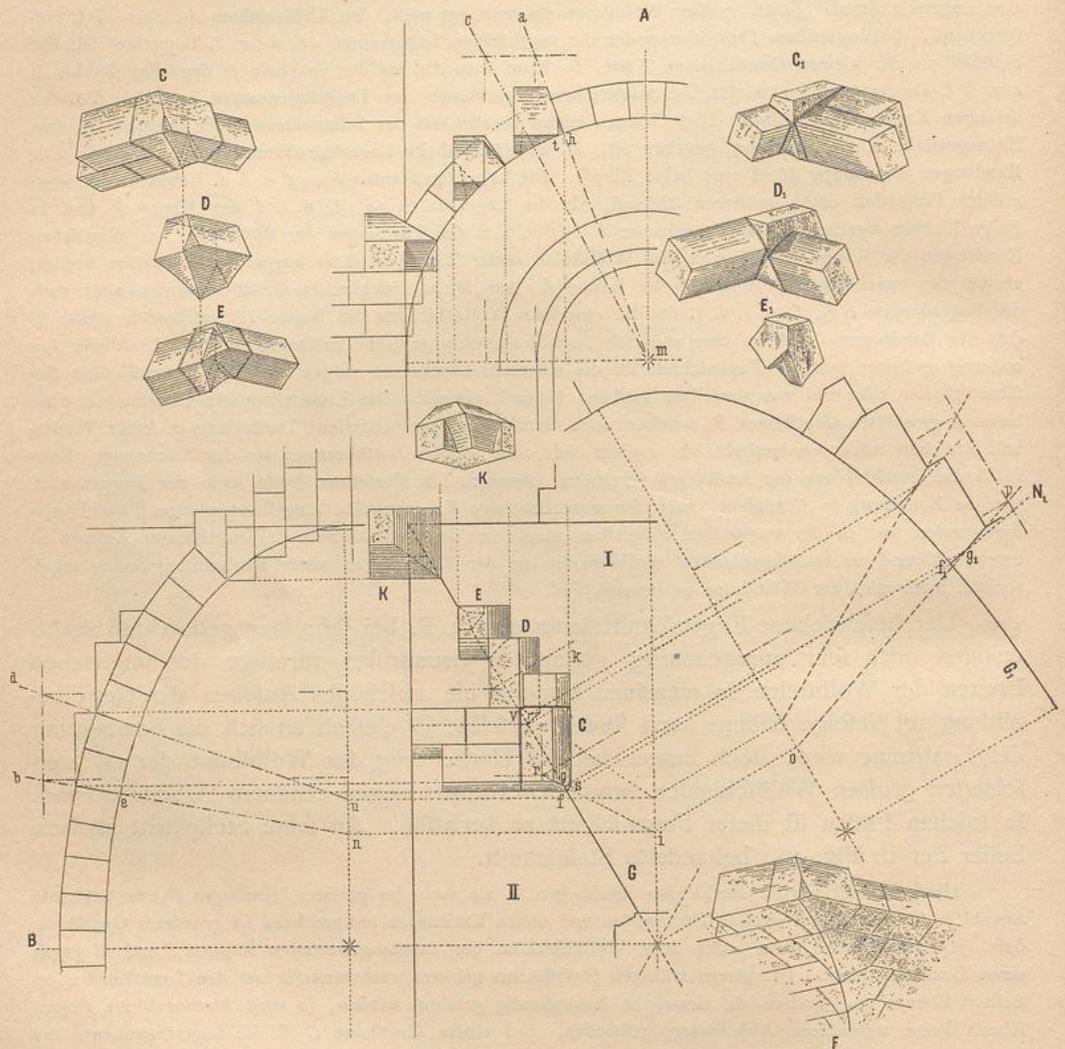
Hierbei erhält sowohl der kleinere Randbogen  $A$ , als auch der grössere Stirnbogen  $B$  eine ungerade Anzahl je für sich gleich grosser Theilbreiten und diesen Theilungen entsprechend so geordnete Gratsteine, dass, je nach Wunsch, eine oder zwei Wölbsteine der zusammentretenden Kappen  $I$  und  $II$  gegen einen Gratstein treten. Die hierzu nöthigen Stofsflächen 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 Projection bis zum Punkte  $f$  auf der Grundrissprojection  $G$  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 Projection als  $ir$ , wie aus der Zeichnung zu sehen ist, bestimmt wird. Die Lagerfugenkanten, welche den Punkten  $e$  und  $h$  angehören, haben aber im Allgemeinen eine von einander 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

273.  
Quadergewölbe  
über  
rechteckigen  
Grundriss.

tiefer gelegenen Punkt  $f$  am Gratbogen eine Normalebene, welche in der Hilfsprojection  $G_1$  als  $f_1N_1$  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 Projectionen dieses Stückes lassen sich unter Beachtung der Projection  $op$ , welche der Schnittlinie  $iv$  entspricht, im Hinblick auf die Zeichnung leicht ermitteln, sobald nur noch nach dem in Art. 266 (S. 389) Vorgeführten die Projectionen  $fs$  und  $th$  der Schnittlinie, welche die Normalebene  $f_1N_1$  auf der Kappe  $I$  hervorruft, berücksichtigt werden. In derselben Weise ergibt sich auch die Grundriffsprojection der Normalschnittfläche  $v$  am Gratteine  $C$ , wofür die nöthigen zeichnerischen Durchführungen noch näher in Fig. 460 mit angegeben

Fig. 460.



find. Auf gleichem Wege sind auch die Projectionen der Gratteine  $D$  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 Gratteine mit den Kappensteinen, während  $K$  dem oberen Stücke des Gewölbanfängers angehört, welcher unterhalb  $K$  hier aus wagrecht über einander liegenden Schichten ausgeführt ist.

Das Veretzen der Quader bei Kreuzgewölben, das Einführen des Mörtels u. f. w. folgt dem in Art. 170 (S. 246) Gefagten.