

befonderen baulichen Verhältnissen angeordneten Widerlagskörper den ersten Anhalt gewähren.

Bei verschiedenen Großconstructions der Kuppelgewölbe älterer und neuerer Zeit schwankt die Stärke der Widerlager zwischen $\frac{1}{6}$ bis etwa $\frac{1}{11}$ 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 $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{8}$ des Kuppeldurchmessers wählen.

Wird in besonderen Fällen der in Art. 368 (S. 521) erwähnte Fußring zur theilweisen 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.

376.
Allgemeines.

Die Ausführung der Kuppelgewölbe mit über einander gelagerten concentrischen Ring- oder Kranzschichten, deren Lagerflächen durch normal zur Laibungsfläche der Kuppel gerichtete gerade Linien erzeugt werden, deren Stofsflächen lothrechten 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 Stosfugen 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 Theil II, Band 2 dieses »Handbuches« eingehende Mittheilungen, worauf hier verwiesen werden muß, gemacht. Die dort näher gegebene Beschreibung der aus Quadern ohne oder mit Mörtel, aus Backsteinen, aus Backsteinen mit Gufsgemäuer, aus Gufsgemäuer mit Backsteinverblendung, aus Töpfen mit Gufsmauerwerk oder aus eigenartig geformten Töpfen allein hergestellten Kuppelgewölbe bietet eine Fülle von Angaben über die verschiedensten Arten ihrer Ausführung dar.

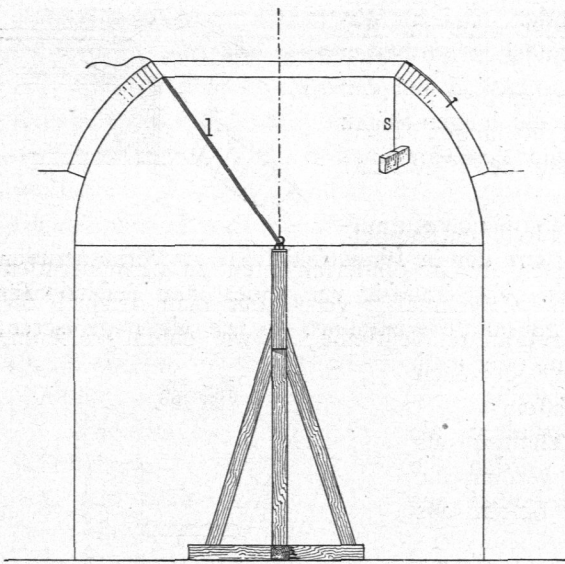
Die hauptfächlichsten Baumaterialien für Kuppelgewölbe der Jetztzeit sind gewöhnliche Backsteine, Hohl- oder Lochsteine, poröse Backsteine, Quader, lagerhafte, plattenförmige Bruchsteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Cementmörtel oder Cementmörtel allein.

377.
Rüftungen.

Befondere Einrüstungen durch Lehrbogen mit Schalung werden wohl für größere aus Quadern oder Bruchsteinen zu wölbende Kuppeln in Anwendung gebracht. Bei Backsteinkuppeln, welche in über einander 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. 566) von der Länge des Halbmessers des Kuppelgewölbes. 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 fest stehenden Pfostens oder des Ständers eines Bockgerüstes genau im Mittelpunkte des Gewölbes angebracht ist.

Fig. 566.



Durch Drehen der Leier um diese Oefe wird die Lage der einzelnen Kranzschichten und die Richtung der Stofsflächen der Wölbsteine in einfachster Weise angegeben. Beim Wölben selbst muß, da vor dem vollständigen Schlusse des einzelnen Kranzringes, sobald die Neigung der unteren Lagerfläche zu groß wird, leicht ein Abgleiten der Wölbsteine eintritt, das Bestreben des Gleitens durch Verwendung eines guten, möglichst schnell bindenden Mörtels verhindert werden. In der Nähe des Gewölbefcheitels ist das Bestreben des Abgleitens am stärksten.

Das bessere Haften des einzelnen Wölbsteines einer zu vermauern-

den Kranzschicht auf seiner Lagerfläche wird zweckmäsig durch eine besondere Belastung des immer zuletzt versetzten Steines unterstützt. An einem Nagel, der in einer tief gelegenen Fuge am Rücken des Gewölbes eingeschlagen ist, wird eine Schnur *s* befestigt. Das andere Ende dieser Schnur wird mit einem Gewichte, gewöhnlich mit einem Backstein verbunden. Die über den Wölbstein gelegte Schnur beschleunigt mittels des Gewichtes des frei im Inneren des Gewölbes herabhängenden Backsteines seine Mörtelvermittlung auf der Lagerfläche.

Sind beim Einwölben mehrere Arbeiter thätig, so wird von jedem derselben statt der Leierlatte eine an der Oefe des Ständers befestigte Schnur, auf welcher die Länge des Kugelhalbmessers genau bezeichnet ist, als Richtschnur für die Lager- und Stofsugen des Gewölbes benutzt.

Bei größeren Kugelgewölben, namentlich aber bei Kuppelgewölben, für deren Erzeugung der Mittelpunkt außerhalb der lothrechten Scheitelaxe der Gewölbfläche gewählt ist, werden Leier, bezw. Schnüre nicht gebraucht. An ihre Stelle tritt ein um die Scheitelaxe drehbarer, möglichst einfach hergerichteter Lehrbogen oder unter Umständen die Einrüstung durch eine Schar von radial gestellten Lehrbogen mit Schalung.

Bei der Verwendung der gewöhnlichen Backsteine, der Hohl- oder Lochsteine oder der porösen Backsteine zur Wölbung der Kuppeln ist unter der Voraussetzung, daß nur gutes Material benutzt wird, die der Gewölbfläche entsprechende richtige Stellung der Lager- und Stofsflächen beim Wölben der Kranzschichten streng zu beachten. Die durch Wasser angehästeten Steine werden mit gut und hinlänglich schnell bindendem Mörtel (verlängerter Cementmörtel, bezw. reiner Cementmörtel) versetzt. Da jeder Stein, genau genommen, doppelt keilförmig sein soll, so muß ein entsprechendes Zuhauen der Steine vorgenommen werden. Bei kleineren Gewölben ist dieses Zuhauen kaum zu vermeiden. Bei größeren Gewölben beschränkt sich das Zuhauen in der Regel nur auf die Stofsflächen der Ringschichten, da bei den Lagerflächen die keilförmige Ausgleichung oft schon durch die Mörtelfüllung erzielt werden kann. Im Ganzen soll aber bei sorgfältiger Ausführung dem fach-

378.
Kuppelgewölbe
aus
Backsteinen.

gemäßen Zurichten der Wölbsteine Rechnung getragen werden. In den meisten Fällen wendet man zur Erzielung richtiger Lager- und Stosfugenflächen am besten nur Binderschichten an, weil sonst, namentlich bei den Kränzen mit geringerem Durchmesser, die langen Seiten der Backsteine sich der Laibungsfläche des Gewölbes nicht gut anpassen können.

In der Nähe des Scheitels des geschlossenen Kuppelgewölbes wird das keilförmige Zuschärfen der in Binderschichten zu vermauernden gewöhnlichen Backsteine etwas misslich. Zweckmäßig verwendet man deshalb für die oberen Kranzschichten besonders gebrannte Keilsteine, so wie einen größeren, entsprechend geformten und gebrannten, oder auch aus einem Quader bearbeiteten Schlufsstein.

Oben offene Kuppelgewölbe erhalten als Abschluss einen Lichtring. Hierfür werden die Wölbsteine, wie Fig. 567 zeigt, am besten aus gutem Quadermaterial angefertigt.

Zur Vermeidung einer erheblichen Belastung des unteren Theiles eines größeren Kuppelgewölbes und seines Widerlagers durch volle Hintermauerung zwischen dem Rücken des Gewölbes und der Innenseite des etwa noch reichlich hoch über der Kämpferebene der Kuppel aufzumauernden Widerlagskörpers bringt man oft sog. Sporen an. Die zwischen diesen Sporen *a* (Fig. 568) entstehenden Hohlräume oder Zellen vermindern das Gewicht der eigentlichen Hintermauerung in erwünschtem Maße.

In gleicher Weise können solche Sporen am Fulse der Mauerung der Doppelkuppeln zwischen der äußeren und inneren Kuppelschale angebracht werden.

Läßt man unter Beachtung gleich großer Theilweiten des Kuppelfulses rippenartig nach dem Scheitel oder dem Lichtkranz der Kuppel ansteigende Wölbstreifen mit größerer Stärke als die dazwischen liegenden Gewölbstücke besitzen, ausführen, so entstehen die sog. Verstärkungsurte der Kuppel. In der Regel treten diese etwa durchweg $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stein breiten Verstärkungsurte um $\frac{1}{2}$ Steinfärke an der Rückenfläche des Gewölbes vor.

Als lehrreiches Beispiel eines Kuppelgewölbes mit Verstärkungsurten und mit zweckmäßiger Einführung eines Fußsringes zur Vernichtung des für den Widerlagskörper nachtheiligen wagrechten Gewölbschubes ist die über der kreisrunden Vorhalle des städtischen Bades zu Karlsruhe von *Durm*¹⁸⁹⁾ ausgeführte

Fig. 567.

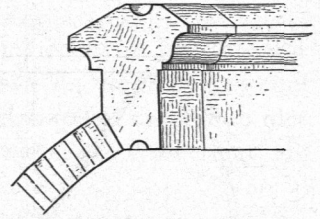


Fig. 568.

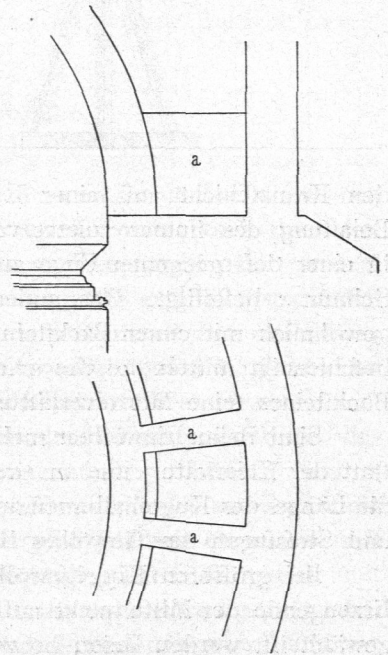
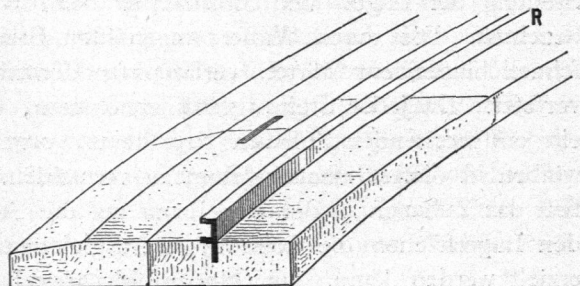


Fig. 569.



379.
Sporen.

380.
Verstärkungsurte.

¹⁸⁹⁾ Siehe: Zeitschr. f. Bauw. 1874, S. 123.

Kuppel mit Lichtring zu betrachten. In Fig. 569 ist für diese Kuppel die Anordnung des in einem Kranz von Sandsteinquadern eingelassenen, mit Blei vergossenen schmiedeeisernen Fußringes *R* veranschaulicht.

Bei elliptischen Kuppelgewölben sind die Lagerfugenkanten der einzelnen Kranzschichten Ellipsen, welche durch Schnitte wagrechter Ebenen mit der Gewölbelaubung erhalten werden. Die Lagerfugenflächen der Wölbkränze bilden windtschiefe Flächen, erzeugt durch gerade Linien, welche in jedem Punkte der zugehörigen Lagerfugenkante normal zur Oberfläche des Ellipsoids der Kuppel stehen und in Folge hiervon verschiedene Neigung zur wagrechten Ebene annehmen.

Beim Mauern der Wölbkränze kann übrigens das Windtschiefe der Lagerflächen durch entsprechende Stärke der Mörtelfüllung ohne erhebliche Nachteile für die Wölbung ausgeglichen werden.

Die Stofsflächen liegen in Meridianebenen, welche durch die lothrechte Scheitelaxe der elliptischen Kuppel geführt werden.

Um während der Ausführung elliptischer Kuppelgewölbe die richtige Bildung der Laibungsfläche und die genaue Stellung der Lager-, bzw. Stofsflächen aufrecht zu erhalten, sind, von der lothrechten Hauptaxe der Kuppel strahlenförmig auslaufend, mehrere Lehrbogen aufzustellen, deren äußere Begrenzungslinien nach den ihnen zukommenden Meridianschnitten zu bestimmen sind.

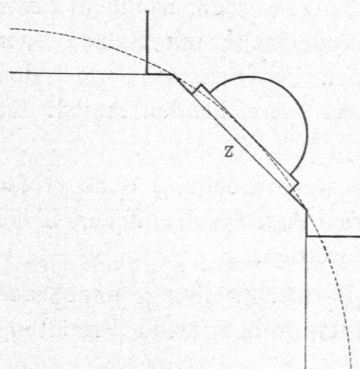
Die Mauerung caffettirter Kuppelgewölbe in einzelnen Kranzschichten, wobei die Kranztheile der Caffetten nur in geringerer Stärke, als die Caffettenstege auszuführen sind, erfolgt wie bei den nicht caffettirten Kuppelgewölben.

Ist unter besonderen Verhältnissen bei diesen Gewölben eine vollständige Einrichtung mit Schalung nothwendig, so sind für die Caffetten Holzkaften als Hilfsrüttung auf der Schalung zu befestigen. Diese Holzkaften sind im Allgemeinen in der in Art. 163 (S. 234) beschriebenen Weise anzufertigen.

Die Ausführung der Hänge- oder Stutzkuppeln weicht von der Herrichtung der vorhin besprochenen Kuppelgewölbe nicht ab.

Befondere Beachtung verdienen jedoch die bei diesen über quadratischen, recht- oder vieleckigen Räumen eintretenden Stutzkuppeln in Frage kommenden Eckzwickel oder Pendentifs, deren Gestaltung in Art. 353 bis 355 (S. 505 bis 507) näher gekennzeichnet ist.

In aller Strenge ist der Fuß des Eckzwickels eine gerade Linie, wenn nicht, wie z. B. bei der Kuppel der Peters-Kirche in Rom, veranlaßt durch eine besondere Grundrißbildung der Widerlagskörper des Gewölbes, die Eckzwickel *z* nach Fig. 570 eine ausgebreitete Grundfläche erhalten.



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. 571) versetzt, welcher dem unteren Backsteinringe ein geeignetes Auflager bietet. Außerdem kann aber auch in nicht unzweckmäßiger Weise die Aufmauerung der Gewölbzwickel

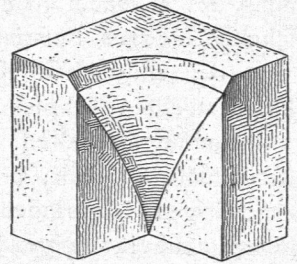
381.
Elliptische
Kuppeln.

382.
Caffettirte
Kuppelgewölbe.

383.
Hänge-
oder
Stutzkuppeln;
Pendentifs.

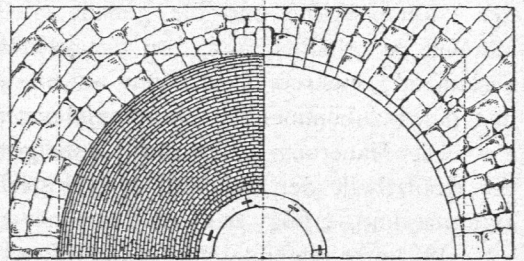
in wagrechten Schichten mit allmählicher, der Laibungsfläche des Gewölbes entsprechender Vorkragung, wie Fig. 572 angiebt, vorgenommen werden. Die Stosflächen dieser Zwickelmauerung werden nach lothrechten Meridianebenen der Kuppel geordnet. In dieser Weise wurden von *Moller* die Pendentifs der Kuppelgewölbe über den Treppenhäusern im Theater zu Mainz ausgeführt.

Fig. 571.



Vorkragungen *C* in wagrechten Schichten mit darüber gelegten, nach und nach vorgeschobenen Mauerbogen *A, B* zeigt die Pendentif-Anordnung in Fig. 573. Hierbei entsteht zwischen der Aufmauerung *C* und dem unteren Mauerbogen *A* eine besonders zu schliessende grössere Fuge *k*. Zwischen dem höchsten Mauerbogen *1 2 3 4* und dem hier aus Quadern angenommenen Fufskranze der nach Art. 354 (S. 506) gefalteten Oberkuppeln bleiben bei *2* im Grundrisse nur noch kleine Zwickelstücke, welche durch wagrechte Schichten mit Vorkragung oder durch Ringfichten geschlossen werden können.

Fig. 572.



Im Allgemeinen zeigt diese Herstellung der Pendentifs, welche in ähnlicher Weise z. B. bei den Kuppeln der Marcus-Kirche in Venedig vorkommt, einige Nachtheile. Der Schub der Mauerbogen *A, B* u. f. f. bewirkt für die Gurtbogen der Stirnseiten der Unterkuppel eine ungünstige Beanspruchung welche leicht eine Verdrückung und Verdrehung der Gurtbogen im Gefolge haben kann.

Wird zwischen den Pendentifs und der Oberkuppel der fog. Tambour, welcher als cylindrischer, röhrenförmiger Mauerkörper nur einen erhöhten Fuf für die Oberkuppel bildet, eingefügt, so setzt sich dieser Tambour unmittelbar auf die von den Pendentifs getragene erste Kranzschicht.

Die Einrüstung für das Wölben der Hängkuppeln 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 Diagonal-Lehrbogen für geübte Maurer hinreichenden Anhalt für die regelrechte Ausführung des Gewölbes.

Gute und lagerhafte Bruchsteine, wenn deren einfache Bearbeitung ohne große Mühe zu erreichen ist, namentlich aber die leichteren Arten vulcanischer 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.

384.
Kuppel
mit
Tambour.

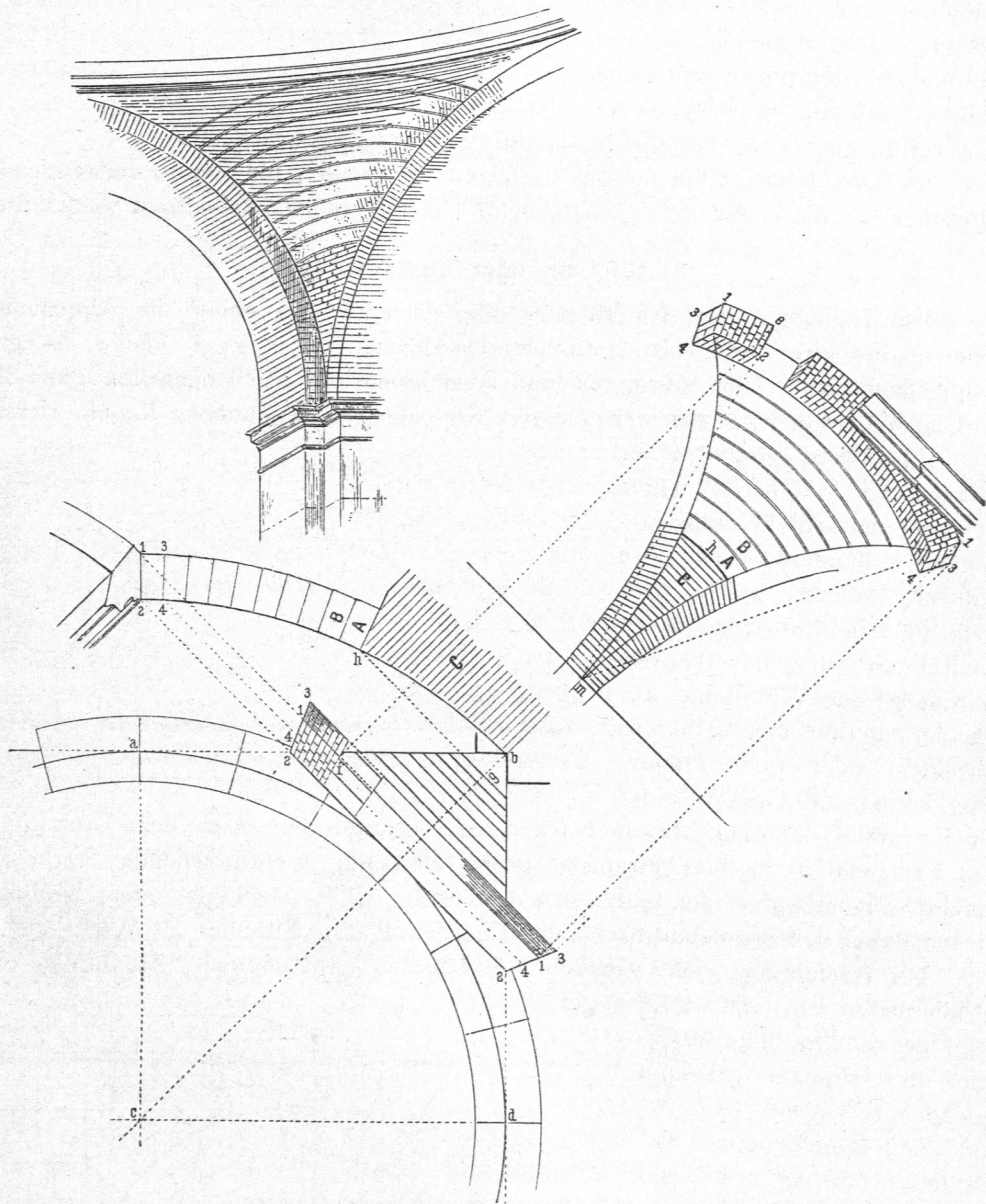
385.
Einrüstung.

386.
Kuppelgewölbe
aus
Bruchsteinen.

Kuppelgewölbe aus Quadern werden gleichfalls in über einander 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 Stofsugenflächen in Meridianebenen

387.
Kuppelgewölbe
aus
Quadern.

Fig. 573.



liegen müssen, welche durch die lothrechte Scheitelaxe des Gewölbes gelegt werden, bedingt den Fugenschnitt der Wölbquader.

Die Stofsugen sind bei den über einander liegenden Kranzen nach Fig. 574 in gegenseitigen, auf Kuf geordneten Verband zu bringen. Die Ausmittlung der

Brettungen der Kranzsteine ist nach den einfachsten Lehren der darstellenden Geometrie vorzunehmen. Außerdem ist die Bearbeitung der Wölbsteine nicht schwierig.

Die Ausführung der Wölbung, welche meistens unter Benutzung einer vollständigen Einrichtung 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. f. f. die in Art. 170 (S. 246) beim Tonnengewölbe angeführten Vorschriften.

d) Nischen- oder Chorgewölbe.

Die Laibungsfläche des Nischen- oder Chorgewölbes gehört im Allgemeinen einer Hälfte der durch eine lothrechte Meridianebene in zwei Theile 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. 220 (S. 328) 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 Grundriss der Nische bieten, werden größere Nischen- oder Chorgewölbe nach dem Grundriss in

Fig. 575 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.

Die Ausführung dieser Gewölbe, gleichgiltig ob Backstein-, Bruchstein- oder Quadermaterial benutzt wird, folgt genau den beim Wölbten der Kuppeln gekennzeichneten Wegen.

Soll in besonderen Fällen bei größeren, aus Quadern herzustellenden Chorgewölben ein nach Fig. 576 gebildeter Fugenschnitt gewählt werden, welcher ohne Anwendung eines selbständigen Abschlußbogens die

Fig. 574.

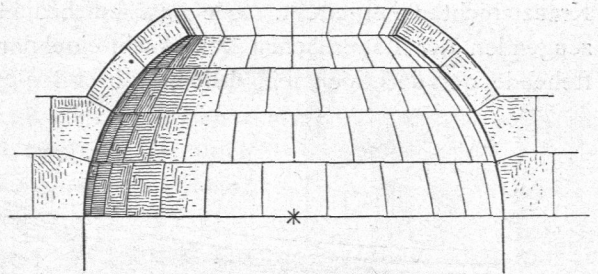


Fig. 575.

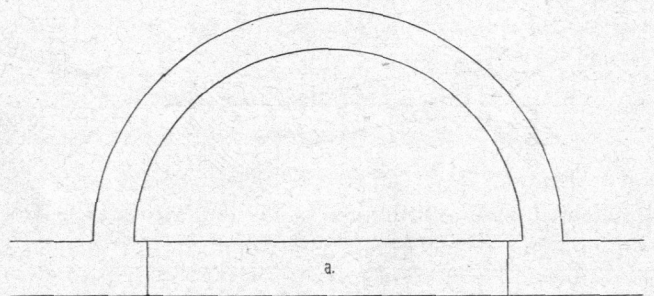
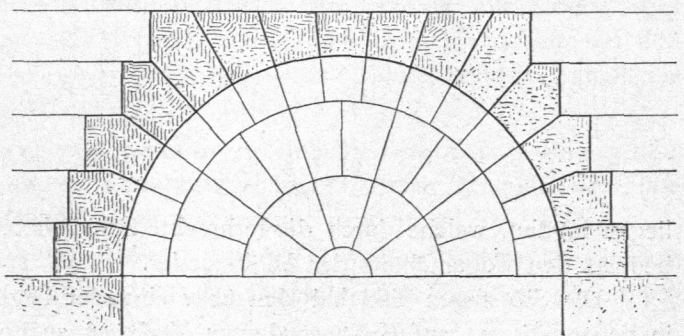


Fig. 576.



388.
Allgemeines.

389.
Ausführung.