Drittes Kapitel.

Construction der Steindecken.

§. 1.

Allgemeines.

Unter Steindece verstehen wir nicht nur die Begrenzung ganzer Räume gegen oben, sondern auch diejenige einzelner Oeffnungen it den Mauern oder zwischen Stützenstellungen.

Im Allgemeinen unterscheiden wir drei verschiedene Arten der Bildung er Steindecken. Die einfachste und natürlichste Decke ist unstreitig die, wenn man einen Stein oder eine Platte von linreichender Größe und Festigkeit so auf den Begrenzungsnauern des Raumes oder der Oeffnung lagert, daß daiurch dieselbe gegen oben geschlossen, oder mit einer Decke versehen wird.

Ist der zu überdckende Raum zu groß, oder die relative Festigkeit der disponiblen Steine und Platten nicht groß genug, um auf die durch die Größe der Oeffnung bedingte Weite, die eigene oder dazu noch fremde Last zu tragen, so kann die Decke auch nch auf folgende Weise gebildet werden. Von zwei einander gegenüberstehenden, oder auch von allen Begrenzungsnauern des Raumes aus, läßt man immer mehr horizontale Steinschichten so übereinander vor- und in das Licht des Raumes hineintreten, daß jede obere Schicht auf der unteren noch eine sichere Unterstützung findet, bis die Größe der Offnung so eingeschränkt ist, daß sie mit einem einzigen Stäne oder einer Platte geschlossen werden kann. Diese Construction war schon im frühesten Alterthume bekannt, we solches das Innere der Pyramiden und die sogenannten Schatzhäuser, „Thesauren", der Griechen beweisen*).

Diese beiden Arten der Deckenbildung geben die sogenannten Steinbalkendecken.

Die dritte Art und Weise endlich der Steindeckenbildung besteht darin, deß man dieselbe aus einzelnen, keilförmig gestalteten Stinen so zusammenfügt, daß jeder einzelne derselben vermöge seiner Form und Lage, von den benachbarten an einer Bewegung gehindert und verspannt wird, und so die ganze Decke unter Voraussetzung unverrückbarer Begrenzungsmauern, von diesen getragen wird, indem sie sich zwischen dieselben einspannt. Eine solche Decke nennen wir allgemein ein Gewölbe.

Es ist daher nicht die äußere Gestaltung, etwa nach Kreis- oder anderen krummen Linien, die eine Decke zu einem Gewölbe macht, denn eine solche Decke läßt sich auch durch die eben beschriebene Ueberkragung darstellen. Das Bezeichnende für das Gewölbe ist: daß die dasselbe bildenden Steine, durch ihre Gestalt und die Art und Weise ihrer Zusammenfügung, auf und zwischen festen Mauern schwebend erhalten werden; vermöge des Gleichgewichts, welches zwischen dem aus ihrer eigenen, oder noch hinzukommender fremder Last hervorgehenden Drucke und dem Widerstande der Mauern besteht. Die krummlinige Gestaltung einer Decke ist für das Gewölbe durchaus nicht bezeichnend, wenn auch gewöhnlich, denn das sogenannte scheitrechte Gewölbe bildet eine ebene, gerade Decke, und entspricht doch dem eben aufgestellten Begriffe eines Gewölbes vollkommen.

Erst die Römer haben dem Gewölbe eine ausgedehnte Verwendung gegeben, welche sie von den Etruskern entlehnten, die schon vor der Eroberung Griechenlands durch die Römer Gewölbe in Halbkreisform mit kleinen Keilsteinen ausführten. Mit der Einführung des Gewölbes beginnt aber auch eine neue Epoche in der Architekturgeschichte, indem nichts geeigneter war, als dieses constructive Element, um eine durchgreifende Umgestaltung der architektonischen Verhältnisse hervorzurufen.

Das gemüthliche, behäbige, ängstlich sichere Bauen der alten Völker, blos auf vertikalem Druck und Gegendruck beruhend, hört mit der Anwendung des Gewölbes allmälig auf, indem durch dasselbe gegen die Stütze eine bisher fast unbekannte Kraft erwächst, welche normal auf ihre Richtung wirkend, um so gefährlicher für sie wird, als sie in der Regel weit oben thätig ist. In dieser Wechselwirkung normaler Pressung auf die Richtung oder Achse der Stütze und deren Stabilität beruht das Prinzip des Gewölbebaues.

Bei der aus Steinbalken construirten Decke wird die relative Festigkeit des Materials beansprucht, dagegen beim Gewölbe vorzugsweise die bei weitem größere, d. i. die rückwirkende. Bei ersterer Construction sind große Steine erforderlich, und kann die Anwendung des Mörtels ganz unterbleiben, während bei letzterer kleine Steine verwendet werden können, wobei der Mörtel eine nicht unbedeutende Rolle spielt. Die Anwendung des Gewölbes mußte wie kein anderer Constructionstheil zum Denken auffordern, indem mit den altherkömmlichen Stabilitätsverhältnissen gebrochen werden mußte und neue aufzusuchen waren, eine Aufgabe, welche erst in der sogenannten gothischen Bauperiode ihre vollständige Lösung fand.

Dieß glauben wir in Kürze unter der Voraussetzung beweisen zu können, daß man beim Vergleiche der belastenden Theile, der Gewölbe, auch die der tragenden und stützenden, oder die Mauern in Betracht ziehen müsse.

Die römische Umfassungsmauer erfuhr durch die Aufnahme des Gewölbes, wodurch sie Widerlagsmauer wurde,

*) Eine Abbildung des Schatzhauses des Atreus zu Mykenä ist fast in jedem Handbuche der Kunstgeschichte zu finden, weshalb wir uns begnügen, hier auf ein solches zu verweisen.

keine Umgestaltung in statischer Beziehung, und wurde dieselbe in gleicher Stärke aufgeführt, gleichviel ob das Gewölbe einen gleichmäßigen Druck ausübte, wie das Tonnengewölbe oder Kuppelgewölbe, oder ob nur einzelne Stellen gepreßt wurden, wie dieß beim Kreuzgewölbe der Fall ist. Die Auffassungsweise der Widerlagsmauer ging aber auch folgerichtig auf die des Gewölbes über, welches uns in seiner Massenhaftigkeit als ein gekrümmter Mauerkörper erscheint, was man besonders von den so häufig ausgeführten Gußgewölben sagen kann. Der Charakter der Widerlagsmauer übertrug sich demnach auf das Gewölbe und umgekehrt. Genau dasselbe finden wir in der gothischen Periode. Die Widerlagsmauer ist im Vergleiche zur römischen eine andere geworden, indem sie eine den Pressungsverhältnissen der Gewölbe entsprechende statisch richtige Umgestaltung erfahren hat; sie konnte dünner gemacht werden, da sie mit stellenweisen Verstärkungen „Strebepfeilern" versehen wurde. Es fand somit eine entschieden vertikale Theilung der Mauer statt, welche bei dem am häufigsten zur Ausführung gebrachten Kreuzgewölbe in die strebenden Theile „Widerlager, Strebepfeiler" und in die füllenden Theile „Füllmauer" zerlegt werden kann. Diese Theilung zeigt sich aber auch an den Gewölben, wo wir ein Zerlegen in größere oder kleinere Felder nach verschiedenen geometrischen Figuren wahrnehmen, deren Linien mit besonderer Aufmerksamkeit ausgeführt, als die stärksten Theile des Gewölbes und vor dasselbe vortretend erscheinen, weßhalb sie auch Rippen genannt werden. Diese Rippen sind es, welche das gothische Gewölbe charakterisiren, welche die tragenden Theile des Gewölbes bilden und sich zu diesem genau verhalten, wie die Strebepfeiler zur Umfassungsmauer überhaupt.

In dem der gothischen Periode angehörigen Rippen- oder Netzsystem der Mauern und Gewölbe liegt aber der große Fortschritt in constructiver Beziehung. Während sich das römische Gewölbe als gekrümmte Fläche über die Grundform spannt, schreiten beim gothischen Gewölbe krumme Linien frei und leicht über dieselbe, welche die Form des Gewölbes bestimmend, sich zur Aufnahme der Gewölbeflächen vorbereiten. Darin liegt aber der allein richtige leitende Gedanke bei der Bildung der Gewölbe, und der gothischen Bauperiode haben wir es zu verdanken, daß wir uns in der Construction feuerfester Decken in Stein und Eisen frei bewegen können.

Von allen Deckenbildungen wirkt unstreitbar das Gewölbe am mächtigsten, indem durch dasselbe die Schwere der Materie scheinbar überwunden ist, weßhalb wir es die Krone der Steinconstruction nennen möchten*).

Gehen wir nun zunächst zu den Gewölben und dann zu den Steinbalkendecken über.

*) Man lese hierüber in „Semper, der Styl", Bd. 2, S. 389, §. 165: die beiden Hauptmomente in der Geschichte der Steinconstruction.

A. Von den Gewölben.

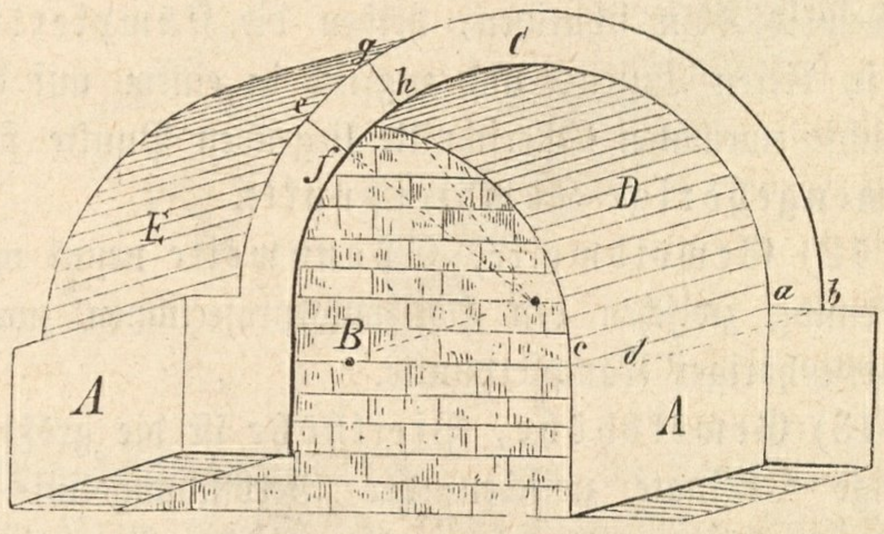
§. 2.

Benennung der Gewölbtheile.

Den Namen Gewölbe behalten die Steindecken gewöhnlich nur da, wo sie ganzen Räumen als Decken dienen, und werden da, wo sie Oeffnungen in den Mauern decken, Bogen oder Sturz genannt; letztere Bezeichnung findet besonders dann statt, wenn sie eine ebene, gerade Fläche bilden (Fenster- oder Thürsturz). Ein wesentlicher Unterschied zwischen Bogen und Gewölbe ist aber nicht vorhanden, denn ein Bogen ist ein Gewölbe, welches die Mauerdicke, in der die überspannte Oeffnung befindlich ist, zur Länge hat. Ein Brückengewölbe z. B. ist von einem Fenster- oder Thürbogen gewiß nicht wesentlich verschieden, wenn wir die Breite der Brücke als die Dicke einer Mauer ansehen, in welcher eine Oeffnung überwölbt wurde.

Die einzelnen Theile eines Gewölbes oder Bogens haben verschiedene Namen bekommen, und um diese kennen zu lernen, wollen wir in Figur 209 ein Gewölbe zu

Fig. 209.



Grunde legen, welches in seiner Form die eine Hälfte eines, durch eine Ebene in seiner Achse geschnittenen, hohlen, geraden Cylinders darstellt, also in seinem auf die Cylinderachse senkrechten Querschnitte ein halbkreisförmiges Ringstück bildet; in den nachfolgenden Definitionen aber, die Gewölbformen etwas allgemeiner aufzufassen versuchen.

1) Widerlager, Widerlagsmauern AA heißen diejenigen Begrenzungsmauern des überwölbten Raumes, auf oder zwischen welchen das Gewölbe selbst eine Stütze findet, und die vermöge ihrer Stabilität dem Drucke des Gewölbes Widerstand leisten.

2) Stirn- oder Schildmauern B nennt man diejenigen Umfassungsmauern eines überwölbten Raumes, welche nicht Widerlager sind. Fehlen sie, wie z. B. bei allen Brückengewölben, so heißt das Gewölbe ein offenes.

3) Gewölbstirn, Haupt eines Gewölbes, ist der dem Beschauer sichtbare Querschnitt C desselben.

4) Gewölbrücken nennt man die äußere Endfläche E.

5) Leibung ennen wir die innere (untere, von unten angesehene) Fläche des Gewölbes D. Man kann sich dieselbe erzeugt denken durch stetige Bewegung eines Bogens, dessen Mittlpunkt in einer gegebenen Linie fortschreitet und dessen Ebene auf dieser Linie immer normal bleibt.

6) Die Linie, welche bei dieser Erzeugung vom Mittelpunkte des Bogens durchlaufen wird, heißt die Gewölbachse. (Im Beispiel der Figur eine gerade Linie.)

7) Jede Lage des erzeugenden Bogens heißt die Bogenlinie des Gewölbes.

8) Der höchst Punkt der Bogenlinie heißt ihr Scheitelpunkt; die von ihm (bei Erzeugung der Leibungsfläche) beschriebene Linie die Scheitellinie des Gewölbes.

9) Gewölbfuß Gewölbanfang heißt der untere, zunächst auf de Widerlager ruhende Theil des Gewölbes.

10) Gewölbsole ist diejenige Fläche, mit welcher der Gewölbfuß auf der Oberfläche des Widerlagers aufsitzt, in der Figur durch a b c d bezeichnet.

11) Die Linien, in welchen sich die Leibungsfläche und die Gewölbsohlen schneiden, heißen die Kämpferlinien; zwei in diesen Linien und zugleich in einem auf die Gewölbachse normalen Querschnitte liegenden Punkte sind zusammengehörige Kämpferpunkte.

12) Gewölbweite, Spannweite nennt man die Entfernung zwischen den Horizontalprojectionen zweier zusammengehöriger Kämferpunkte.

13) Gewölbhöhe, Pfeilhöhe ist die größte rechtwinklige Ordinate zwischen der Verbindungslinie zweier zusammengehöriger Kämpferpunkte und der Bogenlinie.

14) Legt man durch die Scheitellinie eines Gewölbes eine lothrechte Fläche so theilt dieselbe das Gewölbe in zwei Gewölbschenke. Fällt eine der Kämpferlinien mit der Scheitellinie zusammen, so daß nur ein Gewölbschenkel vorhanden ist, so heiß das Gewölbe einschenklich. Jeder Schenkel eines Mauerbogens, für sich betrachtet, heißt ein Strebebogen.

15) Die das Gewölbe bildenden, keilförmig gestalteten Steine heißen Gewölbsteine, der in einem Querschnitte höchstgelegene der Schlußstein, und die am tiefsten liegenden die Anfänger. Die ersten bilden den Gewölbscheitel, die letzteren die Gewölbfüße.

16) Gewölbfugen heißen die in der Gewölbstirn sichtbar werdenden Fugen, wie e f und g h, Fig. 209. Ihre gradlinigen Verlängerungen treffen in die, zu den betreffenden Bogenelementen gehörigen Mittelpunkte, oder stehen normal auf diesen Bogenelementen.

17) Die Gewölbdicke wird durch die Länge der Gewölbfugen gemessen.

Von den Gewölbformen *).

§. 3.

Die Grundform aller Gewölbe, so verschieden sie auch sein mögen, bildet das Tonnengewölbe.

Das einfachste und regelmäßigste Tonnengewölbe entsteht, wenn wir uns ein halbkreisförmiges Ringstück in fortwährend lothrechter Stellung auf einer Horizontalebene geradlinig so fortbewegt denken, daß die, durch die Bewegung des Mittelpunktes erzeugte gerade Linie stets senkrecht auf der Horizontalprojection der Ebene der Ringfläche steht. In dem so entstandenen Gewölbe bildet die Leibung den Mantel eines halben, geraden Cylinders, die Kämpfer- und Scheitellinien liegen horizontal, sind gerade und parallel zur Achse und haben gleiche Länge mit dieser, die Bogenlinie ist in jedem zur Achse senkrechten Querschnitte ein Halbkreis von demselben Radius, und die Gewölb- oder Pfeilhöhe ist der halben Spannweite gleich.

Diese regelmäßige Form ist aber vieler Veränderungen und Umgestaltungen fähig, je nachdem man die Bedingungen für die Lage und Gestalt der eben angeführten Gewölbtheile ändert.

Alle diese möglichen Veränderungen anzuführen, würde sehr weitläufig und fast ohne Nutzen sein. Wir wollen daher nur die allergewöhnlichsten kennen lernen und uns begnügen, darauf hinzudeuten, daß durch Veränderung der geraden Gestalt, gleichen Länge, horizontalen und parallelen Lage der Kämpfer-, Achs- und Scheitellinien, ferner durch Veränderung der Gestalt der Bogenlinie fast unzählig verschiedene Tonnengewölbformen entstehen können, bei denen die ursprüngliche Gestalt oft gar nicht wieder zu erkennen sein wird.

Die gewöhnlichen Tonnengewölbformen sind folgende:

Halbkreisförmig oder ein Gewölbe im vollen (römischen) Bogen, heißt das eben zu Grunde gelegte Tonnengewölbe, dessen Bogenlinie in jedem zur Achse normalen Querschnitte einen Halbkreis zeigt.

Enthält die Bogenlinie weniger als die Hälfte einer Kreislinie, so heißt das zugehörige Gewölbe ein flaches, ein Stichbogengewölbe. Die Pfeilhöhe ist hierbei kleiner als die halbe Spannweite. Man nennt diese Gewölbe auch Kappengewölbe, wenn die Pfeilhöhe um sehr viel von der halben Spannweite übertroffen wird, oder das Gewölbe sehr flach ist.

---

*) Wir empfehlen unsern Lesern einen hier einschlagenden und durch Figuren erläuterten Aufsatz über die verschiedenen Gewölbformen in Förster's allgem. Bztg. 1846 S. 376 von de Lassaulx.

Bildet die Bogenlinie keine stetig gekrümmte Kurve, sondern besteht sie aus zwei Bogenschenkeln, die im Scheitel einen Bogenwinkel bilden, so heißt das Gewölbe ein *spitzbogiges* oder *gothisches* Gewölbe.

Besteht die Bogenlinie aus einer halben Ellipse, so heißt auch das Gewölbe *elliptisch*, und zwar *flach* (gedrückt), wenn die halbe kleine Achse die Pfeilhöhe und die ganze große Achse die Spannweite, *hoch* (überhöht, gebürstet), wenn umgekehrt die ganze kleine Achse die Spannweite und die halbe große die Pfeilhöhe bildet. Eben so kann der Bogenlinie eine andere Kurve, eine Parabel, Kettenlinie u. s. w. zu Grunde gelegt sein, wonach dann auch das Gewölbe Gestalt und Namen annimmt. Wird die Bogenlinie eine *gerade*, so heißt das Gewölbe ein *scheitrechtes*.

Unter den verschiedenen krummen Linien, nach denen die Bogenlinie des Gewölbes gestaltet sein kann, verdient der *Korbbogen* einer besondern Erwähnung, weil er (besonders früher bei Brückengewölben) häufig in Anwendung ist. Der Korbbogen besteht aus mehreren, stetig in einander übergehenden, aus verschiedenen Mittelpunkten und mit verschiedenen Halbmessern beschriebenen Kreisbogen. Er wird für die Ausführung von Gewölben deßhalb der Ellipse häufig vorgezogen, weil die Bestimmung der Gewölbfugenrichtung bei letzterer unbequemer ist, und weil bei der großen Unbestimmtheit der Form, der Korbbogen einen sehr großen Spielraum bei seiner Gestaltung zuläßt, und daher Gelegenheit gibt, den lichten Raum unter dem Gewölbe je nach Erforderniß zu vergrößern, was bei andern Kurven von bestimmter Natur nicht der Fall ist.

Im Allgemeinen nennt man einen Bogen einen *gedrückten*, wenn seine Pfeilhöhe *kleiner* als die halbe Spannweite, einen *überhöhten* (gebürsteten), wenn seine Pfeilhöhe *größer* als die halbe Spannweite ist. Hierbei ist aber vorausgesetzt, daß die verlängerte Richtung des Widerlagers, in einem zur Achse senkrechten Querschnitte, in den Kämpferpunkten die Bogenlinie tangirt. Man pflegt die nicht halbkreisförmigen Bögen gewöhnlich dadurch zu bezeichnen, daß man sie nach dem Verhältniß ihrer Pfeilhöhe zur Spannweite benennt; es heißt z. B. ein Bogen auf ein Drittheil gedrückt, wenn sich seine Pfeilhöhe zur Spannweite wie 1 zu 3 verhält u. s. f.

Man nennt ferner ein Gewölbe oder einen Mauerbogen *einhüftig*, wenn die Kämpferlinien desselben, zwar jede für sich wagerecht, aber nicht beide in ein und derselben Horizontalebene liegen, *steigend* dagegen, wenn die Kämpferlinien zwar in ein und derselben Ebene, auch zwei zusammengehörige Kämpferpunkte in einer wagrechten Linie liegen, die Ebene der Kämpferlinien selbst aber nicht horizontal, sondern geneigt liegt.

Ein Gewölbe heißt *gerade*, wenn die Horizontalprojectionen der Stirnen desselben senkrecht zur geradlinigen Achse sind, *schief* dagegen, wenn dieß nicht der Fall ist.

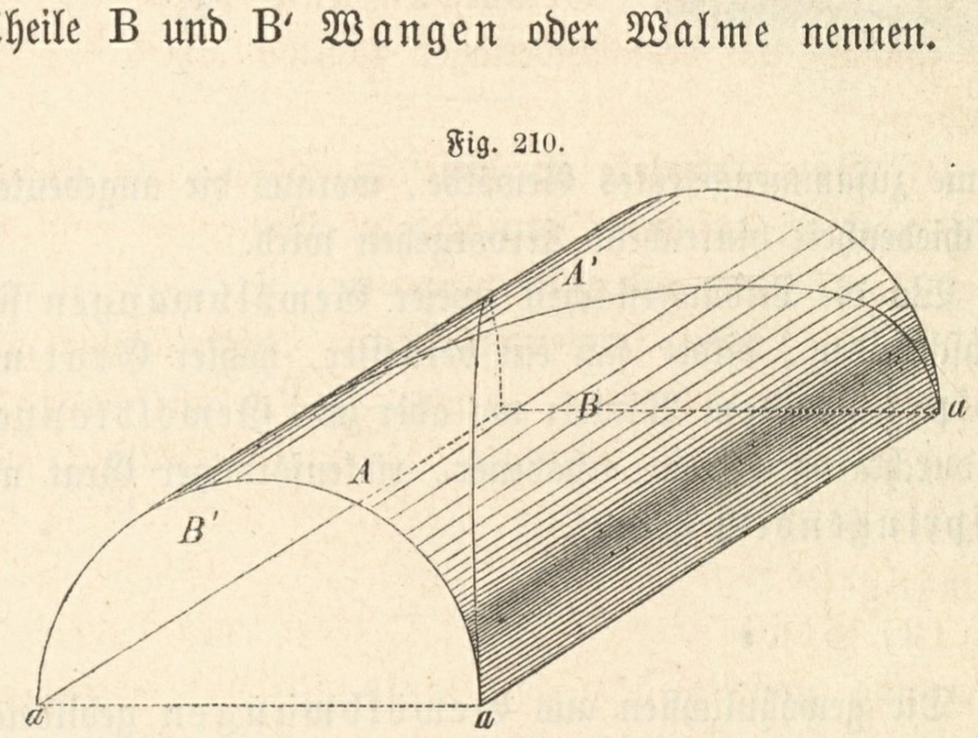
Ein *Ringgewölbe* entsteht, wenn die Achse eine horizontalliegende Kurve bildet, und ein *Schneckengewölbe*, wenn die Achse eine Schraubenlinie ist.

Die hier aufgeführten Benennungen gelten zunächst zwar nur für Tonnengewölbformen, doch sind sie auch für manche andere Gewölbe anwendbar, wie sich dieß in der Folge zeigen wird.

Denkt man sich ein (der Einfachheit wegen regelmäßiges) Tonnengewölbe durch zwei diagonal gestellte, lothrechte Ebenen geschnitten, so entstehen vier Theile A A′ und B B′, Fig. 210, von denen zwei gegenüber liegende einander gleich, zwei benachbarte aber wesentlich von einander verschieden sind.

Die Theile A und A′ wollen wir *Kappen*, die Theile B und B′ *Wangen* oder *Walme* nennen. Der

Fig. 210.



Unterschied beider leuchtet ein, denn die Wangen B, B′ behalten ihren Gewölbfuß, ein geradliniges Widerlager, und bilden in ihrer Leibungsfläche eine, aus einer geraden und zwei gebogenen Linien bestehende, dreiseitige Figur, deren höchster Punkt der Scheitel des Gewölbtheils ist; sie haben daher eine *Widerlagslinie* und nur einen *Scheitelpunkt*.

Die Kappen A, A′ hingegen haben nur die Punkte a a als Widerlager, die Leibungsfläche bildet eine durch drei gekrümmte Linien begrenzte, dreiseitige Figur, deren höchst gelegene Linie zugleich einen Theil der Scheitellinie des zerschnittenen Gewölbes bildet; weßhalb die Kappen eine *Scheitellinie* und nur *Widerlagspunkte* haben.

Aus diesen *Wangen* und *Kappen* lassen sich nun verschiedene Gewölbformen bilden, die, weil die Elemente, aus denen sie bestehen, so verschieden sind, ebenfalls bedeutende Verschiedenheiten zeigen müssen.

Zunächst können wir schon von vornherein bemerken, daß ein aus *Gewölbwangen* zusammengesetztes Gewölbe nur einen

Scheitelpunkt und so viel Widerlagsmauern haben muß, als der überwölbte Raum Umfangsseiten hat; das aus Gewölbkappen gebildete Gewölbe hingegen nur so viele Widerlagspunkte, als die Umfassungsfigur des überwölbten Raumes Ecken hat, und so viel Scheitellinien, als Gewölbkappen zur Bildung des Gewölbes zusammengesetzt wurden, d. h. so viele als die Grundfigur Seiten hat. Figur 211 zeigt ein aus vier Gewölbwangen und Fig. 212 ein aus vier Gewölbkappen über einem viereckigen

Fig. 211.

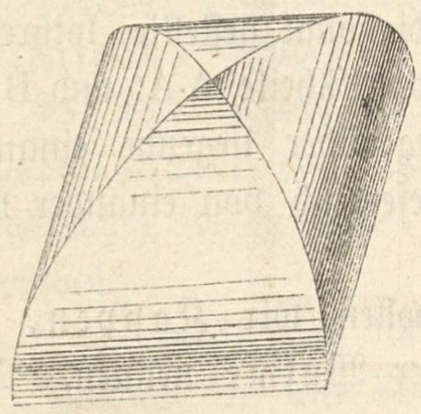
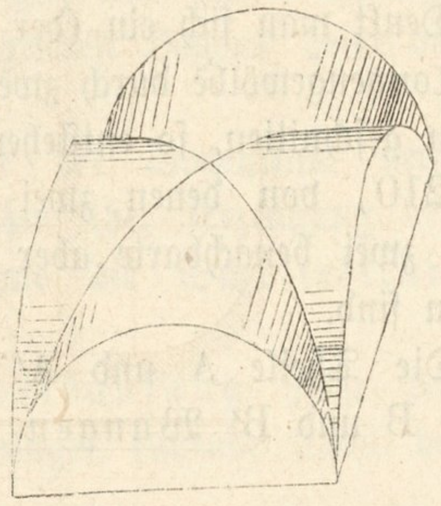


Fig. 212.



Raume zusammengesetztes Gewölbe, woraus die angedeutete Verschiedenheit hinreichend hervorgehen wird.

Wo die Leibungsflächen zweier Gewölbwangen sich durchschneiden, bildet sich ein vertiefter, hohler Grat mit ausspringendem Winkel; wo aber zwei Gewölbkappen sich durchdringen, ein erhabener, rückenförmiger Grat mit einspringendem Winkel.

Die gewöhnlichsten aus Gewölbwangen gebildeten einfachen Gewölbformen sind folgende:

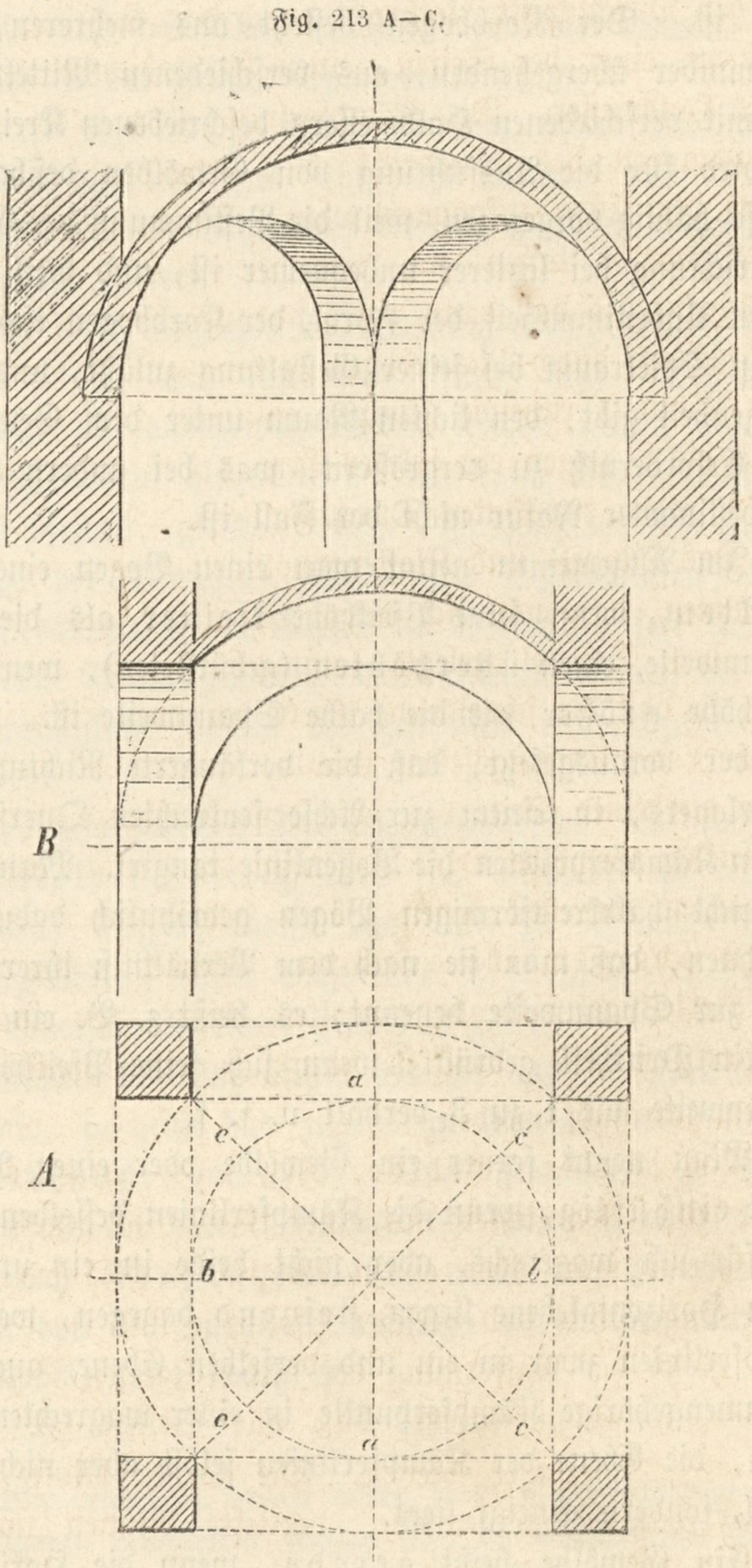
Das Klostergewölbe, welches entsteht, wenn man die Umfassungsmauern eines drei-, vier- oder mehrseitigen Raumes als Widerlager eben so vieler Gewölbwangenstücke von gleicher Pfeilhöhe ansieht, welch' letztere mit ihren Spitzen in einem Punkte, dem Scheitelpunkte des Klostergewölbes, zusammentreffen. In diesem Punkte müssen daher auch alle hohlen Gräte des Gewölbes zusammenlaufen, und in der Horizontalprojection des Gewölbes werden diese Gräte gerade Linien bilden, die von einem Punkte, der Projection des Scheitelpunktes, ausgehend, sternförmig nach den Winkelpunkten der Grundfigur laufen.

Da die Anzahl der Seiten der Grundfigur für das Klostergewölbe unbegrenzt ist, so können wir diese auch unendlich groß, die Seiten selbst aber unendlich klein annehmen, wo dann eine in sich geschlossene krumme Linie als Anfang des überwölbten Raumes entsteht; und da nun die Gräte des Gewölbes verschwinden, so bildet sich aus dem Klostergewölbe die Kuppel. In der Ausführung wird nicht leicht eine andere Kurve als die Kreislinie für den Umfang des zu überwölbenden Raumes vorkommen; und dann entsteht ein Gewölbe, welches in allen lothrechten, durch seinen Scheitelpunkt gelegten Querschnitten lauter congruente Figuren zeigt. Sind diese Figuren congruente Kreisabschnitte, so entsteht ein Kuppelgewölbe.

Unter Voraussetzung eines Kreises als Grundfigur können wir uns daher das Kuppelgewölbe auch so entstanden denken, daß sich ein Kreisabschnitt (auch Halbkreis), eine halbe Ellipse, eine Parabel, Hyperbel, ein Korbbogen ꝛc. um die lothrecht gestellte Achse bewegt, und durch die Kurve selbst die Leibungsfläche eines Kuppelgewölbes erzeugt wird, welches nach dieser Kurve den Namen eines kugelförmigen, ellipsoidischen, paraboloidischen ꝛc. Kuppelgewölbes annimmt.

Stellt man ein solches Kuppelgewölbe mit seiner Gewölbsohle auf die Oberfläche einer ringförmigen Umfangsmauer, so bildet diese zugleich das zusammenhängende Widerlager, und die Kämpferlinie ist ein horizontalliegender

Fig. 213 A—C.



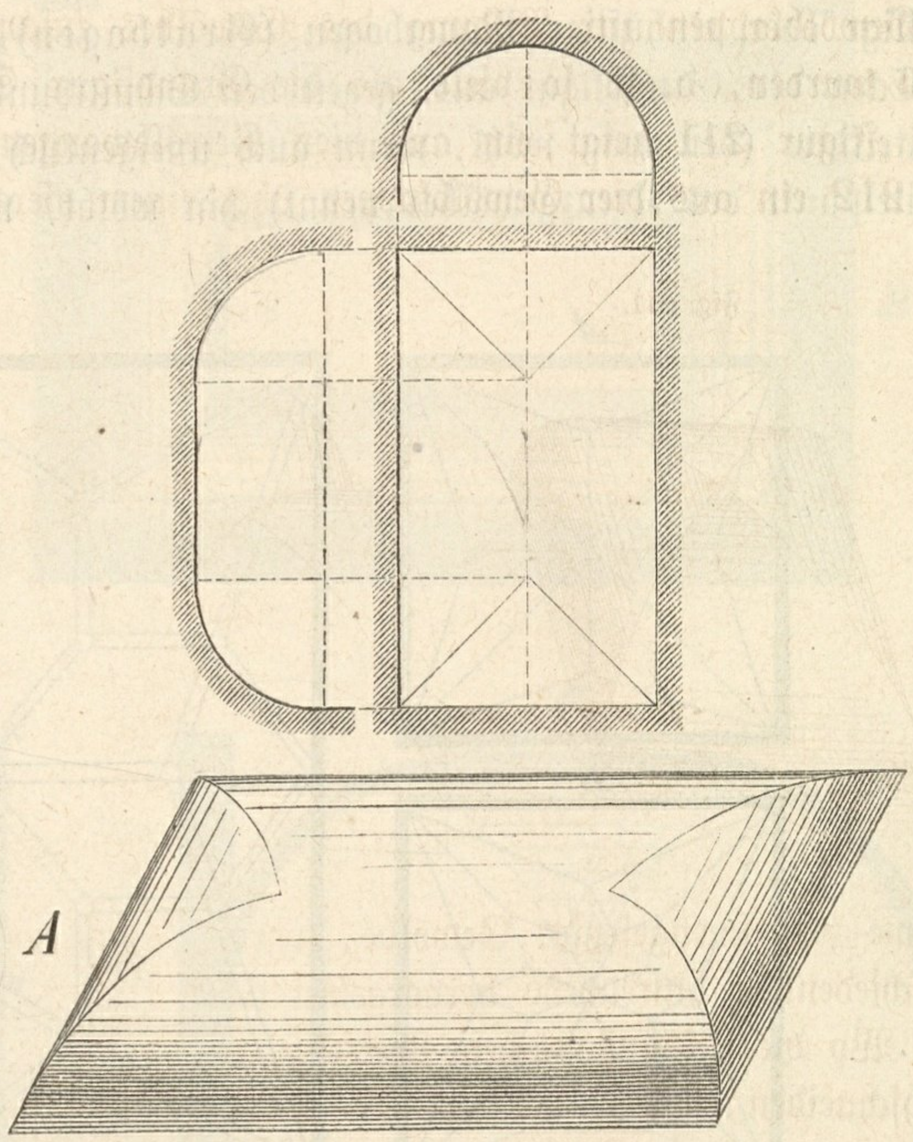
Kreis. Man kann sich die Kuppel aber auch über einem geradlinig begrenzten Raume so aufgestellt denken, daß nur einzelne Punkte der Kuppel auf die wagerecht abgeschnittenen Widerlagsmauern treffen, wie a a und b b, Fig. 213 A, und nun die Leibungsfläche weiter fortgesetzt wird, bis sie in die lothrechten Widerlagsmauern einschneidet, und so die Zwickel c c überdeckt werden. Die Kämpferlinie der Kuppel ist hierbei an keiner Stelle gerade und horizontal, sondern eine bogenförmig an den Umfangsmauern hinlaufende Linie, die in den Ecken des Raumes ihre tiefsten und in den Berührungspunkten a a und b b ihre höchsten Punkte hat. Eine solche Kuppel könnte man, weil das Gewölbe in den Ecken des Raumes tiefer herabhängt, vielleicht eine Hängekuppel nennen.

Ist hierbei in einem besondern (aber auch sehr häufig vorkommenden) Falle die Grundfigur ein Quadrat und das Gewölbe durch Umdrehung eines Halbkreises entstanden, dessen Durchmesser gleich der Diagonale des Quadrats ist, so gibt der Schnitt einer lothrechten Ebene durch eine der Diagonalen der Grundfigur einen Halbkreis als Bogenlinie, und der Durchschnitt, lothrecht durch den Scheitel und parallel mit einer der Seiten, einen Kreisabschnitt von demselben Halbmesser. Die Kämpferlinie aber bildet an den Seitenmauern des Quadrats vier congruente Halbkreise, die in den Ecken zusammenlaufen. Diese Umfangsmauern des Quadrats lassen sich nun ebenfalls halbkreisförmig durchbrechen, so daß dann eine, nur auf vier in den Ecken angebrachten, durch Mauerbogen verbundenen Stützen (Pfeilern, Säulen) ruhende Kuppel entsteht. Die Figur 213 von A bis C zeigen ein solches Gewölbe im Grundrisse und in den beiden erwähnten Durchschnitten.

Das Kuppel- und Klostergewölbe können beide auch so vorkommen, daß man sich einen Theil derselben durch eine durch den Scheitel gelegte lothrechte Ebene abgeschnitten denkt, so daß die schneidende Ebene bei dem Klostergewölbe mit einer der Umfangsseiten parallel ist und der überwölbte Raum auf einer Seite der schneidenden Ebene offen bleibt. Dergleichen Gewölbe werden häufig bei Kirchenchören und angebauten Kapellen benützt, und haben daher auch den Namen Chorgewölbe bekommen. Kleine, in der Leibung eine Viertelkugel bildende Gewölbe, nennt man auch wohl Nischengewölbe, weil sie häufig zur Ueberwölbung von Nischen gebraucht werden.

Das Muldengewölbe, Fig. 214 dargestellt, und wegen seiner Aehnlichkeit mit einer Mulde so genannt, entsteht, wenn man über einem länglich rechteckigen Raume vier Wangenstücke von gleicher Pfeilhöhe und einer Spannweite, gleich der Entfernung der beiden langen Seiten von einander, so zusammensetzt, daß alle Seiten der Grundfigur als Widerlager dienen. Die Gräte bilden hierbei, wie bei dem Klostergewölbe, vertiefte Rinnen mit ausspringendem Winkel, und in der Horizontalprojection gerade Linien, die aber nicht in einem Punkt zusammenlaufen, sondern zwei Dreiecke bilden, deren Spitzen durch eine Scheitellinie verbunden werden. Das Muldengewölbe bildet daher

Fig. 214.



in seinem mittleren Theile ein gerades Tonnengewölbe, und ist an beiden Enden durch zwei halbe Klostergewölbe geschlossen, die mit ihm einerlei Bogenlinie haben.

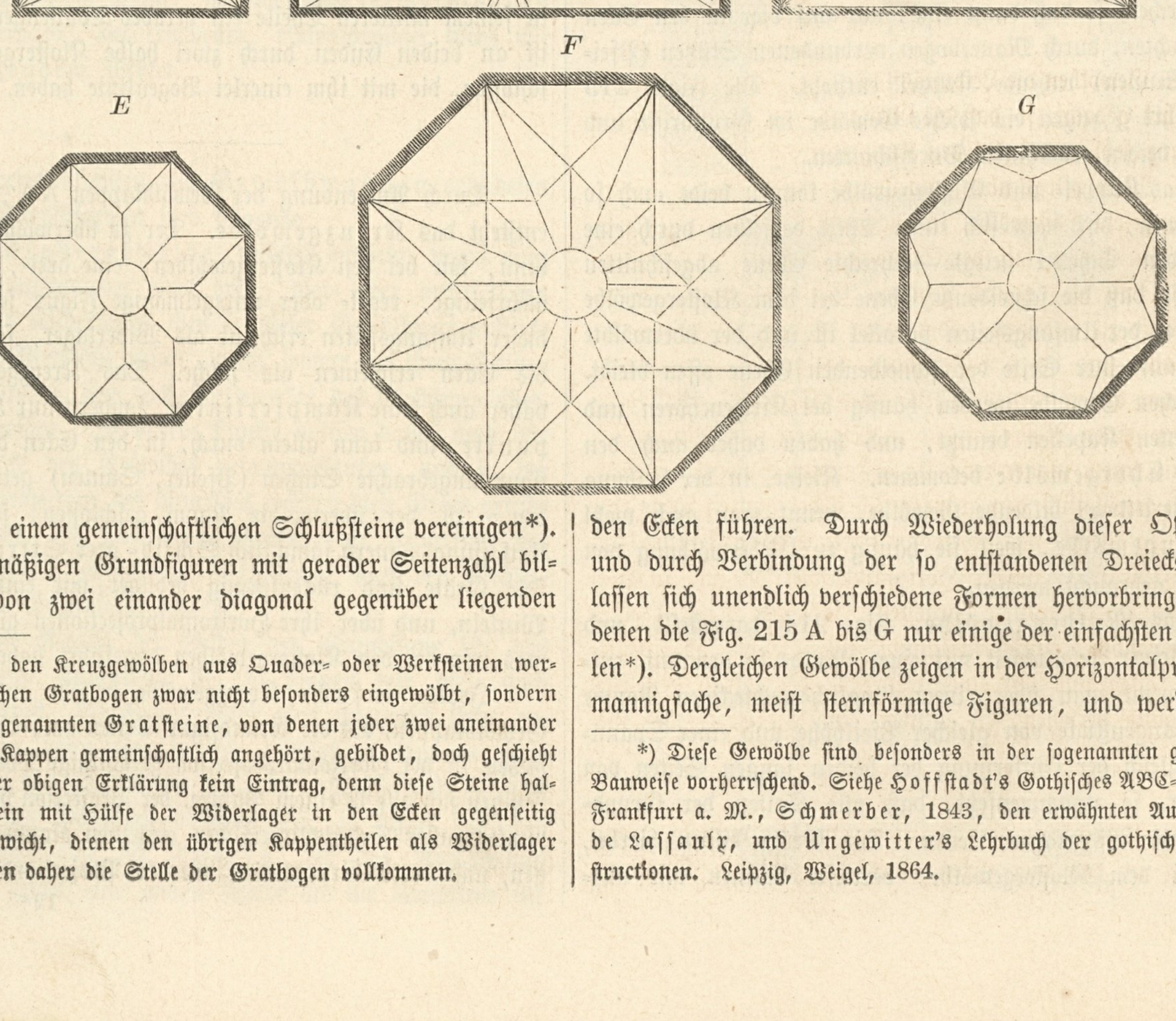
Durch Anwendung der Gewölbkappen A A', Fig. 210, entsteht das Kreuzgewölbe. Der zu überwölbende Raum kann, wie bei den Klostergewölben, eine drei-, vier- oder mehrseitige, regel- oder unregelmäßige Figur sein. Keine dieser Umfangsseiten erscheint als Widerlager, sondern nur die Ecken erscheinen als solche. Das Kreuzgewölbe hat daher auch keine Kämpferlinien, sondern nur Kämpferpunkte, und kann allein durch, in den Ecken der Grundfigur angebrachte Stützen (Pfeiler, Säulen) getragen werden. Ist der überwölbte Raum geschlossen, so sind die Umfassungsmauern sämmtlich Schild- oder Stirnmauern. Die Gräte sind rückenförmig gebildet mit einspringenden Winkeln, und über ihre Horizontalprojectionen gilt dasselbe, was wir bei den Klostergewölben angeführt haben.

Jedes einfache Kreuzgewölbe besteht aus so vielen Gewölbkappen, als die Grundfigur Seiten hat; diese Kappen bilden in der Horizontalprojection geradlinige Dreiecke, deren Spitzen sich alle in einem Punkte, der Projection des Schnittpunktes aller Scheitellinien der einzelnen Kappen, vereinigen, und deren Grundlinien mit den Projectionen der Um-

fangsseiten der Grundfigur zusammenfallen. Diese Dreiecksgrundlinien sind die Horizontalprojection der Stirnen der Gewölbkappen, und diese allein finden in den Ecken der Grundfigur ihre Widerlagspunkte. Für die beiden übrigen Seiten der Kappen müssen aber erst Widerlager gebildet werden. Diese erhält man, indem man besondere, einschenklige oder einhüftige Mauerbogen (Gratbogen), von den Ecken der Grundfigur aus, gegen den Schnittpunkt der Scheitellinie (den man wohl, wenn auch uneigentlich, den Scheitelpunkt des Kreuzgewölbes nennt) hin wölbt, wo sie sich alle in einem gemeinschaftlichen Schlußsteine vereinigen*). Bei regelmäßigen Grundfiguren mit gerader Seitenzahl bilden die von zwei einander diagonal gegenüber liegenden Eckpunkten ausgehenden Gräte in der Horizontalprojection gerade, durch die Projection des Scheitelpunktes gehende Linien. Ein lothrechter Durchschnitt durch dieselben gibt Bogenlinien, deren Scheitel mit dem des Gewölbes zusammenfallen und deren Fuß in den Ecken des überwölbten Raumes sein Widerlager findet.

Denkt man sich nun diese Gratbögen allein aufgeführt, so kann man die dadurch gebildeten Dreiecke wieder als zu überwölbende Räume ansehen, mithin in jedes solches Dreieck wieder einen Scheitelpunkt legen und von diesem Gräte nach den Ecken führen. Durch Wiederholung dieser Operation und durch Verbindung der so entstandenen Dreiecksysteme lassen sich unendlich verschiedene Formen hervorbringen, von denen die Fig. 215 A bis G nur einige der einfachsten darstellen*). Dergleichen Gewölbe zeigen in der Horizontalprojection mannigfache, meist sternförmige Figuren, und werden da-

Fig. 215 A—G.



*) Bei den Kreuzgewölben aus Quader- oder Werksteinen werden dergleichen Gratbogen zwar nicht besonders eingewölbt, sondern durch die sogenannten Gratsteine, von denen jeder zwei aneinander grenzenden Kappen gemeinschaftlich angehört, gebildet, doch geschieht hierdurch der obigen Erklärung kein Eintrag, denn diese Steine halten sich allein mit Hülfe der Widerlager in den Ecken gegenseitig im Gleichgewicht, dienen den übrigen Kappentheilen als Widerlager und vertreten daher die Stelle der Gratbogen vollkommen.

*) Diese Gewölbe sind besonders in der sogenannten gothischen Bauweise vorherrschend. Siehe Hoffstadt's Gothisches ABC-Buch ꝛc., Frankfurt a. M., Schmerber, 1843, den erwähnten Aufsatz von de Lassaulx, und Ungewitter's Lehrbuch der gothischen Constructionen. Leipzig, Weigel, 1864.

her auch wohl Sterngewölbe genannt, obgleich sie von den Kreuzgewölben eben so wenig wesentlich verschieden sind, als es einen constructiven Unterschied begründet, ob die Gewölbkappen zu einem kreisförmigen, spitzbogigen oder elliptischen Gewölbe gehören.

Sind die Gräte der Kreuzgewölbe aus der übrigen Leibungsfläche heraustretend gebildet und diesem gemäß besonders geformt, oder profilirt, so nennt man sie Rippen, wobei man dann, in Bezug auf die eben beschriebenen Sterngewölbe, Haupt- und Nebenrippen ꝛc. unterscheiden und diese verschieden ausbilden kann.

Bisher haben wir uns sowohl bei den aus Gewölbwangen, als aus Gewölbkappen entstandenen Gewölben die Leibungsfläche zum Scheitel derselben fortgeführt gedacht, so daß die Gräte (wenn dergleichen nicht etwa ganz fehlen, wie bei den Kuppelgewölben) sich hier vereinigen. Man pflegt aber zuweilen die aus Wangenstücken zusammengesetzten Gewölbe, in angemessener Tiefe unter dem Scheitel, durch eine mit der Sohlenfläche parallele Ebene zu schneiden, und die dadurch gebildete Oeffnung entweder mit einer Ebene zu schließen, oder auch offen zu lassen. Im ersten Falle, und bei den Gewölben, die keine Kuppeln sind, nennt man diesen ebenen Theil einen Spiegel, bei Kuppeln aber einen Nabel. Ist insbesondere das Muldengewölbe mit einem immer rechteckig gestalteten Spiegel versehen, der dann gewöhnlich den größern Theil der ganzen Decke einnimmt, so heißt das Gewölbe ein Spiegelgewölbe, Fig. 216 A bis C in der Horizontalprojection und in zwei senkrechten Durchschnitten dargestellt. Ist der Nabel eines Kuppelgewölbes, zur Gewinnung einer Licht- oder Luftöffnung, offen und mit einer lothrecht oder schräg gestellten Umwandung versehen, so entsteht eine Laterne des Gewölbes.

Das Trichter- oder Fächergewölbe entsteht, wenn wir uns in den vier Ecken eines horizontalen Quadrats

Fig. 216 A—C.

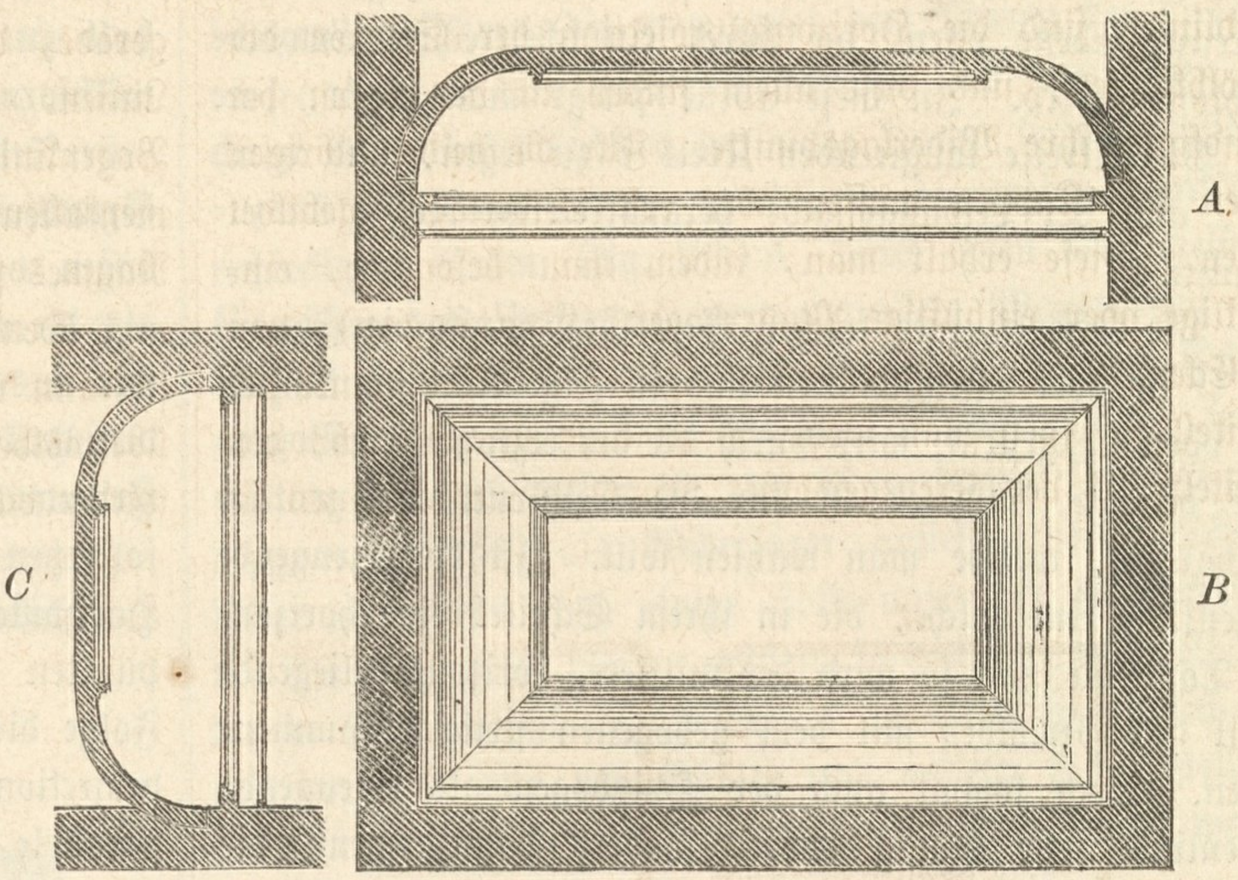


Fig. 217 A, B, C.

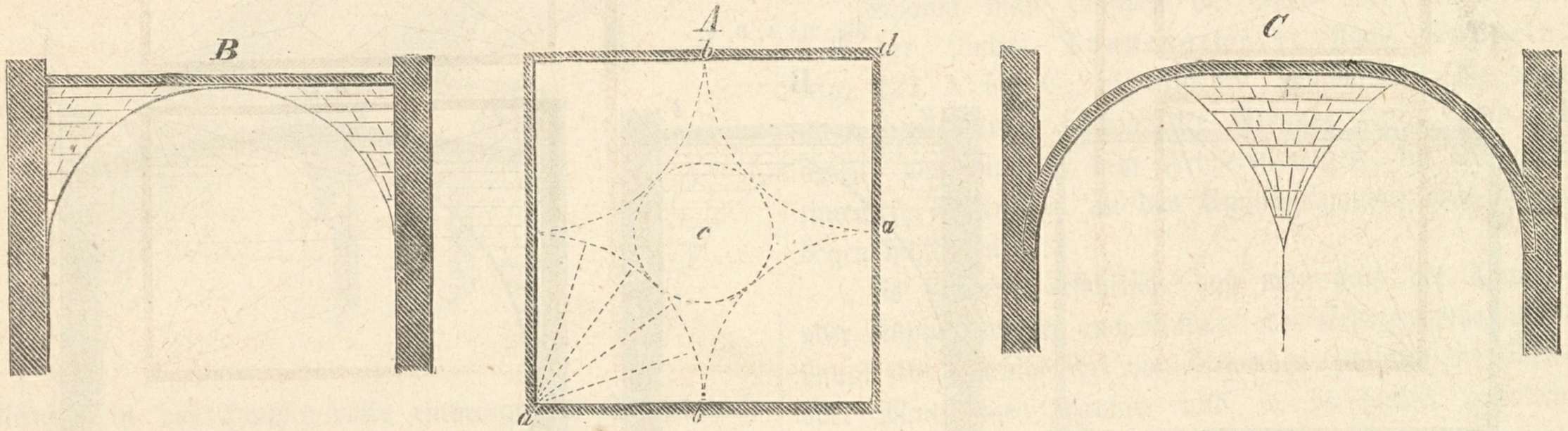
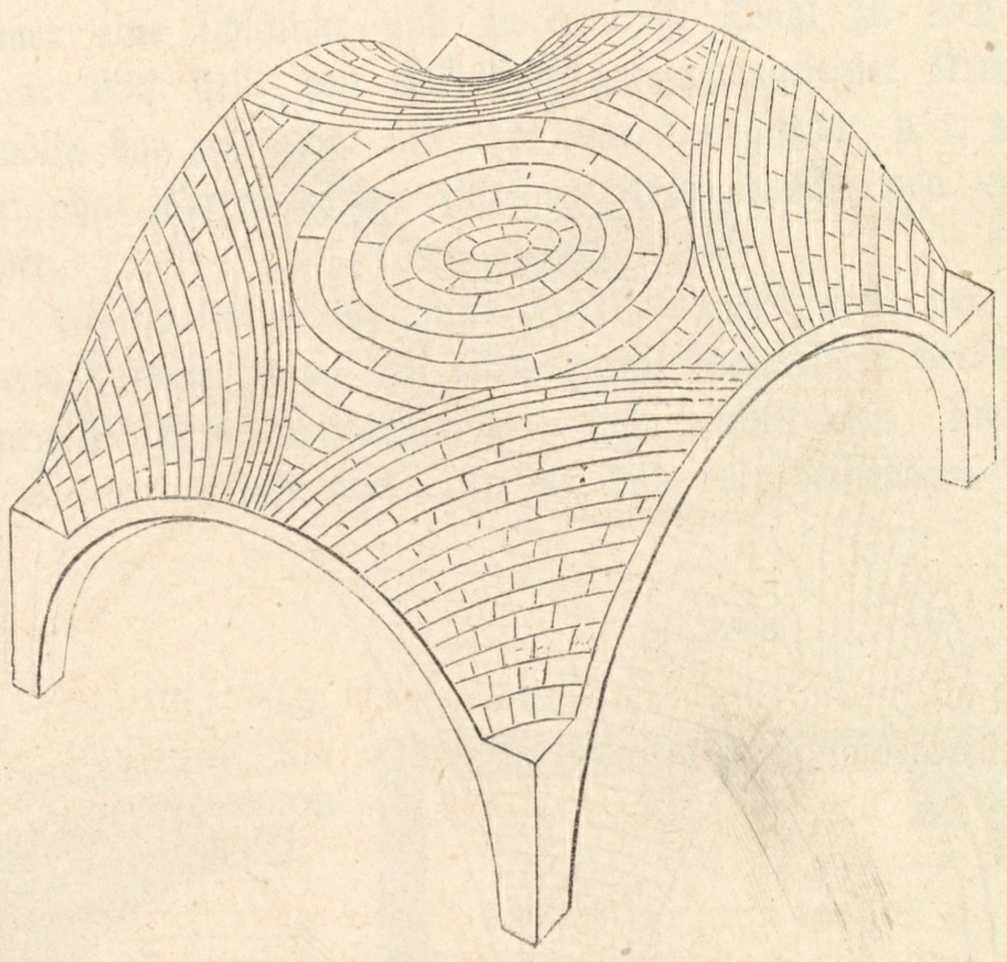


Fig. 217. D.



die Hälfte einer, zwei dieser Punkte verbindenden, Bogenlinie um eine lothrechte Achse in den Endpunkten des Quadrats um 90 Grad gedreht denken, und die hiebei durch die Bogenlinie erzeugte Fläche als Leibungsfläche eines Gewölbes ansehen. In der Mitte des Raumes bleibt dann

eine von vier convexen Viertelkreisen a b, ä b, Fig. 217 A, begrenzte Ebene offen, die durch ein scheitrechtes Gewölbe geschlossen wird. In diese Ebene pflegt man einen, jene vier Viertelkreise tangirenden Kreis c zu legen, und durch eine, aus der Leibungsfläche heraustretende Rippe auszuzeichnen.

Die Gestalt eines solchen Gewölbes, durch die Fig. B und C in zwei Durchschnitten und in Fig. D in der Ansicht von oben dargestellt, wird durch die der erzeugenden Bogenlinie bedingt, und es ist für die Construction eigentlich gleichgültig, welche man wählen will. Ist die erzeugende Bogenlinie eine solche, die in ihrem Scheitel eine horizontale Tangente hat, so wird der mittlere, horizontal liegende Theil des Gewölbes mit dem gebogenen stetig zusammentreffen. Doch kommt auch der Spitzbogen als erzeugende Bogenlinie sehr häufig vor, besonders dann, wenn die Grundfigur kein Quadrat ist, sondern ein Rechteck bildet. Denn das Quadrat haben wir unserer Erklärung nur deßhalb zu Grunde gelegt, weil sich die Entstehung dieser Gewölbform so am leichtesten herleiten ließ.

Nehmen wir allgemein ein Rechteck, Fig. 218 A, als Grundform an und als erzeugende Bogenlinie einen Kreisbogen von einem Halbmesser, der gleich oder größer ist, als die Hälfte einer Diagonale der Grundfigur, so können wir uns die trichterförmige Leibungsfläche auch so entstanden denken, daß sehr schmale Gewölbrippen, von einerlei Krümmung, aus den 4 Ecken aufsteigen und sich so weit fortsetzen, bis sie sich gegenseitig durchdringen, wobei ihre Horizontalprojectionen gerade, strahlenförmig von den Eckpunkten ausgehende Linien bilden. Es entstehen dann in Folge dieses Durchdringens Gräte, die in der Horizontalprojection zwar gerade, mit den Seiten der Grundfigur parallele Linien a b, c d, Fig. 218, bilden, im Durchschnitt aber geschwungene Kurven a′ b′, Fig. B, und c′ d′, Fig. C,

Fig. 218 A, B, C.

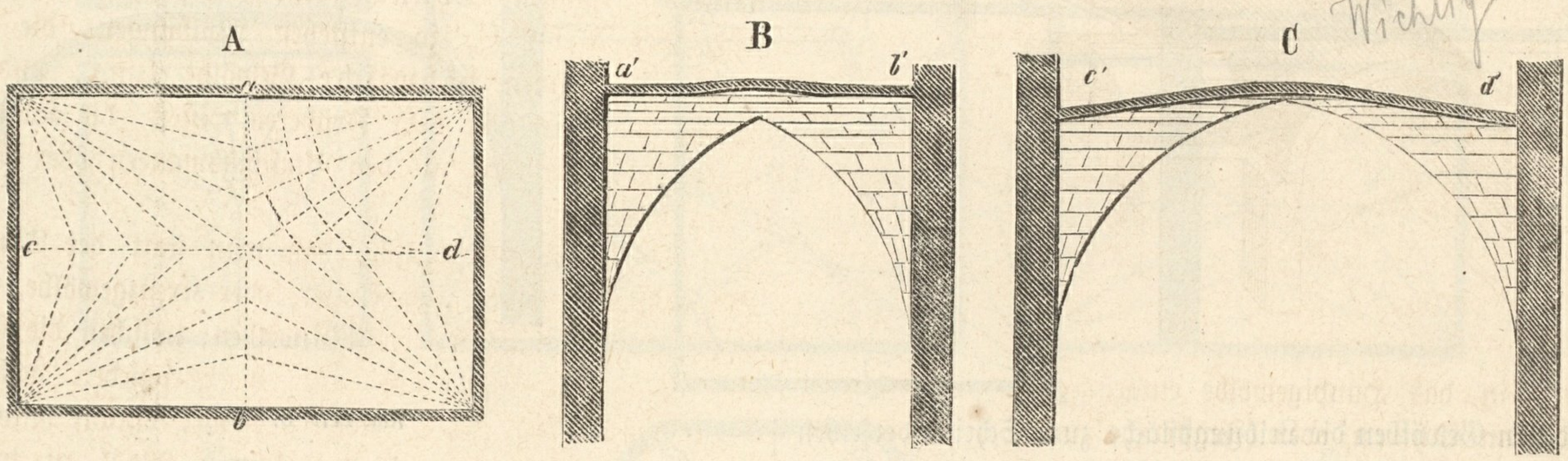
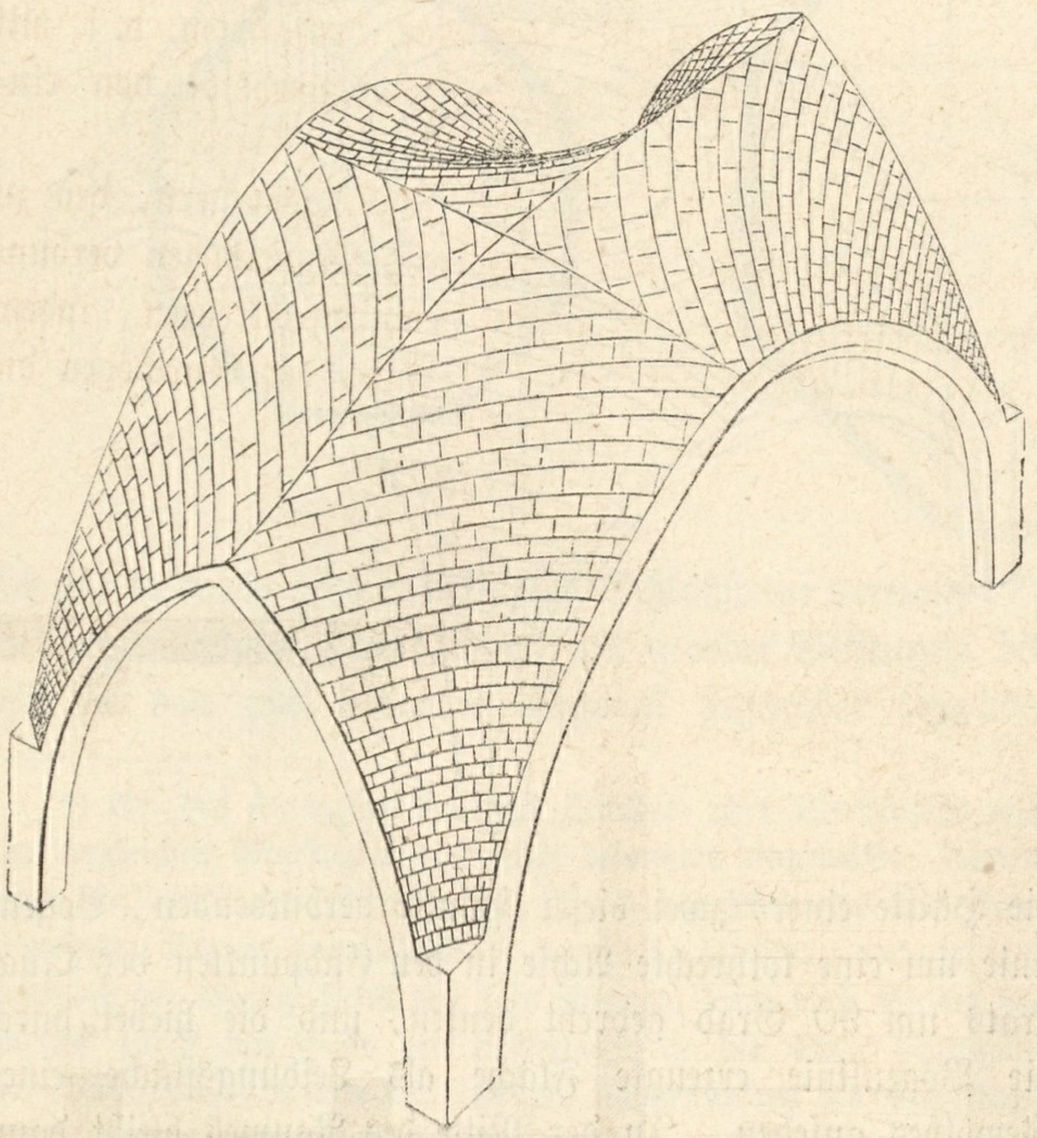


Fig. 218 D.

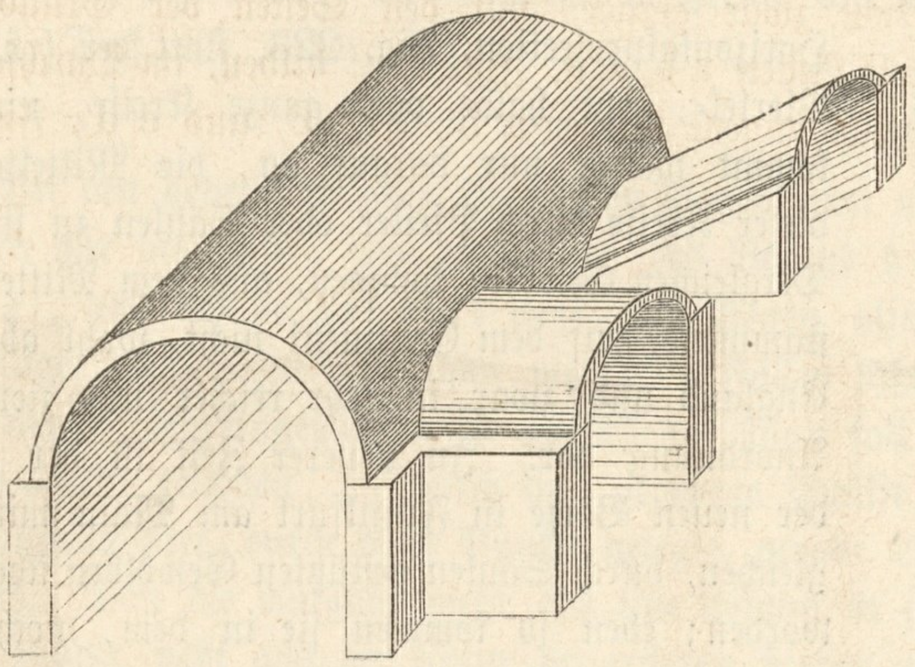


darstellen. Auf diese Weise fällt der horizontalliegende Theil des Gewölbes fort, wie Fig. D in der Ansicht von oben zeigt, und das Ganze bekommt wieder Aehnlichkeit mit einem spitzbogigen Kreuzgewölbe, dessen Diagonalgräte verschwunden sind, und bei welchem die horizontalen Durchschnitte der Leibungsflächen aus den Endpunkten der Grundfigur beschriebene Kreisbögen zeigen.

Das scheitrechte (scheitelrechte) Gewölbe bildet eine ebene Decke, und hat daher eine Scheitelfläche, während das Tonnen- und Kreuzgewölbe Scheitellinien, das Kloster- und Kuppelgewölbe aber nur einen Scheitelpunkt haben. Man kann das scheitrechte Gewölbe als ein solches von unendlich großem Krümmungshalbmesser ansehen, und hierbei das Tonnengewölbe, wo zwei, oder das Klostergewölbe, wo alle Umfangswände als Widerlager erscheinen, zu Grunde gelegt sich denken. Gewöhnlich kommt das scheitrechte Gewölbe nur als Mauerbogen vor, wo es dann auch häufig Sturz, besonders bei Ueberdeckung von Fenster- und Thüröffnungen, genannt wird.

Schon die Kloster- und Kreuzgewölbe können wir uns entstanden denken, indem zwei oder mehrere Tonnengewölbe von gleicher Scheitelhöhe sich durchdringen und bei ersteren die Theile beibehalten werden, für welche die Umfangsmauern Widerlager, und bei letzteren diejenigen, für welche die Umfangsmauern Schild- oder Stirnmauern bilden. Bei diesem Eindringen eines Gewölbes in das andere braucht aber die Voraussetzung der gleichen Scheitelhöhe nicht statt zu finden, wie solches gar oft bei Anbringung von Fenster- und Thüröffnungen der Fall ist, wovon Figur 219 ein paar Beispiele zeigt. Diese (gewöhnlich nur

Fig. 219.



kleinen) in das Hauptgewölbe eindringenden Gewölbtheile pflegt man Ohren oder (Fenster-, Thür-) Kappen zu nennen. Die hierbei möglichen, vielfachen Gestaltungen werden einleuchten, wenn wir an die mannigfach verschiedenen Formen der Tonnengewölbe uns erinnern. Einige der am häufigsten vorkommenden Fälle werden wir später näher besprechen.

Aus den bisher betrachteten Gewölben lassen sich nun durch Zusammensetzung und Wiederholung größere Wölbungen ausführen, die man unter dem Namen der zusammengesetzten Wölbungen begreift und von denen wir einige der gebräuchlichsten vorläufig kennen lernen wollen.

Theilt man einen geradlinig begrenzten (vorläufig rechteckigen) Raum, Fig. 220 A, durch einen oder mehrere, mit einer der Umfangsmauern parallele Mauerbogen a b in zwei oder mehrere, ebenfalls rechteckige, kleinere Felder, und überwölbt diese mit flachen Tonnengewölben, wobei man da, wo es nöthig ist, die Mauerbogen (hier Gurtbogen genannt) als Widerlager ansieht, deren Scheitel daher wenigstens noch einige Zolle unter der Kämpferlinie der Tonnengewölbe bleiben müssen, so entsteht eine Wölbung, die in Norddeutschland, besonders in Preußen, üblich ist, und dort, so wie von Gilly und andern Schriftstellern, mit dem Namen Kappengewölbe bezeichnet wird, wovon Fig. 220 B ein Bild gibt.

Spannt man zwischen die Gurt- oder Mauerbögen statt der flachen Tonnengewölbe flache Kuppeln, Fig. 221 A bis C, so entstehen Wölbungen, die man unter dem Namen böhmische Gewölbe kennt, und bei denen, wie wir aus dem Früheren wissen, die Kämpferlinien in Bogenform an den Umfangsmauern oder Gurtbögen hinlaufen.

Es ist leicht ersichtlich, daß man statt der Tonnen- oder Kuppelgewölbe, auch Kloster- oder Kreuzgewölbe, überhaupt jede beliebige Art von Gewölben zwischen die Gurt- oder Mauerbogen spannen und so verschieden gestaltete Wölbungen bilden kann, wobei es nur darauf ankommt, immer eine schickliche und zweckmäßige Wahl zu treffen. Figur 222 stellt den Grundriß zusammengesetzter Kreuzgewölbe vor und zwar mit oder ohne Quergurten, d. i. mit oder ohne Trennung der einzelnen Kreuzgewölbe von einander.

Ebenso kann man, statt der Umfangsmauern, den zu überwölbenden Raum mit einer durch Mauerbögen verbundenen Stützenstellung umschließen und durchkreuzen, indem es nur darauf ankommt, für die Füße der Gurtbögen die

Fig. 220 B.

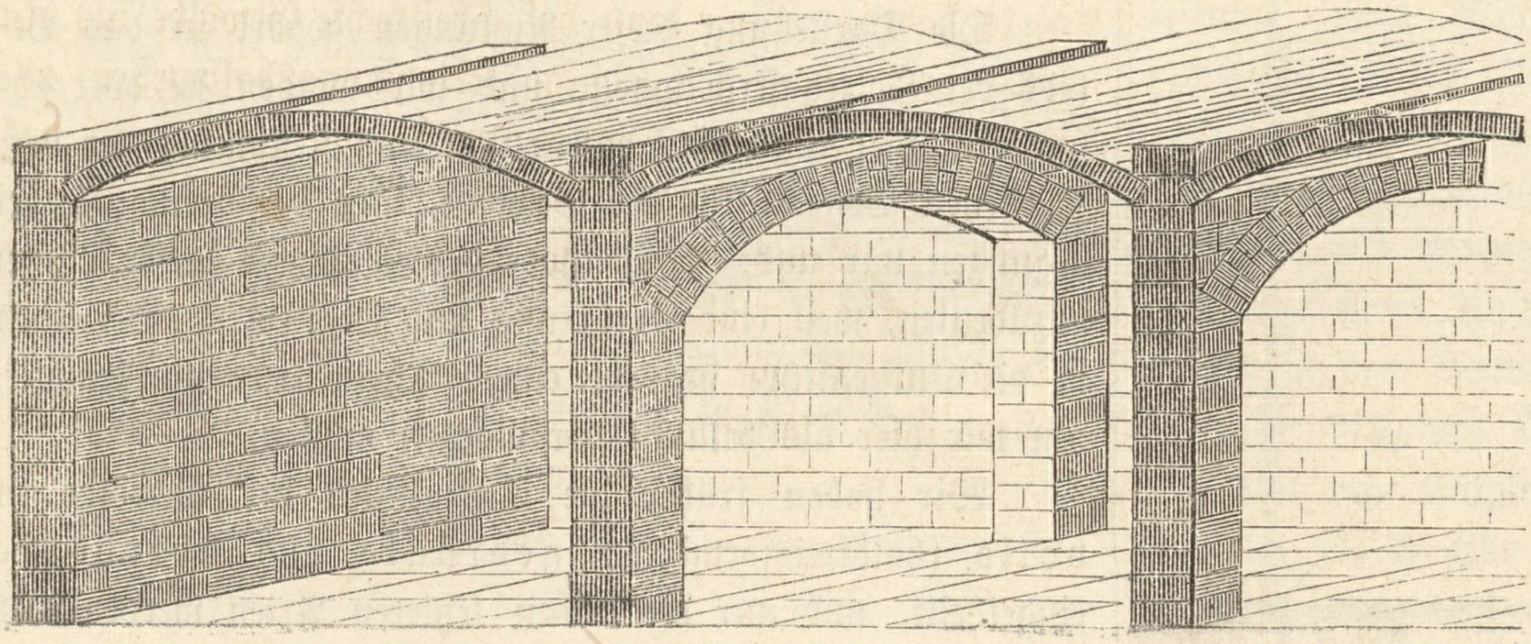


Fig. 220 A.

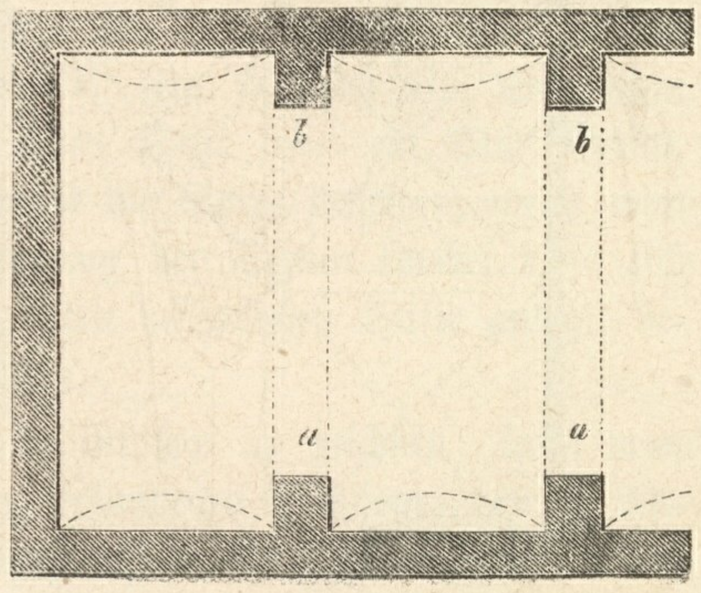
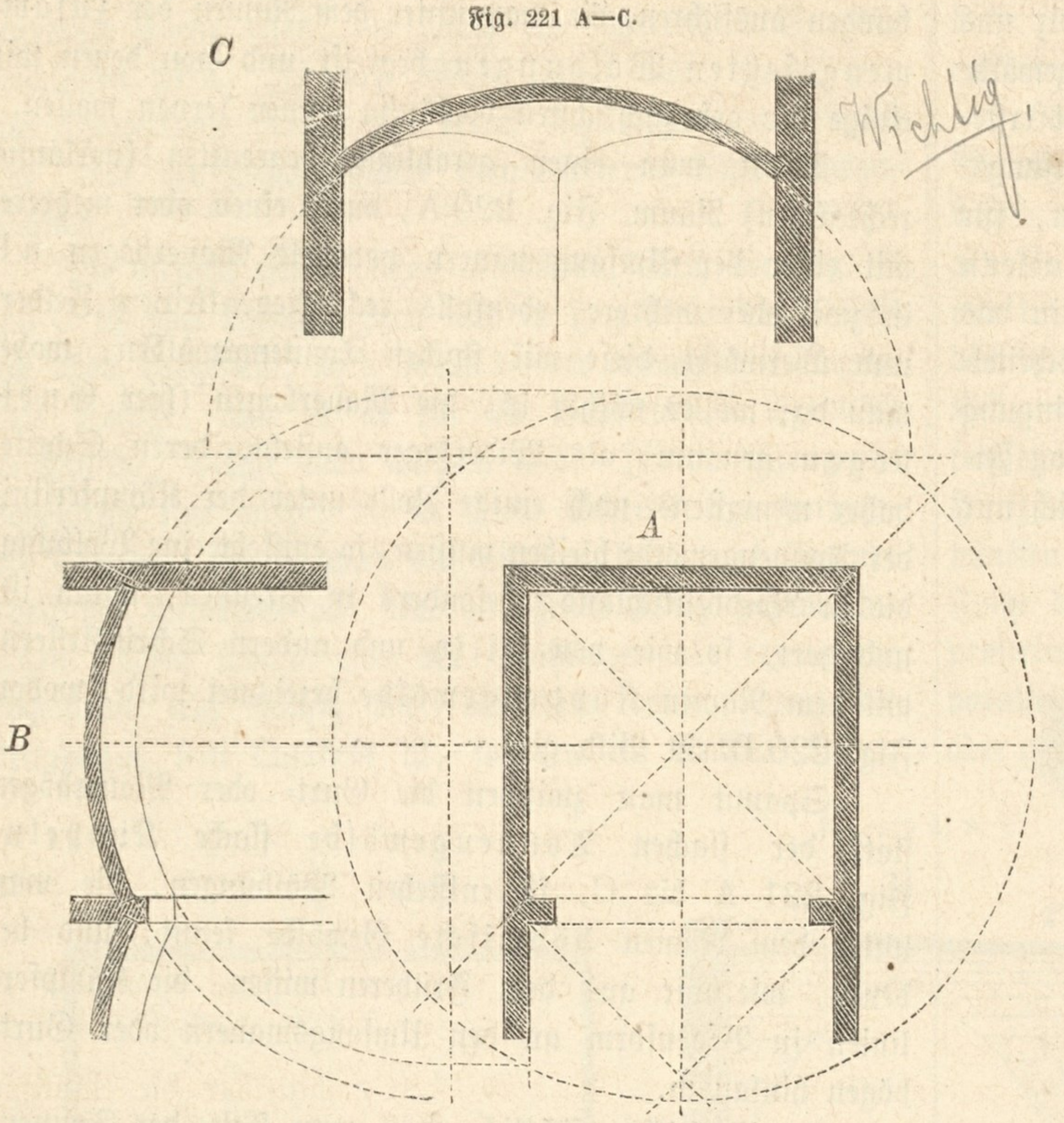


Fig. 221 A—C.



nöthigen Widerlager zu schaffen. Diese Eigenschaft der in Rede stehenden Wölbungen macht dieselben geschickt, sehr große Räume damit zu bedecken, sobald einzelne Stützen (Pfeiler, Säulen) im Innern derselben angebracht werden dürfen.

Auch das Trichter- oder Fächergewölbe läßt sich in vervielfältigter Form zur Ueberwölbung größerer Räume benützen. Setzt man nämlich zwei oder mehrere der vorhin beschriebenen Gewölbe an einander, so entstehen in der

Fig. 222.

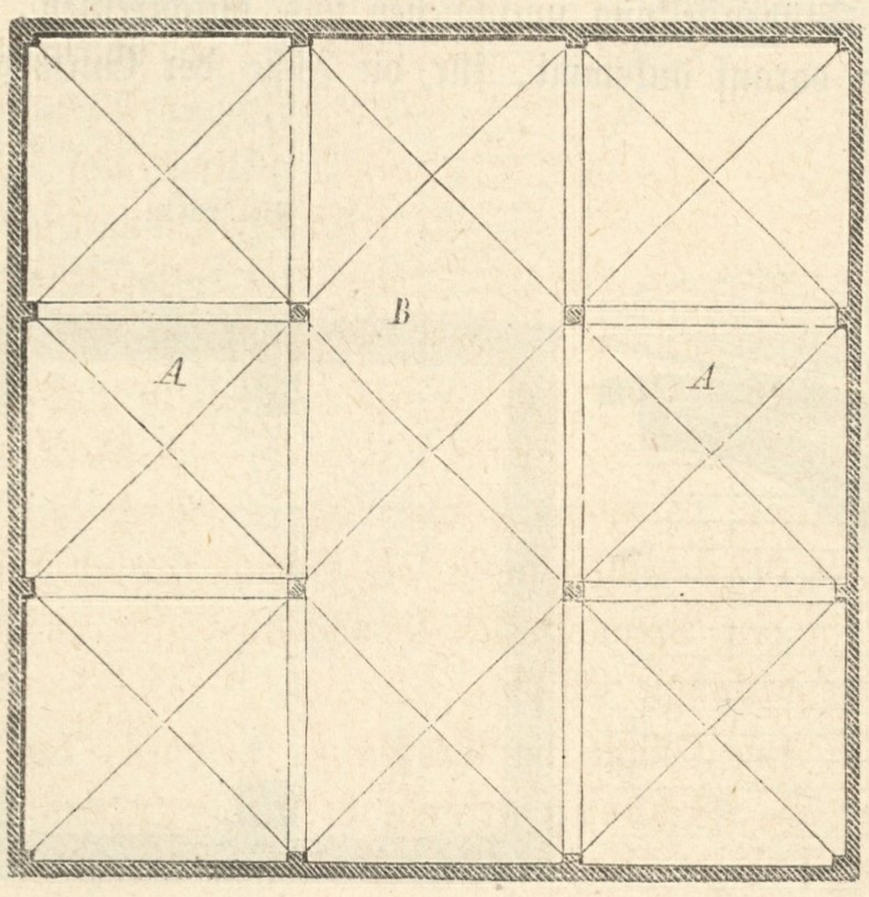
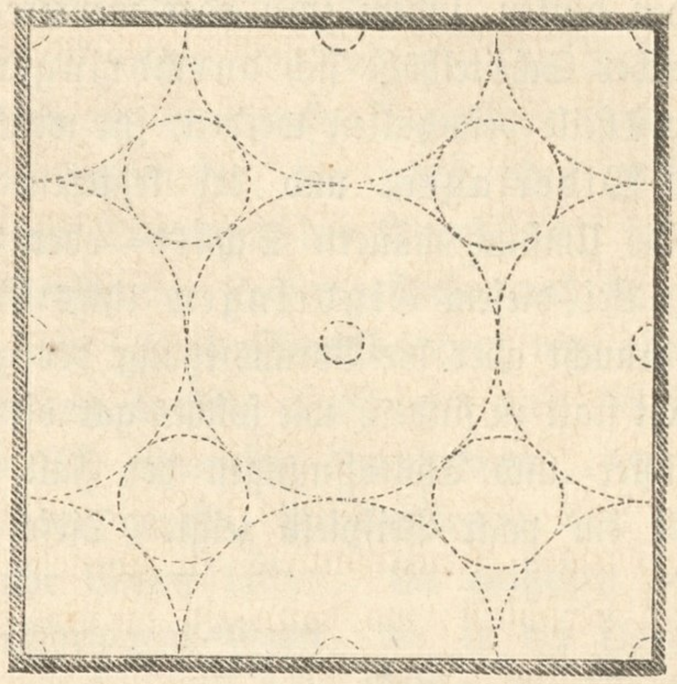


Fig. 223.



Horizontalprojection, Fig. 223, statt der früheren Viertel-, jetzt halbe oder ganze Kreise, und es kommt wieder nur darauf an, die Mittelpunkte dieser Kreise durch Pfeiler oder Säulen zu stützen. Dergleichen Gewölbe kommen, aus dem Mittelalter stammend, auf dem Continent nicht, wohl aber in England und zwar in sehr reicher und zierlicher Anordnung vor. In neuerer Zeit ist der Saal der neuen Börse in Frankfurt am Main mit dergleichen, durch Säulen gestützten Gewölben überdeckt worden; eben so kommen sie in dem, noch von Schinkel entworfenen Schlosse der Prinzessin Albrecht von Preußen, zu Camenz in Schlesien, und auf der Villa des Königs von Württemberg bei Stuttgart vor.

Ausführung der Gewölbe.

§. 4.

Zeichnung der Bogenlinie.

Um ein Gewölbe überhaupt ausführen zu können, sind, mit einigen Ausnahmen, Lehrgerüste nothwendig, d. h. provisorisch aufgestellte Zimmerungen, die in ihrer Oberfläche die (ganze oder theilweise) Gestalt der Leibungsfläche erhaben zeigen und über welche dann das Gewölbe selbst wie ein Mantel aufgeführt wird.

Die Darstellung dieser Rüstungen gehört in das Bereich der Holzconstructionen, und wir werden sie dort abhandeln, hier aber die Construction und Zeichnung der verschiedenen Bogenlinien der Gewölbe kurz berühren. Dabei begnügen wir uns, die Methode des Zeichnens dieser Linien anzudeuten, weil eine Herleitung und Begründung derselben in die Kurvenlehre gehört, einem Theile der Mathematik, den wir hier als bekannt voraussetzen müssen.

Wir haben früher die Bogenlinien der Gewölbe in volle (halbkreisförmige), gedrückte und überhöhte eingetheilt, und nur die beiden letzteren Arten werden uns

hier beschäftigen, da wir die Kreislinie als vollkommen bekannt voraussetzen. Hierher rechnen wir denn auch den aus zwei Kreisbogen zusammengesetzten Spitzbogen, und bemerken nur noch in Bezug auf Kreisbögen von sehr großen Halbmessern, die sich nicht mehr mit Hülfe des (aus einer Latte construirten) Stangenzirkels zeichnen lassen, und von denen einzelne Punkte durch Coordinaten berechnet werden müssen, daß man die, zwischen zwei solchen Punkten liegenden Theile der Kreislinie auf die Weise zeichnen kann, daß man in die Punkte Stifte schlägt und an diesen die Schenkel eines Winkels, der die Hälfte des zu dem fraglichen Kreisstücke gehörigen Centriwinkels zu zweien rechten ergänzt, hin- und herschiebt, wo dann ein an der Spitze des ersten Winkels befestigter Stift die Kreislinie beschreibt, wie solches Fig. 1, Taf. 25, näher nachweist.

Bei den gedrückten oder überhöhten Bogenlinien unterscheiden wir die Fälle, wo die Sehne des Bogens horizontal, und wo sie geneigt liegt, der Bogen also ein einhüftiger wird. In allen hier möglichen Fällen läßt sich die Aufgabe im Allgemeinen so auffassen: Man soll eine stetige Kurve zeichnen, die durch drei gegebene Punkte geht und zugleich drei, durch diese Punkte gelegte, gerade Linien berührt. Daß die Aufgabe mehr als eine Lösung in jedem Falle zuläßt, geht aus der Natur der ersteren hervor, wenn man die Kurve selbst nicht näher bestimmt.

Unter den mannigfachen, hier anwendbaren Kurven wollen wir nur die in der Ausführung gebräuchlichsten und diese auch nur für einige besondere Fälle betrachten. Diese gewöhnlich zur Anwendung kommenden Kurven sind die Ellipse und der Korbbogen.

Machen wir die Voraussetzung, daß die gerade Verbindungslinie zweier zusammengehöriger Kämpferpunkte horizontal liegen soll, so haben wir zugleich eine nähere Bestimmung der obigen allgemeinen Aufgabe, indem nun die Richtung der drei geraden Linien, welche zu der zu zeichnenden Kurve Tangenten sein sollen, gegeben ist. Die beiden durch die Fußpunkte des Bogens gezogenen Linien stehen nämlich lothrecht, und die dritte, durch den Scheitelpunkt gezogene, liegt horizontal.

Soll nun endlich die Kurve noch eine Ellipse sein, so ist diese ganz bestimmt, indem durch die gegebene Spannweite des Bogens die eine Achse ganz und durch die Pfeilhöhe die andere in halber Länge gegeben ist; so daß uns hier nichts weiter zu erwähnen bleibt, als die gewöhnlichsten Methoden, die man in der Praxis anzuwenden pflegt, um eine elliptische Bogenlinie im Großen zu zeichnen.

Begnügt man sich damit, einzelne, im Umfange der Ellipse liegende Punkte zu bestimmen, um diese dann aus freier Hand stetig zu verbinden, so pflegt man häufig eine Methode anzuwenden, die mit dem Namen Vergatterung bezeichnet wird, und in Folgendem besteht:

Es sei Taf. 25, Fig. 2 und 3, durch AB die Spannweite und durch CD die Pfeilhöhe des Bogens gegeben, und CD in der Mitte von AB senkrecht auf AB gezogen. Unter irgend einem beliebigen Winkel gegen AB ziehe man aus A eine Gerade AB′ = 2CD. Ueber AB′ wird ein Halbkreis beschrieben und die Linie AB′ selbst (am bequemsten symmetrisch von der Mitte aus zu beiden Seiten) in eine beliebige Anzahl gleicher oder ungleicher Theile abef... getheilt und in diesen Theilen Perpendikel zu AB′ errichtet, die die Peripherie des Halbkreises in den Punkten l, m, n, p, q .... treffen. Theilt man nun AB in eben so viel gleiche, oder eben so proportionirte Theile als AB′, errichtet in den Punkten a′ b′ e′ .... ebenfalls Senkrechte auf AB und macht diese mit den in a, b, e .... errichteten von gleicher Länge, so liegen die Punkte l′, m′, n′ .... in der Peripherie der verlangten Ellipse, die dann aus freier Hand vollendet wird. (Wegen der stärkeren Krümmung thut man gut, die Theile nach den Punkten A und B′ zu kleiner anzunehmen.)

Eine andere Methode, die unmittelbar die elliptische Linie selbst gibt, und bei nicht gar zu großen Abmessungen für die Ausführung sehr bequem ist, benützt die Brennpunkte der Ellipse als Hülfsmittel.

Sind durch die Linien AB und CD, Taf. 25, Fig. 4 und 5, wieder die Spannweite und Pfeilhöhe des Bogens gegeben, so bezeichne man auf der großen Achse, der hierdurch bestimmten Ellipse, die Brennpunkte E und E′ derselben, indem man von einem Endpunkte einer kleinen Achse, mit der halben großen als Radius, die letztere in den Punkten E und E′ schneidet, oder indem man

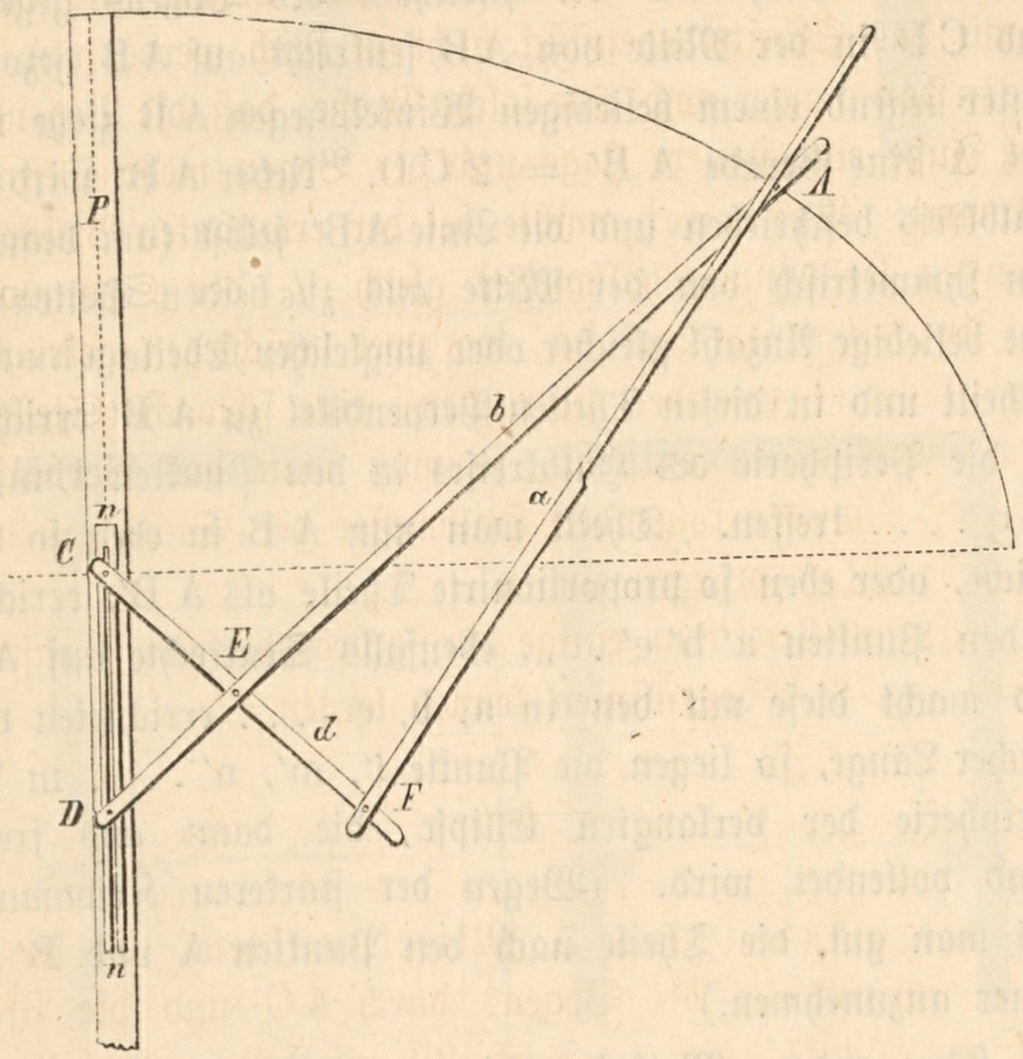
$$CE = CE' = \sqrt{DE^2 - DC^2} = \sqrt{\frac{S^2}{4} - H^2}$$

macht, wenn nämlich die Spannweite AB mit S und die Höhe DC mit H bezeichnet wird. In den Brennpunkten befestige man ein paar Stifte, und schlinge um dieselben eine Schnur ohne Ende, deren doppelte Länge der Entfernung eines Brennpunktes von dem entferntesten Endpunkte der großen Achse, oder dem Umfange des Dreiecks EDE′ Fig. 4 oder EAE′ Fig. 5 gleich ist. Setzt man nun in diese Schnur einen Stift (oder ein Stück Kreide, Rothstein ꝛc.), so beschreibt die Spitze desselben, wenn man ihn unter steter Anspannung der Schnur (wobei diese sich an die in den Brennpunkten befindlichen Stifte anlegt) bewegt, die verlangte Ellipse.

Um eine Ellipse im Großen zu zeichnen, kann man den von D. Eichberg erfundenen Ellipsographen in Anwendung bringen, der zugleich die Normale an jeden Punkt

der Ellipse gibt*). Derselbe besteht aus drei Latten, a, b und d Fig. 224. Die Latte d ist im Mittelpunkt C der Ellipse an einem vertikalen Pfosten P (der Bogenrüstung

Fig. 224.



etwa) so befestigt, daß sie sich um C charnierartig drehen kann, in F ist sie ebenfalls charnierartig mit der Latte a verbunden, und zwar so, daß die Länge CF genau gleich die Differenz der beiden Ellipsenhalbachsen ist. Die dritte Latte b ist in der Mitte von CF in E mit der Latte d charnierartig verbunden, sie trägt bei A einen Stift, an welchen sich die Latte a lehnt und bei der Bewegung von b daran fortgleitet. Bei D ist an der Latte b ebenfalls ein Stift angebracht, der jedoch so gerichtet ist, daß er in der an dem Pfosten P befindlichen Nuth n laufen kann. Die Entfernung der Punkte A und D ist gleich der großen Halbachse, ferner ED gleich der halben Differenz der beiden Halbachsen, so daß $ED = EF = EC$ ist. Die Nuth n besteht am besten aus einem geschlitzten auf den Pfosten P genagelten Brettstücke.

Die Bewegung des Ganzen ist so, daß während der Stift bei D in der Nuth n läuft, der Punkt A den Umfang der Ellipse beschreibt und die an A gleitende Kante der Latte a stets die Normale angibt.

Kann man aus irgend einem Grunde die vertikale Nuth n nicht anbringen, so kann die Anordnung auch nach Fig. 225 getroffen werden. Hier ist die Nuth n, in welcher wieder der Stift bei D läuft, genau horizontal befestigt, und die Entfernung der Punkte A und D ist nun gleich der kleinen Halbachse der Ellipse; alles Uebrige bleibt wie vorhin.

*) Vergl. Eisenbahnzeitung Jahrg. 1852, Nr. 16.

Eine Aufgabe, die in der Praxis häufig vorkommen kann, mag hier noch Platz finden. Es sei die Spannweite einer elliptischen Bogenlinie oder die eine ganze Achse AB,

Fig 225.

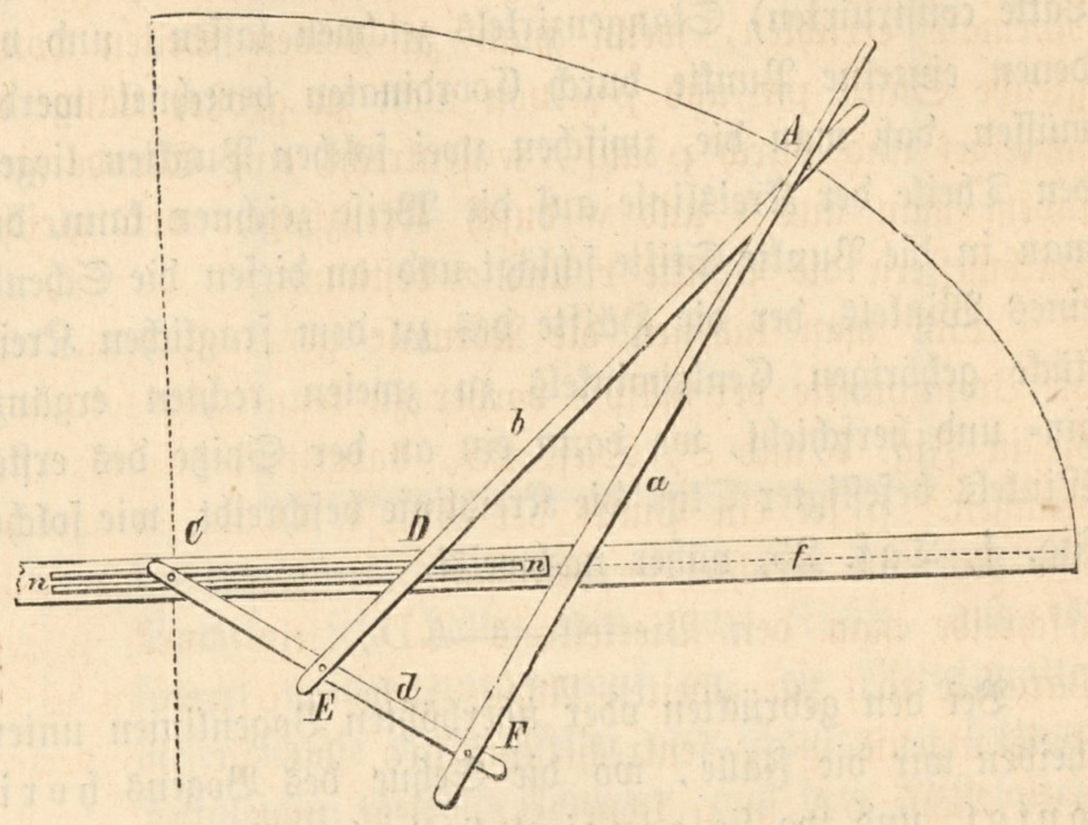


Fig. 6, Taf. 25, der Ellipse gegeben, und die Bedingung: daß in einer Höhe CD die horizontal gemessene Weite EF stattfinde; man soll die Höhe CH des Bogens, oder die halbe andere Achse der Ellipse bestimmen, um die letztere selbst zeichnen zu können.

Man beschreibe über AB einen Halbkreis, mache $CK = \frac{EF}{2}$, errichte in K eine Senkrechte KM auf AB bis zur Peripherie des Halbkreises, ziehe DE parallel AB und die Gerade MC, welche die ED in einem Punkte G schneiden wird. Das auf MC abgeschnittene Stück CG gibt die verlangte zweite Achse, oder die Höhe des Bogens. Die Richtigkeit der Construction, daß nämlich E ein Punkt der Ellipse ist, leuchtet ein, sobald man den Bogen GH zum Halbkreise vollendet, wo dann, nach einer andern bekannten Zeichnungsart der Ellipse, sich E sogleich als ein Punkt derselben ergibt. Will man die halbe kleine Achse der Ellipse durch Rechnung bestimmen, so setze man $AC = S$, $KC = ED = a$, $EK = DC = h$, und $CH = x$. Man hat alsdann:

$$MK : CM = EK : HC$$
$$MK : S = h : x$$

ferner
$$MK = \sqrt{MC^2 - CK^2}$$
$$MK = \sqrt{S^2 - a^2}$$

folglich
$$x = \frac{S \cdot h}{\sqrt{S^2 - a^2}} = \frac{S \cdot h}{\sqrt{(S - a)(S + a}}$$

Früher haben wir gesehen, daß die Richtung der Gewölbfugen normal auf dem zugehörigen Bogenelemente sein soll, und es muß daher für jede Fuge eines elliptischen Bogens die zugehörige Normale construirt werden können. Sind beide Brennpunkte bestimmt, so verbindet man de

fraglichen Punkt mit diesen durch gerade Linien, wo dann die gerade Halbirungslinie des vom letzteren eingeschlossenen Winkels die Richtung der Normale gibt. Hat man die Brennpunkte der Ellipse nicht, so kann man annäherungsweise in einem Punkte p, Fig. 6, Taf. 25, derselben eine Normale errichten, wenn man zu beiden Seiten von p gleiche Stücke pv und pw von nicht zu großer Länge abschneidet und durch p auf vw senkrecht eine Gerade zieht, indem man aus v und w durch Kreuzbogen von gleichen Halbmessern die Punkte r und z bestimmt.

Will man indessen die Normale genau haben, ohne die Brennpunkte der Ellipse vorher zu kennen, so kann man die in Fig. 7 und 8, Taf. 25, dargestellte Construction benützen. p sei ein Punkt der Ellipse ACB, in welchem eine Normale errichtet werden soll. Ueber der einen Achse beschreibe man den Viertelkreis AD, lege durch p eine Parallele mn zur zweiten Achse, ziehe mo und in m die Kreistangente mq, senkrecht auf mo, bis sie die verlängerte Achse oA in q schneidet. Zieht man nun pq, so ist dieß eine Tangente für die Ellipse an den Punkt p und eine auf diese errichtete Senkrechte rs die verlangte Normale.

In der Absicht, die Oeffnung des Bogens, bei bestimmten Scheitel- und Fußpunkten, mehr in der Gewalt zu haben, und um die Unbequemlichkeit, für jede einzelne Gewölbfuge die Richtung besonders construiren zu müssen, zu vermeiden, wendet man häufig Korblinien statt der Ellipse an. Eine solche besteht, wie wir gesehen haben, aus einer Reihe stetig in einander übergehender Kreisbögen von verschiedenen Halbmessern und aus verschiedenen Mittelpunkten beschrieben. Liegt die gerade Verbindungslinie der Fußpunkte des Bogens horizontal, mithin auch die Tangente im Scheitelpunkte, so muß der Mittelpunkt des den Scheitelpunkt enthaltenden Kreisstücks in der Lothrechten durch den Scheitel liegen, und es folgt daraus, daß für den erwähnten Fall die Anzahl der Mittelpunkte immer ungerade sein muß. Die geringste Zahl von Mittelpunkten, aus denen daher eine Korblinie, deren gerade Verbindungslinie der Fußpunkte horizontal liegt, construirt werden kann, ist drei. Weiter hinauf ist die Anzahl der Mittelpunkte durchaus nicht beschränkt, da jeder Schenkel einer solchen Korblinie eine Evolvente darstellt, deren Evolute ein Theil eines Polygonumfanges ist, und sich zu jeder Evolvente die Evolute finden läßt. Die größte bisher in der Ausführung zur Anwendung gekommene Anzahl scheint 11 zu sein, wie bei den Gewölbbögen der von Perronet erbauten Brücke zu Neuilly. Aus der Eigenschaft der Korblinie als Evolvente folgt, daß die Krümmungshalbmesser für die einzelnen Bogentheile vom Scheitel nach dem Fußpunkte zu kleiner werden müssen; und man wird durch Bestimmung des Minimum des kleinsten, und des Maximum des größten Halbmessers, weitere Bedingungen für die Korblinien aufstellen können. Dem größten Halbmesser gibt man nicht gern mehr als die doppelte Spannweite des Bogens zur Länge, damit das Scheitelbogenstück nicht zu flach werde, und dem kleinsten immer noch eine solche Größe, daß die Bogenlinie am Fuße eine steilere Lage und der Bogen mehr Oeffnung bekommt. Perronet machte bei der erwähnten Brücke den kleinsten Krümmungshalbmesser gleich $1/6$ der Spannweite. Da überhaupt jedesmal da, wo zwei verschieden gekrümmte Kreisstücke in einander übergehen, eine schwache Stelle in dem Gewölbbogen entsteht, so muß man das Verhältniß der auf einander folgenden Halbmesser der Einheit so nahe als möglich zu bringen suchen.

Wir wollen nun einige der gebräuchlichsten Constructionen von Korbbogenlinien kennen lernen.

Korblinien aus 3 Mittelpunkten. Es sei die halbe Spannweite des Bogens durch AC und die Pfeilhöhe durch CD, Fig. 9, Taf. 25, gegeben; man soll eine Korblinie aus drei Mittelpunkten construiren unter der Bedingung: daß der zu dem mittleren Kreisbogen gehörige Mittelpunktswinkel $= 2\alpha$ ist, d. h. gleich einem Winkel, dessen Tangente gleich dem Verhältniß der Pfeilhöhe zur halben Spannweite $= \frac{DC}{AC}$ ist.

Man vollende das Rechteck ACDE, halbire die Winkel EDA und DAE durch gerade Linien DF und AG, die sich in einem Punkte H schneiden. Von diesem aus ziehe man senkrecht auf AD eine Gerade, bis solche die AC in K und die verlängerte DC in M schneidet, so sind K und M die beiden Mittelpunkte, so wie $AK = KH$ und $MH = MD$ die Radien der verlangten Korblinie, von welcher die Figur (der Platzersparniß wegen) nur die Hälfte zeigt. Die Fig. 10, Taf. 25, zeigt dieselbe Construction bei einem überhöhten Bogen.

Will man die Radien DM und AK durch Rechnung bestimmen, und setzt man zu diesem Zwecke $DM = x$, $AK = y$, die halbe Spannweite $AC = S$, die Höhe $CD = H$ und bezeichnet man der Kürze wegen die Linie $AD = \sqrt{AC^2 + H^2} = \sqrt{S^2 + H^2}$ mit Z, so ergibt sich leicht:

$$1)\ x = Z\,\frac{Z - H}{H + S - Z} \text{ und}$$

$$2)\ y = Z\,\frac{Z - S}{H + S - Z}$$

wo es dann am bequemsten ist, Z in Zahlenfällen vorher auszumitteln.

Aus einem Blicke auf die Figur erkennt man leicht, daß sich $MC : KC = S : H$ verhält. Wäre nun statt des Centriwinkels α das Verhältniß von

$KC : MC = m : n$ gegeben,

so ist auch $KC : KM = m : \sqrt{m^2 + n^2}$

folglich $MC : KM = n : \sqrt{m^2 + n^2}$

d. i. $(x - H) : (x - y) = n : \sqrt{m^2 + n^2}$

folglich $$x = \frac{H\sqrt{m^2 + n^2} - yn}{\sqrt{m^2 + n^2} - n},$$

ferner ist $(S - y) : (x - H) = m : n$ und daraus

folgt $$x = \frac{nS - ny + Hm}{m}.$$

Es findet sich nun:

$$1)\ x = \frac{Sn + H(m - \sqrt{m^2 + n^2})}{m + n - \sqrt{m^2 + n^2}}$$

und $$2)\ y = \frac{Hm + S(n - \sqrt{m^2 + n^2})}{m + n - \sqrt{m^2 + n^2}}$$

Ist z. B. $m : n = 3 : 4$ gegeben, so wird aus

$$1)\ x = 2S - H \text{ und aus}$$

$$2)\ y = \frac{3H - S}{2}.$$

Um nun die Punkte M und K durch Construction zu bestimmen, bemerke man, daß

$$MC = x - H = 2(S - H) = \frac{4}{2}(S - H)$$

und $KC = S - y = \frac{3}{2}(S - H)$ wird. Schneidet man daher in Figur 11, Taf. 25, $EC = CD = H$ auf $AC = S$ ab, so wird $AE = S - H$; theilt man dann AE in zwei gleiche Theile und trägt deren drei von C nach K und vier von C nach M, so ist $KC = \frac{2}{3}(S - H)$ und $MC = \frac{4}{2}(S - H)$. Man darf daher nur durch K und M eine gerade Linie legen und $KF = KA$ machen, so ist auch $MF = MD$.

Es kann ferner der Punkt K, Fig. 12, Taf. 25, oder das Verhältniß von $AK : KC$ gegeben sein. Es sei z. B.

$AK : KC = m : n$, so ergibt sich aus

$AK + KC : AK = m + n : m$

$S : y = m + n : m.$

$$1)\ y = S\frac{m}{m + n}$$

und aus $(x - y)^2 = (S - y)^2 + (x - H)^2$

$$x = \frac{S(S - 2y) + H^2}{2(H - y)}$$

und für y den Werth gesetzt.

$$2)\ x = \frac{S^2(n - m) + H^2(m + n)}{2(H(m + n) - Sm)}.$$

Diese letztere Formel für x zeigt, daß das Verhältniß von $AK : KC$ nicht ganz willkürlich ist, sondern daß AK immer kleiner als DC sein muß. Setzt man nämlich in der Proportion

$AK : KC = m : n$

$m = H$, so ist $n = S - H$

$n + m = S$, $n - m = S - 2H$,

und es wird $y = H$ und x unendlich groß, indem der Nenner in der obigen Formel gleich Null wird.

Die Construction ergibt sich nun leicht nach Fig. 12, Taf. 25, wie folgt: Nachdem K der Bedingung $AK < H$ gemäß bestimmt ist, mache man $DF = KA$, ziehe KF und halbire diese in G. Errichtet man nun in G auf KF einen Perpendikel und verlängert denselben, bis er die gleichfalls verlängerte DC in M schneidet, und zieht MK, so sind M und K die Mittelpunkte und $AK = KE$, so wie $ME = MD$ die Radien der durch A und D gehenden Korblinie.

Es sei ferner die Bedingung gestellt, daß die zwei verschiedenen, die Korblinie bildenden Kreisbögen jeder zu einem Centriwinkel von 60^0 gehöre. Man zeichne über AC, Fig. 13, Taf. 25, ein gleichseitiges Dreieck AEC, mache $CF = CD$ und ziehe durch F und D eine Gerade, bis diese die AE in G schneidet. Eine von G, parallel zu EC gezogene Linie schneidet dann die AC in K und die verlängerte DC in M, welche beiden Punkte die gesuchten Mittelpunkte sind; so wie $KA = GK$ und $MG = MD$ die Radien. Will man die Radien $DM = x$ und $AK = y$ durch Rechnung bestimmen, so bemerke man, daß $\angle \gamma = 60^0$, $\angle \beta = \delta = 90 - \frac{\varphi}{2} = 90 - 15 = 75^0$, mithin $\angle \alpha = 180 - (\gamma + \beta) = 180 - (60 + 75) = 180 - 135 = 45^0$ ist.

Ferner ist $KM^2 = KC^2 + CM^2$ oder

$(x - y)^2 = (S - y)^2 + (x - H)^2$

und daraus sind die allgemeinen Formeln für alle dergleichen Korbbögen

$$1)\ x = \frac{S^2 + H^2 - 2Sy}{2(H - y)} \text{ und}$$

$$2)\ y = \frac{2xH - (S^2 + H^2)}{2(x - S)}.$$

Nach einem bekannten trigonometrischen Satze ist nun

$EG \sin \alpha = EF \sin \beta$

oder $(S - y) \sin 45 = (S - H) \sin 75$

und hieraus $$y = \frac{S \sin 45 - (S - H) \sin 75}{\sin 45},$$

oder $$y = \frac{H \sin 75 - S(\sin 75 - \sin 45)}{\sin 45}.$$

Nach den Vega'schen Tafeln ist aber

$\sin 75^0 = 0{,}966$ und

$\sin 45^0 = 0{,}707$

daher, wenn man diese Zahlenwerthe substituirt:

3) $y = S - 1{,}366\ (S - H)$.

Setzt man endlich diesen Werth von y in 1, so wird

4) $x = S + 1{,}366\ (S - H)$.

Macht man ferner in Fig. 14, Taf. 25, $EC = DC$; $CF = AE = S - H$; $AG = GF = \frac{1}{2} AF$, errichtet in G einen Perpendikel auf AD, der die AC in K und die verlängerte DC in M schneidet, so sind K und M die Mittelpunkte, so wie $AK = KO$ und $MO = MD$ die Halbmesser einer aus 3 Mittelpunkten beschriebenen Korblinie, die der Ellipse ziemlich nahe kommt. Um die Radien $x = DM$ und $y = AK$ durch Rechnung zu bestimmen, bemerke man, daß folgende Proportionen stattfinden:

1) $MD : GD = AD : CD$,

2) $AK : AG = AD : AC$,

daraus ist

$$MD = x = \frac{GD \cdot AD}{CD}$$

und

$$AK = y = \frac{AG \cdot AD}{AC}.$$

Setzt man nun wie früher $AC = S$; $DC = H$ und der Kürze wegen $AD = Z = \sqrt{S^2 + H^2}$, so wird

$$x = \frac{Z + (S - H)}{2H} \cdot Z \text{ und}$$

$$y = \frac{Z - (S - H)}{2S} \cdot Z.$$

Ist ein Verhältniß des größten Radius zur Spannweite gegeben, so daß $x = mS$ gesetzt werden kann, so ergibt sich aus der obigen allgemeinen Formel für

$$y = \frac{2xH - (S^2 + H^2}{2(x - S)} \text{ jetzt}$$

$$y = \frac{2mSH - (S^2 + H^2)}{2S(m - 1)}.$$

Hieraus sieht man sogleich, daß m immer größer als 1 sein muß, wenn für y noch ein möglicher Werth sich ergeben soll.

Ist z. B. $m = 2$, mithin $x = 2S$ gleich der ganzen Spannweite, also $Dm = AE$, in Fig. 15, Taf. 25, so ziehe man AM, halbire diese in T und ziehe TN senkrecht auf AM, mache $CN = CO$ und ziehe die Geraden MNV und MOR, so sind O, M und N die drei Mittelpunkte, sowie $AO = OR$; $MD = MR$ und $NV = NE$ die Radien der verlangten Korblinie.

Die Construction ist für jeden Werth von $m > 1$ dieselbe, denn für $m = 1\frac{1}{2}$, also $x = \frac{3S}{2}$ gleich $\frac{3}{4}$ der Spannweite, mache man in Fig. 1, Taf. 26, $AE = DM = \frac{3}{4} AB = \frac{3}{2} S$, ziehe EM, halbire diese in L und ziehe LN senkrecht auf EM, so sind N und M die verlangten Mittelpunkte. In Fig. 15, Taf. 25, fiel der Punkt E mit B zusammen, weil $DM + 2S = AB$ bedingt wurde; sonst ist die Construction ganz dieselbe.

Wird $m > 2$, so fällt, in Fig. 2, Taf. 26, der Punkt E über B hinaus; doch ändert dieß in der Construction nichts, denn in beiden Figuren ist:

$$MD = MP = AE = NE + NA = NM + PN$$

und weil $NE = NM$

und $AN = AN$

so ist $NE + AN = NM + AN = NM + PN$

und $AN = PN$.

Wird das Verhältniß der Pfeilhöhe des Bogens zur Spannweite geringer als etwa 3 : 8, so pflegt man die Korblinie aus mehr als 3 Mittelpunkten zu beschreiben, weil dann der Unterschied der auf einander folgenden verschiedenen Halbmesser kleiner und die Festigkeit des Bogens vermehrt wird.

Soll ein Korbbogen aus mehr als drei Mittelpunkten beschrieben werden, so läßt sich die Aufgabe allgemein so auffassen: Die Anzahl n der Mittelpunkte ist unbeschränkt, nur muß sie eine ungerade sein; jede Hälfte des Bogens besteht aus $\frac{n + 1}{2}$ Kreisstücken, vorausgesetzt, daß n eine ungerade Zahl ist. In eben so viele Theile wird die halbe Spannweite AC, Fig. 3, Taf. 26, und in einen weniger die Verlängerung CM des Pfeils CD getheilt, wenn man die zu jenen Kreisbögen gehörigen Radien zieht.

Das Verhältniß dieser Theile zu einander ist willkürlich; ebenso das Maaß des kleinsten oder größten Halbmessers, doch muß begreiflich der erstere kleiner, der zweite aber größer als die halbe Spannweite sein.

Bestimmt man nun den kleinsten oder größten Halbmesser diesem gemäß, so daß die Punkte a' oder M gegeben sind, und theilt nach irgend einer Voraussetzung die Linien Ca' und CM in die nöthigen Theile, so muß die Bedingungsgleichung bestehen:

$$MC + CD = Mm + mm' = m'm'' + m''m''' + m'''a' + a'A$$

oder wenn wir

$MC = x$

$DC = H$

$AC = S$

$Ca' = y$ und

$Mm + mm' + m'm'' + m''m''' + m'''a' = Z$ setzen,

1) $x + H = Z + S - y$.

Ist ferner das Verhältniß $MC : Ca'$ oder $x : y$ wie $m : n$ bestimmt, so kann man mittelst einer ähnlichen, ganz bekannten Hülfsfigur, wie Fig. 4, Taf. 26, die Aufgabe lösen.

Sind nämlich, in Fig. 4, $VW = m$ und $VP = n$ gegebene Linien und eben so getheilt wie CM und Ca' in

Fig. 3, und bezeichnet q die Summe der zwischen W und P liegenden Polygonseiten, so daß also m, n und q bekannte Größen darstellen (denn das q aus den gegebenen Größen gefunden werden kann, leuchtet ein), so ist

$$x : y = m : n \text{ oder } x = \frac{m}{n} y$$

und wegen Aehnlichkeit der Figuren

$$y : Z = n : q \text{ oder } Z = \frac{q\,y}{n}.$$

Setzt man nun diese Werthe für x und Z in obige Gleichung 1, so kommt

$$\frac{m}{n} y + H = \frac{q\,y}{n} + S - y$$

und daraus 2) $y = \frac{(S - H)\,n}{m + n = q'}$,

so daß für den gegebenen Fall x und y, mithin die Punkte a' und M gefunden werden können. Daß die Mittelpunkte der verschiedenen Kreisbögen in den Punkten M, m, m', m" . . . . und a' liegen, braucht kaum erwähnt zu werden.

Diese Methode ist allgemein gültig, doch ziemlich weitläufig*), weßhalb wir einige Constructionen für gewöhnlich vorkommmende Fälle, die leichter zum Ziele führen, kennen lernen wollen.

Korblinien aus 5 Mittelpunkten. Ueber AB, Fig. 5, Taf. 26, soll ein Korbbogen aus 5 Mittelpunkten beschrieben werden; der größte Halbmesser sei gleich der Spannweite.

Auf CB nehme man willkürlich die beiden Punkte E und F an, jedoch so, daß $BF < DC$, ziehe die MK durch E, zeichne aus M den Bogen DK, mache $KN = BF$, ziehe NF, halbire diese Linie in G und schneide die NM durch den auf NF errichteten Perpendikel GH in H und ziehe HL durch F, so sind H und F die andern beiden Mittelpunkte.

Nach der Construction ist $NK = BF$, $HN = HF$, folglich $HF + BF = HN + NK$, und $MH + HF + FB = MH + HN + NK = MK = DM$.

Die Lage der Punkte E und F hängt von dem Verhältniß DC zu AB ab; ist $DC = \frac{2}{5} AB$, so wird die Krümmung am gefälligsten, wenn $CE = EF = \frac{1}{4} BC$ genommen wird.

Es sei wie in Fig. 5, jetzt in Fig. 6, Taf. 26, $DM = AB$; man nehme E willkürlich, ziehe KM durch E, zeichne aus M den Bogen DK, nehme willkürlich auf EM den Punkt H an, doch so, daß $KH > BE$, mache $BG = KH$, ziehe GH und bestimme den Punkt F durch den auf der Mitte von GH errichteten Perpendikel LF. Zieht man nun HN durch F, so sind in H und F die fehlenden Mittelpunkte gegeben.

Es ist $GF = FH$, mithin $GB = HF + FB$, aber $GB = KH$, folglich $MH + HF + FB = MK = DM$.

Ist $DC = \frac{1}{4} AB$ gegeben, so nimmt man am besten $CE = \frac{1}{3} BC$ und $EH = HM$.

Ist der größte Halbmesser größer als die Spannweite, etwa $DM = \frac{3}{2} AB$, wie in Fig. 7, Taf. 26, so nehme man die Punkte F und H beliebig, doch so an, daß $BF < CD$, $MH > CF$ wird, ziehe ON durch H und F, zeichne aus F den Bogen BO, mache $ON = DM$, ziehe NM und bestimme den Mittelpunkt G durch den in der Mitte von NM errichteten Perpendikel LG, und ziehe MP durch G, so sind G und F die gesuchten Mittelpunkte.

Es ist $BF = FO$, $NG = MG$, folglich $MG + GF + BF = NG + GF + FO = ON = DM$. Für $CD = \frac{1}{4} AB$ und $DM = \frac{3}{2} AB$, nehme man $BF = \frac{1}{3} BC$ und MH nahezu $= \frac{1}{2} MC$.

Will man die Korblinie der Ellipse möglichst nahe bringen, so mache man in Fig. 8, Taf. 26, $FC = CD$, theile AF in 5 gleiche Theile, trage 7 derselben von C nach K, und von C nach N und noch einmal von N nach M, mache ferner $KE = \frac{1}{3} KC$, ziehe OM durch E und PN durch K, so sind K und L die beiden gesuchten Mittelpunkte.

Die Construction ist nicht ganz genau richtig für alle Verhältnisse von CD : AC, doch ist der Fehler so gering, daß er für die Ausführung unschädlich wird.

Korblinie aus 7 Mittelpunkten. Ueber AB, Fig. 9, Taf. 26, soll ein Korbbogen aus 7 Mittelpunkten beschrieben werden. Es sei $CD = \frac{1}{4} AB$, $DM = AB$. Man theile BC durch die Punkte E, F und G in 4 gleiche Theile, mache $MN = NK = \frac{1}{4} MC$, ziehe SM durch E, NT durch F, und KV durch G, zeichne aus M den Bogen DS, aus O den Bogen ST, mache $BR = TB$, ziehe RP und bestimme durch den in der Mitte von RP errichteten Perpendikel LH den Punkt H, so sind H, P, O und M die Mittelpunkte, so wie $MD = MS$, $OS = OT$, $PT = PV$ und $HV = HB$ die Radien der verlangten Korblinie.

Es ist $RH = HP$, $RB = TP$, folglich $PH + HB = RH + HB = RB = PT$; ferner $OT = OS$, $MO = MO$ und $MS = DM$, mithin $MO + OP + PH + HB = DM$. In unserer Figur fallen die Punkte C und H beinahe zusammen, was aber nur zufällig ist.

---

*) Wir geben weiterhin Seite 103 ein Beispiel der Anwendung dieser Methode.

Es sei wiederum, Fig. 10, Taf. 26, CD = ¼ AB, DM = AB und BF oder der kleinste Radius gleich ⅙ der Spannweite = ⅓ BC. Man mache MG = GH = ¼ MC, ziehe EH durch F, zeichne aus F den Bogen EB, mache PF = ⅓ HF, ziehe NK durch P und G, zeichne aus P den Bogen EK, mache KN = DM, errichte in der Mitte dieser Linie den Perpendikel LR und ziehe die MO durch R.

Es ist BF = FE, PE = PK, RK = RO, folglich RP + PF + FB = RO, ferner ist NR = RM, NK = DM, mithin auch MR + RP + PF + FB = NK = MO = DM.

Es ist leicht einzusehen, daß auf ganz ähnliche Weise eine Korblinie auch aus 9 Mittelpunkten gezeichnet werden kann, weßhalb wir diese Construction übergehen und die einer solchen Linie aus 11 Mittelpunkten zeigen wollen.

Korblinie aus 11 Mittelpunkten. Es sei, in Fig. 1, Taf. 27, DC = ½ CB = ¼ der Spannweite, der größte Halbmesser der aus 11 Mittelpunkten zu beschreibenden Korblinie DM = AB. Man mache ML = LN = NO = OP = ⅙ MC, theile CB in 6 gleiche Theile CE, EF, FG, GH, HK und KB, ziehe MM' durch E, LL' durch F, NN' durch G, OO' durch H und PK, so bestimmen sich die Mittelpunkte M, Q, R, S, und T, aus denen man die Bogen DM', M'L', L'N', N'O' zieht; ferner mache man BV = TT' und bestimme durch den in der Mitte von VT errichteten Perpendikel WU den Mittelpunkt U*) für den kleinsten Radius, durch diesen ziehe man TT' und zeichne endlich aus T und U die letzten Bogen O'T' und T'B.

Daß man ganz ähnlich, wie in dem letzten Falle des vorigen Beispiels, auch die Größe des kleinsten Radius festsetzen und dann den Mittelpunkt Q durch die dort angegebene Construction bestimmen kann, darf kaum erwähnt werden.

Um eine Anwendung der auf Seite 101 gegebenen allgemeinen Methode zu zeigen, wollen wir uns folgende Aufgabe stellen.

Ueber AB, Fig. 2, Taf. 27, sei die Hälfte eines aus 11 Mittelpunkten zu beschreibenden Korbbogens zu zeichnen. AD sei = ½ AB; ferner verhalte sich Aa' : Ae = 1 : 3 und a'b' : b'c' : c'd' : d'e' : e'A = 1 : 2 : 3 : 4 : 5, und die auf Ae abgeschnittenen Stücke Aa, ab, bc, de seien einander gleich. Nach der Seite 101 angenommenen Bezeichnung haben wir daher

AB = S
AD = H
Aa' = y
Ae = x

e q q' q'' q''' a' = Z, und x : y = 3 : 1.

Es sei ferner AB = S = 60', mithin AD = H = 30' gegeben.

Nehmen wir nun Aea' als die Seite 101 gedachte, ähnliche, ganz bekannte Hilfsfigur an, und das dortige m = 120', so ist n = 40'.

Es wird daher, weil m = Ae und n = Aa' gemacht werden muß, auch Ae = 120 und Aa' = 40 Fuß.

Dann wird wegen der Bedingung der Aufgabe:

$$Ae' = \frac{5}{15} Aa' = \frac{1}{3} . 40 = \frac{40}{3} \text{ Fuß.}$$

$$Ad' = \frac{9}{15} Aa' = \frac{3}{5} . 40 = 24'$$

$$Ae' = \frac{12}{15} Aa' = \frac{4}{5} . 40 = 32'$$

$$Ab' = \frac{14}{15} Aa' = \frac{14}{15} . 40 = \frac{112'}{3}$$

$$Aa' = \frac{15}{15} Aa' = \frac{15}{15} . 40 = 40'$$

Ferner ist

$$Ae = m = 120'$$

$$Ad = \frac{4}{5} Ae = \frac{4}{5} . 120 = 96'$$

$$Ac = \frac{3}{5} Ae = \frac{3}{5} . 130 = 72'$$

$$Ab = \frac{2}{5} Ae = \frac{2}{5} . 120 = 48'$$

$$Aa = \frac{1}{5} Ae = \frac{1}{5} . 120 = 24 \text{ Fuß.}$$

Um nun Z zu berechnen, was mit dem q in §. 16 gleichbedeutend ist, bemerke man, daß folgende Proportionen stattfinden.

1) Ae' : Ae = lq : Ae — Al
2) Ad' : Ad = lq : Ad — Al

aus 1 ist $lq = Ae' - \frac{Ae'}{Ae} Al$

aus 2 ist $lq = Ad' = \frac{Ad'}{Ad} Al$

mithin $Al = Ae . Ad . \frac{Ad' - Ae'}{Ad' . Ae - Ae' . Ad}$

und $lq = Ae' - \frac{Ae'}{Ae} Al$

oder, bezeichnen wir lq mit v und Al mit w, so haben wir

*) Auch hier fallen die Punkte K und U beinahe zusammen, wie dieß mit den Punkten G und H in Fig. 9, Taf. 26, der Fall war; doch auch hier wie dort zufällig.

$$\begin{cases} w = Ae \,.\, Ad \,.\, \dfrac{Ad' - Ae'}{Ad' \,.\, Ae - Ae' \,.\, Ad} \\ v = Ae' = \dfrac{Ae'}{Ae}\, w, \end{cases}$$

und eben so, wenn $l'q' = v'$ und $Al' = w'$ gesetzt wird ꝛc.

$$\begin{cases} w' = Ad \,.\, Ac \,.\, \dfrac{Ac' - Ad'}{Ac'\, Ad - Ad'\, Ac} \\ v' = Ad' = \dfrac{Ad'}{Ad}\, w' \end{cases}$$

$$\begin{cases} w'' = Ac \,.\, Ab \,.\, \dfrac{Ab' - Ac'}{Ab'\, Ac - Ac'\, Ab} \\ v'' = Ac' - \dfrac{Ac'}{Ac}\, w'' \end{cases}$$

$$\begin{cases} w''' = Ab \,.\, Aa \,.\, \dfrac{Aa' - Ab}{Aa'\, Ab - Ab'\, Aa} \\ v''' = Ab' - \dfrac{Ab'}{Ab}\, w'''. \end{cases}$$

Ferner ist:

$$eq = \sqrt{el^2 + lq^2} = \sqrt{(Ae - Al)^2 + lq^2} = \sqrt{(Ae - w)^2 + v^2}$$

und

$$\begin{aligned} q\ q' &= \sqrt{(w - w')^2 + (v' - v)^2} \\ q'\ q'' &= \sqrt{(w' - w'')^2 + (v'' - v')^2} \\ q''\ q''' &= \sqrt{(w'' - w''')^2 + (v''' - v'')^2} \\ q'''\, a' &= \sqrt{w'''^2 + (Aa - v''')^2} \end{aligned}$$

Setzen wir nun nach obiger Annahme die Zahlenwerthe, so haben wir:

$$\begin{aligned} Ae \,.\, Ad &= 120 \,.\, 96 = 11520'. \\ Ad \,.\, Ac &= 96 \,.\, 72 = 6912'. \\ Ac \,.\, Ab &= 72 \,.\, 48 = 3456'. \\ Ab \,.\, Aa &= 48 \,.\, 24 = 1152'. \\ Ad' - Ae' &= 24 - \frac{40}{3} = \frac{32}{3} \\ Ac' - Ad' &= 32 - 24 = 8 \\ Ab' - Ac' &= \frac{112}{3} - 32 = \frac{16}{3} \\ Aa' - Ab' &= 40 - \frac{112}{3} = \frac{8}{3} \\ Ad' \,.\, Ae &= 24 \,.\, 120 = 2880. \\ Ac' \,.\, Ad &= 32 \,.\, 96 = 3072. \\ Ab' \,.\, Ac &= \frac{112}{3} \,.\, 72 = 2688. \\ Ad' \,.\, Ab &= 40 \,.\, 48 = 1920. \\ Ae' \,.\, Ab &= \frac{40}{3} \,.\, 96 = 1280. \\ Ad' \,.\, Ac &= 24 \,.\, 72 = 1728. \\ Ac' \,.\, Ab &= 32 \,.\, 48 = 1536. \\ Ab' \,.\, Aa &= \frac{112}{3} \,.\, 24 = 896. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ad' \,.\, Ae - Ae' \,.\, Ad &= 2880 - 1280 = 1600. \\ Ac' \,.\, Ad - Ad' \,.\, Ac &= 3072 - 1728 = 1344. \\ Ab' \,.\, Ac - Ac' \,.\, Ab &= 2688 - 1536 = 1152. \\ Aa' \,.\, Ab - Ab' \,.\, Aa &= 1920 - 896 = 1024. \end{aligned}$$

Dann ist:

$$\begin{aligned} w &= 11520 \,.\, \frac{32}{3 \,.\, 1600} = 76{,}8' \\ w' &= 6912 \,.\, \frac{8}{1344} = 41{,}14285' \\ w'' &= 3456 \,.\, \frac{16}{3 \,.\, 1152} = 16 \\ w''' &= 1152 \,.\, \frac{8}{3 \,.\, 1024} = 3 \end{aligned}$$

und

$$\begin{aligned} Ae - w &= 120 - 76{,}8 = 43{,}2 \\ w - w' &= 76{,}8 - 41{,}14285 = 35{,}65714. \\ w' - w'' &= 41{,}14285 - 16 = 25{,}14285. \\ w'' - w''' &= 16 - 3 = 13. \\ w''' &= 3. \end{aligned}$$

Ferner

$$\begin{aligned} w \,.\, \frac{Ae'}{Ae} &= 76{,}8 \,.\, \frac{40}{3 \,.\, 120} = 8{,}5333. \\ w' \,.\, \frac{Ad'}{Ad} &= 41{,}1428 \,.\, \frac{24}{96} = 10{,}28571. \\ w'' \,.\, \frac{Ac'}{Ac} &= 16 \,.\, \frac{32}{72} = 7{,}111111. \\ w''' \,.\, \frac{Ab'}{Ab} &= 3 \,.\, \frac{112}{3 \,.\, 48} = 2{,}333 \ldots \end{aligned}$$

und

$$\begin{aligned} v &= \frac{40}{3} - 8{,}5333 = 4{,}8. \\ v' &= 24 - 10{,}2853 = 13{,}7142. \\ v'' &= 32 - 7{,}1111 = 24{,}8888. \\ v''' &= \frac{112}{3} - 2{,}333 = 35. \end{aligned}$$

Ferner

$$\begin{aligned} y &= 4{,}8 \\ v' - v &= 13{,}7142 - 4{,}8 = 8{,}914286 \\ v' - v' &= 24{,}8888 - 13{,}7142 = 11{,}1746 \\ v''' - v'' &= 35 - 24{,}8888 = 10{,}1111 \\ Aa' - v''' &= 40 - 35 = 5. \end{aligned}$$

und endlich

$$\begin{aligned} e\ q &= \sqrt{43{,}2^2 + 4{,}8^2} = \sqrt{1889{,}28} = 43{,}46584 \\ q\ q' &= \sqrt{35{,}6^2 + 8{,}91^2} = \sqrt{1350{,}78209} = 36{,}76354 \\ q'\ q'' &= \sqrt{25{,}1^2 + 11{,}17^2} = \sqrt{757{,}03542} = 275{,}1425 \\ q''\ q''' &= \sqrt{13^2 + 10{,}11^2} = \sqrt{271{,}234519} = 16{,}46920 \\ q'''\, a' &= \sqrt{3^2 + 5^2} = \sqrt{34} = 5{,}83095 \\ \text{mithin } Z &= 130{,}04378 \end{aligned}$$

Auf Seite 101 hatten wir nun die Formel

$$y = \frac{(S - H)\ n}{m + n - q'},$$

und da das dortige q unserem jetzigen Z entspricht, so wird

$$y = \frac{(60 - 30)\ 40}{120 + 40 - 130{,}04378}\ 40{,}058$$

und da aus $y : x = 1 : 3$; $x = 3y$, so ist

$$x = 3 \,.\, 40{,}058 = 120{,}174'.$$

Soll also die Aufgabe den zu Anfang dieses Abschnittes gestellten Bedingungen gemäß gelöst werden, so muß $Aa' = y = 40{,}058'$ und $Ae = x = 120{,}174'$ gemacht, ferner Aa' in 15 gleiche Theile getheilt werden, $Ae' = 5$, $e'd' = 4$, $d'c' = 3$, $c'b' = 2$ und $b'a' = 1$ solcher Theile genommen, und Ae für die Punkte d, c, b und a in 5 gleiche Theile getheilt werden.

Läßt man hingegen die Theilung so, wie wir sie für die Hülfsfigur eAa' annahmen, d. h. $Ae = 120$ und $Aa' = 40'$, so wird, wenn wir die Bögen von B anfangend beschreiben, da $eD = Z + a'B$ sein muß, $eD = 130{,}04378 + 60 - 40 = 150{,}0438$ Fuß, mithin der Bogen bei D um vier Linien circa höher; oder beschreiben wir die Bögen von D aus, so wird $a'B = 150 - Z = 150 - 130{,}04378 = 19{,}95622$ Fuß und der Bogen statt 120 nur $2\ (40 + 19{,}95622) = 119{,}91244$ Fuß weit, mithin um 0,08756 Fuß enger.

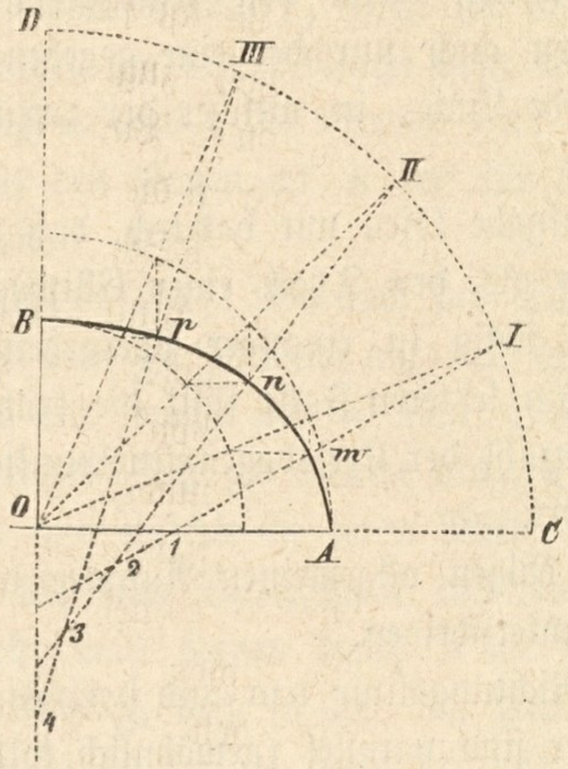
Wir haben vorstehendes Beispiel aus Perronet's Werk über die Brücke zu Neuilly gewählt, um zu zeigen, daß die dort angegebene Construction des Korbbogens zwar paßt, wenn man sie nach einem verjüngten Maßstabe aufträgt, aber eine scharfe Rechnung nicht aushält. Uebrigens wird man die Construction unbedenklich immer anwenden können, weil die geringe Abweichung ohne Einfluß bleibt, da es wenig ausmachen wird, ob ein Bogen von 120 Fuß Weite und 30 Fuß Höhe, entweder 4 Linien höher oder 8 Linien enger wird.

Man kann endlich einen Korbbogen auch auf die Art construiren, daß die Vereinigungspunkte der verschiedenen Kreisbögen in dem Umfange einer Ellipse liegen, deren große Achse gleich der Spannweite und deren halbe kleine Achse gleich der Pfeilhöhe des Bogens ist.

Man zeichne mit beiden halben Achsen als Radien, die Quadranten AB und $\alpha\beta$, Fig. 3, Taf. 27, theile einen derselben in so viele (am bequemsten gleiche) Theile, als Kreisbögen die halbe Korblinie bilden sollen, ziehe durch diese Punkte Radien Ca, Cb und Cc und bestimme die Punkte a", b", c", die bekanntlich im Umfang einer Ellipse liegen, dadurch, daß man die Linien aa", bb", cc" parallel BC und die Linien a'a", b'b", c'c" parallel Ac zieht. Ferner ziehe man die Sehne $c''\beta$ und errichte in der Mitte derselben einen Perpendikel, bis dieser die verlängerte BC in D schneidet, ziehe c"D und b"c", errichte in der Mitte von b"c" wieder einen Perpendikel bis zum Durchschnitt mit c"D und bestimme so den Punkt E, ziehe b"E, a"b", bestimme F und endlich G ganz auf dieselbe Weise, so sind G, F, E und D die Mittelpunkte für die Kreisbogen Aa", a"b", b"c", c"β, deren Vereinigungspunkte a", b", c" in dem Umfange einer durch A und β gehenden Ellipse liegen. Der Mittelpunkt G für den kleinsten Halbmesser der Korblinie fällt nicht immer in die Linie AC, und dann hat auch die Korblinie an ihrem Fußpunkte A keine lothrechte Tangente (wenn AC wagerecht), doch wird diese Abweichung, wenn das Bogenstück Aa klein genug genommen wurde, so unbedeutend sein, daß man dieselbe für die Ausführung im Großen unbeachtet lassen darf. Will man hingegen doch eine lothrechte Tangente in A haben, so darf man nur die Lage des Punktes a" in dem Umfange der Ellipse opfern und die in der Figur angedeutete, aus den früheren Figuren bekannte Construction, gewissermaßen als eine Correction, in Anwendung bringen. Nachdem nämlich der Punkt F bestimmt ist, mache man $AF' = b''F$, ziehe FF' und bestimme den Punkt G' durch den auf der Mitte von FF' errichteten Perpendikel HG'. Zieht man dann die Linie Fa'" durch G', so kann man aus F den Bogen b" a'" und aus G' den Bogen a'"A ziehen, welch' letzterer dann in A eine lothrechte Tangente haben wird, weil G' in der wagerechten AC liegt*).

Um eine der Ellipse ebenfalls sehr nahe kommende Korblinie zu zeichnen, kann man sich auch folgender Methode bedienen. Ist in OA, in Fig. 226, die

Fig. 226.



halbe Spannweite und in OB die Pfeilhöhe gegeben, so zeichne man mit OA und OB zwei Viertelkreise und einen

*) Wegen Kleinheit des Maßstabes fallen in unserer Figur die Punkte a" und a'", so wie α, G und G' fast ganz zusammen, so daß es rathsam wird, die Figur nach einem größeren Maßstabe aufzutragen.

dritten mit einem Halbmesser OC = BO + AO. Zieht man nun die beliebigen Radien OI, OII, OIII ꝛc., bestimmt auf die bekannte Weise die in dem Umfang der, durch A und B gehenden Ellipse liegenden Punkte m, n, p ꝛc. und zieht durch III und p, II und n ꝛc. gerade Linien, so sind dieß, nach einem von Professor Reusch aufgefundenen Satze, Normalen zu der Ellipse in den Punkten n, m, p ꝛc.*), auf denen daher die Krümmungsmittelpunkte der zugehörigen Ellipsenelemente liegen. Verlängert man nun mehrere solcher auf einander folgender Normalen, bis sie sich gegenseitig in den Punkten 1, 2, 3 und 4 schneiden, so kann man diese Punkte benutzen, um durch eine Reihe aus ihnen beschriebener, stetig in einander übergehender Kreisbögen eine Korblinie zu construiren, welche von der Ellipse selbst nur wenig abweicht und dadurch, daß man die Zahl der Mittelpunkte vermehrt, was sehr leicht ist, derselben beliebig nahe gebracht werden kann.

Um die Bogenlinie für einhüftige Bögen, d. h. für solche, von denen zwei zusammengehörige Kämpferpunkte nicht in einer Horizontalebene liegen, zu zeichnen, haben wir im Allgemeinen die Aufgabe zu lösen, eine stetige Kurve so zu zeichnen, daß sie durch zwei oder drei gegebene Punkte geht und zugleich drei ihrer Richtung nach ebenfalls gegebene gerade Linien tangirt. Zwei der gegebenen Punkte sind immer die Kämpferpunkte; ist ein dritter gegeben, so ist es der Scheitelpunkt des Bogens. Zwei von den drei geraden Linien sind aufwärts verlängerte Stirnlinien der Widerlagsmauern, die dritte eine gerade durch den Scheitel. Von den Kämpferpunkten kann in einzelnen Fällen auch nur der eine gegeben sein, doch ist dann die gerade Linie, in welcher der zweite liegt, immer bestimmt.

Diese Aufgabe lösen wir dadurch, daß wir die Bogenlinie entweder als den Theil einer Ellipse zeichnen, oder aus mehreren stetig in einander übergehenden Kreisbögen construiren. Im letzteren Falle fällt die frühere Bedingung, wonach die Anzahl der Kreisbogenmittelpunkte eine ungerade sein mußte, fort.

Bei der obigen allgemeinen Aufgabe wollen wir folgende Fälle unterscheiden.

1) Die Richtungslinie am und bn, Fig. 4, Taf. 27, der Widerlager sind parallel (gewöhnlich lothrecht), eben so die Scheitellinie cd und die gerade Verbindungslinie ab der beiden zusammengehörigen Kämpferpunkte.

2) Beide eben aufgestellten Bedingungen finden nicht statt, es ist daher in Fig. 5 weder am parallel bn, noch cd parallel ab.

3) Nur eine der in 1 aufgestellten Bedingungen findet statt, und zwar ist, in Fig. 6, am parallel bn, cd aber nicht parallel ab, oder

4) in Fig. 7 ist cd parallel ab, aber am nicht parallel bn.

In Betreff des ersten Falls sei in Fig 8, Taf. 27, ab parallel cd und am parallel bn, so wie die horizontale Spannweite des Bogens ae, seine Steigung eb und die Entfernung der Scheitellinie cd von der steigenden ab gegeben; man soll die einhüftige Bogenlinie als eine Ellipse zeichnen.

Die für die Praxis brauchbarste Auflösung ist die durch sogenannte Vergatterung, weil die dabei nothwendigen Hülfslinien sich leicht construiren lassen, was bei den andern Methoden auf dem Papiere zwar ebenfalls leicht, in der Praxis aber oft sehr schwierig ist.

Ist die lothrechte Entfernung der Scheitellinie cd von der steigenden ab, gleich der halben Spannweite ae, Fig. 8, Taf. 27, oder gleich der halben steigenden Linie ab, Fig. 9, so beschreibe man über diesen Linien Halbkreise, theile den Durchmesser in eine beliebige Anzahl Theile und errichte in den Theilpunkten f, g, h, k, l ꝛc. Senkrechte zu dem Durchmesser bis an die Kreisperipherie. Errichtet man nun in denselben Punkten f, g, h . . . Parallelen ff", gg", hh" . . . zu am oder bn und macht diese, von der steigenden Linie ab an, eben so lang als jene Perpendikel ff', gg', hh' . . . und verbindet die Punkte a, l", k", f", g", h", b durch eine stetige Kurve, so ist die Aufgabe gelöst.

Ist in Fig. 10, Taf. 27, die lothrechte Entfernung der Scheitellinie von der steigenden beliebig, gleich ff" gegeben, so beschreibe man wieder über der steigenden Linie ab einen Halbkreis, ziehe darin den auf ab senkrechten Halbmesser ff' und theile diesen in eine beliebige Anzahl Theile. Durch diese Theilpunkte ziehe man Parallelen zu ab bis an die Kreisperipherie, verbinde f' und f" durch eine Gerade und schneide die ff" durch Parallelen mit f'f", die man durch die Theilpunkte der ff' legt. Durch die auf ff" gefundenen Theilpunkte ziehe man ebenfalls Parallelen zu ab und mache sie (bezüglich auf die Linien ff' und ff") gleich lang mit den durch die zugehörigen Theilpunkte auf ff' gelegten Parallelen, so geben die Endpunkte der durch die Punkte der ff" gelegten Linien, stetig verbunden, die verlangte Bogenlinie.

Daß man bei dieser Methode die Bogenlinie um so genauer findet, je mehr Punkte man bestimmt, leuchtet ein.

Will man die Ellipse mittelst einer Schnur ohne Ende oder auf irgend eine andere Weise construiren, so ist es nöthig, die Lage und Größe der beiden Achsen zu bestimmen.

*) Vgl. Eisenbahnzeitung Jahrg. 1849. Nr. 4.

Man bemerke, daß die steigende Linie ab, Fig. 1, Taf. 28, ein Durchmesser und die Kämpferpunkte a und b Scheitelpunkte der Ellipse sind. Der Mittelpunkt der letzteren liegt daher in der Mitte von ab in f. Da nun cd parallel ab und eben so ac parallel bd, so muß auch der dem Durchmesser ab conjugirte Durchmesser parallel mit ac und bd laufen; er ist daher durch ff' seiner Hälfte nach gegeben und in f' der Berührungspunkt für die Scheitellinie gefunden. Man ziehe nun f'g senkrecht auf cd und mache sie gleich af = fb = ½ ab, ziehe gf und halbire diese Linie in h, ziehe hf' so lang, bis sie ein aus h mit hf als Halbmesser beschriebener Kreisbogen in k schneidet, so gibt eine durch f und k gelegte gerade Linie die Richtung der großen Achse, auf der die kleine senkrecht steht, mithin ihrer Richtung nach ebenfalls gegeben ist. Macht man nun ferner auf hg, hr = hf', so gibt fr die halbe Länge der großen und f'k die der halben kleinen Achse, und es kann nun die Ellipse selbst leicht gezeichnet werden.

Die Lage und Größe der Achsen läßt sich auch noch auf folgende Weise finden. Nachdem die Punkte f, f', g und h, Fig. 2, Taf. 28, wie eben beschrieben, gefunden sind, errichte man in h auf fg den Perpendikel hk bis zum Durchschnitt mit der verlängerten cd in k. Von k aus, mit dem Halbmesser kf, zeichne man den Halbkreis mon und ziehe die Linien mv und nt von m und n durch f, so sind durch dieselben die beiden Achsen ihrer Lage nach gegeben. Zieht man ferner die Linien gm und gn und bestimmt durch diesen die Punkte p und q durch einen aus g mit dem Halbmesser gf' beschriebenen Kreisbogen, so hat man nur von p und q aus Parallelen zu gf zu ziehen, um dadurch auf nt und mv die Punkte s und r zu bestimmen, welche die Endpunkte der beiden Achsen, mithin ihre Längen, bezeichnen.

Will man die einhüftige Bogenlinie mit 2 Kreisbögen aus zwei verschiedenen Mittelpunkten beschreiben, so seien zuerst die beiden Kämpferpunkte a und b, Fig. 3, Taf. 28, ihrer Lage, und die Scheitellinie cd ihrer Richtung nach (parallel ab), nicht aber der letzteren Entfernung von ab gegeben. Man ziehe cd in beliebiger Entfernung von ab, dieser parallel, und verlängere die am und bn, bis sie die cd in c und d treffen, schneide auf cd das Stück ca' = ca und das Stück db' = db ab und ziehe die Geraden bb' und aa'. Der Schnittpunkt f' dieser Linien gibt den Scheitelpunkt des Bogens. Durch diesen ziehe man eine Senkrechte auf cd, bis sie die auf am senkrecht stehende ae in g schneidet, so ist g der Mittelpunkt für den Bogen af'; und zieht man die bh parallel ae, bis sie die f'g in h schneidet, so ist in h der zweite Mittelpunkt für den Bogen f'b gefunden.

Man sieht leicht, daß hierbei c'f' = f'd' = c'a = db, d. h. die lothrechte Entfernung der Scheitellinie von der steigenden gleich der Hälfte der letzteren sein muß, wenn nämlich diese beiden Linien parallel sein sollen.

Findet dieses Verhältniß nicht statt, und ist der Abstand der Scheitellinie cd von der mit ihr parallelen steigenden ab in Fig. 4, Taf. 28, gegeben, so kann man folgende Constructionen anwenden, um den einhüftigen Bogen aus drei Mittelpunkten zu construiren. Man bestimme den Scheitelpunkt f so, daß cf = ca wird, ziehe fg senkrecht auf cd bis zum Durchschnitt mit der, aus a senkrecht auf ac gezogenen ae, so ist g der Mittelpunkt für den Bogen af; ferner ziehe man bm parallel zu ae, nehme darauf das Stück bk willkürlich, doch kleiner als bl an, mache fh = bk, ziehe hk, halbire diese in n, und errichte in n den Perpendikel nm auf hk bis zum Durchschnitt mit der bm, so gibt, nachdem mt durch h gezogen ist, h den Mittelpunkt für den Bogen ft und m den für den dritten Bogen tb.

Ist wie in Fig. 5, Taf. 28, eb = ½ ae und bd = be (ein bei Treppenanlagen oft vorkommendes Verhältniß), so gibt folgende Construction eine angemessene Kurve für den einhüftigen Bogen.

Den Scheitelpunkt f bestimme man wie vorhin so, daß cf = ac wird, ziehe fh senkrecht auf cd vorläufig unbegrenzt lang, bemerke aber den Schnittpunkt g mit der ae. Innerhalb gf nehme man den beliebigen Punkt k an und beschreibe aus demselben mit kf als Radius einen Kreis, der die verlängerte be in l und m schneidet. Durch b lege man die Sehne no parallel zu ae (senkrecht auf ac oder bd), mache bp = bo und bq = bl; den Unterschied zwischen dem Durchmesser fh und dem Sehnenstück np trage man von b nach r, ziehe die Gerade qr, und mit dieser parallel die ms. Macht man nun bt = bs, und zieht durch k und t die Gerade ku, so gibt g den Mittelpunkt für den Bogen af, k den für fu, und t endlich den für ub.

Ist in Fig. 6, Taf. 28, auch der Scheitelpunkt f gegeben, so ziehe man fk senkrecht auf cd, nehme den Punkt k beliebig an und mache ah = fk. Hierbei muß man jedoch Sorge tragen, daß gh kleiner als gk werde. Dann ziehe man hk und errichte in deren Mitte den Perpendikel mn auf hk bis zum Durchschnitt mit ae und ziehe kt durch n. Zieht man ferner durch b die bl parallel ae und nimmt l beliebig, doch so an, daß dieser Punkt über o hinausfällt, macht fp = bl, zieht lp und errichtet in der Mitte dieser Linie den Perpendikel qr bis zum Durchschnitt mit lb und zieht ps durch r, so sind n, k, p und r die vier Mittelpunkte für die vier Bogen, at, tf, fs und sb.

Oder man ziehe in Fig. 7, Taf. 28, fk aus dem in f gegebenen Scheitelpunkte senkrecht auf cd, mache fg = hb

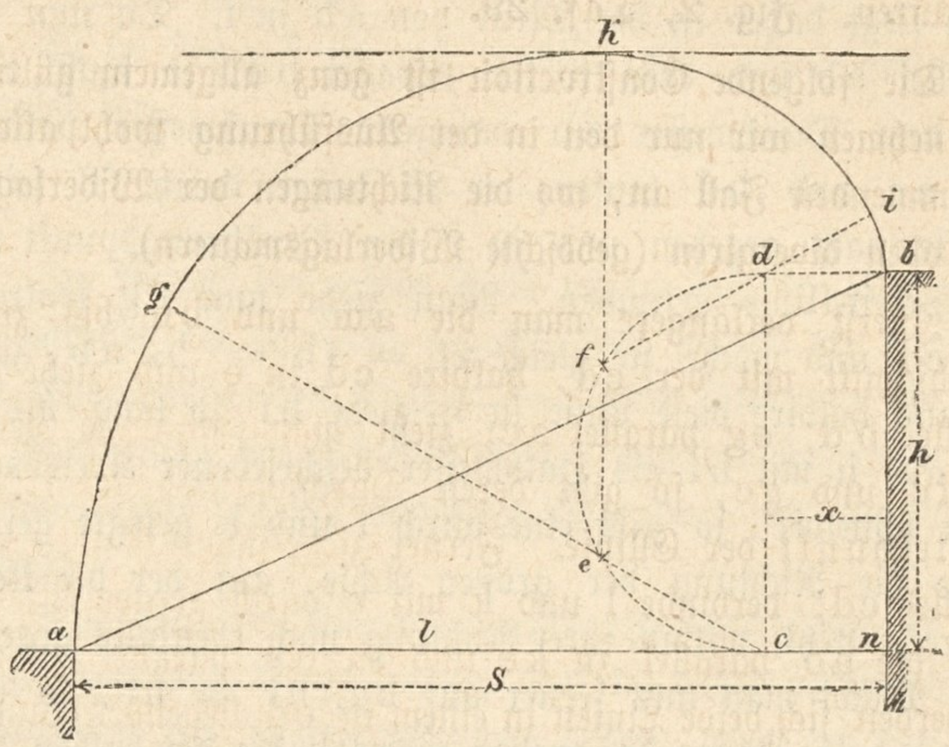
beliebig groß, doch kleiner als bm; ziehe gh und bestimme durch den auf der Mitte von gh errichteten Perpendikel ln den Punkt n in der bn. Zieht man nun durch g die no, so ist g der Mittelpunkt für den Bogen fo und n der für ob. Ferner nehme man fp beliebig*), doch so an, daß, wenn man aq = fp gemacht, pk > qk, ziehe pq und bestimme den Punkt s in der, nöthigen Falls verlängerten ae, durch den auf der Mitte von pq errichteten Perpendikel rs, so ist p der Mittelpunkt für den Bogen fv und s für va, wenn man vorher durch p die Gerade sv gezogen hat.

Man sieht, daß es bei den in Fig. 3 bis 7, Taf. 28, dargestellten Constructionen durchaus gleichgültig ist, ob die Scheitellinie cd der steigenden ab parallel ist oder nicht, wenn nur die Widerlager am und bn parallel bleiben, so daß der früher unter Ziffer 3 erwähnte Fall in dem eben behandelten mit enthalten ist.

Um für diesen Fall auch die in Fig. 1 und 2, Taf. 28, dargestellte Construction, wo der einhüftige Bogen durch eine Ellipse gebildet wird, zu ergänzen, sei ab, Fig. 8, Taf. 28, die steigende, cd die Scheitellinie, beide nicht parallel, wohl aber die Widerlager am und bn. Die Scheitellinie cd muß an die Ellipse, deren Scheitel in a und b liegen und zu welcher ab ein Durchmesser ist, eine Tangente sein, und es kommt zuvörderst darauf an, den Berührungspunkt selbst zu bestimmen. Man verlängere die am über c hinaus und mache ac = cf; zieht man nun die Gerade fb, so ist deren Durchschnitt g mit der Scheitellinie der gesuchte Berührungspunkt. Der Mittelpunkt der Ellipse liegt in der Mitte von ab in h. In diesem errichte man einen Perpendikel auf ab und beschreibe aus h den Quadranten ak; aus g ziehe man die gl parallel zu am, aus l die lq parallel zu hk und die kn parallel zu ab; verbindet man nun den Punkt q, wo die ln den Quadranten schneidet, durch eine Gerade mit g, verlängert die gl über g hinaus, bis sie von einer, aus n parallel zu qg gezogenen geraden Linie in r geschnitten wird, so gibt lr die halbe Länge des zu ab gehörigen, mit am parallelen Durchmessers; zieht man daher hs parallel am und rs parallel ab, so ist der Fall auf den in Fig. 1 oder 2 behandelten zurückgeführt, indem jetzt zwei conjungirte Durchmesser der Ellipse ihrer Lage und Länge nach gegeben sind, aus denen, nach den in Fig. 1 oder 2, Taf. 28, gezeichneten Constructionen, die Ellipse selbst bestimmt werden kann.

Ist für einen besonderen Fall die Scheitellinie horizontal, aber nur ihrer Richtung nach gegeben, ein Fall, der wohl vorkommen kann, so kann man auch auf folgende Weise eine Korblinie construiren. In Fig. 227 sei ab die steigende Linie und an horizontal. Zieht man in einer, vorläufig noch unbekannten Entfernung = x von

Fig. 227.



bn eine ihr gleiche und parallele Linie cd, beschreibt über dieser einen Halbkreis und trägt den Halbmesser desselben dreimal in denselben herum und bestimmt dadurch die Punkte e und f, so darf man die Linien ce, ef und fd nur verlängern und aus c den Bogen ag, aus e den gk, aus f den ki und aus d den ib beschreiben und der letzte Bogen wird durch den Punkt b gehen, wenn die Entfernung x richtig bestimmt wurde. Um diese zu bestimmen, bemerken wir, daß, wenn an mit S und nb mit h bezeichnet wird, alsdann die Gleichung bestehen muß:

$$db + df + fe + ec + cn = an \text{ oder}$$

$$2x + 3\,\frac{h}{2} = S \text{ und}$$

$$x = \frac{S}{2} - \frac{3}{4}\,h.$$

Man findet daher den Punkt c, aus welchem die cd parallel mit bn zu ziehen ist, wenn man an in l halbirt und von l nach c dreiviertel von bn trägt, weil man dann

$$cn = x = \frac{S}{2} - {}^3/_4\,h \text{ gemacht hat.}$$

Häufig kommt auch der Fall vor, daß bei parallelen Widerlagern nur einer der Kämpferpunkte und die Richtung der Scheitellinie gegeben sind; alsdann läßt sich der einhüftige Bogen sehr leicht aus zwei Mittelpunkten construiren. Ist a, Fig. 1, Taf. 29, der gegebene Kämpferpunkt, cd die Scheitellinie, ae die Spannweite des Bogens, und am parallel en die Richtung der Widerlager, so verlängere man am bis zum Durchschnitt mit cd, mache cf = ca, ziehe fg senkrecht auf cd, bis zum Durchschnitt mit ae, verlängere en ebenfalls bis zum Durchschnitt mit cd, mache db = df und ziehe bh parallel ae, so sind in g und h die Mittelpunkte der beiden Kreisbögen, und in b der zweite Kämpferpunkt gefunden.

*) p fällt in der Figur zufällig auf ab.

Es seien nun für den zweiten Fall weder die Richtungen der Widerlager, noch die steigende und Scheitellinie parallel, und man soll den einhüftigen Bogen als Ellipse construiren. Fig. 2, Taf. 29.

Die folgende Construction ist ganz allgemein gültig, doch nehmen wir nur den in der Ausführung wohl allein vorkommenden Fall an, wo die Richtungen der Widerlager nach oben divergiren (geböschte Widerlagsmauern).

Zuerst verlängere man die am und bn bis zum Durchschnitt mit der cd, halbire cd in e und ziehe ef parallel bd, eg parallel ac; zieht man dann die Geraden fd und gc, so gibt deren Durchschnittspunkt i den Mittelpunkt der Ellipse. Ferner ziehe man fl und gk parallel cd, verbinde l und k mit e durch gerade Linien, ziehe die ao parallel zu ke und die ob parallel zu el, so werden sich beide Linien in einem in ed liegenden Punkte o, dem Berührungspunkte der Scheitellinie und der Ellipse, schneiden. Jetzt ziehe man op, vorläufig von unbestimmter Länge, senkrecht auf cd, ferner von i aus die iq parallel zu bd und schneide von q aus mit dem Halbmesser qd auf op das Stück or ab; darauf verbinde man r mit i durch eine Gerade und ziehe dieser parallel, sonst aber willkürlich, die Linie st, ziehe oi, welche die st in v schneidet, und parallel mit op die iu bis zum Durchschnitt u mit st, halbire uv in x und beschreibe mit dem Halbmesser xi über st den Halbkreis sit. Zieht man nun die ss' und die tt' durch i, so ist hierdurch die Lage der beiden Achsen der Ellipse gegeben. Zieht man ferner rr' parallel der tt' und rr" parallel der ss', so werden die Punkte r", r' und o in einer geraden Linie liegen, und or" bestimmt die Länge der halben großen, so wie or' die der halben kleinen Achse der Ellipse, die nun nach einer der bekannten Methoden gezeichnet werden kann.

Setzen wir den unter Ziffer 4 erwähnten Fall voraus, daß nämlich die Scheitellinie cd der steigenden ab parallel sei, wie in Fig. 3, Taf. 29, so bleibt die eben angegebene Construction ganz dieselbe, nur wird sie dadurch, daß der Berührungspunkt o, Fig. 3, mit dem Halbirungspunkte e der cd, Fig. 2, zusammenfällt, vereinfacht, indem die besonderen Constructionen zur Auffindung des Berührungspunktes fortfallen. In Fig. 3 stehen die Buchstaben gerade so wie in Fig. 2, so daß man nach dem zu letzterer Figur gegebenen Texte auch die erstere wird zeichnen können.

Soll, bei nicht parallelen Widerlagern, der einhüftige Bogen aus mehreren Kreisbögen zusammengesetzt werden, und ist nur die Richtung der Scheitellinie cd, Fig. 4, Taf. 29, nicht aber ihre Entfernung von der, durch beide Kämpferpunkte gegebenen, steigenden Linie ab bestimmt, so kann man die verlangte Kurve auf folgende Weise aus zwei Kreisbögen zusammensetzen.

Man verlängere die Richtungslinien der Widerlager am und bn bis zum Durchschnitt mit der, zur gegebenen Richtung der Scheitellinie parallel gezogenen Linie cd, mache cf = ca und dg = db, und ziehe die Geraden af und bg, die sich in h schneiden. Dieser Punkt wird der Scheitelpunkt, und die durch denselben parallel mit cd gezogene Linie c' d' die Scheitellinie. Zieht man ferner hk senkrecht auf cd, und schneidet diese Linie durch senkrecht auf am und bn gezogene Linien ak und bl in k und l, so sind letztere beiden Punkte die gesuchten Mittelpunkte für die Bogen ah und hb. Ob hierbei cd der ab parallel ist oder nicht, ändert begreiflicher Weise nichts in der Construction.

Ist einer der Kämpferpunkte, etwa a Fig. 5, Taf. 29, die Richtung beider Widerlager, und die Scheitellinie ihrer Richtung und Entfernung nach gegeben, so verlängere man am und bn bis zum Durchschnitt mit cd, und mache ch = ac, ziehe hg senkrecht auf cd, und ak senkrecht auf am, ferner mache man db = dh und ziehe bl senkrecht auf bn, so sind in k und l die Mittelpunkte und in b der zweite Kämpferpunkt gefunden.

Ist endlich in Fig. 6, Taf. 29, die steigende Linie ab, die Scheitellinie cd und in dieser der Scheitelpunkt g gegeben, so ziehe man gf senkrecht auf cd, nehme gh = ak, sonst aber beliebig an, nachdem man vorher ak senkrecht auf am gezogen hat, ziehe hk und bestimme den Punkt l durch den auf der Mitte von hk errichteten Perpendikel ol, so sind, wenn man pl durch h zieht, l und h die Mittelpunkte für die Bogen ap und pg; ferner ziehe man bq senkrecht auf bn, nehme gr = bs an, ziehe rs, errichte auf der Mitte dieser Linie den Perpendikel tu bis zum Durchschnitt mit gf und ziehe uv durch s, so ist u der Mittelpunkt für den Bogen gv und s der für vb.

Der Scheitelpunkt g wird selten gegeben, sondern meistens willkürlich sein. Um dann in den verschiedenen Fällen den einhüftigen Bogen der Ellipse möglichst nahe zu bringen, kann man eine solche nach Fig. 2, Taf. 29, zuerst zeichnen, und dann die in Fig. 6 derselben Tafel der Willkür überlassenen Annahmen so einrichten, daß die Korblinie der Ellipse so viel als thunlich nahe kommt; jedenfalls kann man den Scheitelpunkt g nach der in Figur 2 gezeigten Construction bestimmen.

Sind die gegebenen Dimensionen so groß, daß die Radien zu lang werden, um noch mit dem Stangenzirkel die Bögen ziehen zu können, so wird man die nöthigen Punkte durch Ordinaten berechnen müssen.

Construction der Gewölbe selbst.

Die Mauerbögen.

§. 5.

Im vorhergehenden Kapitel haben wir des Zusammenhanges des dort zu verarbeitenden Stoffes wegen schon Gebrauch vom Mauerbogen gemacht, welchen wir jetzt erst näher kennen lernen werden. Dort haben wir gesehen, daß derselbe erstens die Aufgabe hat, eine Maueröffnung nach oben abzudecken, nach irgend welcher linearer Begrenzung, und das über ihm befindliche Mauerwerk zu tragen, und zweitens, daß er außer der Function des Tragens zugleich die des Schutzgebens hat in Bezug auf einen unter ihm befindlichen, die Oeffnung nach oben begrenzenden Stein.

Diese beiden Eigenschaften des Mauerbogens sind in der primitivsten Gestalt in den Fig. 228—230 dargestellt,

Fig. 228.

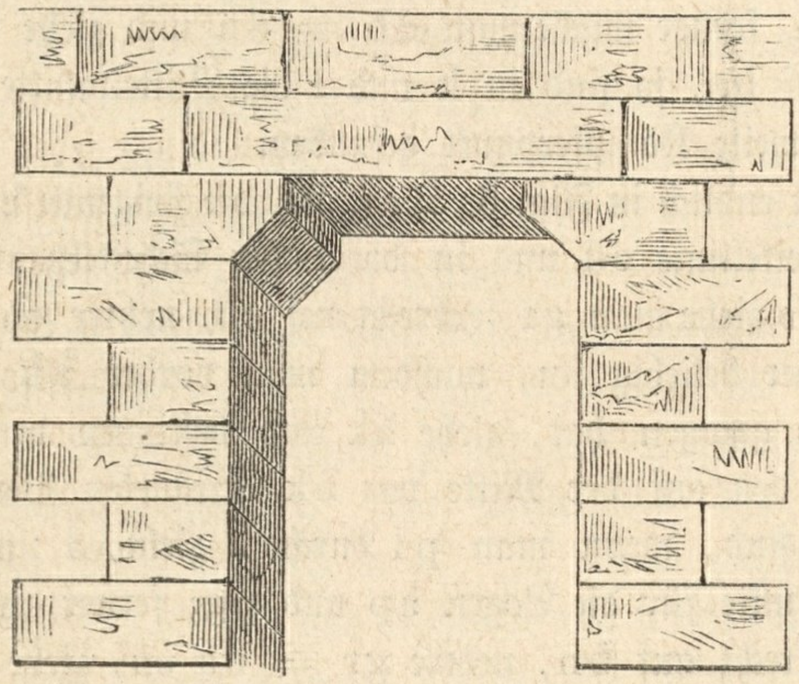
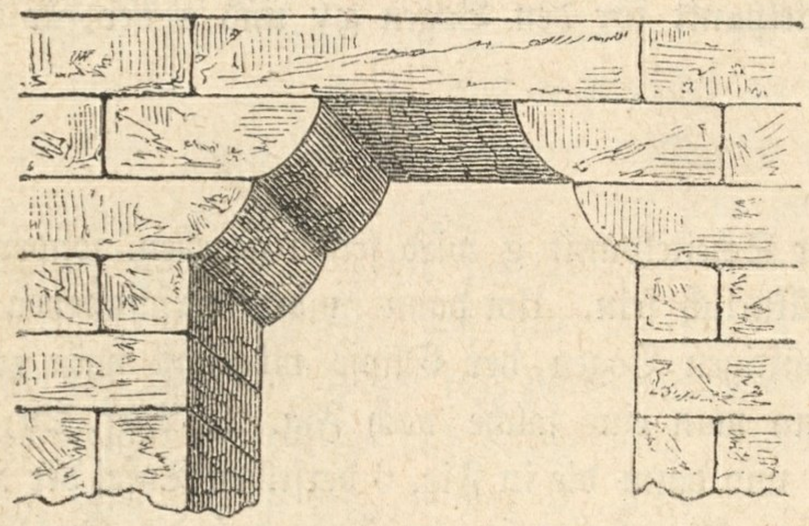


Fig. 229.



wie solche von altgriechischen Mauerthoren auf uns gekommen sind. Die Oeffnung wird nämlich nach Fig. 228—229 durch Ueberkragung der Steine immer enger gemacht, bis sie endlich mittelst eines einzigen Steines abgedeckt werden kann, ähnlich wie man ganze Räume mit gewölbeartigen Steindecken versah, wovon wir schon gesprochen haben. In diesen Constructionen, sowie in der Fig. 230, wo wir zwei Steine sparrenförmig gegen einander gestellt und entlastend wirken sehen, ist zwar die Idee des Bogens enthalten, ohne daß wir es jedoch mit dem Bogen selbst zu thun haben, sowie das früher erwähnte Cyklopengemäuer, Fig. 231, der alten Pelasger das Prinzip des Bogens in sich trägt*).

Fig. 230.

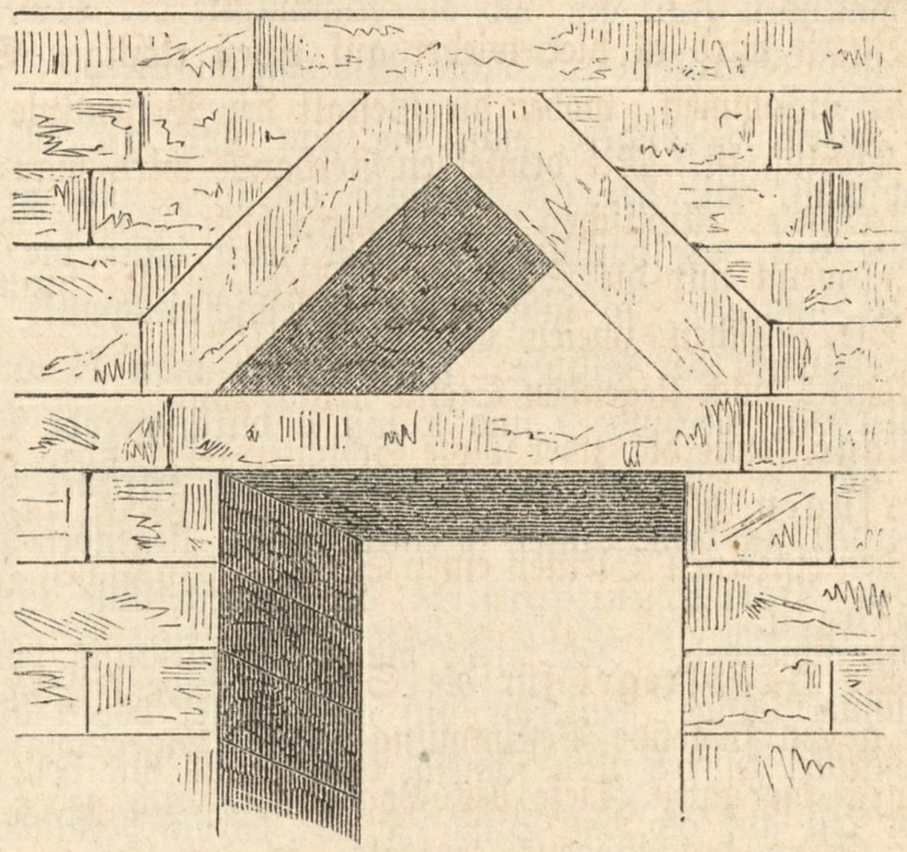
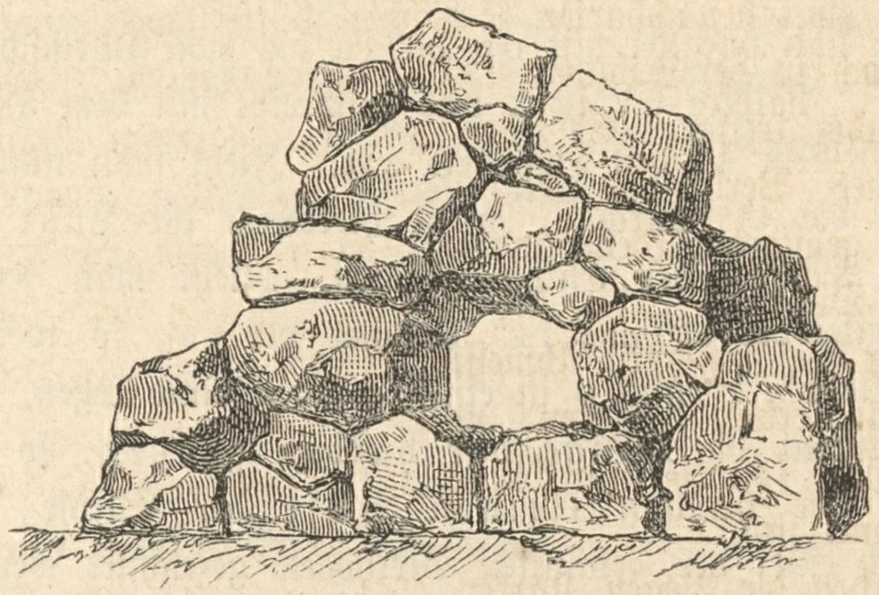


Fig. 231.



In Beziehung auf Construction unterscheiden wir Mauerbögen aus künstlichen Steinen von den aus natürlichen Steinen gebildeten.

Mauerbögen aus künstlichen Steinen.

§. 6.

Solche Bögen können aus gewöhnlichen Backsteinen oder aus besonders geformten Keilsteinen gebildet werden.

Unter Stärke eines Mauerbogens verstehen wir hier seine Abmessung nach der Richtung seiner Gewölbfugen, und

*) Semper, der Styl, S. 356. „Offenbar ist in dem entwickelten cyklopischen Gemäuer das Prinzip des Gewölbes latent; mag man dasselbe durchbrechen, wo man wolle, so bildet sich über der Bresche von selbst ein Spannbogen, der sich dem Einstürzen der oberen Mauertheile entgegenstemmt.“

unter Tiefe desselben seine Abmessung nach der Richtung seiner Achse. Beide Abmessungen werden, wie bei dem geraden Mauerwerke, nicht nach Fußen und Zollen, sondern nach Steinlängen ausgedrückt; so zeigt z. B. Fig. 12, Taf. 30, einen 1½ Stein starken und ebenso tiefen Bogen.

Zuerst wird es hier wieder auf einen richtigen Steinverband ankommen, wobei die Gestalt der Bogenlinie ganz ohne Einfluß ist. Mit demselben Verbande wird man einen kreisförmigen, elliptischen oder scheitrechten Bogen wölben können, wenn nur die Stärke und Tiefe dieselbe bleibt.

Die zwischen zweien Gewölbfugen der ganzen Tiefe des Bogens nach liegenden Steine nennt man eine Schichte oder Lage, sowie die, zwei solche Schichten trennenden Fugen Lagerfugen genannt werden. Dagegen heißen die zwischen den einzelnen Steinen einer Schichte befindlichen Fugen Stoßfugen.

Als Hauptregel für die Steinverbände der Mauerbögen gelten folgende Bestimmungen: Die Lagerfugen müssen durch die ganze Tiefe des Bogens hindurch gehen, also in der Stirn des Bogens centrale, in der Leibung aber mit der Achse parallele Linien bilden. Die Stoßfugen dagegen, in zwei benachbarten Schichten, dürfen weder in der Stirn, noch in der Leibung, noch im Innern des Bogens, auf einander treffen. Es folgt hieraus, daß zur Herstellung eines Verbandes mindestens zwei verschiedene Schichten gebildet werden, und diese dann immer abwechseln müssen. Die Fig. 1 bis 10, Taf. 30, zeigen solche Verbände für die üblichsten Abmessungen, zu denen wir weiter keiner Erläuterung bedürfen, wenn wir bemerken, daß die Steinstücke (Zwei- und Dreiquartiere) durch Schraffirung ausgezeichnet sind.

Werden die Bögen stärker als 2½ Stein (die Tiefe ist ohne Einfluß), so werden die Gewölbfugen zu lang, als daß man sie geradlinig in ihrer ganzen Länge durchlaufen lassen könnte, weil man, um die keilförmige Gestalt derselben hervorzubringen, die gewöhnlich nur 2½ Zoll dicken Steine an ihrem untern Ende zu sehr verhauen müßte, und doch noch genöthigt wäre, die Fugen oberhalb, am Rücken des Bogens, sehr breit zu machen oder Steinsplitter hineinzukeilen. Letzteres bringt aber leicht die nachtheilige Wirkung hervor, daß die Gewölbsteine oben dichter aneinander schließen, als auf den übrigen Theil ihrer Länge, wodurch, nach dem Ausrüsten des Bogens, ein Oeffnen der Fugen an der Leibung in zu großer Ausdehnung eintreten könnte. Es ist daher in solchen Fällen, und besonders bei kleinen Krümmungshalbmessern der Bogenlinien besser, den Bogen aus mehreren, zwar gleichzeitig, aber ohne Zusammenhang (gegenseitigen Verband) gewölbten Ringen von nur ½ Stein Stärke bestehen zu lassen. Diese Ringe bilden nach Fig. 11, Taf. 30, eigentlich nur bogenförmige Rollschichten, bei denen die keilförmige Gestalt der Lagerfugen so unbedeutend ist, daß man sie ohne alles Verhauen der Steine, oder ein Auskeilen der Fugen, einzig und allein dadurch hervorbringen kann, daß man den Fugen oberhalb etwas mehr Mörtel gibt als unten.

Diese Construction ist auch keineswegs neu, sondern an vielen Gebäuden aus dem Mittelalter angewendet, und steht bei den Engländern fortwährend in sehr häufigem Gebrauche. Bei einem Viaduct der London-Birmingham-Eisenbahn bei Volverton, bestehen die Bögen aus Backsteinen, bei einer Spannweite von 60 englischen Fuß und 20 Fuß Pfeilhöhe, aus 9 Ringen von ½ Stein Stärke, die eine Gesammtstärke des Bogens von 3 Fuß 10½ Zoll geben*). Die Gewölbe über den Kreuzesarmen der neuen Kirche zu Potsdam, 60 pr. Fuß weit im Halbkreise gespannt, bestehen aus drei concentrischen, isolirten Bögen, jeder von 2 Stein Stärke, aus besonders geformten keilförmigen Gewölbsteinen gebildet**).

Sind dergleichen Bögen indessen einer sehr bedeutenden Belastung ausgesetzt, so ist eine solche Construction immerhin bedenklich, denn da jeder Steinring aus einer andern Anzahl Steinen besteht und das Setzen eines jeden Ringes im Verhältniß der Anzahl seiner Lagerfugen stattfindet, so folgt, daß die äußeren Steinringe sich mehr setzen müssen als die innern. Dieser Bewegung können sie aber nicht folgen, indem jeder äußere Ring durch den nächstfolgenden innern daran gehindert wird, und die Folge davon ist, daß die Steine der einzelnen Ringe nicht gehörig an einander schließen, mit Ausnahme des innersten Ringes, und die Steine dieses Ringes werden daher einer weit größeren Pressung zu widerstehen haben als die der übrigen. Wird die Festigkeit der Steine dieses Ringes überwunden, so kommt der nächstfolgende Ring in dieselbe Lage und so fort, so daß also, streng genommen, nur immer ein Steinring der ganzen Pressung zu widerstehen hat.

Soll ein Mauerbogen von Backsteinen ausgeführt werden, und ist die Gestalt für die Bogenlinie desselben festgesetzt, so muß zunächst das Widerlager für den Fuß des Gewölbes gebildet werden, d. h. die oberen Endigungsflächen der als Widerlager bestimmten Mauern. Diese lassen sich aber immer als die ersten Lagerfugen des Bogens ansehen; und da, wie wir früher gesehen haben, die Richtungen dieser normal auf dem zugehörigen Bogenelemente stehen müssen, so müssen auch die Widerlagsflächen nach dieser Regel gebildet werden. Bögen nach dem Halbkreise, nach

*) Allgemeine Bauzeitung, Jahrgang 1838, Nr. 10.

**) Notizblatt des Architekten-Vereins zu Berlin, Jahrgang 1833, Seite 10.

einer halben Ellipse und nach der Korblinie erhalten daher horizontal abgeglichene Widerlager, während Bögen nach flachen Kreisbögen ꝛc. schräg gestaltete Widerlager erhalten. Dieß Letztere findet auch bei allen scheitrechten Bögen statt, bei denen überhaupt die allgemeine Regel, daß die Gewölbfugen auf den zugehörigen Bogenelementen normal stehen müssen, eine Ausnahme erleidet.

Bestehen die Widerlagsmauern auch aus Backsteinen, so müssen die Steine längs der Widerlagslinie ab, Fig. 12 Taf. 30, schräg abgehauen werden; hat man aber leicht zu bearbeitende, natürliche Steine als Material der Widerlager, so kann man dieselben wie bei cd derselben Figur bearbeiten, um die spitzwinkeligen Kanten zu vermeiden.

§. 7.

Einrüsten der Mauerbögen.

Ist die Bogenlinie angenommen, so muß der Mauerbogen behufs seiner Ausführung zuerst eingerüstet werden. Ein solches Gerüst besteht im Allgemeinen aus einzelnen, in ihrer oberen Begrenzung die Form der beabsichtigten Bogenlinie zeigenden, aus Brettern, Dielen (Bohlen) oder stärkeren Hölzern zusammengesetzten Bindern oder Rippen, bei kleinen Abmessungen Gewölbscheiben genannt, die in gewissen Entfernungen lothrecht aufgestellt, befestigt und dann eingeschalt werden.

Diese Einschalung besteht aus schmalen Brettstücken oder Latten von der Länge des Gewölbes, die so auf die Rippen gelegt werden, daß ihre Oberflächen der beabsichtigten Leibung des Bogens genau entsprechen. Hieraus folgt zunächst, daß der Halbmesser für die Krümmung der Rippen um so viel verkürzt werden muß, als die Stärke der zur Einschalung verwendeten Hölzer beträgt.

Die Construction größerer Lehrgerüstbögen oder Rippen können wir erst bei den Constructionen in Holz besprechen, bemerken aber hier, daß für kleinere Wölbungen, namentlich zu Mauerbögen, die Lehrgerüstbögen gewöhnlich nur aus einfachen, oder doppelt zusammengenagelten Brettern gebildet, und dann an manchen Orten auch von den Maurern selbst angefertigt werden. Einige solche Gewölbscheiben und Lehrbögen zeigen die Figuren 12 bis 14, Taf. 30.

Bei Mauerbögen, von denen wir hier zunächst sprechen, werden selten mehr, aber auch nicht weniger als zwei solcher Rippen oder Wölbscheiben nöthig sein, die man dann etwas hinter den Stirnen der Bögen zurückliegend aufzustellen pflegt.

Bei Bögen von 1 oder auch wohl von 1 ½ Stein Tiefe läßt man die Einschalung fort, weil hier die Steine durch die Wölbscheiben selbst Unterstützung finden. Fig. 13 Taf. 30 zeigt einen 1 Stein hohen und eben so tiefen Bogen mit der Einrüstung. Letztere wird durch ein Paar an die Widerlagsmauern gelehnte Bohlstücke gestützt. Eine ganz ähnliche Einrüstung zeigt Fig. 12, Taf. 30, für einen flachen Kreisbogen von 1 ½ Stein Stärke und Tiefe, so wie Fig. 14 für einen 2 Stein starken und so tiefen Korbbogen, daß eine Einschalung nöthig wird.

Sobald, wie in Fig. 14, der Lehrbogen nicht mehr als eine volle Scheibe (wie in den Figuren 12 und 13) aus Brettern gebildet werden kann, sondern aus mehrfachen Bretterlagen felgenartig, wie der Kranz eines Wasserrades, zusammengesetzt werden muß, so darf eine, beide Schenkel des Bogens verbindende Latte ab, Fig. 14, Taf. 30, nicht fortbleiben, weil sonst bei der Belastung des Lehrbogens durch die Gewölbsteine leicht ein Ausweichen des ersteren stattfinden könnte.

Die Schalung, hier aus gewöhnlichen Dachlatten bestehend, die mit etwa 1 Zoll breiten Zwischenräumen auf die Lehrbögen gelegt sind, wird immer nur nach Erforderniß, so wie man mit dem Einwölben des Bogens fortschreitet, aufgelegt, und nur die Lattstücke zunächst an den Gewölbfüßen bedürfen des Festnagelns.

Fig. 14, Taf. 30, zeigt zugleich, auf welche Weise größere Lehrbögen aufzustellen sind. Die Schenkel derselben stehen zunächst mit einer sogenannten Klaue auf einem Rahmstücke c, welches seinerseits wieder durch Pfosten unterstützt wird, die mit ihrem untern Ende nöthigenfalls auf einer Schwelle oder auch nur auf untergelegten Brettern oder großen Steinen stehen, jedenfalls aber einen unverrückbar festen Stand haben müssen. Bei dem Aufstellen der Lehrbögen und Gewölbscheiben kommt es besonders darauf an, daß die Ebene derselben durchaus normal auf der Achse des Gewölbes steht, und die, zwei zusammengehörige Kämpferpunkte verbindende Linie genau die vorgeschriebene Richtung hat. Bei tieferen Gewölben muß man häufig die richtige Stellung der Lehrbögen durch innerhalb angenagelte Latten oder Bretter, die die einzelnen Lehrbögen mit einander verbinden, zu sichern suchen.

Kleine Gewölbscheiben pflegt man, wie in Fig. 12 Taf. 30, unmittelbar auf ihre Unterstützungspunkte aufzustellen; bei größeren Lehrbögen muß man aber die Einrichtung so treffen, daß man, nachdem das Gewölbe geschlossen ist, den Lehrbogen lösen kann, ohne das Gewölbe selbst einer Erschütterung auszusetzen. Diesen Zweck erreicht man am einfachsten, wenn man da, wo der Lehrbogen mit seinen Füßen auf den unterstützenden Hölzern aufsteht, zwischen den Fuß und die Unterstützung doppelte Keile anordnet, wie bei d, Fig. 14, Taf. 30. Diese Keile erleichtern zugleich das Aufstellen der Lehrbögen ungemein, indem sie das genaue Einstellen der Kämpferpunkte weniger beschwerlich machen, sind aber vom größten Nutzen, wenn die Ausrüstung vorgenommen werden soll, dadurch, daß sie ein

allmälige Entfernung des Lehrbogens von dem Gewölbe möglich machen, so daß man die Schalhölzer herausziehen und den Lehrbogen frei machen kann, ohne das Gewölbe dabei in eine mehr als kaum merkliche Bewegung zu bringen.

Die Gewölbscheiben für scheitrechte Bögen, welche niemals in großen Spannweiten ausgeführt werden, bestehen in der Regel nur aus einem Brette oder Bohlstücke und werden dann Stege genannt. Ist die Spannweite des Bogens nur gering (3 bis 4 Fuß) und bestehen auch die Widerlager aus Backsteinen, so pflegt man das den Steg bildende Brettstück an den Enden zuzuschärfen und nur durch ein Einklemmen in die Fugen bei a a, Fig. 1, Taf. 31, zu befestigen. Ein in der Mitte spreizenartig untergestelltes Brettstück b gibt dann die noch nöthige Unterstützung. Bei größerer Spannweite, oder wenn sich in der Kämpferhöhe nicht gerade eine horizontale Fuge in den Widerlagern befindet, wird die Befestigung des Stegs auf eine ähnliche Weise wie bei den nach krummen Linien gewölbten Bögen erreicht, wie solches Fig. 2, Taf. 31, zeigt.

Man pflegt die Leibung eines scheitrechten Bogens nie ganz horizontal, oder überhaupt geradlinig, zu machen, sondern die Mitte immer um etwas über die gerade Verbindungslinie der Fußpunkte zu erheben, oder den Bogen, wie der Maurer sagt, zu stechen. Man bewirkt dieß dadurch, daß man das den Steg bildende Brett oben in der Mitte, quer über, etwa bis auf die Hälfte oder $^2/_3$ seiner Stärke mit einer Säge einschneidet, und dann durch ein Antreiben der mittlern, immer etwas schräg gestellten Stütze, eine Biegung des Stegs hervorbringt.

§. 8.

Ausführung der Mauerbögen.

Soll nun der Bogen selbst eingewölbt werden, so muß dieses symmetrisch gegen den Scheitel (der übrigens immer genau auf dem Lehrbogen bezeichnet sein muß) geschehen, so daß man zwei oder auch vier Maurer an einem Bogen anzustellen hat. Auch ist darauf zu sehen, daß jeder an seinem Fußende mit derselben von den zwei abwechselnden Schichten anfängt.

Um die centrale Richtung der Gewölbfugen zu erlangen, ist es bei kreisförmigen Bogenlinien das Bequemste und Sicherste, in den zugehörigen Mittelpunkt, den man an irgend einem passenden Gegenstand (einer Latte ꝛc.) bezeichnet hat, einen Nagel einzuschlagen und an diesem eine Schnur zu befestigen. Wird dann diese Schnur angespannt, indem man sie zugleich an einen Fugenpunkt in der Leibungskante bringt, so zeigt erstere die Richtung der Gewölbfuge an. Oft wird man aber den Mittelpunkt des Bogens nicht bezeichnen können, indem er entweder zu entfernt liegt, oder durch andere nicht zu entfernende Gegenstände verdeckt wird; alsdann fertigt man eine Chablone an, die, auf die Einschalung gestellt, mit einer ihrer Seiten die Richtung der Gewölbfugen bezeichnet.

Eine solche Chablone ist nichts anderes, als ein Brettstück, welches an einer Seite von einem Theile der Bogenlinie des in Rede stehenden Gewölbes, und an einer dieser anliegenden Seite durch eine Normale auf die Bogenlinie begrenzt wird. Die Anfertigung ist daher sehr leicht und geschieht am besten gleichzeitig mit der des Lehrbogens, weil dabei der Mittelpunkt des Bogens doch bestimmt werden mußte. Daß man bei Korbbögen eben so viele verschiedene Chablonen haben muß, als verschieden gekrümmte Linien die Korblinie bilden, versteht sich von selbst.

Ist der Krümmungshalbmesser nicht zu klein, so daß eine Bogenlinie von etwa 6 Zoll ohne merklichen Fehler als gerade angesehen werden kann, so kann man die Chablone entbehren. Der einigermaßen geübte Maurer stellt nämlich den rechtwinklig begrenzten Backstein, wie Fig. 15, Taf. 30, zeigt, so mit seiner Breite auf die Einschalung, daß die lange Seite die Richtung der Gewölbfuge anzeigt. Dieses Verfahren, welches bei einiger Aufmerksamkeit hinlängliche Genauigkeit gewährt, läßt elliptische Bögen in Backsteinen eben so leicht ausführen als Korbbögen, und da die Ellipse die Mängel der Korblinien nicht theilt, die Schwierigkeit der Bestimmung der Gewölbfugen durch das eben erwähnte Verfahren umgangen wird, so zieht man bei Bögen aus Backsteinen die elliptischen Bogenlinien den Korbbögen vor.

Eine eigene Schwierigkeit hinsichtlich der Fugenrichtung entsteht bei Anwendung von gewöhnlichen Backsteinen in der Nähe des Scheitels spitzbogiger Gewölbe, wie Fig. 7, Taf. 31, dergleichen zeigt. Die beiden Gewölbschenkel sind hier Kreisbögen, die mit der Spannweite als Halbmesser, aus den gegenüberliegenden Kämpferpunkten beschrieben sind. Es laufen daher auch die Richtungen der Gewölbfugen in diesen Punkten zusammen bis nahe zum Scheitel, wo nothwendig eine Aenderung in dieser Richtung eintreten muß. Gewöhnlich behält man die normale Fugenrichtung bis auf 5 bis 6 Zoll vom Scheitel auf jedem Schenkel bei, und läßt sie dann steiler werden. Sind nämlich mp und nr, Fig. 7 A, die beiden letzten normalen Fugenrichtungen, die sich in dem Punkte z schneiden, so richtet man die zwischen den Punken r und p befindlichen Schichten nach diesem Punkte. Dadurch werden indessen die den Scheitel bildenden Steine nach innen zu sehr spitz und der Schluß des Bogens geschwächt, weßhalb es vorzuziehen bleibt, einen besonders zugehauenen Werkstein, Fig. 5, von der Form osrp als Schlußstein einzusetzen, oder dergleichen Steine, wie es bei dem Bau der Werder'schen Kirche in Berlin z. B. geschehen ist, von Thon besonders formen und bren-

nen zu lassen. In einzelnen Fällen, und wenn man durchaus mit gewöhnlichen Backsteinen wölben will, könnte man die Fugenrichtung etwa nach Fig. 7 B, Taf. 30, einrichten. Hier bilden die letzten normalen Fugen a b und c d mit der Horizontalen a c einen Winkel von 45 Graden, und die übrigen bis zum Scheitel sind so bestimmt, daß man die halbe Spannweite a e in einen Theil mehr theilt, als Fugen bis zum Schlußstein (von b oder d bis f) stattfinden, und diese nach jenen Theilpunkten zieht. Das Verfahren ist ziemlich mühsam, weßhalb es wohl nur bei einzelnen Bögen, die nicht geputzt werden sollen, Anwendung finden wird.

Bei scheitrechten Bögen läßt man die Fugenrichtungen ebenfalls in einen Punkt zusammenlaufen, und je nachdem man dem Boden, wie in Fig. 2, Taf. 31, einen gewölbten, oder nach Fig. 1 einen ebenfalls scheitrechten Rücken gibt, kann man ihn als einen kreisförmigen Bogen ansehen, der entweder durch eine, seinen innern Scheitel berührende, oder auch noch durch eine zweite dieser parallelen Ebene, geschnitten wird. Hiernach ist es ziemlich gleichgültig, in welcher Entfernung man den Richtungspunkt für die Fugen annimmt; doch scheint es am angemessensten zu sein, diese Entfernung etwa gleich der doppelten Spannweite anzunehmen. Nimmt man diese Entfernung noch größer, so werden die Steine zunächst am Schlusse des Bogens zu wenig keilförmig und der Bogen zu schwach. Nimmt man sie aber viel kleiner, so werden einmal die Steine zu keilförmig, und zweitens die Fugen zunächst am Widerlager zu flach, so daß dadurch die Widerlagsmauern selbst zu sehr geschwächt werden. Dies wird besonders dann von Nachtheil, wenn mehrere mit scheitrechten Bögen überwölbte Oeffnungen über einander stehen, und die Pfeiler zwischen zwei neben einander liegenden Oeffnungen nur schwach sind, weil dann das keilförmig zugeschärfte Mauerwerk der unteren Pfeiler auch keilförmig auf das obere Mauerwerk wirkt.

Da man selten, und wohl nur bei sehr bedeutenden Gewölbebauten, besondere, keilförmig gestaltete Backsteine zu verwenden haben wird, so versucht man auf verschiedene Weise diesem Mangel abzuhelfen. Entweder behaut man die Backsteine gar nicht, und setzt sie unterhalb, wie dies Fig. 13, Taf. 30, bei A zeigt, hart an einander, wodurch dann oberhalb breite Fugen entstehen, die durch eingetriebene Steinsplitter ausgefüllt werden müssen; oder man behaut alle Steine etwas, und sucht so ziemlich gleich starke Gewölbfugen zu erhalten. Dies letztere Verfahren, was in derselben Figur bei B dargestellt ist, und welches dem ersten vorgezogen zu werden pflegt, setzt immer ein sehr gutes Material und sehr geübte Maurer voraus, und ist dabei doch sehr zeitraubend. Außerdem geht die feste Rinde der Backsteine durch das Behauen verloren, weßhalb es für die Ausführung am besten sein dürfte, der Methode zu folgen, nach der man abwechselnd den einen Stein behaut, und den zweiten läßt, wie er ist. Dies Verfahren läßt sich auch vollkommen rechtfertigen: denn die Haltbarkeit und Festigkeit eines Bogens oder Gewölbes aus Backsteinen hängt nicht sowohl von einer durchaus richtigen Gestalt der einzelnen Gewölbsteine, als vielmehr von dem innigen Verbande aller Steine zu einem Ganzen, mithin von der Güte der Steine und des Mörtels ab.

Jeder Bogen soll in seinem Scheitel einen Stein, den Schlußstein, und nicht eine Fuge enthalten; deßhalb muß die Anzahl der (gleichgroßen) Gewölbsteine, bei symmetrischer Gestalt beider Gewölbschenkel, eine ungerade sein. Viel zu zeitraubend und pedantisch würde es nun aber sein, wollte man die ganze Leibung eines mit Backsteinen zu wölbenden Bogens, der eben gemachten Bemerkung zufolge, eintheilen. Man begnügt sich daher, wie schon angeführt, damit, von beiden Widerlagern an symmetrisch gegen den Schluß hin zu arbeiten, und nur wenn die Oeffnung des Bogens etwa noch 1½ bis 2 Fuß beträgt, wird ein ordentlicher Maurer diesen noch fehlenden Theil der Leibung so eintheilen, daß über den, vorher am Lehrbogen bezeichneten Scheitelpunkt die Mitte des Schlußsteins zu liegen kommt.

Um den Stirnen eines Bogens die gehörige Lage zu geben, werden, wie bei gewöhnlichem Mauerwerke, Fluchtschnüre ausgespannt.

Ueber scheitrechten Bögen von einiger Spannweite, die bestimmt sind, außer ihrer eigenen Last auch noch das Gewicht eines größeren Mauerkörpers zu tragen, muß man sogenannte Entlastungsbögen spannen, wie dies Figur 3, Taf. 31, zeigt. Wenn man diesen letzteren, wie es sehr häufig der Fall sein wird, nur wenig Pfeilhöhe geben kann, so ist es schwer, den nöthigen Lehrbogen nach dem Schluß des Bogens heraus zu nehmen, was doch geschehen muß, da der Raum zwischen beiden Bögen mit Mauerwerk ausgefüllt wird. Man begnügt sich daher in diesen Fällen häufig damit, aus angefeuchtetem Sande eine Wölbscheide zu bilden, die, ist der Entlastungsbogen geschlossen, leicht entfernt werden kann.

Zuweilen benutzt man die Entlastungsbögen zugleich als ein Mittel, um weitgespannte, scheitrechte Bögen in der Mitte zu stützen. Es wird zu diesem Zwecke eine eiserne Tragstange, am besten mittelst einer Schraubenmutter, auf dem oberen Bogen befestigt, die bis zur Leibung des scheitrechten Bogens hinabreicht und mittelst eines Splintes den

Schluß des letzteren Bogens trägt. Fig. 3, Taf. 31, zeigt diese Construction, bei der aber, statt des untern Splintes, eine Eisenschiene von einigen Zollen Breite angebracht ist, die durch einen angestauchten, breiten Kopf der Hängestange getragen wird, und wo oberhalb auf dem Entlastungsbogen, unter der Schraubenmutter, eine nach der Form des Bogens gebildete Schiene liegt, um den Druck auf mehrere Schichten zu vertheilen.

Diese Construction, die in der Ausführung nicht ungewöhnlich, und im Crelle'schen Journal für Baukunst, Bd. VI., Hft. 3, von Herrn Voit als etwas Neues mitgetheilt ist, dürfte demungeachtet nicht leicht zu vertheidigen sein, wenn man sie etwas näher beleuchtet.

Läßt man die untere Eisenschiene, wie dies Hr. Voit gethan, unter der Leibung des scheitrechten Bogens ganz hindurch gehen, so wird der scheitrechte Bogen selbst unnütz, denn die an beiden Enden aufliegende und in der Mitte noch unterstützte Eisenschiene wird das wenige, zwischen ihr und dem Entlastungsbogen befindliche Mauerwerk ganz sicher tragen. Macht man aber die untere Schiene, wie es gewöhnlich geschieht, nur etwa 2 Fuß lang, so muß, sobald die Eisenconstruction wirksam wird, der scheitrechte Bogen in seinem Zusammenhange gestört werden. Senkt sich nämlich der scheitrechte Bogen, woran das Stück abcd, Fig. 3, Taf. 31, durch die Eisenconstruction gehindert wird, so sind die Umstände ganz dieselben, die eintreten, wenn wir uns den Bogen selbst ruhend, den Theil abcd aber in die Höhe gezogen denken. Dann wird aber die Verbindung in den Fugen ad und bc aufgehoben und die Stücke aefd und bghc werden durch Nichts am Sinken gehindert; und wenn dies auch nicht merklich eintritt, so werden doch Risse in ad und bc unvermeidlich sein, die man aber gerade durch die gewählte Construction vermeiden will. Es dürfte daher zweckmäßiger sein, den mittlern Theil des scheitrechten Bogens nach Fig. 4 oder 6, Taf. 31, wie ein doppeltes Widerlager zu gestalten, und so den einen scheitrechten Bogen in zwei kleinere zu verwandeln. Am besten wird es hiebei allerdings sein, den Theil abcd aus einem festen, natürlichen Steine bestehen zu lassen, wie in Figur 4; doch kann man auch durch wagerechtes Mauerwerk denselben herstellen, wie in Fig. 6, denn auf etwas mehr oder weniger Künstelei wird es, bei der ganzen, der Natur des Materials (Backstein) durchaus nicht angemessenen Construction, ohnedies nicht ankommen.

Zu allen Mauerbögen müssen die besten der vorhandenen Backsteine ausgesucht werden, und um eine möglichst feste Verbindung derselben durch den Mörtel zu befördern, reicht ein Annässen der Steine mittelst des Pinsels nicht aus, sondern man muß die Steine vorher in einem Gefäße ganz mit Wasser bedecken, und einige Zeit so stehen lassen. Außerdem bleibt es Regel, die Bögen mit möglichst engen Fugen zu wölben; doch kann sich dies nur auf die Lagerfugen beziehen, da die Stärke der Stoßfugen auch hier von den Dimensionen der Steine abhängig ist.

Bei Bögen aus Backsteinen, die mit Kalkmörtel gemauert sind, wird, der nothwendigen vielen Fugen wegen, die beim Erhärten des Mörtels stattfindende Verminderung des Volumens des letzteren immer sehr nachtheilig, weßhalb der Vorschlag*), alle dergleichen Bögen mit frisch, aber nicht zu stark gebranntem Gips zu mauern, wohl zu beachten sein dürfte. Hierbei soll man dann den Bogen trocken, mit gehörig offenen Fugen auf die Schalung stellen, und erst nach dem Schluß die Fugen mit dem dünnflüssigen Gipse ausgießen. Zugleich werden in dem in der Note angeführten Aufsatze Vorschläge zu besonders geformten Steinen statt der immer nothwendigen 3/4 Steine gemacht, die ebenfalls, sowie der ganze, sehr lesenswerthe Aufsatz, alle Aufmerksamkeit verdienen.

§. 9.

Mauerbögen aus natürlichen Steinen (Werksteinen).

Wir können hier nur von bearbeiteten, besonders zugehauenen Steinen sprechen, denn wenn auch zuweilen von rauhen, unbearbeiteten Bruchsteinen Bögen gewölbt werden, so hängt die Möglichkeit einer solchen Construction doch fast nur von der Gestalt der vorhandenen Steine ab, und es lassen sich keine besondern Regeln dafür aufstellen, sondern nur die bei den aus Backsteinen gewölbten Bögen gegebenen in Erinnerung bringen.

Hauptsächlich wird man darauf zu sehen haben, daß die Lagerfugen in einer Ebene durch den ganzen Bogen hindurchgehen, mithin in einer Schicht nur Steine von gleicher Dicke liegen. Die innige Verbindung der Steine durch den Mörtel zu einem Ganzen wird die Festigkeit des Bogens namentlich bedingen; weßhalb auf diesen Gegenstand die größte Aufmerksamkeit zu verwenden sein wird.

Bei Bögen aus größeren, keilförmig bearbeiteten Steinen tritt für die Construction sogleich ein wesentlicher Unterschied gegen die aus Backsteinen gewölbten hervor. Bei letzteren kommt sehr viel auf eine tüchtige Verbindung der einzelnen Steine durch den Mörtel an, während bei ersteren hierauf kein besonderer Werth gelegt werden kann, sondern die Festigkeit des Bogens weit mehr von der richtigen Gestalt und Lage der einzelnen Steine abhängig ist. Man hat daher auch von jeher einen großen Werth auf die Ausmittelung der richtigen Gestalt der Gewölbsteine gelegt, und die hierher gehörigen Lehren in eine eigene Disciplin der Baukunst gebracht, die man unter dem Namen der Lehre vom Steinschnitt zusammengefaßt hat, deren Kenntniß wir voraussetzen müssen.

*) Crelle's Journal für die Baukunst, Bd. II., pag. 294.

Da die Kreislinie von allen Kurven die einzige ist, die in allen Theilen gleiche Krümmung hat, und alle Normalen auf dieselbe in dem zugehörigen Mittelpunkte zusammenlaufen, so eignet sich diese Kurve auch ganz besonders für die Bogenlinie von Bögen oder Gewölben, die aus Werksteinen hergestellt werden sollen, weil die für einen Stein gefundene Chablone zu allen übrigen benutzt werden kann. Diese Bequemlichkeit, die zugleich die Genauigkeit der Arbeit befördert, gibt der Kreislinie den Vorzug vor allen übrigen Kurven, wenn auch die Theorie andern eine größere Festigkeit beilegt. Bögen nach der Kettenlinie verlangen der Theorie nach schwächere Widerlager als kreisförmige Bögen von derselben Spannweite; doch wird die hierdurch zu bewirkende Ersparniß an Material mehr als aufgewogen werden durch die größeren Kosten, welche die schwierige Bearbeitung der Gewölbsteine verursacht, abgesehen davon, daß durch die so leicht zu gefährdende Genauigkeit die Festigkeit des Bogens nothwendig beeinträchtigt werden muß.

Aus diesem Grunde wendet man auch bei gedrückten Bögen die Ellipse nicht an, sondern begnügt sich mit einer dieser möglichst nahegebrachten Korblinie, wenn man nicht, wie es in neuerer Zeit immer häufiger geschieht, flache Kreisbögen vorzieht.

Mauerbögen aus Werksteinen werden selten tiefer als eine Steinlänge gemacht, weil man sie sonst schon zu den Gewölben rechnet; ebenso beträgt auch die Stärke des Mauerbogens nicht mehr als das angegebene Maß, so daß in einem solchen Bogen gar keine Stoßfugen vorkommen, und die Schichten oder Lagen immer nur aus einem Steine bestehen.

An einem solchen Gewölbsteine (eines Halbkreisbogens, Fig. 232 A, unterscheidet man das vordere Haupt abcd und das hintere Haupt efgh, ferner die Leibungsfläche abeh, die Rücken- oder obere Bogenfläche dcfg und die beiden Fugenflächen efca und bdgh.

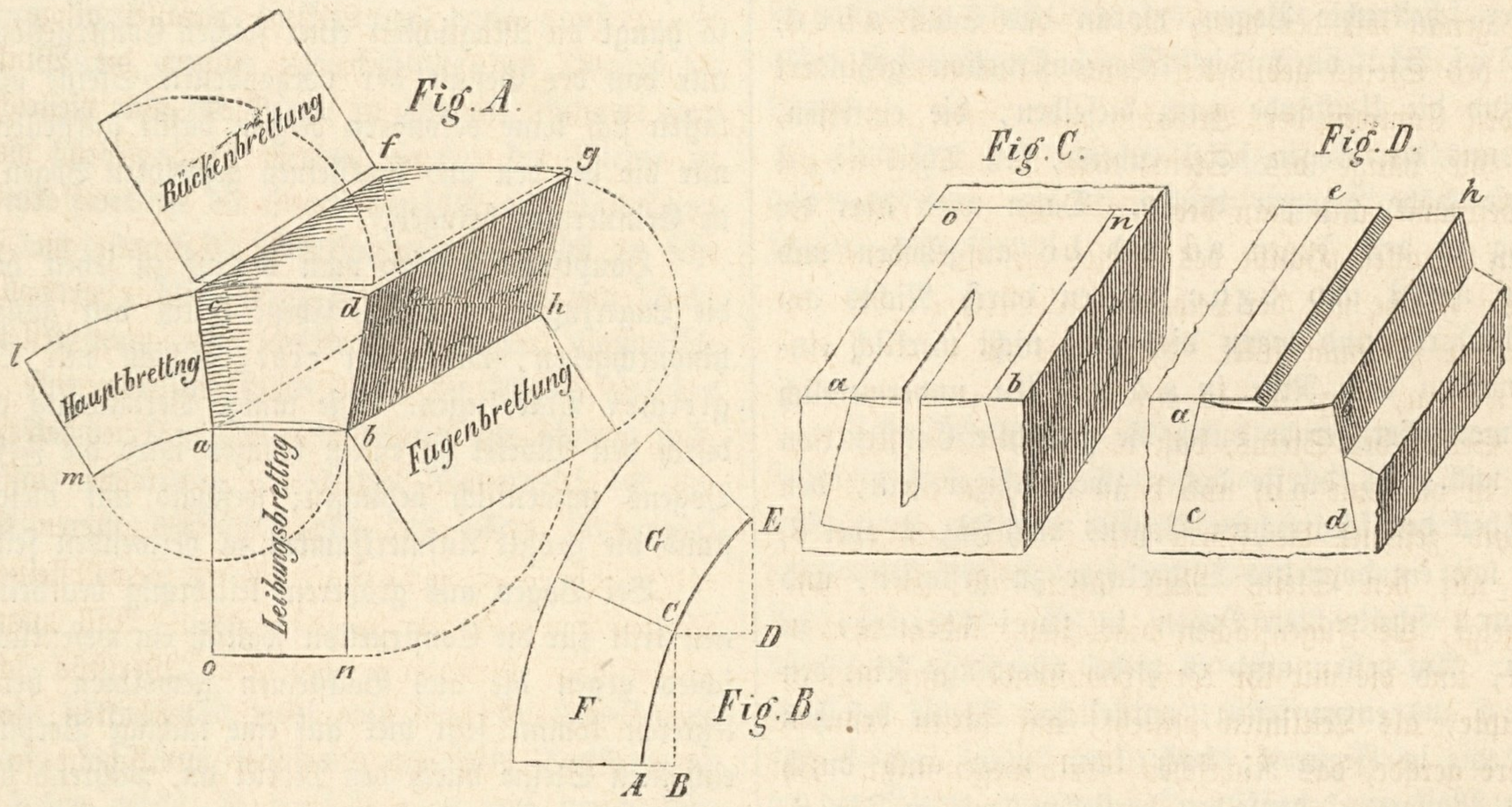
Werden in Fig. 232 B aus den tiefstgelegenen Punkten A und C der Gewölbsteine F und G, die wagerechten Linien AB und CD gezogen, und darauf von den Punkten C und E die Perpendikel CB und ED gefällt, so nennt man AB und CD die Ausladungen der Steine F und G.

§. 10.

Bearbeitung der Bogensteine.

Um einen Bogenstein richtig bearbeiten zu können, müssen die nöthigen Projectionen desselben in natürlichem Maßstabe gezeichnet werden. Wie dies für die mancherlei Fälle, die bei der Gestalt der Bogen vorkommen können, geschieht, zeigt die Lehre vom Steinschnitt, auf welche wir verweisen.

Fig. 232. A—D



Die Bearbeitung selbst geschieht dann am bequemsten mit Hülfe der sogenannten Brettungen. Es sind dies nichts anderes, als die Projectionen der zu bearbeitenden Seiten des Steins auf Ebenen von gegebener Lage, die oft mit diesen Seiten selbst parallel sind. So ist z. B. abon, Fig. 232 A, die Brettung für die Leibung des Steins eine Ebene, während die Leibung selbst der Theil eines Cylindermantels ist. Die Brettungen nehmen die Namen der Seiten an, zu deren Bearbeitung sie gebraucht werden, und bestehen aus Pappdeckel, dünnen Brettern oder

Blech. In Fig. 232 A sind die verschiedenen Brettungen angegeben und mit ihren Namen bezeichnet.

Aus der symmetrischen Gestalt des dargestellten Steins folgt leicht, daß zur Bearbeitung desselben nicht alle die verschiedenen Brettungen nöthig sind, sondern daß man mit der Haupt- und Leibungsbrettung ausreicht, wenn man das Winkeleisen bei der Arbeit zu Hülfe nimmt. Um die Bearbeitung eines solchen Steines an einem Beispiele anzudeuten, wollen wir annehmen, der in Fig. 232 A gezeichnete, zu einem Kreisbogen gehörige Stein a b c d e f g solle dargestellt werden.

Nachdem ein Stein von der nöthigen Größe und Gestalt ausgesucht worden, der im Allgemeinen eine parallelepipedische Gestalt hat, und etwas länger als b h, breiter als c d, und höher als a c ist, so bestimmt man eine der Seitenflächen für die Leibungsfläche, und bearbeitet diese zu einer Ebene. In Fig. 232 C möge die obere Fläche diese darstellen. Darauf wird eine zweite, für eines der Häupter bestimmte Fläche ebenfalls eben bearbeitet, und zwar so, daß sie auf der ersteren senkrecht steht und eine geradlinige Kante mit derselben bildet. Alsdann legt man die Leibungsbrettung a b o n, Fig. A, so auf die für die Leibung bestimmte Seitenfläche des Steins, daß die Linie a b genau mit der durch die beiden bearbeiteten Seitenflächen des Steins gebildeten Kante zusammenfällt, und umzieht den Contour der Brettung mit Rothstein. Hierdurch ist die Länge des Steins mittelst der Linie o n, Fig. 3, bestimmt, und man bearbeitet nun das zweite, mit dem ersten parallele Haupt des Steins so, daß die Kante, welche diese Fläche mit der Leibungsfläche bildet, genau mit der Linie o n zusammenfällt. Jetzt legt man die Hauptbrettung a c l m, Fig. A, so auf die für die Häupter bestimmten Seiten des Steins, daß die Punkte a b der Brettung erst in die Linie a b, und dann die Linie o n, Fig. C, fallen, und zeichnet die Form des Hauptes mittelst der Brettung auf den Stein. Nun lassen sich, wie solches Fig. D zeigt, die Fugenflächen bearbeiten, indem man die Linie b d, und die mit ihr correspondirende, auf dem andern Haupte, als Leitlinien ansieht, auf denen man sich eine andere gerade, das Richtscheit, fortbewegen läßt. Soll auch (wie es übrigens selten geschieht) die obere Bogenfläche des Steins bearbeitet werden, so geben d c, Fig. D, und die mit dieser Linie auf dem entgegengesetzten Haupte correspondirende, die Leitlinien für das Richtscheit. Zuletzt wird die Leibung auf ähnliche, in Fig. 4 angedeutete Art bearbeitet und damit der Stein vollendet.

§. 11.

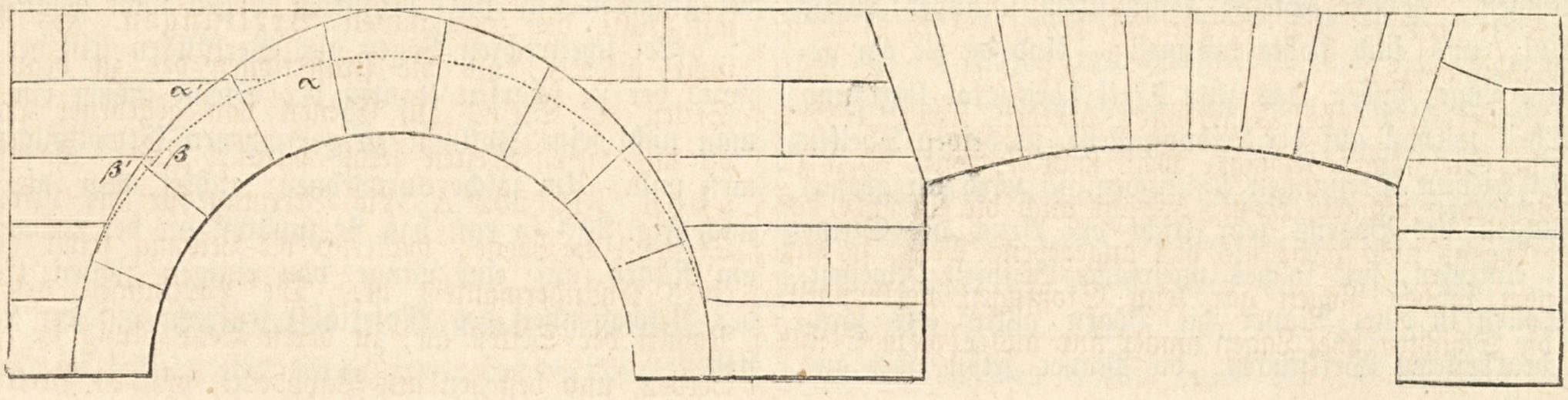
Form der Bogensteine.

Gibt man den Mauerbögen aus Werksteinen eine abgerundete Rückenfläche, so bekommen die in den horizontalen Mauerschichten dem Bogen sich anschließenden Steine, wenigstens in der Nähe des Scheitels, zu scharfe Kanten, weßhalb man verschiedene Methoden angewendet hat, um diesen Uebelstand zu vermeiden.

Bei den älteren florentinischen Palästen, wo die erwähnte Construction ganz gewöhnlich vorkommt, wird der Uebelstand dadurch gemildert, daß die Rückenfläche der (Fenster- und Thür-) Bögen einen Spitzbogen formirt, während die Leibung halbkreisförmig gebildet ist. Jedenfalls werden hierdurch die Kanten an den Steinen der horizontalen Mauerschichten weniger scharf, als wenn die Rückenfläche des Bogens mit seiner Leibung parallel ginge, wie dieses Figur 233 deutlich nachweist, indem die Winkel α, β 2c. kleiner sind, als α', β' 2c. Dies gibt vielleicht eine Erklärung für die sonst so abweichende Form dieser Bögen, da, wie wir später sehen werden, die kreisförmigen Bögen und die elliptischen aus statischen Gründen am Fuße stärker sein sollten als am Scheitel, und nur parabolische Bögen das umgekehrte Verhältniß als Bedingung stellen.

Sind die Bögen sehr flache Kreissegmente, so hat man wohl sämmtliche Gewölbsteine bis zu einer durch den äußeren Scheitel gelegten Horizontallinie reichen lassen, wie in Fig. 234, doch werden hierbei die unteren Steine sehr lang, und es bekommen dadurch die Gewölbsteine Ecken und Kanten von weniger als 90 Graden. Will man den früher aufgestellten Grundsatz, daß kein Werkstück schärfere als rechtwinklige Kanten haben darf, festhalten, so muß man jeden Gewölbstein mit einer Horizontalschicht so zusammen-

Fig. 233 und 234.



stoßen lassen, wie dies die Fig. 235—237 zeigen, wobei keine Winkel kleiner als 90 Grad vorkommen können. Hierbei tritt indessen der Uebelstand ein, daß, wenn man, wie in Fig. 235, die Horizontalschichten alle von gleicher Höhe und

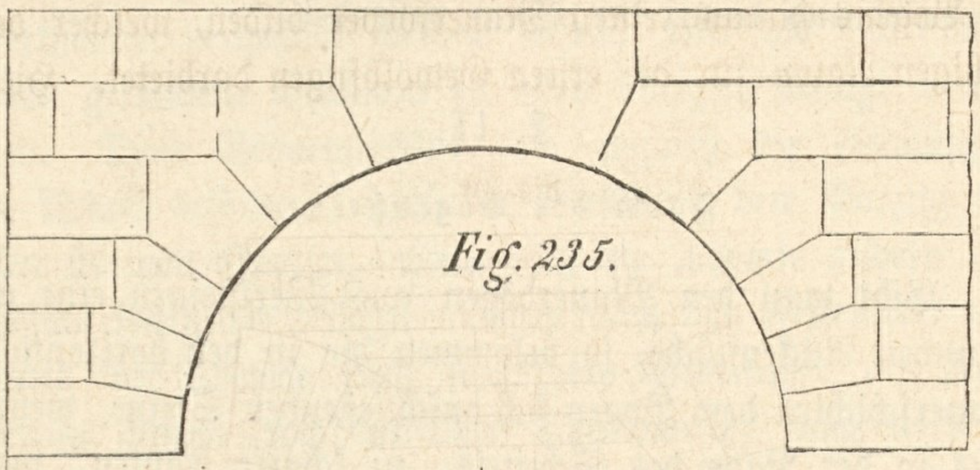


Fig. 235.

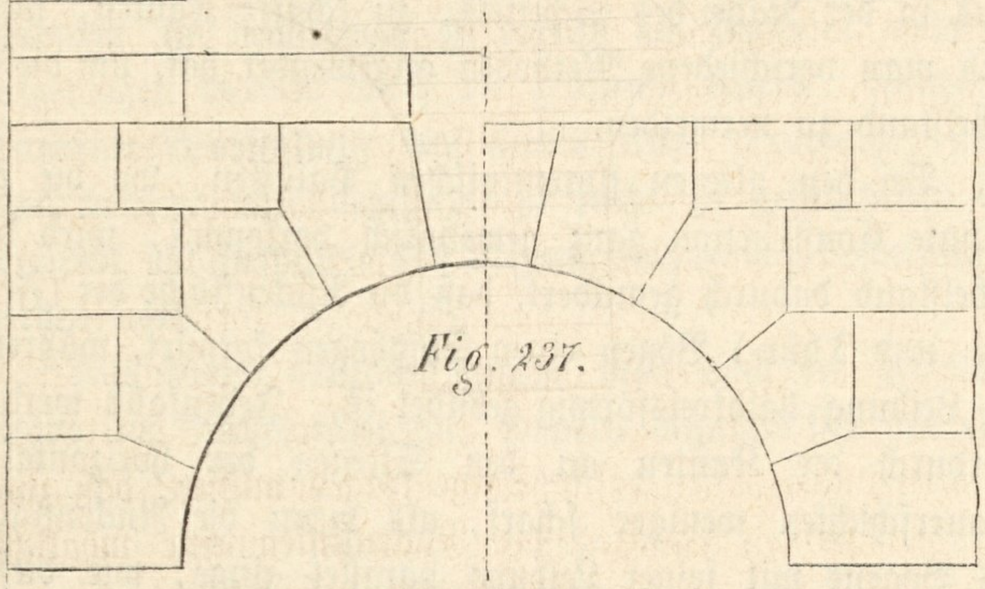


Fig. 237.

auch die Länge der Gewölbfugen gleich machen will, dann die Gewölbsteine nach dem Scheitel hin zu groß werden im Verhältniß zu den Steinen der Gewölbfüße; oder, wenn man, wie in Fig. 236, die Gewölbsteine, in der Leibung gemessen, alle gleich groß und auch in den Gewölbfugen von gleicher Länge macht, die Horizontalschichten gegen den Scheitel hin zu niedrig werden. Man wird daher am leichtesten zum Ziele gelangen, wenn man, wie in Fig. 237 geschehen, die Gewölbsteine in der Leibung gleich groß, in den Gewölbfugenlängen nach dem Scheitel hin etwas zu-, und die Horizontalschichten in der Höhe etwas abnehmen läßt. Häufig macht man hierbei die zunächst dem Schlußstein befindlichen Steine mit diesem von gleicher Höhe, obgleich dann letzterer oben zwei scharfe Kanten behält. Durchaus verwerflich, und gegen eine vernünftige Construction streitend, ist die Anordnung in Fig. 238 mit den sogenannten Hakensteinen, um lauter gleichhohe Horizontalschichten zu erlangen. Solche Steine konsumiren unnützer Weise Material, und sind daher kostspielig. Und da sie ein gebrochenes Lager haben, das zum Theil horizontal liegt und zum Theil normal auf der Leibung steht, in beiden Theilen aber verschiedene Pressungen stattfinden, so wird bei großen Belastungen des Bogens sehr leicht ein Bruch der Steine bei aa eintreten, wie solches mehrfache Beispiele beweisen.

Sollen in einer Mauer die Bögen allein aus sorgfältig bearbeiteten Werkstücken, die Mauer selbst aber aus ordinären Bruchsteinen ausgeführt, und dann geputzt (verblendet) werden, so wird nur der sichtbar bleibende, gewöhnlich ringförmige Theil der Gewölbsteinstirnen sauber bearbeitet, und der übrige so weit, oder auch noch weiter zurückgesetzt, als die Stärke des Putzes beträgt. Dieser Theil ist in Fig. 239 punktirt. Hiebei sollte die Anordnung auf die in der genannten Figur links gezeichnete Weise geschehen, doch wird wegen Materialersparniß sehr häufig die

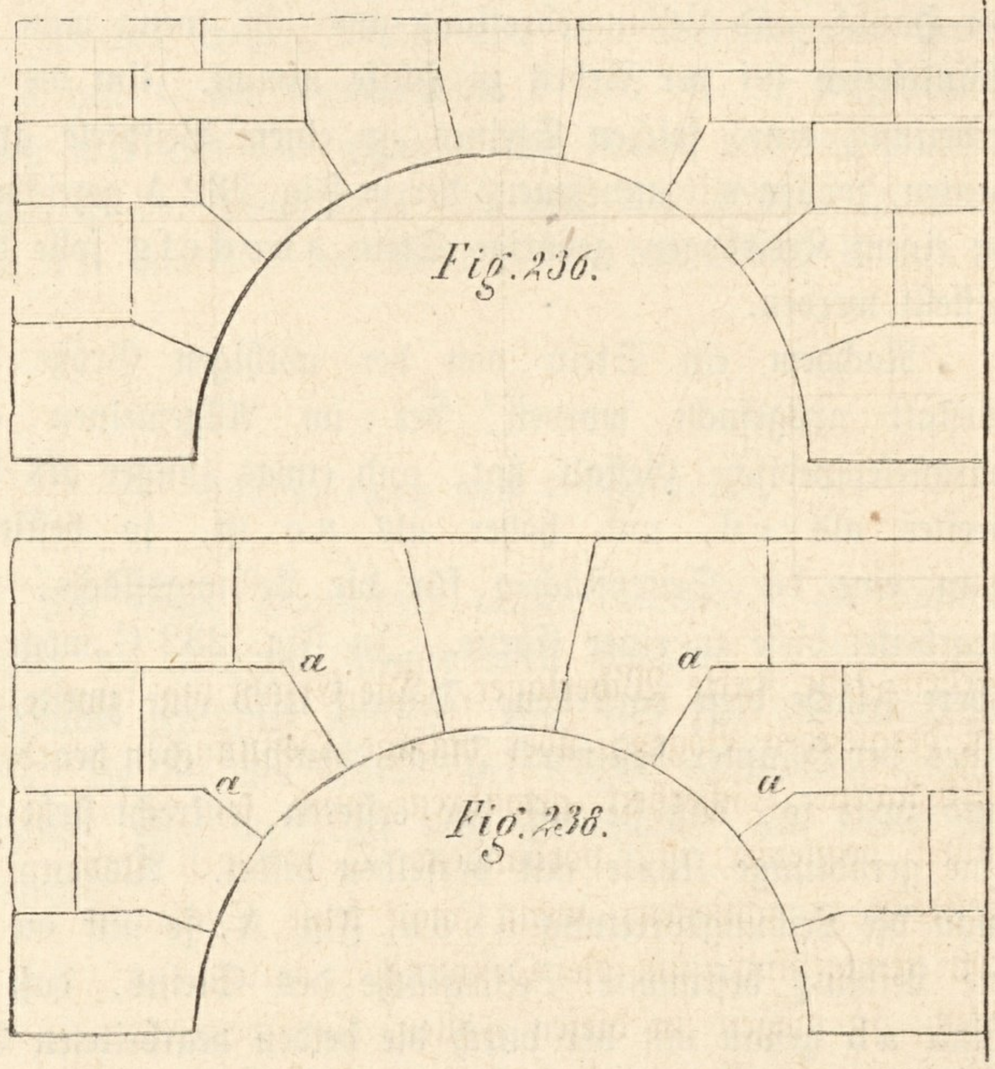
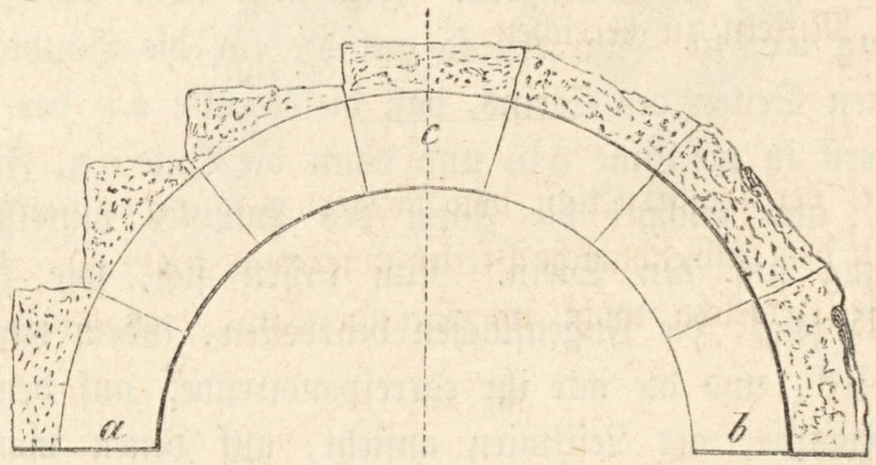


Fig. 236.

Fig. 238.

Fig. 239.

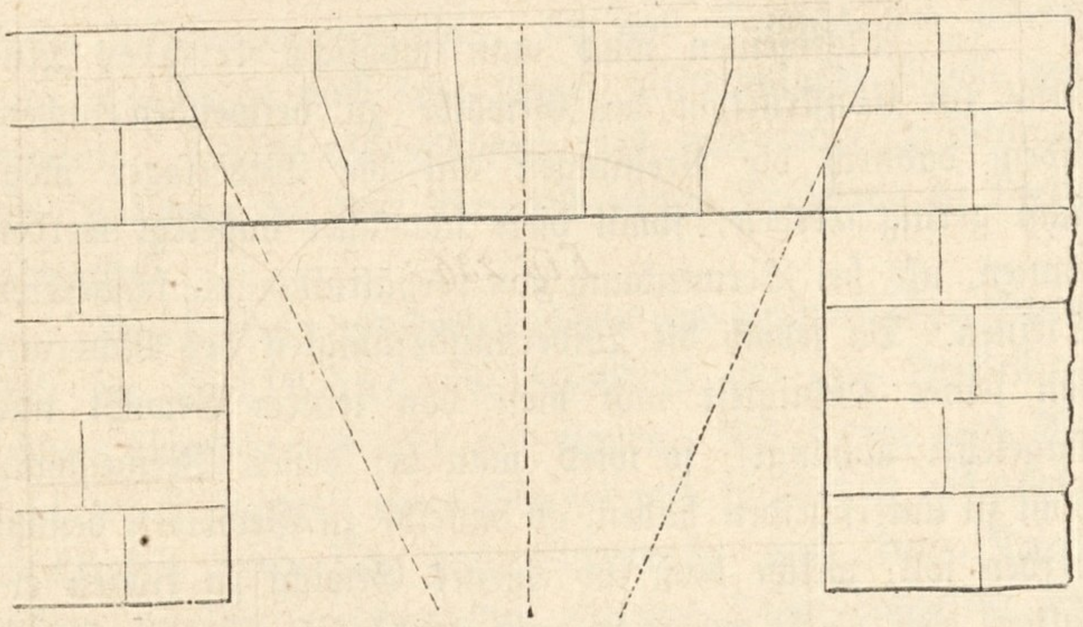


rechts gezeichnete vorgezogen; und wenn dies auch bei kleinen Fenster- und Thürbögen wohl zulässig ist, sollte es doch bei größeren und stark belasteten Bögen nicht geschehen.

Bei scheitrechten Bögen aus Werkstücken tritt der Uebelstand der zu scharfen Kanten der Steine immer ein, wenn man nicht seine Zuflucht zu gebrochenen Gewölbfugen nehmen will. Um solche anzuordnen, richtet man die Fugen nach Fig. 240 so ein, daß sie zunächst an der Leibung und am Rücken auf eine Länge von einigen Zollen (je nach der Beschaffenheit des Materials) senkrecht auf der Leibung stehen.

Der scheitrechte Bogen ist überhaupt eine von den Constructionen, die man nur mit Vorsicht anwenden darf. Seiner Natur nach ist er durchaus nicht geeignet, große Lasten zu tragen, und erfordert immer, wie wir später sehen

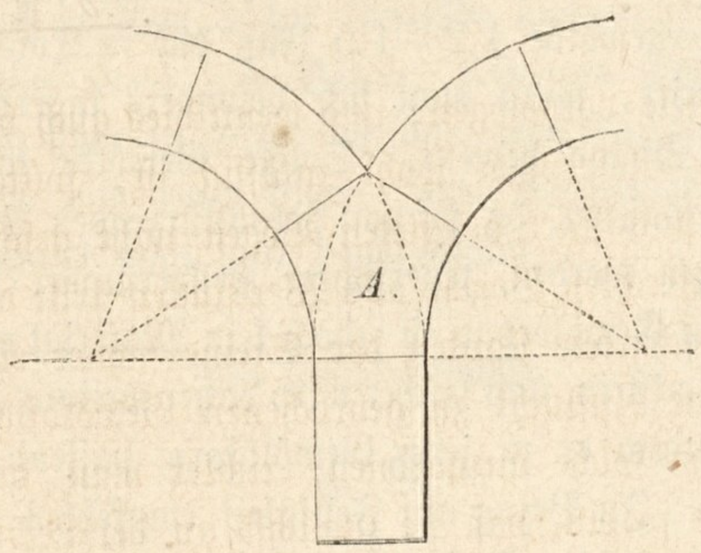
Fig. 240.



werden, sehr starke Widerlager. Die Erfahrung lehrt zwar, daß dergleichen Bögen, über mäßige Oeffnungen gespannt, vollkommene Sicherheit gewähren; und da es in vielen Fällen bequemer ist, vorhandene Oeffnungen auch dann scheitrecht zu schließen, wenn man keine Steine hat, die groß genug sind, um die Oeffnungen balkenartig zu überdecken, so mögen in diesen Fällen die scheitrechten Bögen auch ferner in Anwendung bleiben; doch sollten billig alle Künsteleien bei dergleichen Constructionen vermieden werden. Sind die Oeffnungen weiter als man, den gemachten Erfahrungen zufolge, mit dem vorhandenen Material scheitrecht wölben kann, so wähle man eine andere Bogenform, und folge dem ersten Grundsatze einer gesunden und vernünftigen Bauweise: den jedesmaligen Zweck mit den einfachsten Mitteln zu erreichen.

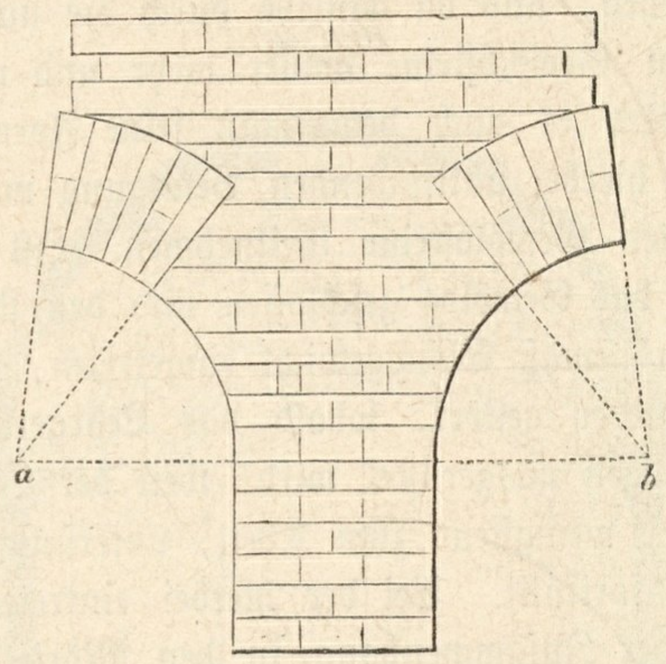
Bei der Construction von Mauerbögen kommt man zuweilen in den Fall, schwache Pfeiler zwischen denselben anordnen zu müssen, welche wohl im Stande sind, dem durch die

Fig. 241.



Bögen ꝛc. auf sie ausgeübten Vertikaldrucke hinreichenden Widerstand zu leisten, aber keinen Raum für die Widerlager der Bögen darbieten, wie z. B. in Fig. 241, wo der Stein A beiden Bogenfüßen gemeinschaftlich ist. Hat man natürliche, hinlänglich große Steine, so wird man solche immer anwenden; im andern Falle aber durch ein Aufmauern mit horizontalen Fugen über die Kämpferebene ab (in Fig. 242) des Bogens hinaus, einen Mauerkörper bilden, welcher den nöthigen Raum für die ersten Gewölbfugen darbietet. Hier-

Fig. 242.



bei wird man immer dafür Sorge tragen müssen, daß zwischen den tiefsten Punkten der Rückenlinien eine möglichst große horizontale Fläche gebildet wird, besonders dann, wenn über dem Pfeiler noch eine bedeutende Mauermasse sich erhebt, wie dies bei mehrstöckigen Gebäuden sehr oft der Fall ist. Vernachlässigt man diesen Umstand, so wirkt der zwischen den Bögen herabreichende Mauerkörper mehr oder weniger keilförmig und bringt nachtheilige Risse und Sprünge in dem oberen Mauerwerke oder in den Bögen hervor. Besonders wichtig wird das eben Gesagte, wenn etwa vier Bögen auf einem gemeinschaftlichen Pfeiler aufsitzen, so daß das Widerlager die Gestalt einer vierseitigen Pyramide annimmt.

§. 12.

Ausführung der Mauerbögen aus Werksteinen.

Zur Ausführung der Mauerbögen aus Werksteinen sind unter allen Umständen Lehrgerüste nöthig; und wir wollen zu dem früher hierüber Bemerkten nur noch erwähnen, daß wegen des oft großen Gewichts der einzelnen Wölbsteine die Lehrgerüste stärker angefertigt werden müssen, als bei Bögen aus Backsteinen, und daß man häufig die Schalung so einrichtet, daß jeder einzelne Stein durch Keile in seine vorgeschriebene Lage gebracht werden kann.

Was das Mörteln der Bögen aus Werkstücken anbetrifft, so kommen dabei dieselben Grundsätze in Anwendung, die wir früher bei den Mauern aus diesem Material kennen gelernt haben. Dort sahen wir, daß auf die Verbindung der einzelnen Steine durch den Mörtel nicht viel zu

geben sei, weil es sehr schwer hält, den Stein gleich so richtig in sein Mörtelbett zu legen, daß eine spätere Verrückung desselben nicht nöthig wird, und daß, wenn dies dennoch geschieht, der Mörtel nach der ersten keine zweite innige Verbindung mit dem Steine eingeht. Dieser Umstand tritt bei den Bögen und Gewölben noch weit nachtheiliger hervor, weil eine öftere Bewegung der bereits versetzten Gewölbsteine gar nicht zu vermeiden ist. Wir können nämlich das Bogengerüst niemals als durchaus unbeweglich ansehen, und da dasselbe durch die nach und nach aufgebrachten Gewölbsteine immer mehr und mehr belastet wird, so wird es auch demgemäß seine Form verändern und an der hierbei stattfindenden Bewegung müssen die bereits versetzten Gewölbsteine theilnehmen. Ist endlich der Bogen oder das Gewölbe geschlossen und den stattfindenden Bedingungen gemäß Gleichgewicht eingetreten, so wird solches doch wieder gestört, sobald das Lehrgerüst entfernt, d. h. der Bogen ausgerüstet wird, weil der Lehrbogen die Gewölbsteine, wenigstens zum Theil, unterstützte und diese Stütze nun fortfällt. Bei der hierbei eintretenden Bewegung wird der Zusammenhang in den Mörtelfugen nothwendig aufgehoben, indem sich die Gewölbfugen zum Theil öffnen oder an andern Stellen fester schließen. Ist die Ausrüstung so frühzeitig geschehen, daß der Mörtel in den Fugen noch hinreichend weich war, so wird er den verschiedenen Pressungen nachgeben, und es ist dann ein Oeffnen der Fugen nicht so sehr zu fürchten; doch aber wird der innige Zusammenhang gestört sein, so daß das Gewölbe oder der Bogen keineswegs als eine einzige, fest zusammenhängende Masse angesehen werden darf. Man kann nun zwar die geöffneten Fugen, wenn solche bei schon zu sehr erhärtetem Mörtel entstanden, wiederum mit dünnflüssigem Mörtel füllen und so die Verbindung herstellen; doch wenn man dann, wie es fast immer der Fall sein wird, den Bogen oder das Gewölbe noch übermauert, so ändern sich die Bedingungen des Gleichgewichts abermals, eine abermalige Bewegung der Gewölbsteine ist unvermeidlich, und wenn sich hierbei wieder Fugen öffnen, so können sie nicht mehr mit Mörtel gefüllt werden, weil die Uebermauerung dies hindert.

Aus allem diesem folgt, daß man auf den innigen Zusammenhang der einzelnen Gewölbsteine durch den Mörtel, wenn sie aus großen Werkstücken bestehen, nicht mit Sicherheit rechnen darf, und man daher auf die richtige Gestalt der Steine und eine richtige Lage derselben, als wodurch sie sich allein im Gleichgewicht halten können, die größte Aufmerksamkeit verwenden muß.

Die eigentlichen Gewölbe.

§. 13.

Material.

Im Allgemeinen wird man möglichst leichtes Material zur Construction der Gewölbe zu verwenden suchen, indem dadurch die Pressungen auf die Widerlager möglichst gering werden, somit diese schwächer angelegt werden können, als bei Verwendung von verhältnißmäßig schwereren Steinen. Da jedoch die Widerstandsfähigkeit des Materials von seiner Dichtigkeit und diese von seinem Gewicht und umgekehrt abhängt, so wird man bei dessen Verwendung wohl zu unterscheiden haben, ob dasselbe zu Gewölben benützt werden soll, welche bloß ihr eigenes Gewicht zu tragen erhalten, oder ob sie außerdem noch stark belastet werden sollen. Zur Herstellung stark belasteter Gewölbe, als Brückengewölbe, eignen sich besonders lagerhafte Bruchsteine oder besser Werksteine oder in deren Ermangelung sorgfältig geformte und hart gebrannte Backsteine. Da man es im Hochbauwesen selten mit sehr stark belasteten Gewölben zu thun hat, und die am weitesten gespannten Kirchengewölbe nur ihr eigenes Gewicht zu tragen haben, so werden allgemein Backsteine, und zwar je nach der Spannweite möglichst leichte, volle und hohle, verwendet. Ferner werden Töpfe aus gebranntem Thon, Tuffsteine, poröse leichte Lava und Mörtelsteine nicht ausgeschlossen.

Was die Werksteine betrifft, so eignen sich solche besonders für Brückengewölbe, welche ganz oder theilweise aus jenen hergestellt werden. Dagegen kommen sie beim Hochbau nur bei gewissen Gattungen von Gewölben, Kreuzgewölben, Sterngewölben u. s. f. vor, bei welchen die Werksteine nur zu den das Netz des Gewölbes bildenden Theilen oder zu den Gurten Verwendung finden, und nur an Orten, wo die Steine in bruchfeuchtem Zustande sehr weich und leicht zu bearbeiten sind, finden wir vollständige, aus Werksteinen gebildete Gewölbe.

Aus Bruchsteinen werden in Karlsruhe fast ausschließlich die Kellergewölbe 1,2—1,5 Fuß dick in Tonnengewölbform construirt, wozu man sich besonders lagerhafter oder geschichteter Steine bedient. Solche Gewölbe werden sehr stark und gewähren, da sie von herabstürzenden Balken nicht durchgeschlagen werden, feuersichere Kellerräume.

Für den Gewölbebau ist jedoch kein Material mehr geeignet als der Backstein, und solcher wird daher weitaus am meisten verwendet, indem er zu jeder Gewölbform passend hergestellt werden kann. In Bezug auf Festigkeit empfehlen sich insbesondere die gepreßten Steine, welche den mehr porösen und lockeren, von Hand gestrichenen vorzuziehen sind. Dient der Backstein blos als Füllmaterial zum Auswölben der Felder

oder Kappen des Kreuzgewölbes, Sterngewölbes u. s. f. von nicht außergewöhnlicher Spannweite, so kann derselbe dadurch leichter gemacht werden, daß man organische Stoffe als: Holzkohlenklein, Sägspäne, namentlich von Eichenholz, Spreu und dergl. unter den Thon mengt, durch deren Ausbrennen kleine Höhlungen entstehen, die das Gewicht des Steins um $^1/_4 - ^1/_2$ je nach dem Zusatz verbrennlicher Stoffe vermindern. Leichte Gewölbsteine aus gebrannter Infusorienerde hat man bei dem Bau des neuen Museums in Berlin verwendet.

Zuverlässiger als diese lockeren und zerbrechlichen Steine sind die Hohlsteine, die besonders für die Herstellung leichter Gewölbe sich sehr gut eignen. Die Größe und Anzahl der Höhlungen eines Steines und die davon abhängige Leichtigkeit wird sich begreiflicherweise nach dem Drucke richten müssen, welchem der einzelne Stein ausgesetzt sein wird.

Gebrannte Steine mit einer Höhlung — Töpfe — haben schon die Römer zum Gewölbebau verwendet, wie wir auf Seite 13 bemerkt haben, wo auch Abbildungen einiger älterer Töpfe zu finden sind. Da man diesen Formen für Gewölbsteine keinen besonderen Zweck abzugewinnen vermag, so werden die in neuerer Zeit verwendeten Töpfe einfacher gebildet, wie dieß bei dem Bau der halle à l'eau de vie in Paris, wo man zuerst den Topfgewölbebau wieder eingeführt hat, der Fall ist. Die Töpfe bilden daselbst gerade Cylinder von 8 Zoll Länge und 4 Zoll äußeren Durchmesser, sind an beiden Seiten geschlossen und haben eine Wandstärke von $^1/_4$ Zoll. In der Seitenwand befindet sich ein kleines Loch, um der Luft beim Brennen der Töpfe einen Ausweg zu verschaffen. Die erwähnten Gewölbe bilden flache Kreisbögen von etwa 60° Mittelpunktswinkel, sind 8 Zoll (nach der Topflänge) stark, und die Widerlagsmauern 1,5 Fuß dick. Die Zwischenräume, welche bei den auf einem Lehrgerüst aneinander gereihten Töpfen entstehen, werden mit Gyps ausgegossen, und da derselbe rasch erhärtet, so können des folgenden Tages die Lehrbögen schon entfernt werden.

Endlich wurden leichte Gewölbe ausgeführt aus Tuffstein, poröser Lava und Béton, bestehend aus genannten vulkanischen aber in Stücke zerschlagenen Steinen und Mörtel. Solche aus einer Stein- und Mörtelmasse bestehende Gewölbe nennt man auch Gußgewölbe.

Das Tonnengewölbe.

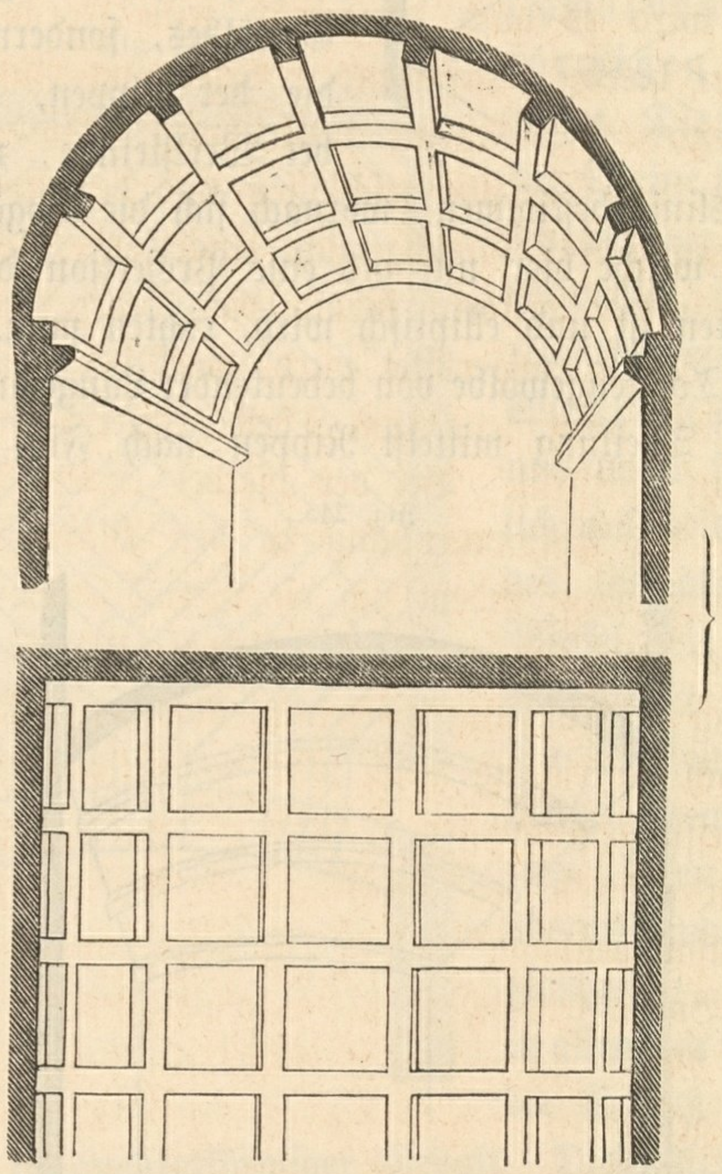
§. 14.

Anordnung.

Daß das Tonnengewölbe nach beliebiger Bogenlinie gestaltet sein kann, wissen wir bereits. Ferner kann dasselbe als eine glatte gekrümmte Fläche erscheinen oder als eine getheilte regelmäßig unterbrochene, je nachdem constructive oder ästhetische Gründe, oder beide zusammen, ihren Einfluß ausüben.

Schon die Römer suchten eine gleichmäßige Unterbrechung ihrem halbkreisförmigen Tonnengewölbe durch Anbringung vertiefter Felder „Cassetten" zu geben, wie dieß Figur 243 im Grundriß und der inneren Ansicht zeigt.

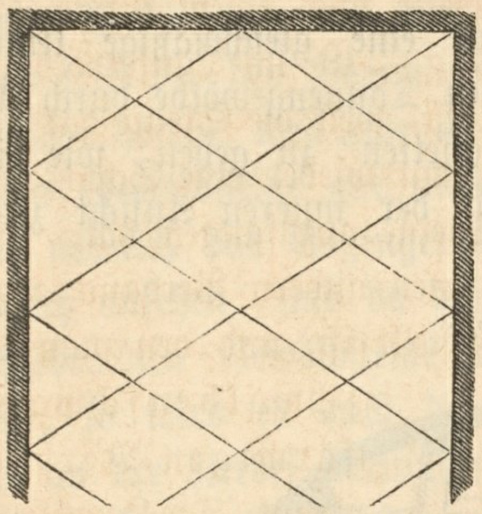
Fig. 243.



Diese Anordnung, aus einem dekorativen Grunde hervorgegangen, erleichterte zugleich das Gewölbe und verminderte den Druck auf die Widerlager. Obschon beim römischen Gewölbe diese Cassetten nur als Eindrücke in die dicke Gewölbmasse erscheinen, so liegt doch darin unleugbar der Keim einer rationellen Construction des Tonnengewölbes, wenn nämlich die zwischen den Cassetten befindlichen Stege, welche allein nur der Tonnengewölbefläche angehören, als Rippen oder Gurten ausgebildet werden, wobei man die nach der Bogenlinie ziehenden als Tragrippen und die nach der Achse gehenden als Verspannungsrippen betrachten kann. Beide zusammen schließen Felder ein, welche für sich leicht ausgewölbt oder mit Platten abgedeckt werden können. Bei dieser Anordnung tragen nur die bogenförmigen Rippen, während die geradlinigen nur belasten; um daher sämmtliche Rippen tragend zu machen, darf man ihnen nur eine solche Richtung geben, daß die Ebenen, in welchen sie liegen, mit der Gewölbachse einen beliebigen Winkel bilden, wie dieß aus Fig. 244 im Grundriß ersichtlich ist. Dadurch

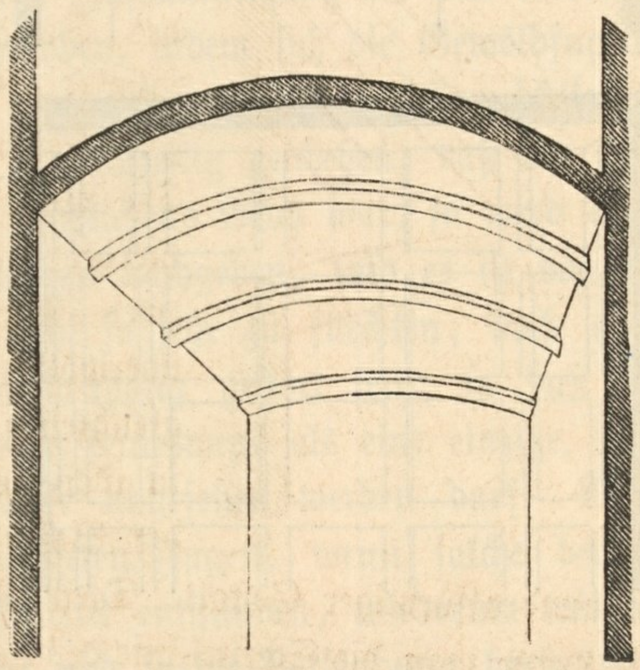
sitzen sämmtliche, ein Netz bildende Rippen auf dem Widerlager, wenn auch unter schiefen Winkeln. In dieser Netzbildung der Rippen, welche den tragenden Theil des Gewölbes ausmachen und allein nur in der Tonnengewölbfläche liegen, liegt der Unterschied des gothischen Tonnengewölbes gegenüber dem römischen. Dabei wird man nicht zuerst die Bogenlinie des Gewölbes, sondern vielmehr die der Rippen, namentlich bei Werksteinen, zuerst nach einer Kreislinie bestimmen, wornach sich die Bogenlinie des Gewölbes, welche hier nur als eine Projection der Rippen zu betrachten ist und elliptisch wird, richten muß.

Fig. 244.



Für Tonnengewölbe von bedeutender Längenausdehnung wird eine Theilung mittelst Rippen nach Fig. 245 ganz

Fig. 245.



geeignet sein, wodurch eine Steindecke entsteht, welche mit der Holzdecke mit sichtbarem Gebälke Aehnlichkeit hat. Durch diese Rippenanordnung, ob dieselben nach unten oder nach

Fig. 246.

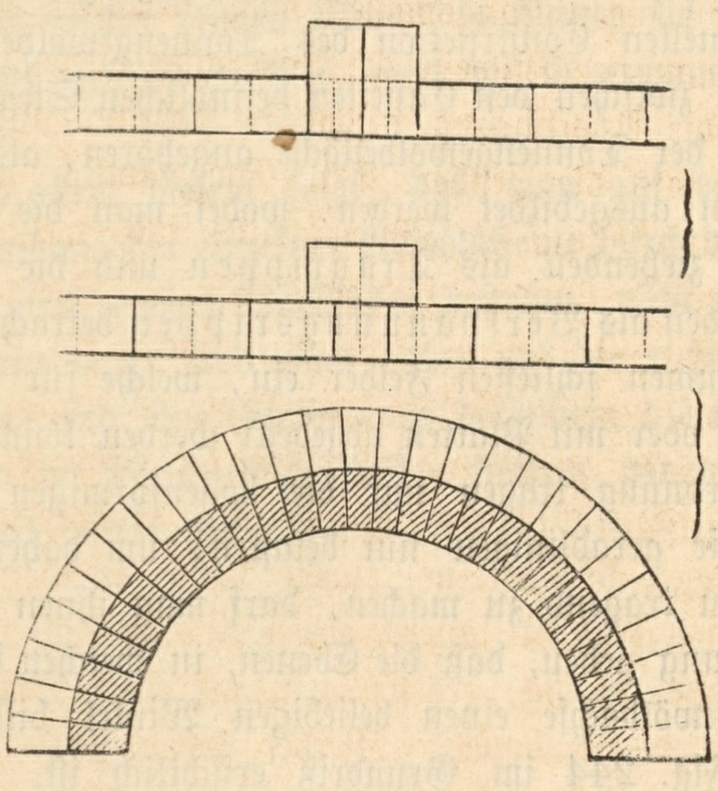
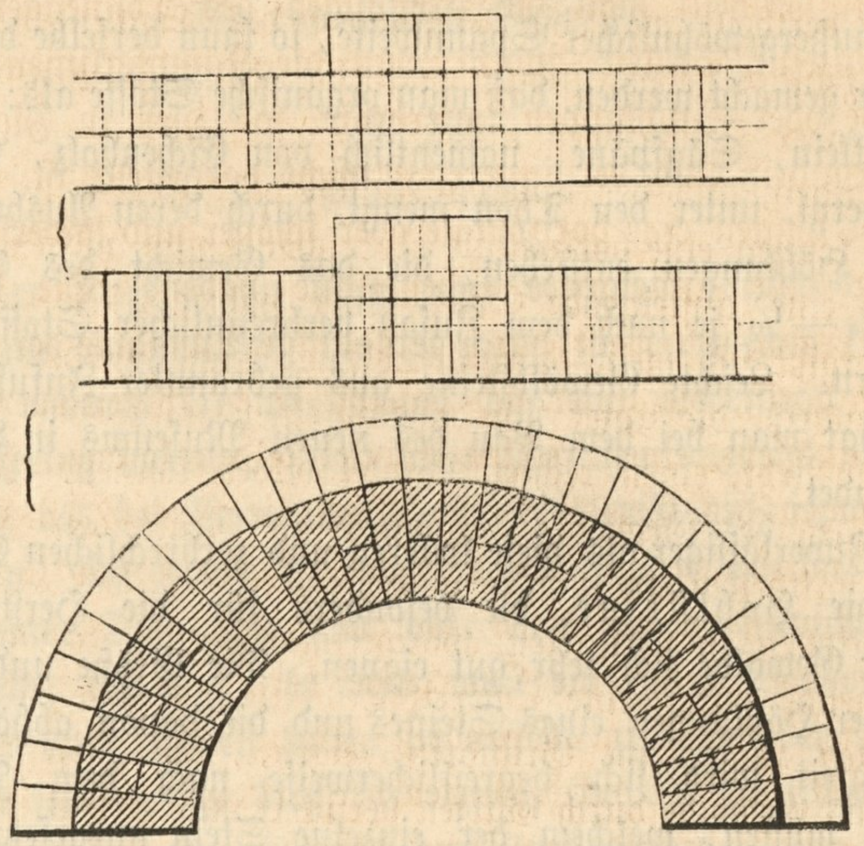


Fig. 247.

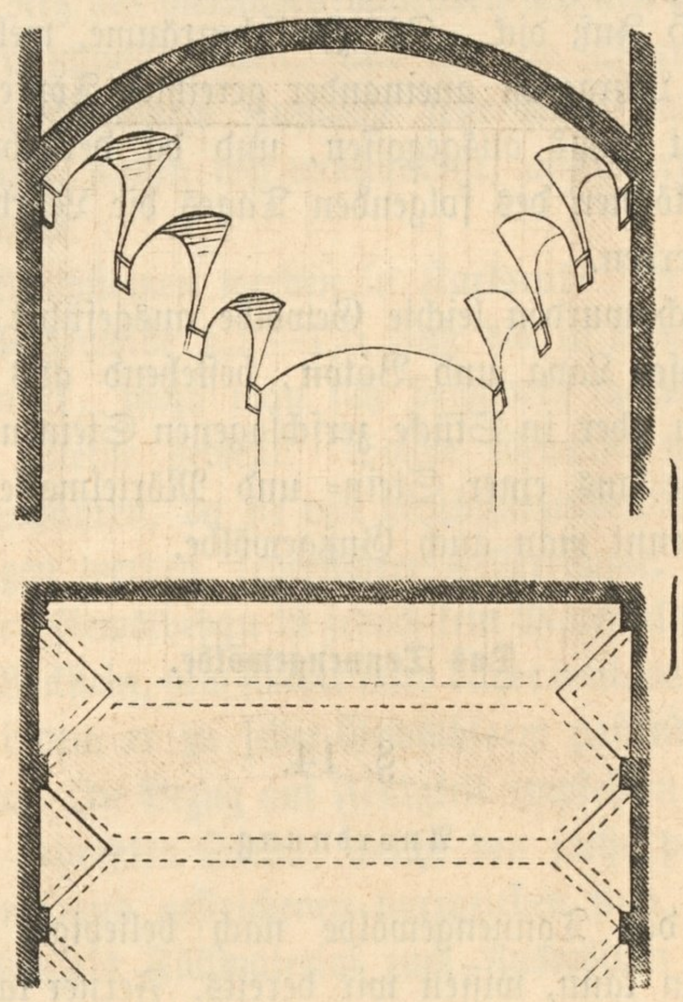


oben vortreten, entsteht eine stellenweise Verstärkung des Gewölbes, welches dadurch leichter gemacht wird, so daß zugleich an Material gespart werden kann; ähnlich wie dieß bei einer Mauer mit stellenweisen Verstärkungspfeilern der Fall ist. Aufwärtsspringende Verstärkungsrippen von 1 und 1 ½ Steinstärke nebst dem Verbande zweier aufeinander folgender Schichten zeigen die Figuren 246 und 247.

Hat ein mit Rippen nach Fig. 246—247 versehenes Tonnengewölbe ein Gebälk mit Fußboden zu tragen, so legt man am besten die Balken nach der Länge des Gewölbes, wobei eine gleichmäßige Vertheilung des Gewichtes auf den Rippen stattfindet und das eigentliche, gewöhnlich nur ½ Stein starke Gewölbe entlastet wird.

Sind Räume in oberen Etagen einzuwölben, so kann dieß gewöhnlich ohne Verankerung der Widerlager nicht

Fig. 248.



geschehen. Um dieß aber stellenweise und wirksam thun zu können, vertheilt man die Pressungen des Tonnengewölbes auf einzelne Stellen, indem man die Kämpferlinien durch Schilde oder Stichkappen unterbricht, wie dieß in Fig. 248 im Grundriß und der inneren Ansicht dargestellt ist. Diese Schilde können eine horizontale oder schöner und widerstandsfähiger eine ansteigende Scheitellinie haben. Die letztere Form ergibt sich meist durch geradlinige Annahme der Gräte im Grundriß, die unter sich daselbst einen spitzen oder, was besser aussieht, einen rechten Winkel bilden können. Da die Pressungen des Gewölbes sich durch die Gräte den Widerlagern mittheilen, so sucht man diese durch aufwärts springende Rippen zu verstärken, worauf man immer zwei gegenüberliegende durch eine Querrippe verspannt, wie dieß die punktirten Linien im Grundriß zeigen. Auf diese Weise wird das Gewölbe durch Gurten verstärkt und zerlegt, welche gabelförmig endigend den Druck desselben auf einzelne Stützpunkte reduciren. Werden diese durch Anker gegen Seitenbewegung geschützt, so ist ein sicheres Widerlager des Tonnengewölbes gewonnen. Solche Tonnengewölbe gewähren ein leichtes Ansehen und eignen sich sehr für malerische Ausschmückung.

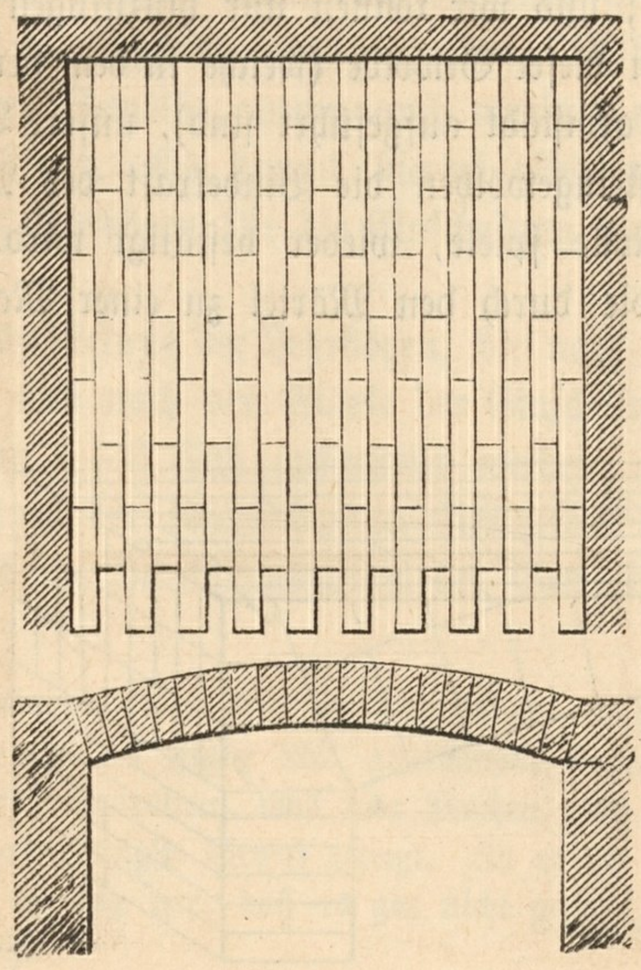
§. 15.

Ausführung des Tonnengewölbes.

Was die Construction des Tonnengewölbes betrifft, so kann uns das über die Mauerbögen Gesagte als Grundlage dienen. Für den Steinverband der Gewölbe aus Backsteinen gelten die beim Mauerverband aufgeführten Regeln. Die Leibung des Gewölbes zeigt gewöhnlich den Blockverband, und es sind daher wenigstens zwei verschiedene und abwechselnde Schichten zur Bildung des Verbandes erforderlich.

Soll das Gewölbe nur ½ Stein stark werden, so erscheinen alle Steine als Läufer und man wird das Aufeinandertreffen der Stoßfugen leicht vermeiden, wenn man eine Schicht um die andere mit einem Zweiquartier oder halben Stein beginnt.

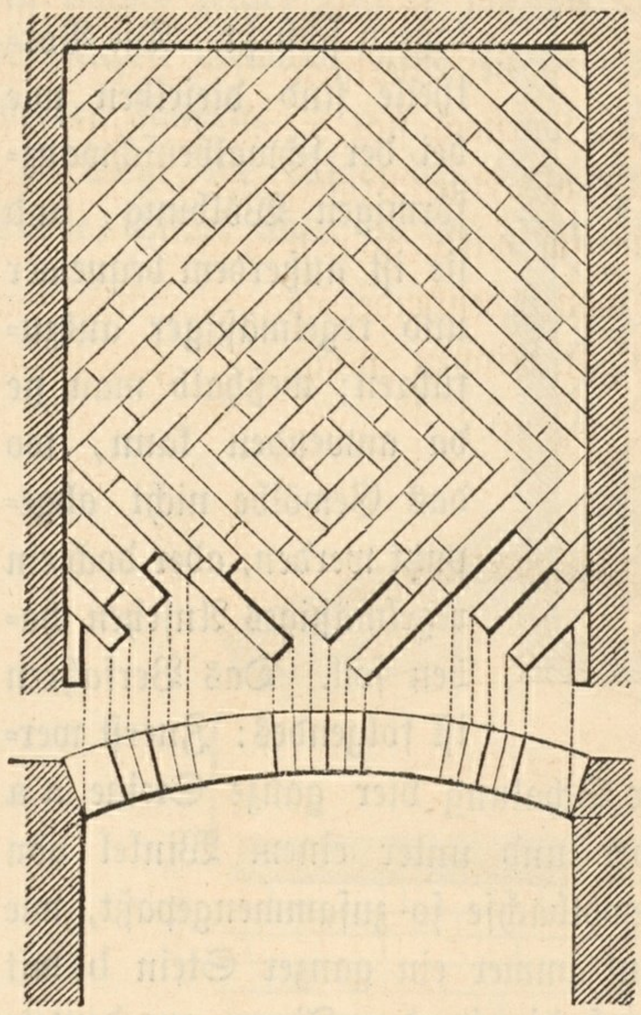
Fig. 249.



Sind dergleichen, ½ Stein starke Gewölbe nicht nach einem Halbkreise gestaltet, sondern nach einem Stichbogen, so kann man dieselben nach Fig. 249 im Läuferverbande ausführen, was am bequemsten ist, weil die Steine gar kein Behauen erfordern, außer daß man wieder eine Schichte um die andere mit einem halben Steine anzufangen hat.

Häufig pflegt man auch einen andern Verband anzuwenden, der in Fig. 250 dargestellt ist, und den man den schwalbenschwanzförmigen Verband nennt. Die Lagerfugen der Steine bilden hierbei mit der Achse des Gewölbes, in der Horizontalprojection, einen Winkel von 45 Graden, und unter sich, bezüglich auf beide Schenkel des Gewölbes, rechte Winkel, wie unsere Figur näher nachweist. Die Wölbung beginnt hierbei wenigstens in zwei Ecken des zu überwölbenden Raumes gleichzeitig, bequemer in allen vier Ecken, und der Schluß erfolgt in der Mitte in quadratförmiger Gestalt. Diese Art der Einwölbung hat, wenn man die Scheitellinie des Gewölbes von beiden Stirnenden nach der Mitte hin etwas steigen läßt, einige Vortheile vor der früher erwähnten, in Figur 249 dargestellten Methode, weil die einzelnen Schichten mehr Spannung unter sich bekommen und der Druck des Gewölbes sich auf die Umfangsmauern mehr vertheilt, indem auch die Stirnmauern theilweise als Widerlager dienen. Dagegen erfordert die Ausführung geschicktere Arbeiter und ist nicht so einfach als die frühere Art. Da nämlich auf einem Cylindermantel nur die Linien gerade sind, welche mit der Achse parallel laufen, so folgt, daß die Steine bei der schwalbenschwanzförmigen Wölbung, wenn sie überall die Einschalung berühren sollen, an zwei diagonal gegenüberliegenden Ecken verhauen, oder wie die Maurer sich ausdrücken, geschnäbelt werden müssen. Außerdem würden die Stoßfugen der Steine, wollte man dieselben in ihrer rechtwinkligen Gestalt lassen, oberhalb sehr klaffen, und es ist daher auch nöthig, jeden Stein an einer Seite wenigstens, passend zuzuhauen. Hierbei stehen zwar die Stoß-

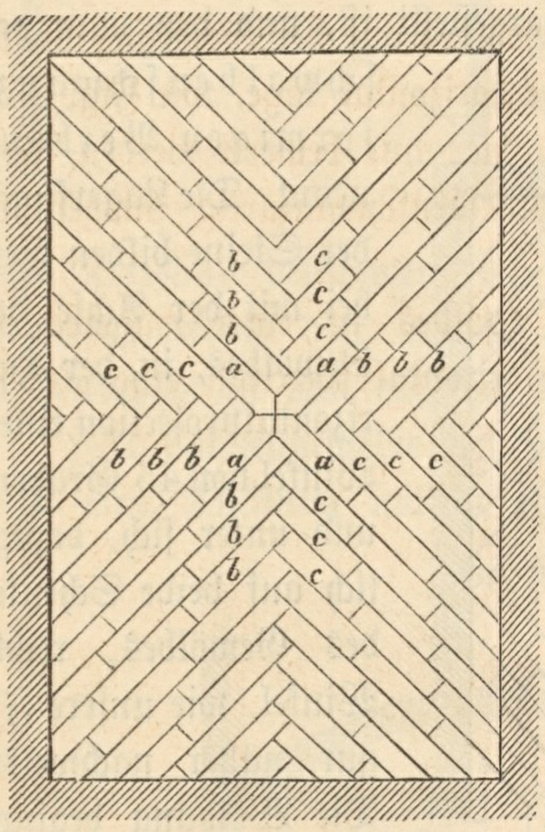
Fig. 250.



fugen nicht normal auf dem zugehörigen Bogenelemente, doch kommt dieß hier weniger in Betracht, weil, wie schon bemerkt, die Festigkeit bei Backsteingewölben nicht sowohl von der genauen Form der einzelnen Steine, als vielmehr von einem tüchtigen Zusammenhange derselben unter einander abhängt.

Eine dritte Methode des Einwölbens solcher flachen Tonnengewölbe zeigt Fig. 251. Sie unterscheidet sich von der vorigen besonders dadurch, daß man in der Mitte des Gewölbes anfängt und die einzelnen Schichten an den Widerlagern schließt. Die Vortheile sind dieselben wie bei der schwalbenschwanzförmigen Wölbung, und sie ist außerdem bequemer und regelmäßiger auszuführen; weßhalb man sie da anwenden kann, wo das Gewölbe nicht abgeputzt werden, aber doch ein regelmäßiges Ansehen haben soll. Das Verfahren ist folgendes: Zuerst werden in der Mitte auf der Schalung vier ganze Steine a a rechtwinklig gegen einander und unter einem Winkel von 45 Graden gegen die Gewölbachse so zusammengepaßt, wie dies Fig. 251 zeigt, darauf immer ein ganzer Stein b mit einem Dreiviertelstein c auf die in der Figur angedeutete Weise rechtwinklig zusammengestellt, bis die Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes erreicht sind, wo dann die letzten Steine scharf gegen diese gepaßt werden müssen. Jetzt werden die Diagonalschichten mit lauter ganzen Steinen ausgeführt, indem man bei den Steinen b und c anfängt und nach den Umfangsmauern hin arbeitet, bis die mit den Steinen a, b, c angefangenen Schichten mit den Umfangsmauern, die hier, wie bei der vorigen Methode, alle vier Widerlager bilden, verbunden sind.

Fig. 251.



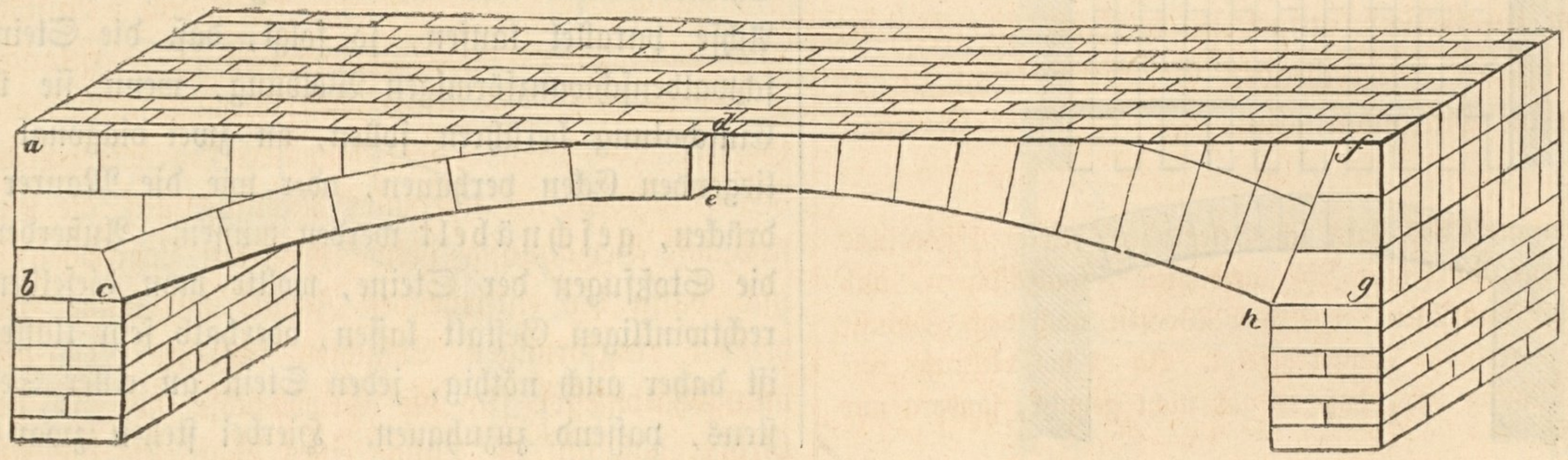
Daß das Schnäbeln und Verhauen der Steine hier so gut wie bei der in Figur 250 dargestellten Methode nach Maßgabe des Krümmungshalbmessers des Gewölbes stattfinden muß, leuchtet ein; eben so, daß beide Methoden nur bei sehr flachen Gewölben (Kappen) und überhaupt nur da Anwendung finden können, wo Stirnmauern vorhanden, mithin keine offenen Gewölbe herzustellen sind.

Eine ganz besondere Art flacher Tonnengewölbe beschreibt Moller in seinen „Beiträgen zur Lehre von den Constructionen“ auf folgende Weise.

Das Gewölbe besteht aus, auf die hohe Kante gestellten Backsteinen, so daß die Dicke der Backsteine parallel zur Gewölbachse gerichtet ist, und zwar aus abwechselnden Schichten, in denen die Backsteine ein Mal mit ihrer Länge normal auf der Bogenlinie stehen und das andere Mal horizontal liegen, wie dies Fig. 252 zeigt. Das Gewölbe ist dabei im Scheitel ½ Stein stark und im Rücken horizontal abgeglichen.

Die Wirkung dieser auf solche Art angeordneten Schichten ist nach Moller folgende: „Da der hintere Theil „der horizontalen Schichten a d e c b in b c unterstützt ist, „so werden die nach dem Centrum gerichteten Steine der „Schicht d e f h, um einen Seitendruck auf die Widerlager „ausüben zu können, sich zwischen diesen horizontalen Schich„ten herabsenken müssen; dies kann nur stattfinden, wenn „zuvor der Widerstand überwunden worden ist, welchen die „Adhäsion der sich berührenden Backsteinschichten hervor„bringt. Da letztere mit der breiten Fläche an einander „liegen und außerdem durch Mörtel verbunden sind, so ist „dieser durch die Adhäsion bewirkte Widerstand größer als „das Gewicht der Steine. Die Schichten e d f g h können „also nicht zwischen den Schichten e d a b c herunterrutschen, „mithin ist das Gewölbe als eine Masse anzusehen und „wirkt nur senkrecht auf die Unterlagen b c und h g.“ So weit Moller; und wir können nur hinzufügen, daß durch das Verhalten dieser Gewölbe (welche in dem neuen Kanzleigebäude in Darmstadt aufgeführt sind), unsere Behauptung, daß bei Backsteingewölben die Bindekraft des Mörtels eine sehr große Rolle spiele, wieder bestätigt wird. Nur mit Backsteinen, die durch den Mörtel zu einer Masse verkittet

Fig. 252.



sind, wird ein solches Resultat zu erreichen sein, und man würde, wollte man den hier angewendeten Fugenschnitt bei einem Quadergewölbe auch anwenden, einem sofortigen Einsturze mit Zuversicht entgegensehen dürfen, so daß die Regel auf's Neue bestätigt wird: bei Backsteingewölben weniger auf eine richtige Lage und Gestalt der einzelnen Steine nach den Regeln des Steinschnitts, als vielmehr darauf zu sehen, daß die Steine durch den Mörtel möglichst vollständig zu einer Masse vereinigt werden*).

Aehnlich wie beim Backsteinmauerwerk die Absätze nach den Steindimensionen stattfinden, so wird auch bei weit gespannten stark belasteten Gewölben die Dicke derselben vom Scheitel bis zum Widerlager nicht stetig wachsen, wie dieß durch statische Gesetze bedingt wird, sondern nur stufenweise, so daß z. B. ein im Scheitel ½ Stein starkes Gewölbe in der Mitte der Schenkel 1 und an den Widerlagern 1 ½ Steinstärke erhält; d. h. wenn die Gewölbstärke zunehmen soll, so muß diese Zunahme mindestens ½ Stein betragen, wenn das Verhauen der Steine vermieden werden soll.

Alles, was wir über die Richtung der Gewölbfugen und über die Mittel, diese zu bestimmen, bei den Mauerbögen gesagt haben, findet auch dann, wenn sich die Bögen zu Gewölben ausdehnen, Anwendung; nur leuchtet es ein, daß man sich zur Bestimmung dieser Richtung nur selten der Schnur bedienen kann, weil eine solche nur in den Stirnen offener Gewölbe anwendbar ist.

Daß die Ausführung der Tonnengewölbe aus Backsteinen, so lange die Achse derselben gerade und horizontal bleibt, durchaus keine Schwierigkeiten zeigt, ist aus Obigem klar; und selbst dann, wenn die Gewölbe steigend, ringförmig oder gar schneckenförmig werden, bleibt die Darstellung solcher Gewölbe, wenn auch weniger einfach, doch immer ausführbar. Es kommt hierbei alles auf die Ausmittelung der Lehrbögen für die Einschalung und auf letztere selbst an.

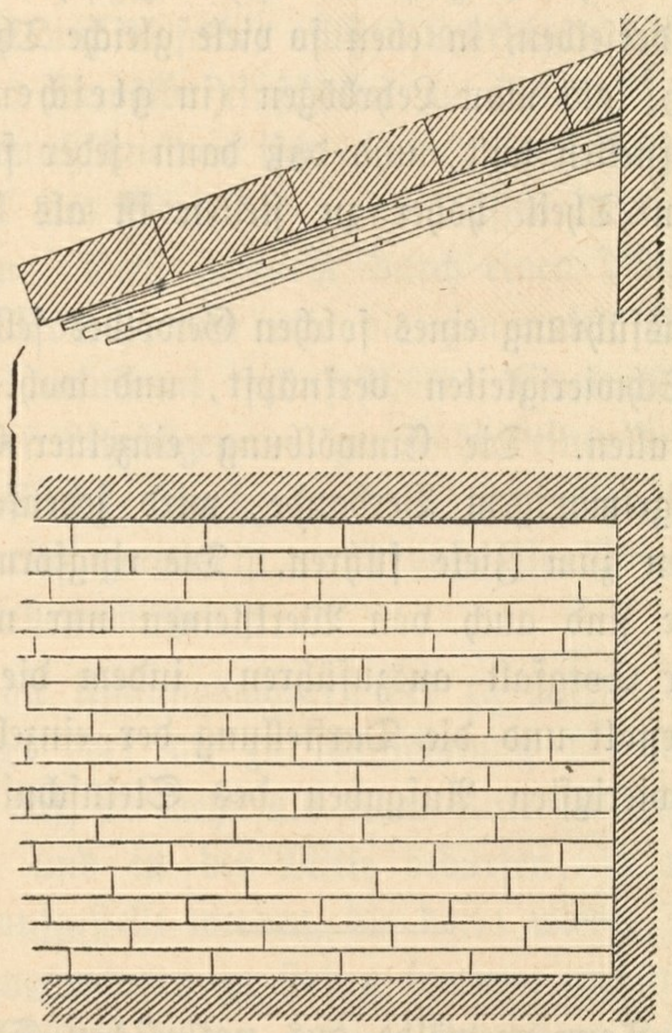
Die Ausmittelung der Lehrbögen, die nach der Schwere der Gewölbe und nach der Stärke der Einschalung, in Entfernungen von 3—6 Fuß aufgestellt werden, ist aber bei einiger Kenntniß der beschreibenden Geometrie leicht zu bewirken, sobald die Durchschnittslinie des Gewölbes in einer, entweder lothrechten oder auf der Achse des Gewölbes normalen Ebene bestimmt ist.

Ist z. B. das Gewölbe ein steigendes und die Bogenlinie eine kreisförmige, so ist es für die Ausführung aus leicht begreiflichen Gründen am bequemsten, die Ebene dieser kreisförmigen Bogenlinie normal auf die Achse des Gewölbes anzunehmen, und da die Lehrbögen immer lothrecht aufgestellt werden müssen, so werden sie in diesem Falle Ellipsen bilden, zu deren Construction aber alles Nöthige gegeben ist.

Die Ausführung des Gewölbes auf der Schalung bleibt dann ganz so, als ob die Achse horizontal läge, wie Fig. 253 ein solches zeigt; und es soll hier nur bemerkt werden, daß dergleichen Gewölbe auch schwalbenschwanzartig ausgeführt werden können.

Liegt die Achse des Gewölbes in einer wagerechten Ebene, bildet aber in der Horizontalprojection eine Kurve

Fig. 253.



so werden die Lehrbögen normal auf diese Kurve aufgestellt, so daß die Horizontalprojectionen derselben eine strahlenförmige Figur bilden, und die Einschalung muß mit biegsamen Latten oder sehr schmalen Brettstreifen geschehen. Die Einwölbung erfordert hier schon einige Aufmerksamkeit, und man wird am leichtesten zum Ziele gelangen, wenn man, je nach der Größe des Krümmungshalbmessers der Gewölbachse, breitere oder schmälere Gurten, von der Stärke des Gewölbes, in normaler Richtung auf die Gewölbachse und mit Verzahnung (etwa über den Lehrbögen) einwölbt, und dann die entstehenden Zwickel mit immer kürzer werdenden ringförmigen Schichten schließt. Ist der Krümmungshalbmesser für die Gewölbachse von so bedeutender Größe, daß auf die Länge eines Backsteins die Abweichung

---

*) Im Sommer 1854 hatte ich Gelegenheit, ein ganz ähnliches Gewölbe, wie das in Figur 252 gezeichnete, auszuführen, und dasselbe hat beim Ausrüsten, was vier Wochen nach dem Schlusse geschah, nicht das geringste Setzen gezeigt. Ja es bot vielmehr eine so regelmäßige Leibung dar, daß es gar nicht geputzt, sondern nur gefugt worden ist.

der Sehne von dem zugehörigen Bogen beinahe verschwindet, so ist das angedeutete Verfahren nicht nöthig, weil man dann mit einiger Aufmerksamkeit die richtige Stellung der Steine leicht erreichen kann.

Ist die Achse des Gewölbes gerade gebrochen, d. h. bildet sie in der Horizontalprojection irgend ein Polygon, so entsteht über jedem Winkelpunkte ein Grat, der zur Hälfte einem Kloster- und zur Hälfte einem Kreuzgewölbe angehört, und wir können daher hinsichtlich des Steinverbandes dieser Gräte auf die Regeln verweisen, die wir bei Beschreibung der genannten Gewölbarten kennen lernen werden.

Bildet die Achse des Gewölbes eine Schraubenlinie, ist also das Gewölbe ein schneckenförmiges, so hat die Aufstellung der Lehrbögen gerade keine großen Schwierigkeiten, eben so die Einschalung, wenn gleich beides mehr Aufmerksamkeit erfordert als im vorigen Falle. Für die Aufstellung der Lehrbögen bemerke man nur, daß die Steigung der Gewölbachse, d. h. der Höhenunterschied zwischen den beiden Endpunkten derselben, in eben so viele gleiche Theile getheilt werden muß, als man Lehrbögen (in gleichen Zwischenräumen) aufstellen will, und daß dann jeder folgende um einen solchen Theil höher zu stellen ist als der vorhergehende.

Die Ausführung eines solchen Gewölbes selbst ist allerdings mit Schwierigkeiten verknüpft, und wohl die schwierigste von allen. Die Einwölbung einzelner Gurten, in möglichst regelmäßigem Verbande, wird jedenfalls wieder am leichtesten zum Ziele führen. Die ringförmig steigenden Gewölbe sind auch von Werksteinen nur mit Anwendung großer Sorgfalt auszuführen, indem die Ausmittelung der Gestalt und die Darstellung der einzelnen Steine zu den schwierigsten Aufgaben des Steinschnitts gehören dürften*).

Sollen Tonnengewölbe aus natürlichen Steinen, und zwar aus rauhen, unbearbeiteten, sogenannten Bruchsteinen ausgeführt werden, so hat man, wie schon erwähnt, dieselben als Surrogat für die Backsteine anzusehen, und daher alle für dieses Material aufgestellten Regeln, so weit es die Form der Steine zuläßt, zu befolgen. Nur mit lagerhaften, d. h. mit zwei, wenigstens beinahe parallelen Seitenflächen versehenen Steinen lassen sich dergleichen Gewölbe ausführen. Wenn es das Material erlaubt, sucht man den Steinen mit dem Mauerhammer eine etwas keilförmige Gestalt zu geben. Ist dieß nicht thunlich, so müssen die nach dem Rücken des Gewölbes zu klaffenden Lagerfugen mit passenden Steinstücken ausgezwickt werden, wie denn überhaupt alle die Vorschriften, welche wir für gerade Mauern aus Bruchsteinen angeführt haben, auch hier volle Anwendung finden. Was dort das Herstellen horizontaler Schichten bezwecken sollte, muß hier dadurch hervorgebracht werden, daß man so oft als thunlich eine Lagerfuge parallel mit der Achse des Gewölbes und normal auf die Leibung darzustellen sucht, weil man unmöglich jedem einzelnen Steine die genau richtige Stellung im Gewölbe geben kann, sondern sich damit begnügen muß, dieselben in möglichst gutem Verbande und dem Augenmaße nach normal auf die Einschalung des Gewölbes zu vermauern. Die Steine müssen dabei im Allgemeinen eine solche Länge haben, daß sie durch die ganze Stärke des Gewölbes hindurchreichen, und nur einzelne dürfen in dieser Richtung gestoßen werden.

Sind die Gewölbe nicht zu schwach, so lassen sie sich mit Bruchsteinen leicht und sicher ausführen, und selbst ziemlich flache Gewölbe erlauben dieses bei fleißiger Arbeit und Anwendung eines tüchtigen Bindemittels. Ueberhaupt tritt die innige Verbindung der Steine durch das Bindemittel hier wieder, wie bei den Backsteingewölben, als Hauptbedingung für die Festigkeit auf; weßhalb hierauf das Hauptaugenmerk zu richten ist.

Tonnengewölbe aus behauenen Werk- und Quadersteinen endlich sind als verlängerte Mauerbögen anzusehen, und wir werden daher zu dem über diese bereits Gesagten nur wenig hinzuzufügen haben; besonders so lange die Achse des Gewölbes gerade und horizontal bleibt. Die Steine, die nun natürlich nicht mehr durch die ganze Länge hindurchreichen, müssen gestoßen werden, und man hat dieß im gehörigen Verbande, d. h. so auszuführen, daß die Stoßfugen zweier benachbarten Steine nicht in eine und dieselbe Ebene fallen. Nach der Stärke des Gewölbes werden nicht leicht Stoßfugen vorkommen, weil die Größe der Steine für diese wohl bei allen im Hochbauwesen vorkommenden Tonnengewölbe ausreichen wird. Die Flächen der Stoßfugen nach der Länge des Gewölbes liegen in Ebenen, die normal auf der Gewölbachse stehen, und es sind daher die Fugenflächen der einzelnen Steine leicht zu bestimmen.

*) Da diese Gewölbe im Ganzen ziemlich selten vorkommen, so mache ich auf ein paar derselben aufmerksam, die ich selbst zu sehen Gelegenheit hatte. Eins, von Backsteinen ausgeführt, findet sich über einem Theile der Treppe, auf welchem man zu der Kuppel über dem Chor des Mainzer Domes emporsteigt. Dies Gewölbe zeigt einen höchst unregelmäßigen und mangelhaften Verband, so daß die schon öfter aufgestellte Bemerkung, daß die Festigkeit von Backsteingewölben nur durch die innige Verbindung der Steine durch den Mörtel bedingt wird, hier einen Beleg findet, denn dieses Gewölbe, welches Jahrhunderte steht, ist in Hinsicht seines Verbandes kaum einem Pflaster gleich zu stellen. Ein zweites Beispiel findet sich in dem Thurmreste der Klosterkirche zu Lorch bei Schw. Gmünd. Dies Gewölbe ist auf das Sorgfältigste aus Werksteinen nach den Regeln des Steinschnitts ausgeführt und ebenfalls noch sehr gut erhalten.

Das Versetzen der Gewölbsteine geschieht mit denselben Hülfsmitteln, die wir bereits früher bei dem geraden Mauerwerk kennen gelernt haben; nur reichen Setzwaage und Bleiloth in ihrer einfachen Anwendung nicht mehr aus, die richtige Lage der Gewölbsteine zu bestimmen. Bei geschlossenen, d. h. mit Stirn- oder Schildmauern versehenen Gewölben muß man sich allein auf die früher beschriebenen Chablonen zur Bestimmung der Gewölbfugen verlassen, und nur bei offenen Gewölben, wie bei Brücken, kann man andere Hülfsmittel anwenden, um an den Stirnen der Gewölbe die Richtung der Fugen genau zu bestimmen. Die Fugenpunkte in der inneren Leibungskante bestimmt man dann durch berechnete Coordinaten, auf ein paar Achsen bezogen, die in den Ebenen der Widerlagerstirnen liegen, und die Richtung der Fugen selbst wohl mit Hülfe eines Quadranten, auf dem alle die Punkte, auf welche das Loth für jede einzelne Fugenrichtung einspielen muß, wenn man den Quadranten auf den bereits versetzten Stein setzt, bezeichnet sind. Solche Vorrichtungen kommen indessen nur bei wichtigen Brückengewölben vor, weßhalb wir hier nicht weiter darauf eingehen und nur bemerken wollen, daß dieser Gegenstand in dem Perronet'schen Werke über Brückenbau weitläufig und erschöpfend abgehandelt ist. Ebenso müssen wir die Construction der schiefen Brückengewölbe unberührt lassen, obgleich sie in neuerer Zeit bei den vielen Eisenbahnbauten eine immer häufigere Anwendung finden*).

Die sogenannte Hintermauerung der Gewölbe (Ankengemäuer), d. i. die Ausfüllung der zwischen dem Gewölbrücken und dem aufwärts verlängerten Widerlager entstehenden, zwickelförmigen Räume mit Mauerwerk, gehört in unserm Sinne nicht zur Construction der Gewölbe, da sie aus geradem Mauerwerk besteht. Von ihrer Nothwendigkeit werden wir aber später, wo von der Stärke der Mauern und Gewölbe die Rede sein wird, mehr sprechen.

Das Klostergewölbe.

§. 16.

Das Klostergewölbe findet wenig Anwendung, da es nur über quadraten und regelmäßig viereckigen Räumen ein gutes Ansehen gewährt und außerdem die Unannehmlichkeit bedingt, alle Umfassungsmauern als Widerlager demgemäß stark machen zu müssen. Zugleich wird die Anlage der Fenster- und Thüröffnungen erschwert, wenn die Umfangsmauern nicht so hoch sind, daß die Kämpferlinien des Gewölbes noch höher als der Schluß jener Oeffnungen liegen.

Die häufigste Anwendung im Hochbauwesen finden die Klostergewölbe wohl bei der Darstellung der sogenannten Rauchmäntel über den Küchenherden ꝛc.

Soll ein Klostergewölbe ausgeführt werden, so ist zuerst die Wölbungslinie des Gewölbes in einer Ebene senkrecht auf eine der Umfassungsmauern festzusetzen, aus der dann die Gräte abzuleiten sind. Die erstere ist in der Regel eine Kreislinie und die letzteren werden alsdann Ellipsen, die leicht zu zeichnen sind, da die Grundlinie des Grates als Spannweite gegeben und die Pfeilhöhe mit der der Bogenlinie des Gewölbes identisch ist. Aber auch für jede andere Wölbungslinie wird man die zugehörigen Kurven für die Gräte durch die Methode der Vergatterung immer leicht bestimmen können. In den Gräten des Gewölbes und wenigstens in der Mitte jeder Umfangsmauer, und senkrecht auf dieselbe, müssen Lehrbögen aufgestellt werden, um das Gewölbe einschalen zu können*). Alle diese Lehrbögen durchschneiden sich in einer lothrechten Linie durch den Scheitel des Gewölbes, und müssen daher hier unterstützt werden. Dieß geschieht durch einen Pfosten, den sogenannten Mönch, der alle die genannten Lehrbögen in Einschnitten aufnimmt und festhält. Es leuchtet ein, daß nur einer der Lehrbögen — gemeinhin einer der Gräte — in einem Stücke durchgehen kann, vorausgesetzt, daß seine Grundlinie eine gerade ist, und daß alle übrigen aus zwei Hälften bestehen müssen.

Sind die Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes so lang, oder die zur Einschalung bestimmten Hölzer so schwach, daß sie mehr als einer Unterstützung an beiden Endpunkten und in der Mitte bedürfen, so müssen mehr Lehrbögen aufgestellt werden, die dann wieder senkrecht auf die Umfassungsmauern zu stehen kommen und an die Gratbögen angeschiftet werden. Diese Lehrbögen sind sehr leicht zu bestimmen, da sie Theile der für die Mitte derselben Umfangsseite gefundenen Bogenlinien sind. Nehmen wir, um einen bestimmten Fall vor Augen zu haben, ein Quadrat als Grundfigur des zu überwölbenden Raumes, und für die Gewölblinie, senkrecht auf eine der Seiten, einen Halbkreis an, dessen Durchmesser daher der Seite des Quadrats gleich ist, so zeigt Figur 254 die verschiedenen Kurven für die nöthigen Lehrbögen: a b c ist die Bogenlinie, nach welcher die Lehrbögen a a, Fig. 255 gestaltet werden müssen, und b d e, Fig. 254, die Kurve für die Gräte b b, Fig. 255. Diese Figur zeigt zugleich, wie die Lehrbögen alle im Mittel-

*) Ueber den letztgenannten Gegenstand findet sich in dem Romberg'schen Journal für praktische Baukunst, Jahrgang 1847, Heft 1, von John Hart ein lesenswerther Aufsatz.

*) Die eben erwähnten Rauchmäntel werden, ohne Schalung, aus freier Hand eingewölbt.

Fig. 254.

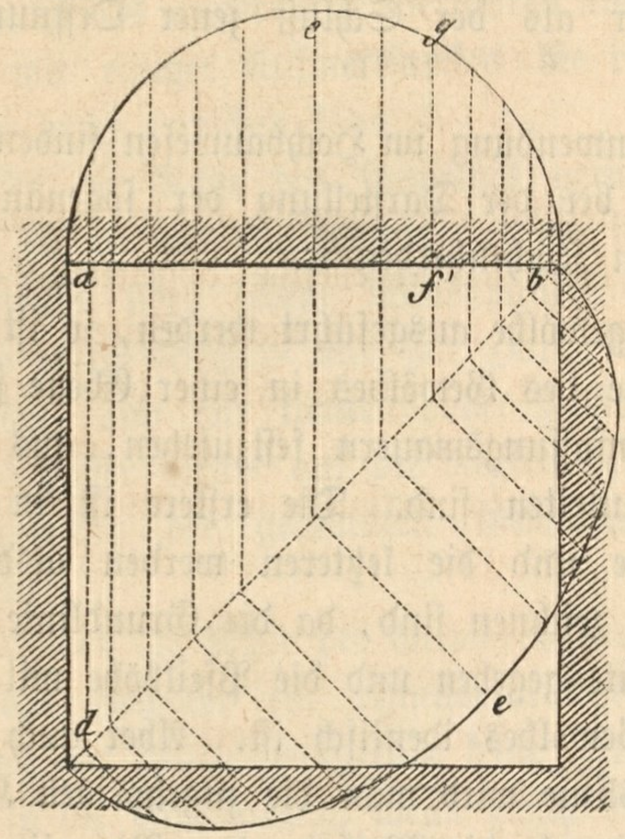


Fig. 255.

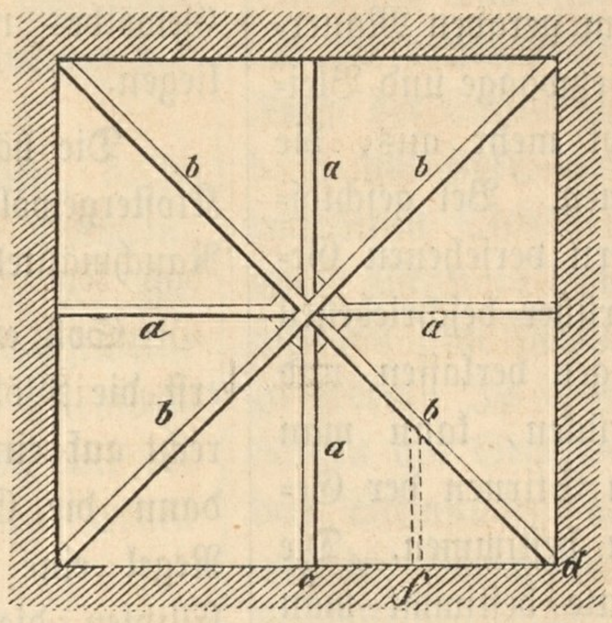
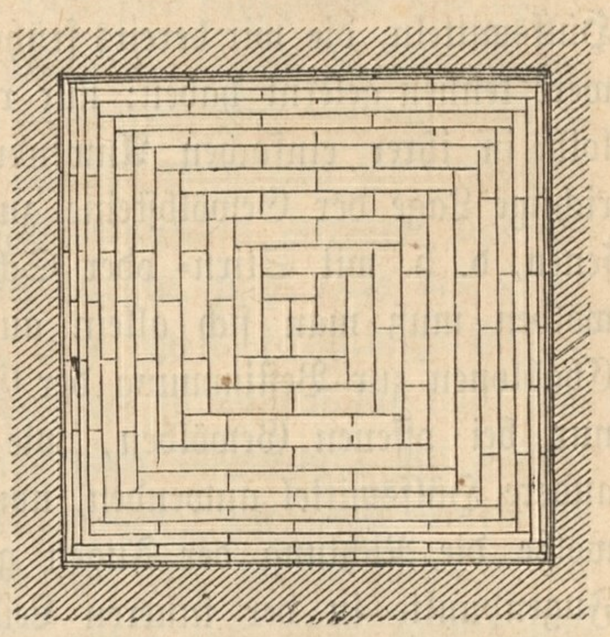


Fig. 256.



punkte des Gewölbes zusammenlaufen und hier von dem Mönche aufgenommen und unterstützt werden. Ist nun etwa der Raum zwischen c d, Fig. 255, so groß, daß für die Schalhölzer noch eine Unterstützung nöthig wird, und man wollte diese in b f, Fig. 255, anbringen, so findet man die Form des hier aufzustellenden Lehrbogens sehr bald, wenn man die Länge b f, aus Fig. 255 von b nach f' Fig. 254 trägt und in f' die lothrechte f' g errichtet, indem dann durch das Kreisstück b g, Fig. 254, die Form des gesuchten Lehrbogens gegeben ist, der über b f, Fig. 255, aufgestellt und in b an den Gratbogen befestigt werden muß. Daß der Punkt b, Fig. 255, außerdem von unten sicher, etwa durch einen Pfosten unterstützt werden muß, leuchtet ein.

Mit Hülfe dieser Lehrbögen wird nun das ganze Gewölbe eingeschalt, und dann kann mit dem Wölben begonnen werden.

Der Verband für die einzelnen Wangenstücke, aus denen das Klostergewölbe besteht, ist, Backsteine als Material vorausgesetzt ganz der wie für Tonnengewölbe, von denen sie ja auch Theile sind. Die Gräte, die keiner Verstärkung bedürfen, bilden sich ganz von selbst, wenn man, von den Ecken des Gewölbes aus anfangend, die einzelnen Steinschichten in immer horizontalen Ringen normal auf die Schalung stellt und nur darauf achtet, daß die Steine in den Gräten gehörig in einander greifen und sich nicht etwa im Grat eine durchlaufende Fuge bildet. Ist, wie in Figur 256, die Grundfigur des Gewölbes ein Quadrat, so greifen die Steine im Grat rechtwinklig in einander und sind nur abwechselnd an den schmalen Seiten central zuzuhauen, ähnlich wie bei der Wölbung auf den Schwalbenschwanz bei den Tonnengewölben. Figur 257 zeigt zwei Steinschichten im Durchschnitt, normal auf die Kurve des Grats, im größern Maßstabe, wo das von den Steinen Fortzuhauende durch punktirte Linien angedeutet ist.

Bildet die Horizontalprojection des Grats mit der der Lagerfugen keine Winkel von 45 Graden, so müssen die Steine auch ihrer Dicke nach passend zugehauen werden, wie solches Fig. 258 zeigt.

Soll ein Klostergewölbe aus Bruchsteinen ausgeführt werden, so müssen letztere lagerhaft, plattenförmig gestaltet und nicht zu groß sein, auch leicht mit dem Maurerhammer sich etwas zurichten lassen, damit die Verbindung auf den Gräten eine möglichst regelmäßige werden kann. Eine sehr sorgfältige, aufmerksame Arbeit, und vor allem ein gut bindender Mörtel, sind Haupterfordernisse für das Gelingen eines solchen Gewölbes.

Bei der Ausführung in Werk- oder Quadersteinen ist es nöthig, das Gewölbe in seiner Horizontalprojection und in einigen Durchschnitten nach dem natürlichen Maaß aufzuzeichnen; wozu man sich eines sogenannten Reißbodens, d. h. eines von Brettern horizontal hergerichteten Fußbodens, bedient. Auch die Kurven für die Bogen- und Gratlinien müssen in natürlicher Größe und zwar doppelt

Fig. 258.

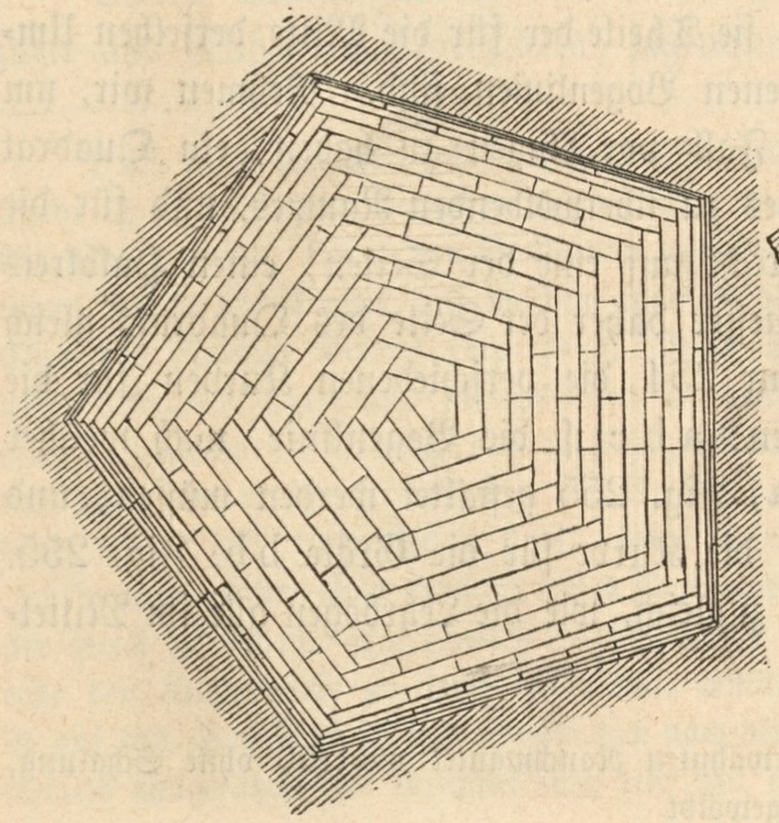
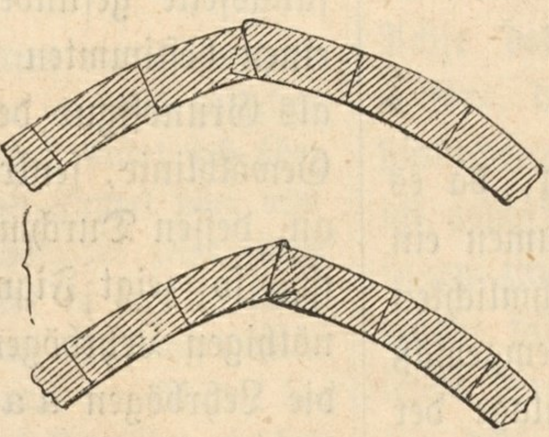


Fig. 257.



gezeichnet werden; einmal nämlich zur Ausmittelung der Gestalt der Lehrbögen für die Einschalung, und dann zur Bestimmung der Gestalt der Gratsteine und zur Anfertigung der Chablonen oder Brettungen für dieselben. Daß man die Lehrbögen und diese Brettungen nicht nach ein und derselben Zeichnung anfertigen kann, leuchtet ein, wenn wir uns erinnern, daß die Kurven der Lehrbögen um die Dicke der Schalbretter von der Leibung des Gewölbes abstehen, die nach jenen Brettungen bearbeiteten Steine aber diese Leibung selbst bilden sollen.

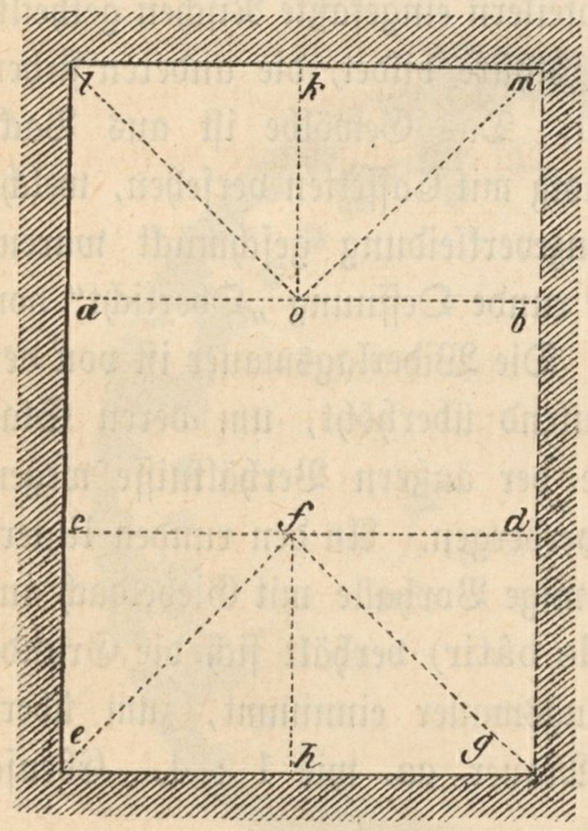
Unter Gratsteinen verstehen wir diejenigen Gewölbsteine, welche einen Theil des Grates bilden, daher Theile von zwei benachbarten Wangenstücken sind und in beiden zugleich liegen. Die Ausmittelung der Gestalt dieser Steine und der Brettungen zur Bearbeitung derselben, sowie die vortheilhafte Eintheilung der Gewölbfugen, um mit dem geringen Verlust an Material diese Steine darzustellen, müssen wir hier übergehen und in dieser Beziehung auf die Lehre vom Steinschnitt verweisen.

Das Muldengewölbe.

§. 17.

Dieses Gewölbes dürfen wir hier nur kurz erwähnen, denn nach der früher gegebenen Erklärung desselben ist es aus einem Tonnen- und zwei halben Klostergewölben zusammengesetzt, und wird sich daher auch nach den für diese Gewölbe bereits gegebenen Regeln ausführen lassen. Wir wollen daher nur über die Einschalung bemerken, daß der mittlere Theil ganz wie ein Tonnengewölbe behandelt werden muß, an den Enden desselben aber über den Linien ab und cd, Fig. 259, Lehrbögen aufzustellen sind, an welche in den Punkten f und o die über den Gräten ef, gf, lo und om, sowie die über den Linien hf und ok aufzustellenden sich anschiften.

Fig. 259.



Ueber die Ausführung des Gewölbes selbst, sowohl in Backsteinen als in Werkstücken, könnten wir nur das schon bei den Tonnen- und Klostergewölben Gesagte wiederholen, da auch die über den Punkten o und f befindlichen Gewölbtheile oder Gewölbsteine (bei Werkstücken) die Hälfte des Schlusses eines regelmäßigen Klostergewölbes bilden, wie wir ein solches in Fig. 256 bereits dargestellt haben.

Das Kuppelgewölbe.

Anordnung.

§. 18.

Bei der Entwickelung der Gewölbformen haben wir das Kuppelgewölbe vom Klostergewölbe abgeleitet, dessen Grundriß ein Polygon von unendlich vielen Seiten oder ein Kreis ist. Darnach bildet die innere Fläche des Gewölbes (Intrados) eine Rotationsfläche, d. h. alle horizontalen Schnitte sind Kreise, deren verbundene Mittelpunkte die Achse der Erzeugungslinie geben, welche eine beliebige Kurve sein kann. Dessenungeachtet werden auch über achteckige Grundfiguren construirte überhöhte Gewölbe, wie sich solche über der Vierung romanischer Dome vorfinden, Kuppeln genannt. Die bedeutendste über einem Achteck construirte Kuppel befindet sich im Dom zu Florenz. Solche Kuppeln gehören streng genommen in die Abtheilung der Klostergewölbe.

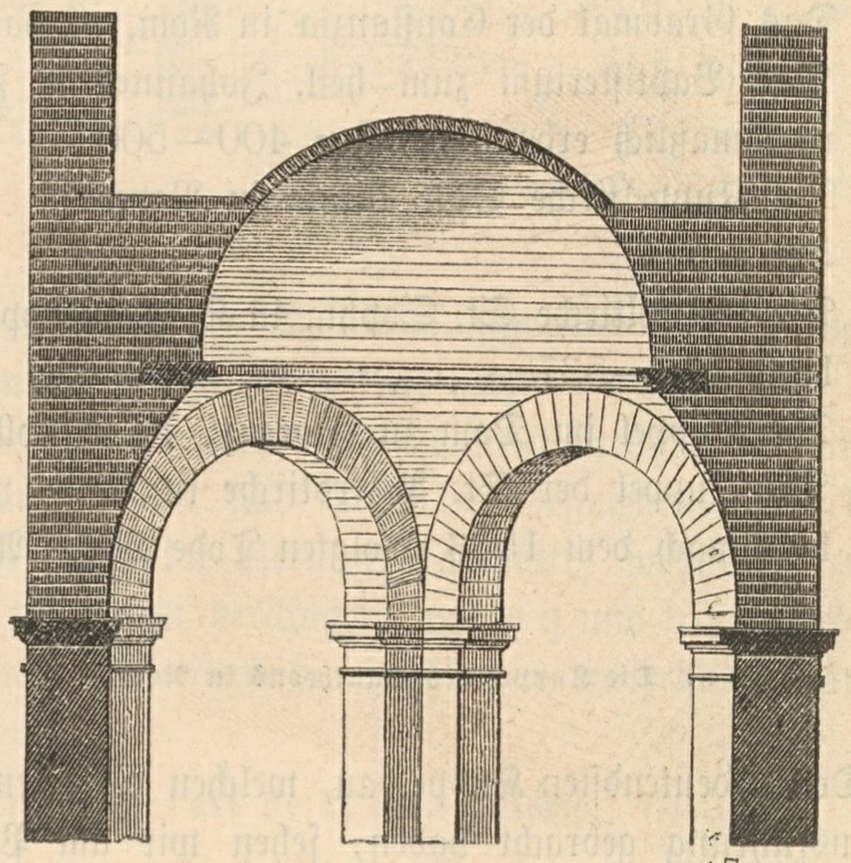
Die einfachste Form des Kuppelgewölbes bildet die hohle Halbkugel auf cylindrischem Unterbau, wobei die Schichten des Gewölbes immer concentrisch mit dem Unterbau laufen und nach dem Gewölbscheitel sich immer verkleinern, bis sie durch einen einzigen Schlußstein gedeckt werden. Die Lagerfugen sind sämmtlich nach dem Mittelpunkt der Kugel gerichtet, während die Stoßfugen in senkrechten Ebenen liegen, die durch den Kugelmittelpunkt gehen.

Ist jedoch das erwähnte Kuppelgewölbe über einem Viereck auszuführen, ein Fall, der häufiger als der vorhergehende vorkommt, so kann dieß auf zweierlei Weise geschehen.

1) Die Kuppel legt sich um die Grundfigur, Fig. 1 bis 4, Taf. 39, so zwar, daß sie deren Eckpunkte durchschneidet, und

2) die Kuppel legt sich in die Grundfigur und wird von deren Seiten berührt, Fig. 260—260 b. Was die

Fig. 260.



erste Form der Kuppel betrifft, so wird sie dadurch erhalten, daß man die vier Seiten des Grundrisses als Risse senkrechter Ebenen ansieht, welche von der Kugel vier gleiche oder zwei Paare verschiedener Segmente abschneiden, je nachdem der Grundriß ein Quadrat oder ein Rechteck ist. Dabei gibt der Diagonalschnitt den größten Halbkreis der Halbkugel.

Die zweite Constructionsweise unterscheidet sich von der ersten dadurch, daß nur die vier dreieckigen Gewölbfelder, Gewölbezwickel — pendentifs — in der Kugelfläche der ersten Annahme liegen, welche oben durch einen horizontalen, mittelst eines Gesimses ausgezeichneten Kreis begrenzt sind. Dieser Kreis dient der aufzusetzenden Kuppel als Fuß, welche somit von vier Gewölbezwickeln, die sich zwischen die Strebebögen einspannen, getragen wird, wie dieß Fig. 260 a im Grundriß, Fig. 260 b im Querdurchschnitt, und Fig. 260 im Diagonaldurchschnitt deutlich zeigt.

Fig. 260 a.

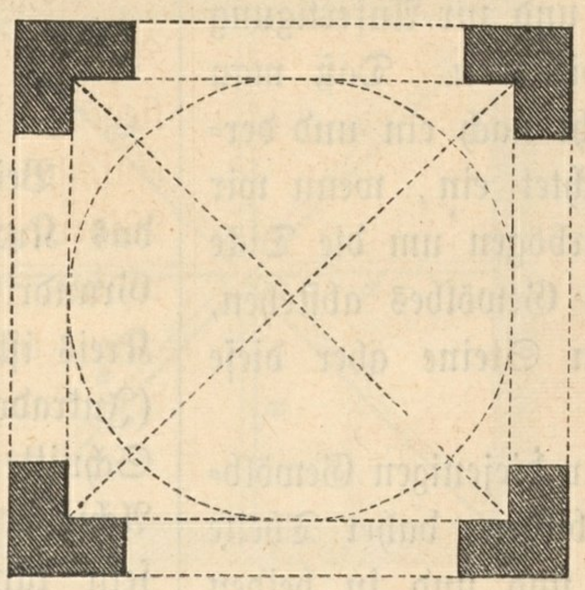
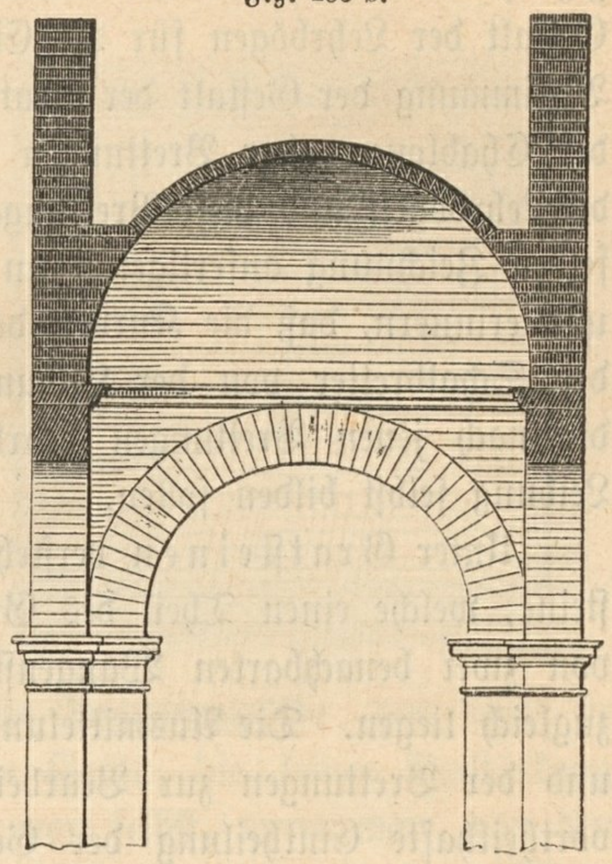


Fig. 260 b.



Da es insbesondere die Kuppelgewölbe sind, welche unter den ausgeführten Gewölben früherer Zeiten den ersten Platz einnehmen, und so vieles von sich reden machten, so scheint uns hier der Platz zu sein, die hauptsächlichsten Kuppelbauten aufzuführen, beziehungsweise diejenigen chronologisch zusammenzustellen, durch welche der technostatische Fortschritt in der Entwicklung der Kuppelconstructionen verfolgt werden kann. Selbstredend müssen wir uns hiebei kurz fassen, um die Grenzen dieses Werkes nicht allzusehr zu überschreiten.

Die Kuppelbauten, welche wir auf einander folgen lassen werden, sind:

a. Das Pantheon in Rom, im Jahr 25 n. Chr. vollendet.
b. Der Jupitertempel im Palaste des römischen Kaisers Diocletian zu Spalatro in Dalmatien. Erbaut 305.
c. Das Grabmal der Constanzia in Rom. Erbaut 360.
d. Das Baptisterium zum heil. Johannes in Florenz, muthmaßlich erbaut zwischen 400—500.
e. Die Kuppelkirche San Vitale in Ravenna. Erbaut 526—547.
f. Die Kuppelkirche St. Sophia in Konstantinopel. Erbaut 532—537.
g. Die Kuppel im Dom zu Florenz, 1434 vollendet.
h. Die Kuppel der St. Peterskirche in Rom, vollendet bald nach dem 1563 erfolgten Tode Michel Angelo's.

a. Die Kuppel des Pantheons in Rom.

Den bedeutendsten Kuppelbau, welchen die alten Römer zur Ausführung gebracht haben, sehen wir am Pantheon in Rom *), wie überhaupt der Gebrauch der Wölbung die wichtigste und fruchtbarste Neuerung war, welche die Baukunst den Römern verdankt. Die Construction ist höchst einfach. Ueber einer cylindrischen Umfassungsmauer von etwa 6 Meter Stärke, erhebt sich in Halbkugelform die Kuppel von 43 Meter innerem Durchmesser. Dieses Maß gilt auch für die lichte Höhe des Gebäudes, indem die Halbkugel, zur vollen Kugel ergänzt gedacht, von der Ebene des inneren Bodens nahezu berührt wird. Es haben somit das Widerlager und die Kuppel gleiche Höhe. Die Wand des Rundbaues ist, wie Fig. 262 im Grundriß und 261 im halben Durchschnitt zeigt, im Innern durch acht in der Mauerdicke angebrachte und von Wandpfeilern eingefaßte Nischen getheilt, von denen eine die Eingangsthüre bildet, die anderen sieben jede ein Götterbild enthielt. Das Gewölbe ist aus Backsteinen **) construirt, inwendig mit Cassetten versehen, welche mit einer vergoldeten Bronzeverkleidung geschmückt waren. Das Gewölbe hat oben eine runde Oeffnung „Oberlicht" von 9 Meter Durchmesser ***). Die Widerlagsmauer ist von der Kämpferlinie an noch bedeutend überhöht, um deren Stabilität zu vermehren, sowie der äußern Verhältnisse wegen einen Theil der Kuppel zu verbergen. An den runden Unterbau schließt sich eine geräumige Vorhalle mit Giebeldach an.

Nach Rondelet (l'art de bâtir) verhält sich die Grundfläche, welche die Umfassungsmauer einnimmt, zum überbauten Raum incl. dieser Mauer ca. wie 1 : 4. Ebenso

*) Erbaut von Marcus Agrippa, dem Tochtermann des Kaisers Augustus, und 25 Jahre n. Chr. vollendet. Das Gebäude wurde allen Göttern geweiht, daher der Name.

**) Man lese hierüber „Les édifices antiques de Rome, par Desgodetz", Paris 1779, pag. 8.

***) Nach der Messung von Isabelle „Les édifices circulaires et les domes". Paris 1843, pag. 49. In diesem Werke sind dem Pantheon 9 große Tafeln gewidmet, nebst ausführlicher Beschreibung.

Fig. 261.

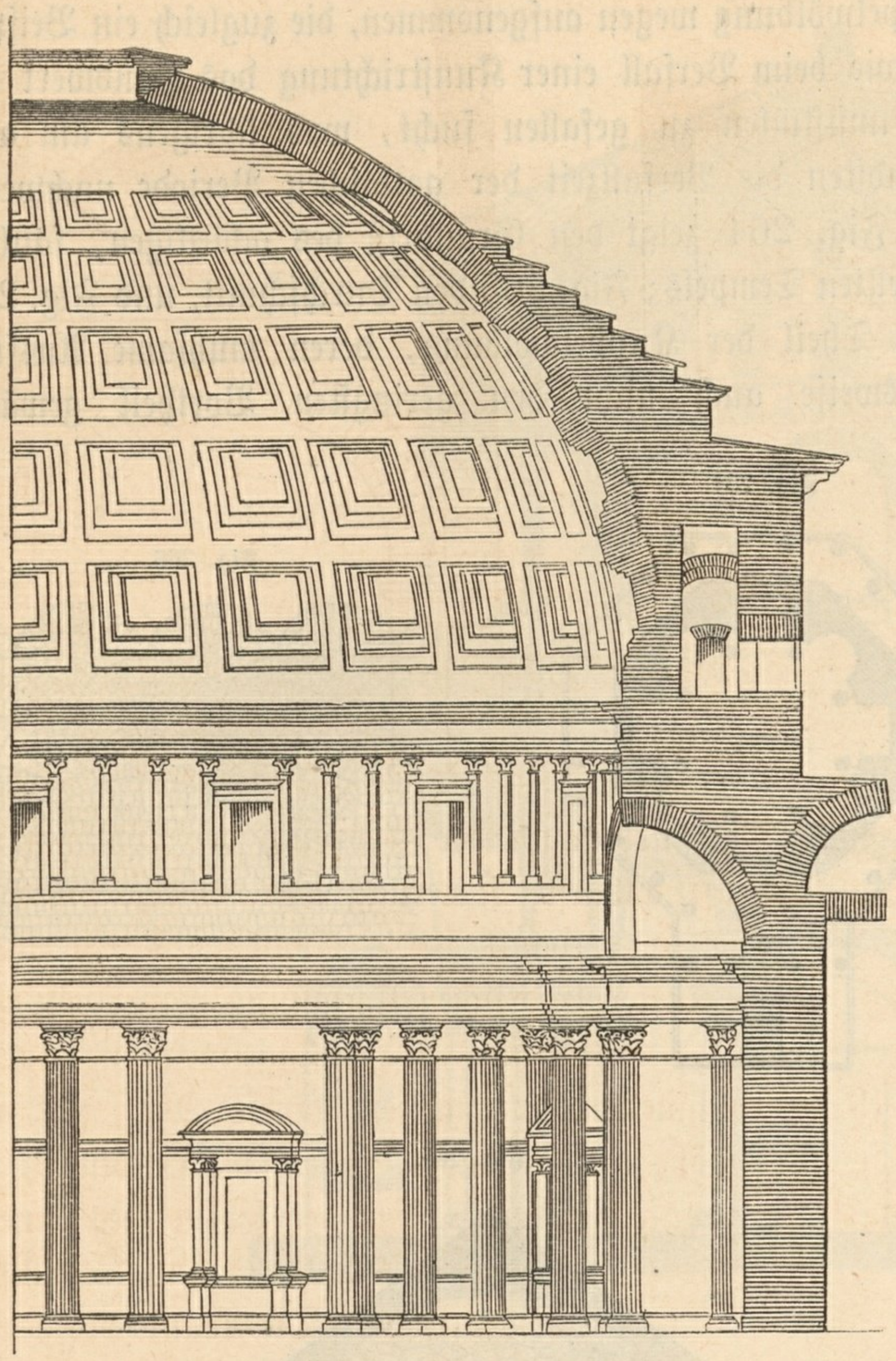
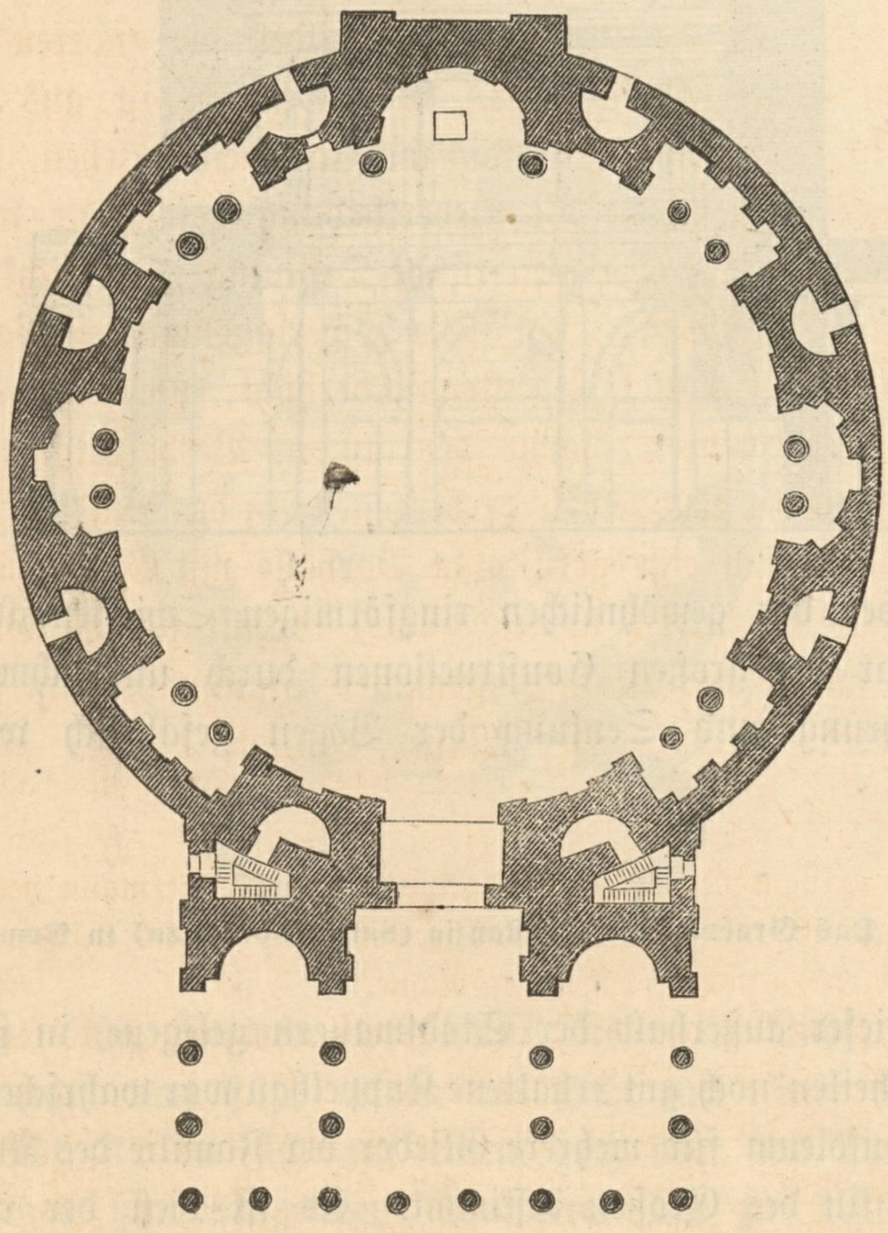


Fig. 262.

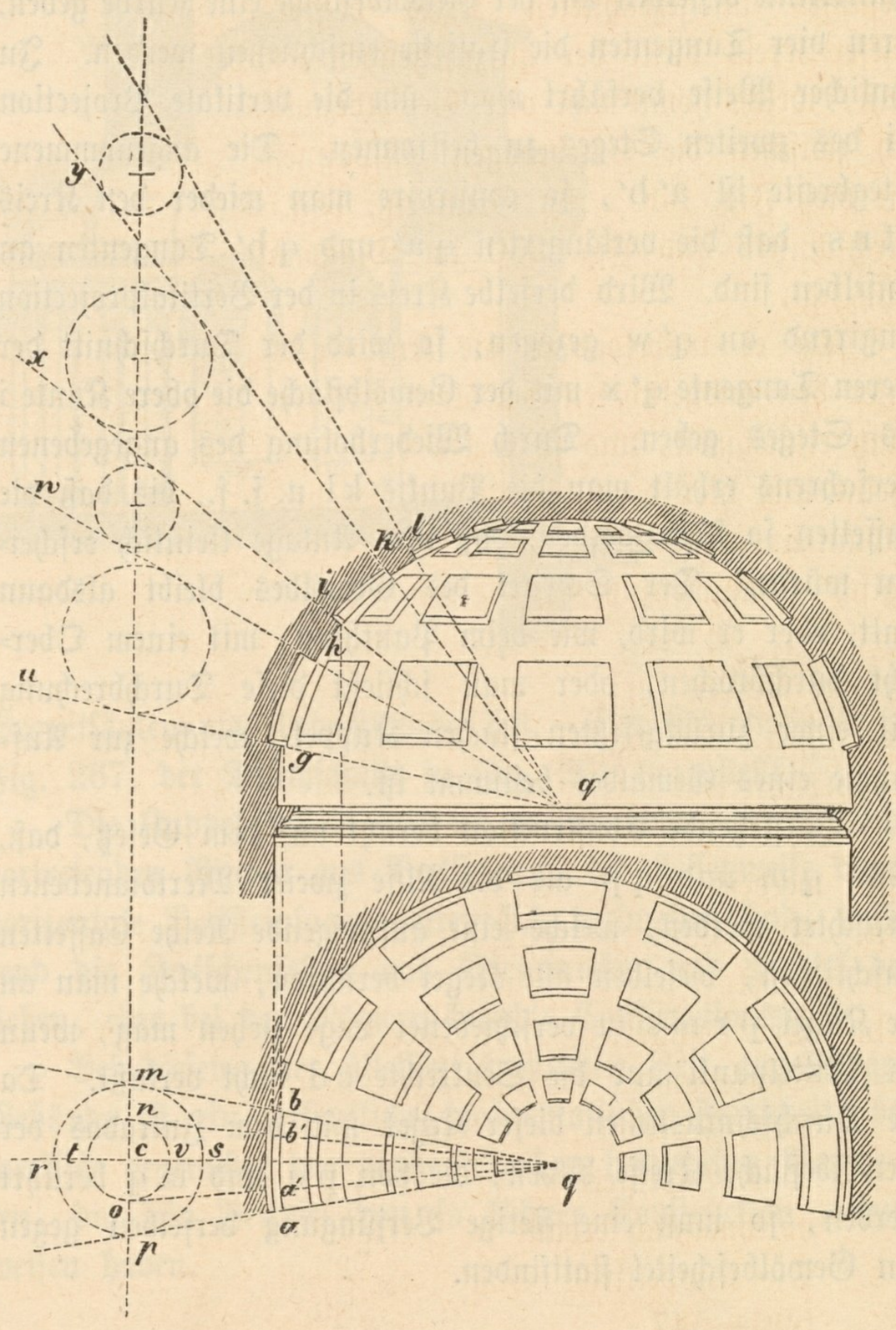


verhält sich die Widerlagerdicke zur Spannweite der Kuppel ca. wie 1 : 7.

So erstaunend die Spannweite dieser Kuppel für jene Zeit ist, so einfach ist dagegen auch der ihr zu Grunde liegende Formgedanke. Die Kuppel kann doch wohl nicht einfacher gedacht werden, als in Kugelform auf cylindrischem Widerlager von einer Höhe, welche gleich ist dem Kugelradius. Was die regelmäßige Eintheilung der Cassetten bei einem kugelförmigen Kuppelgewölbe betrifft, so folgen wir dem Emy'schen *) Verfahren.

Man bestimme im Grundriß, Fig. 263, die Anzahl und Breite der aufsteigenden Stege und Cassettenreihen

Fig. 263.



(an der Kuppel des Pantheon sind 28 aufsteigende und 5 horizontale Reihen Cassetten, gibt 140 Cassetten). Darnach bestimme man den ersten unmittelbar auf dem Kämpfergesimse aufsitzenden und durch die Gesimsausladung breiter bedingten Steg im Vertikaldurchschnitt, wodurch Punkt g gegeben ist. Man verlängere nun a q und b q, welche eine aufsteigende Cassettenreihe einschließen, nach Außen und be-

*) Traité de l'art de la charpenterie. Tome II.

trachte diese Linien als Tangenten eines beliebig angenommenen Kreises prms. Durch dessen Centrum c errichte man die Senkrechte cd, in welcher die Centra sämmtlicher Kreise liegen müssen, die zur Eintheilung der Vertikalprojection des Gewölbes nöthig sind. Der erste Kreis wird gleich dem prms der Art gezogen, daß die verlängerte q'g oder q'u denselben berührt, so wird der Durchschnitt h der oberen Tangente, oder q'w mit der Kugel die obere Kante des ersten Cassettenringes geben. Wir haben somit in ab die Breite und in gh die Höhe der Cassetten der ersten Reihe. Oder betrachtet man qm und qp als Horizontalprojection, q'u und q'w als Vertikalprojection eines um die Kugel prms beschriebenen Conus, so wird die Durchschnittslinie desselben mit der Gewölbefläche eine Kurve geben, deren vier Tangenten die Cassette einschließen werden. In ähnlicher Weise verfährt man, um die vertikale Projection hi des zweiten Steges zu bestimmen. Die angenommene Stegbreite ist a'b', so construire man wieder den Kreis otns, daß die verlängerten qa' und qb' Tangenten an denselben sind. Wird derselbe Kreis in der Vertikalprojection tangirend an q'w gezogen, so wird der Durchschnitt der oberen Tangente q'x mit der Gewölbfläche die obere Kante i des Steges geben. Durch Wiederholung des angegebenen Verfahrens erhält man die Punkte kl u. s. f., bis daß die Cassetten so klein werden, daß ihre Anlage kleinlich erscheinen würde. Der Scheitel des Gewölbes bleibt alsdann glatt, oder er wird, wie beim Pantheon, mit einem Oberlicht durchbrochen, oder man schließt diese Durchbrechung mit einer zurückgesetzten flachen Kuppel, welche zur Aufnahme eines Gemäldes bestimmt ist.

Vorstehende Construction beruht auf dem Gesetz, daß, wenn qm und qp als die Risse zweier Meridianebenen betrachtet werden, welche eine aufsteigende Reihe Cassetten einschließen, dieselben alle Kegel berühren, welche man an die Kugel prms in verschiedener Lage ziehen mag, wenn ihr Mittelpunkt nur die Senkrechte cd nicht verläßt. Da die Durchschnittslinien dieser Kegel mit dem Intrados der Gewölbefläche Kreise bilden, die von pq und mq berührt werden, so muß eine stetige Verjüngung derselben gegen den Gewölbescheitel stattfinden.

b. Der Jupitertempel im Palast des Kaisers Diocletian zu Spalatro

ist einer der beiden Tempel, welche Diocletian, nachdem er der Regierung 305 entsagt hatte, nebst einem prachtvollen groß angelegten Palast in Spalatro in Dalmatien erbauen ließ *).

*) Dieser Palast ist für die Geschichte der Architektur deshalb von so hohem Interesse, weil er mitten im Verfall der römischen Bauperiode schon die Keime einer neuen Richtung in sich verbirgt.

Wir haben dieß Gebäude nur seiner eigenthümlichen Kuppelwölbung wegen aufgenommen, die zugleich ein Beispiel ist, wie beim Verfall einer Kunstrichtung das Handwerk sich in Kunststücken zu gefallen sucht, was übrigens am auffallendsten die Verfallzeit der gothischen Periode nachweist.

Fig. 264 zeigt den Grundriß des achteckigen, säulenumstellten Tempels; Fig. 265 den Durchschnitt, und Fig. 266 einen Theil der Kuppelwölbung, deren mühsame Ausführungsweise auch nicht den geringsten Vortheil gewährt

Fig. 264.

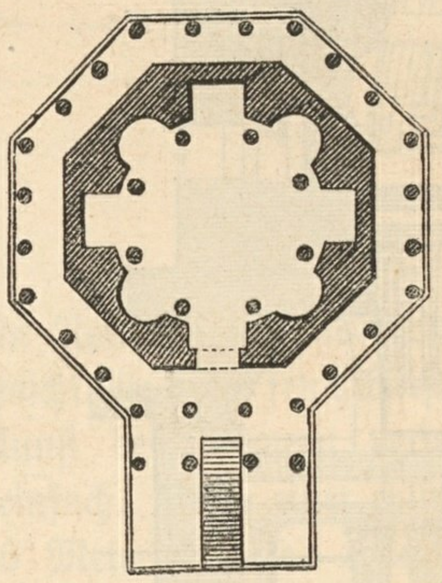


Fig. 266.

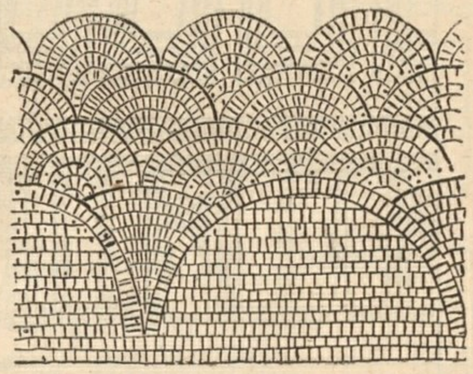
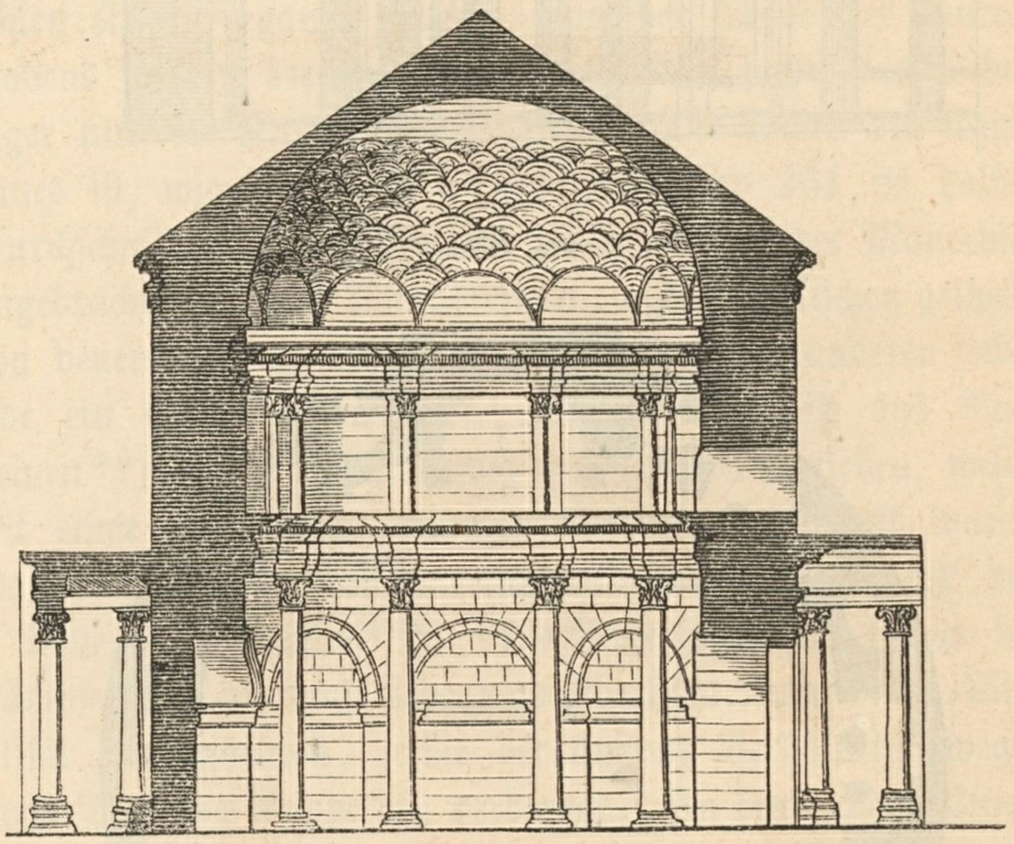


Fig. 265.



gegenüber der gewöhnlichen ringförmigen Schichtenbildung, ja sogar bei großen Constructionen durch ungleichmäßige Ausführung und Senkung der Bögen gefährlich werden kann.

c. Das Grabmal der Constanzia (Santa Costanza) in Rom.

Dieser außerhalb der Stadtmauern gelegene, in seinen Haupttheilen noch gut erhaltene Kuppelbau war wahrscheinlich ein Mausoleum für mehrere Glieder der Familie des Kaisers Constantin des Großen bestimmt. Es ist dieß der älteste christliche Kuppelbau von namhafter Größe und zweischiffiger

Fig. 268.

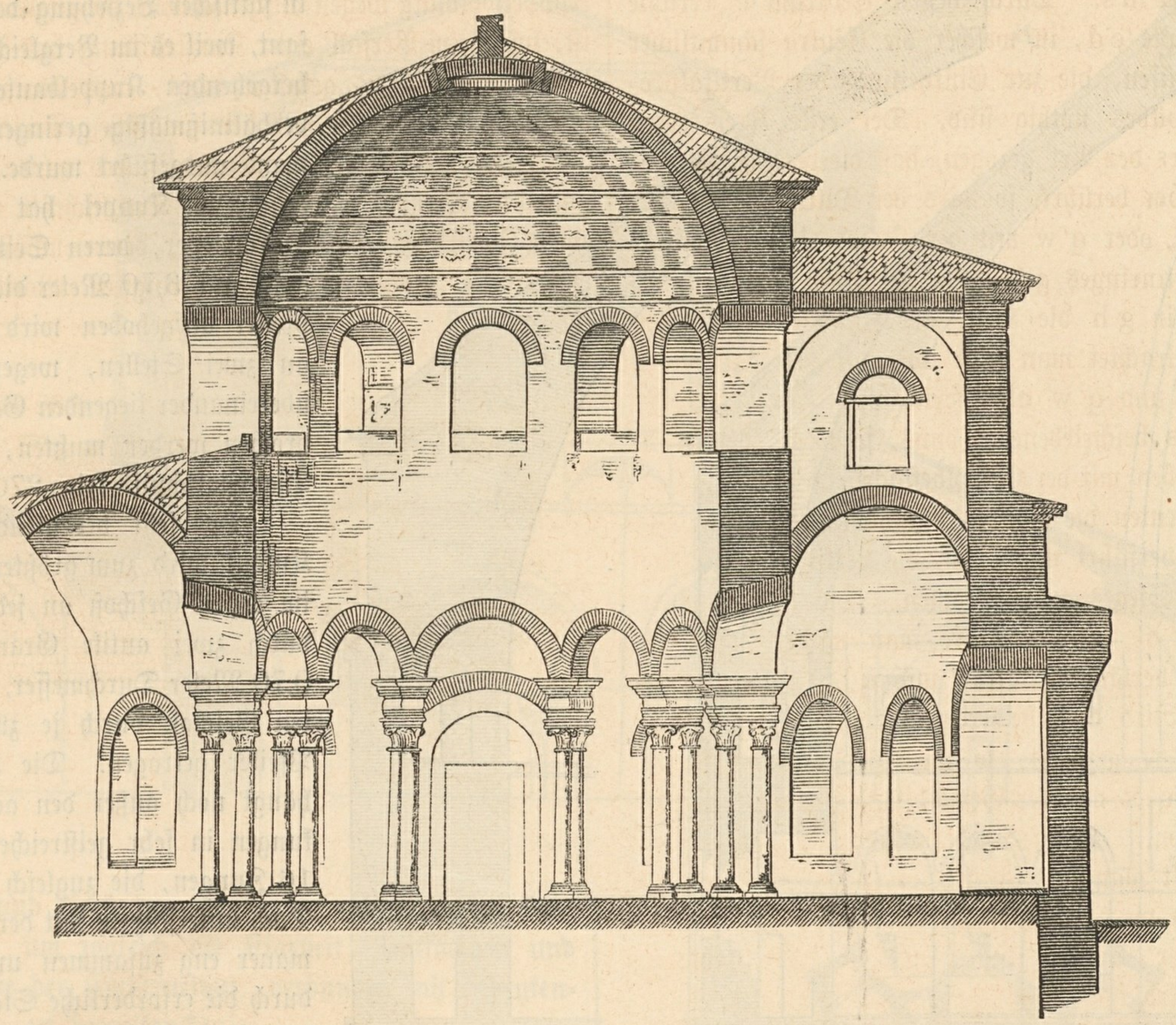
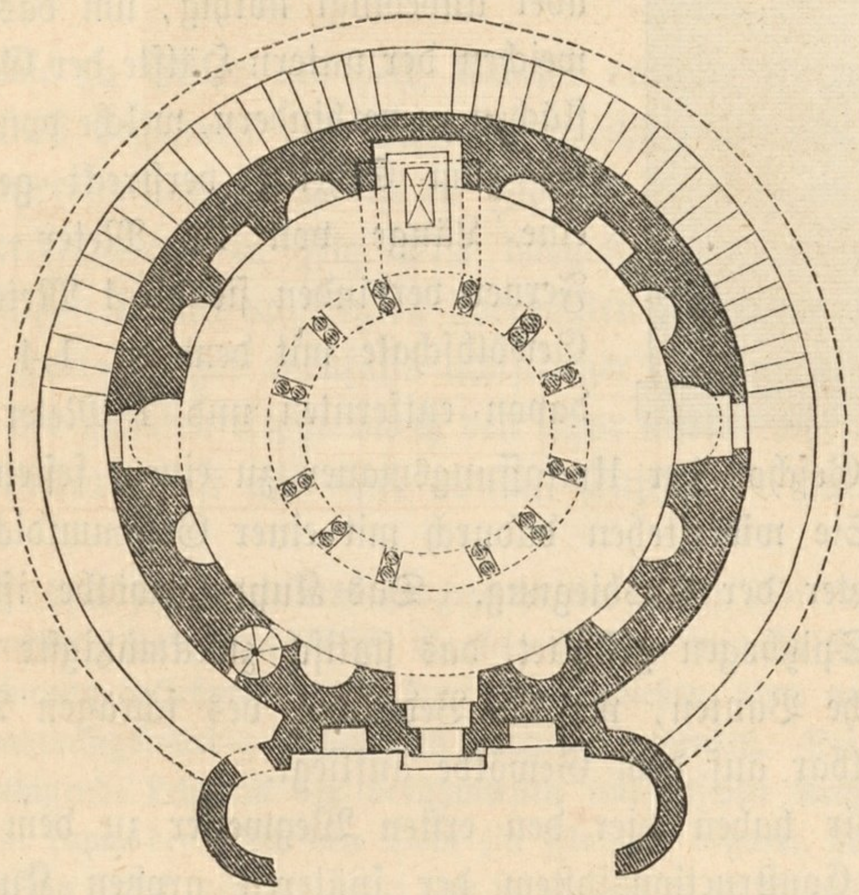


Fig. 267.



Granitsäulen als Unterstützung hat. Der Grundriß ist in Fig. 267, der Durchschnitt in Fig. 268 dargestellt.

Die Kuppel besteht aus 24 ansteigenden, jedoch nicht vortretenden Rippen aus Backsteinen, die stellenweise durch horizontale Backsteinlagen unter sich verbunden sind, während die Zwischenfelder aus Steinbrocken und Mörtel bestehen, eine bei den Römern beliebte Constructionsweise.

Bei diesem, der ältesten christlichen Zeit angehörigen Gebäude ist ein wesentlicher technostatischer Fortschritt bemerklich gegenüber den vorhergehenden heidnischen Bauwerken, die kein Beispiel von so kühner Construction aufzuweisen haben.

d. Das Baptisterium zum heil. Johannes (San Giovanni in Fonte) in Florenz.

Fig. 269 zeigt den Grundriß des achtseitigen Gebäudes in vier Theilen, wovon der erste durch einen Horizontalschnitt durch die unteren Säulen, der zweite durch die Galerie, der dritte durch die obersten Fenster, und endlich der vierte durch einen Schnitt über denselben erhalten wurde. Fig. 270 stellt in A den Querdurchschnitt zur Hälfte und in B den Diagonaldurchschnitt dar. Dieß Gebäude, die ehemalige Kathedrale von Florenz, ist ein bis zur Dachspitze

Anlage. Die Rotunde hat 22,5 Meter im Licht, deren Mittelraum von 11,3 Meter im Licht mit einer Kuppel überwölbt ist, die sich auf einem hoch über das Dach des Umganges hinausragenden Tambours bis zu 19 Meter vom inneren Boden erhebt und 12 Paar schlanke gekuppelte

Fig. 270.

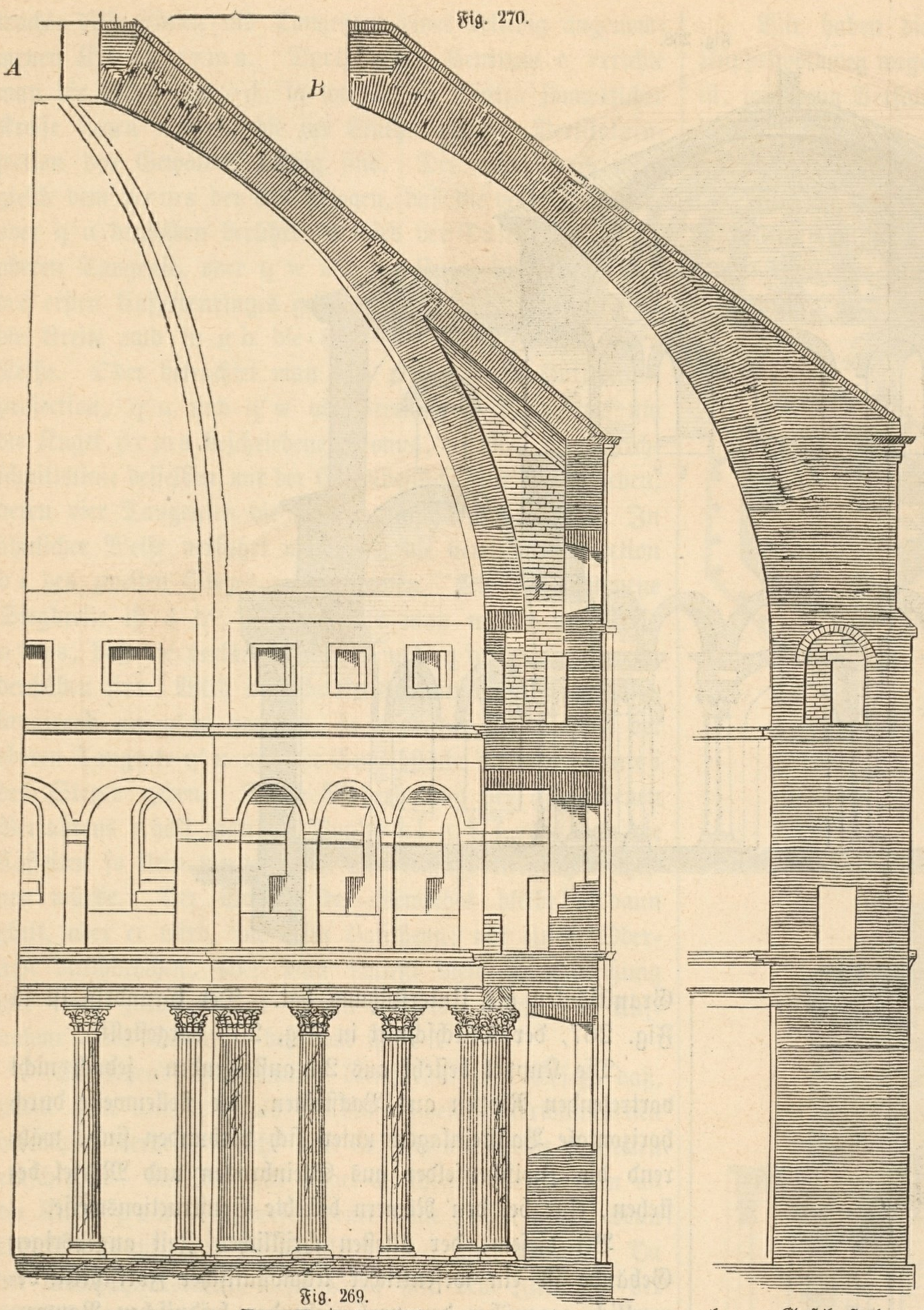
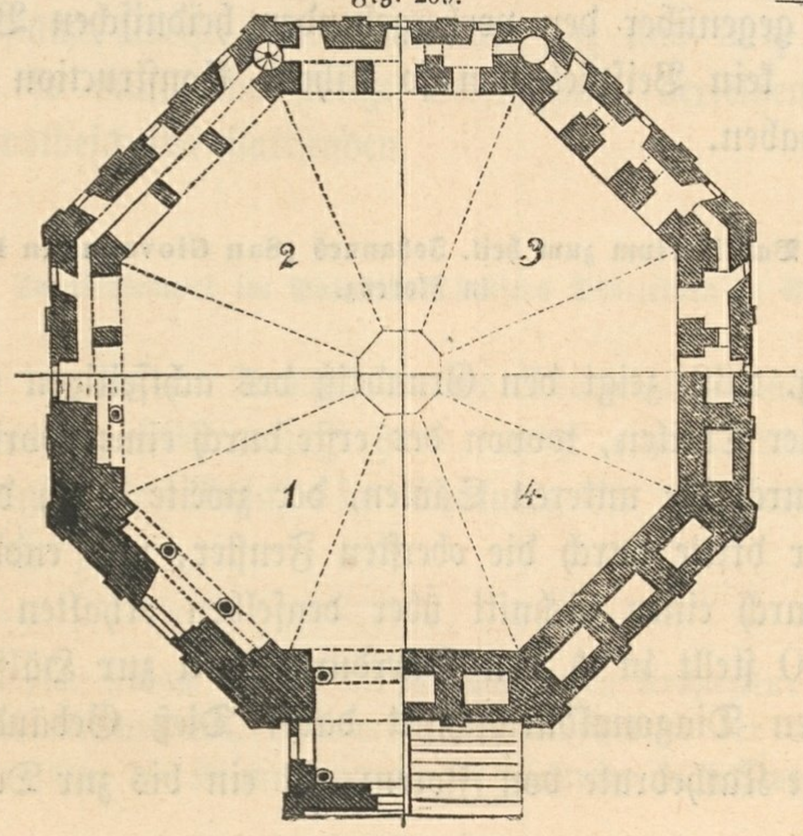


Fig. 269.



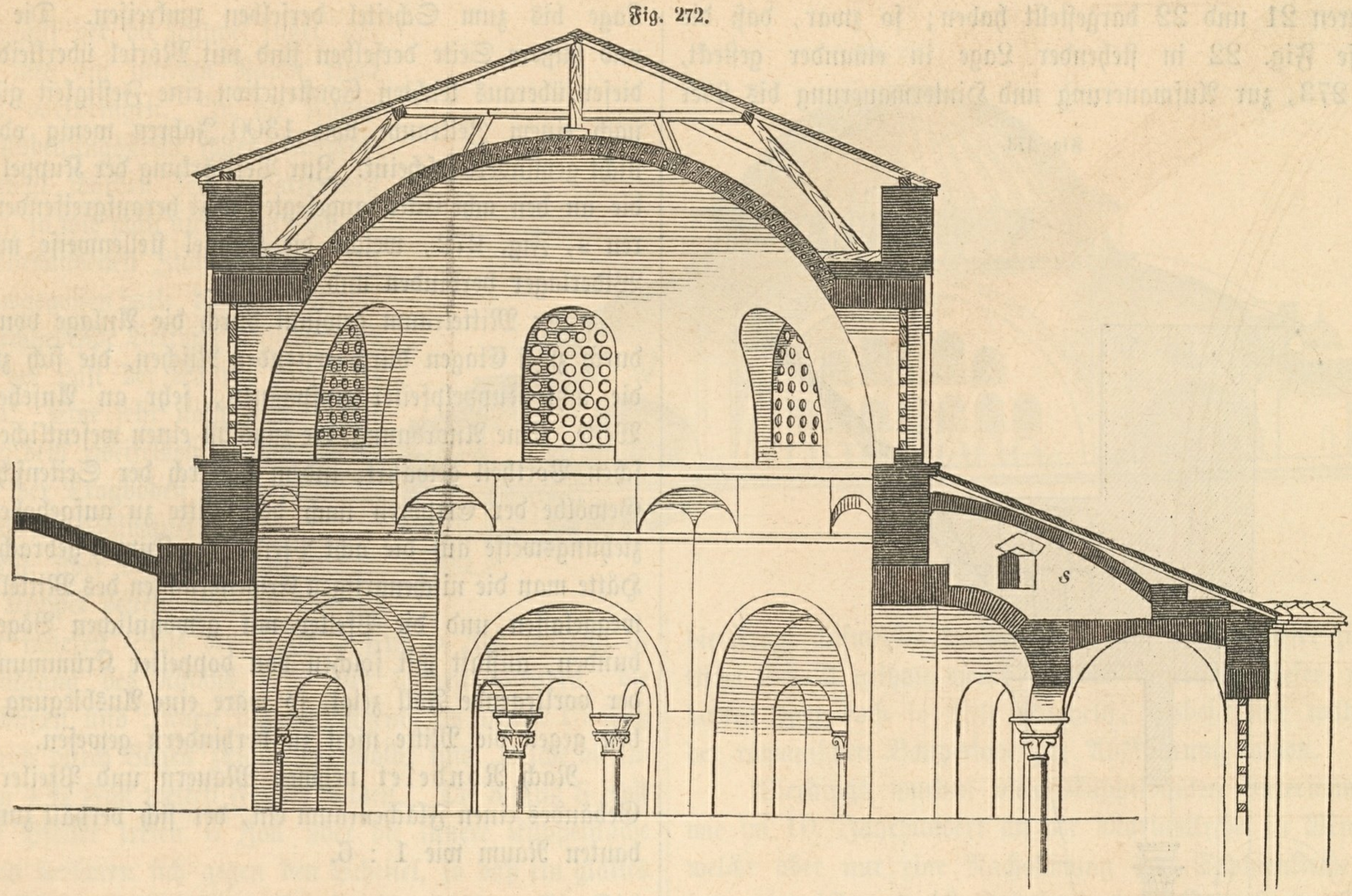
monumentaler Steinbau und für uns in statischer Beziehung deßhalb interessant, weil es im Vergleich mit den vorhergehenden Kuppelbauten mit einem verhältnißmäßig geringen Massenaufwand ausgeführt wurde.

Die Kuppel hat 25,6 Meter Durchmesser, deren Seitenschub durch acht, nur 3,70 Meter dicke Widerlagspfeiler aufgehoben wird, welche noch an zwei Stellen, wegen der beiden übereinander liegenden Galerien, durchbrochen werden mußten, wie dieß der Diagonalschnitt Fig. 270 B zeigt.

Die sehr bedeutende Last dieser Kuppel wird zum größten Theil unten im ersten Geschoß an jeder Achteckseite durch zwei antike Granitsäulen von 0,70 Meter Durchmesser, und im zweiten Geschoß durch je zwei gemauerte Pfeiler getragen. Die Kuppel selbst hängt noch außer den acht Eckverstärkungen in sehr geistreicher Weise durch 16 Zungen, die zugleich das steinerne Dach unterstützen, mit der Umfassungsmauer eng zusammen und erhält dadurch die erforderliche Stärke, während das Gewölbe selbst nur 1 Meter dick ist. Diese Zungen oder Sporen sind aber unbedingt nöthig, um das Ausweichen der untern Hälfte der Gewölbflächen zu verhindern, welche von unten bis zum Scheitel verstreckt gemessen eine Länge von 23 Meter haben. Ferner verbinden sie die 1 Meter dicke Gewölbschale mit dem ca. 1,4 Meter davon entfernten und 1 Meter dicken oberen Geschoß der Umfassungsmauer zu einem festen Körper. Sie widerstehen dadurch mit einer Gesammtdicke von 3,4 Meter der Ausbiegung. Das Kuppelgewölbe ist nach einem Spitzbogen gestaltet, das statisch zweckmäßigste Profil für solche Bauten, wo die Bedeckung des schrägen Daches unmittelbar auf dem Gewölbe aufliegt.

Wir haben hier den ersten Wegweiser zu dem sinnreichen Constructionssystem der späteren großen Kuppeln, die aus zwei durch vertikale Rippen zu einem Körper verbundenen Schalen bestehen, vor uns. Es ist hier die Construction der Florentiner Doppelkuppel angebahnt, welche aber erst 1000 Jahre später zur Ausführung kommen sollte. Man braucht auch nur die Durchschnitte und den mit 4 bezeichneten Theil des Grundrisses, auf welchem die Eck-

Fig. 272.



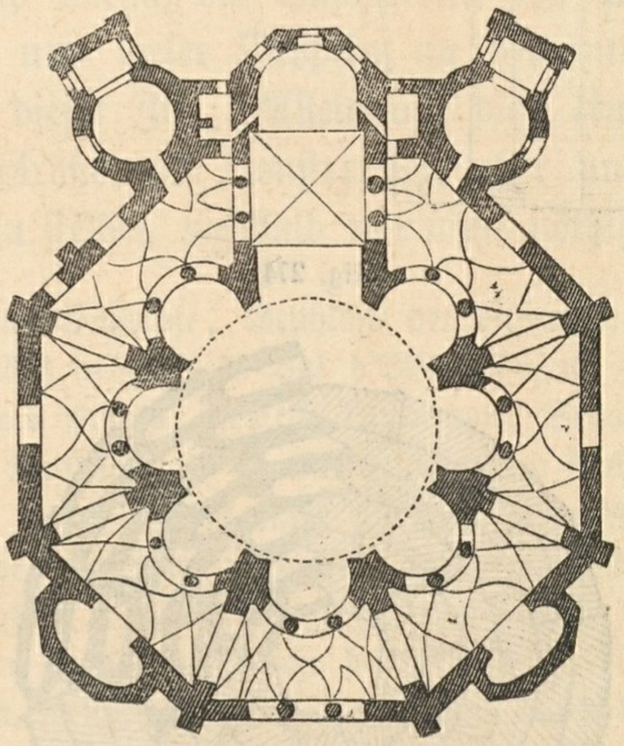
verstärkungen und die beiden Zwischensporen angegeben sind, zu betrachten, um sogleich die Klarheit, Einfachheit und Massenökonomie der Construction, verbunden mit bedeutender Stabilität, zu begreifen *).

c. San Vitale in Ravenna.

Diese zu Ehren des heil. Vitales erbaute Kuppelkirche wurde 526 begonnen und 547 eingeweiht. Der Grundriß dieser interessanten Kirche ist in Fig. 271, und ein Theil des Durchschnittes in Fig. 272 dargestellt. Um den im regelmäßigen Achteck angelegten überhöhten Mittelbau schließt sich ein zwei-etagiger ebenfalls achtseitiger Umgang an, welcher in der zweiten Etage durch den Chor unterbrochen wird. Der Mittelraum ist mit einer runden Kuppel in Halbkreis-

*) Hübsch sagt in seinem ausgezeichneten Werk: „Die altchristlichen Kirchen", Karlsruhe 1858, S. 44, welchem wir Beschreibung und Zeichnung entlehnten: „Ich kann nicht schließen, ohne nochmals der bewunderungswürdig construirten Kuppel zu gedenken. Sie wurde die ermuthigende Lehrerin der berühmtesten italienischen Architekten. Arnolfo di Lapo, der 1298 den Dom (in Florenz) begann, hätte gewiß nicht den Muth gehabt, dabei eine so großartige Kuppelanlage zu projektiren, wenn er nicht die gegenüberstehende Kuppel von San Giovanni täglich betrachtet hätte. Brunneleschi wagte aber darauf hin die Domkuppel im 15. Jahrhundert wirklich zu beginnen und auszuführen. Und Michel Angelo konnte im 16. Jahrhundert nur darum den Gedanken und den Muth zu seiner immensen Peterskuppel fassen, weil er als Florentiner beide große Kuppeln von Jugend auf vor Augen gehabt hatte."

Fig. 271.



form von 19,6 Meter Durchmesser überdeckt und mit einem achtseitigen Walmdach versehen, während die meisten Kuppeln im Orient dieses Schutzes entbehren. Um die kreisförmige Basis der Kuppel leichter auf die achtseitige Unterstützung setzen zu können, sind an den Ecken kleine Bögen angebracht, wodurch die Seitenzahl der Grundfigur verdoppelt und die Ueberkragung ermöglicht und vermittelt wird. Die Wölbung dieser äußerst interessanten und mit einem Minimum an Gewicht ausgeführten Kuppel ist mit Töpfen *) bewerkstelligt, welche wir auf Seite 13 in den

*) Der Gebrauch der hohlen Gefäße, um Mauern und besonders Gewölbe leichter zu machen, reicht nicht weit über die ersten Zeiten des Verfalls der Kunst in Italien.

Figuren 21 und 22 dargestellt haben; so zwar, daß die Töpfe Fig. 22 in stehender Lage in einander gesteckt, Fig. 273, zur Aufmauerung und Hintermauerung bis über

Fig. 273.

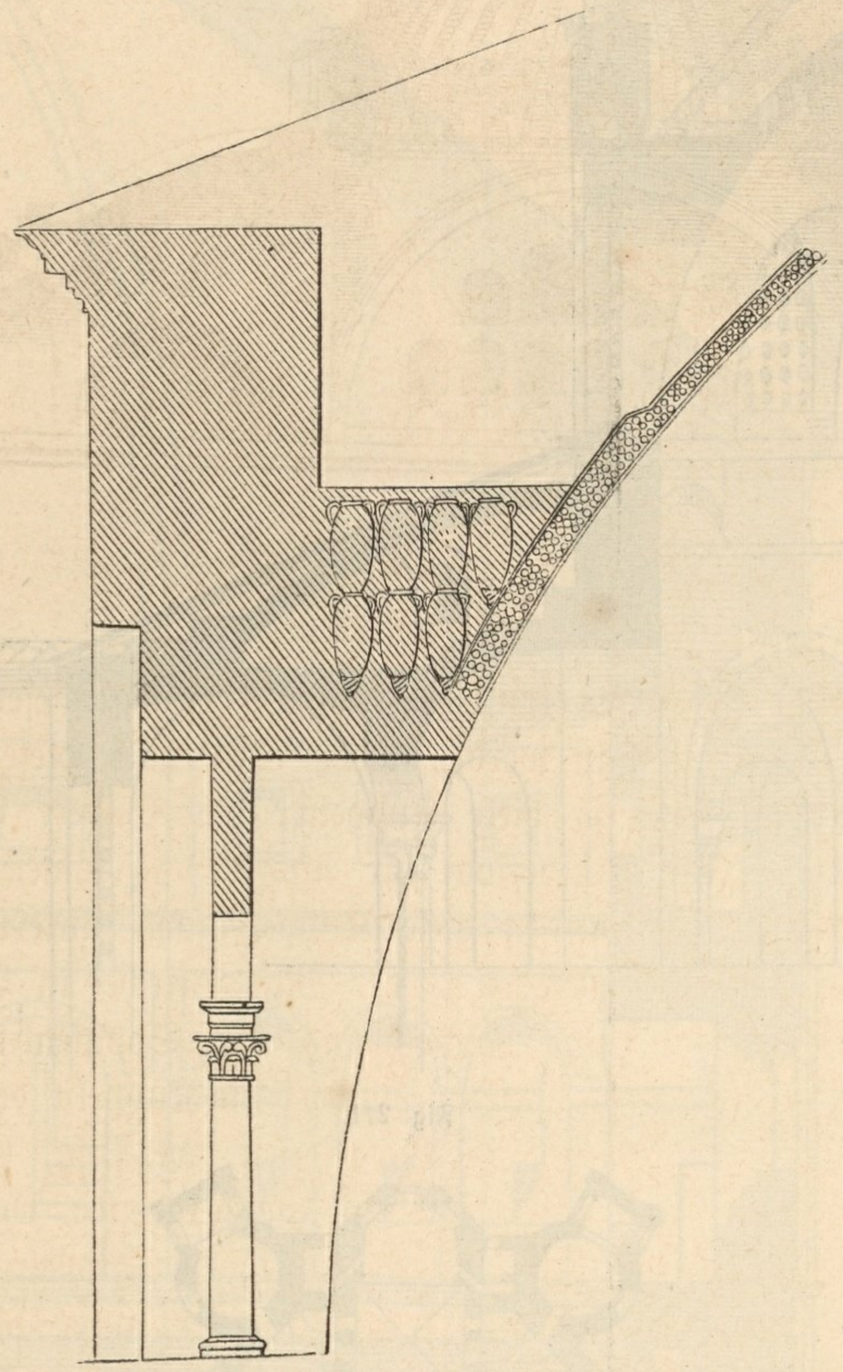
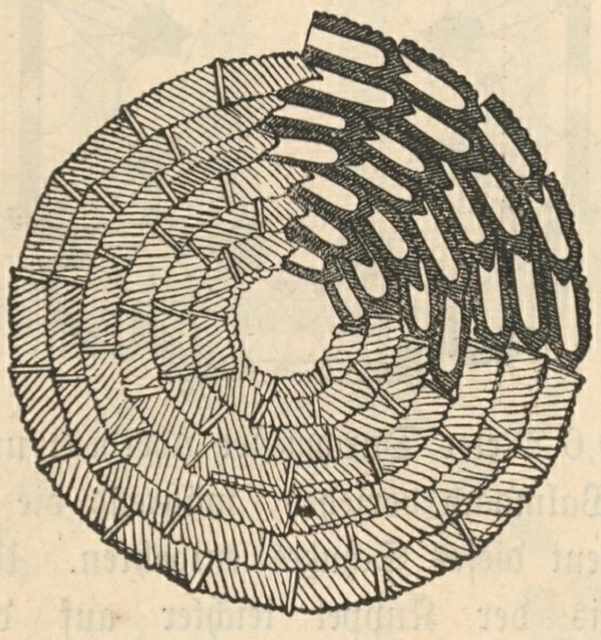


Fig. 274.



den Scheitel der Fenster dienten*), während von da an die Töpfe, Fig. 21, liegend ineinander gesetzt verwendet wurden und nach Fig. 274 die Kuppel spiralförmig in doppelter Lage bis zum Scheitel derselben umkreisen. Die innere und äußere Seite derselben sind mit Mörtel überkleidet, der dieser überaus leichten Construction eine Festigkeit gibt, die nach einem Zeitraum von 1300 Jahren wenig oder gar nicht gemindert erscheint. Zur Verstärkung der Kuppel dienen die an den acht Ecken angelegten weit heraufgreifenden Sporen s, Fig. 272, welche die Kuppel stellenweise mit dem Widerlager verbinden und absteifen.

Der Mittelraum gewinnt durch die Anlage von sieben durch zwei Etagen durchgreifenden Nischen, die sich zwischen die acht Kuppelpfeiler einspannen, sehr an Ansehen und Weite. Eine Anordnung, die zunächst einen wesentlichen statischen Vortheil gewährt, indem dadurch der Seitenschub der Gewölbe der Emporen nach der Mitte zu aufgehoben, beziehungsweise auf die acht Pfeiler der Kuppel gebracht wird. Hätte man die nischenartigen Erweiterungen des Mittelraumes weggelassen und die Pfeiler mit gewöhnlichen Bögen verbunden, anstatt mit solchen von doppelter Krümmung, wie der vorliegende Fall zeigt, so wäre eine Ausbiegung derselben gegen die Mitte nicht zu verhindern gewesen.

Nach Rondelet nehmen Mauern und Pfeiler dieses Gebäudes einen Flächenraum ein, der sich verhält zum überbauten Raum wie 1 : 6.

f. Die Sophienkirche in Konstantinopel *).

Unter der Regierung des Kaisers Justinian wurde dieser Tempel der göttlichen Weisheit von 532—537, zur Zeit der Erbauung von St. Vitale in Ravenna, von den griechischen Baumeistern Anthemius von Tralles und Isidorus von Milet erbaut **).

Vier gewaltige Pfeiler bilden in der Mitte des berühmten Werkes byzantinischer Kunst ein Quadrat von ca. 31,4 Meter Seite oder 100 Fuß preuß., welche mittelst gewaltiger Rundbögen von 6 Fuß Höhe im Scheitel verbunden sind. Zwischen diese Bögen spannen sich die vier Eckgewölbe (Zwickel, Pendentifs), die oberhalb des Scheitels der Bögen einen 100 Fuß weiten Kreis oder Fußkranz bilden, welcher der flachen Kuppel „Calotte“ als Basis dient. Dieser Fußkranz besteht aus Schnittsteinen, welche die obere

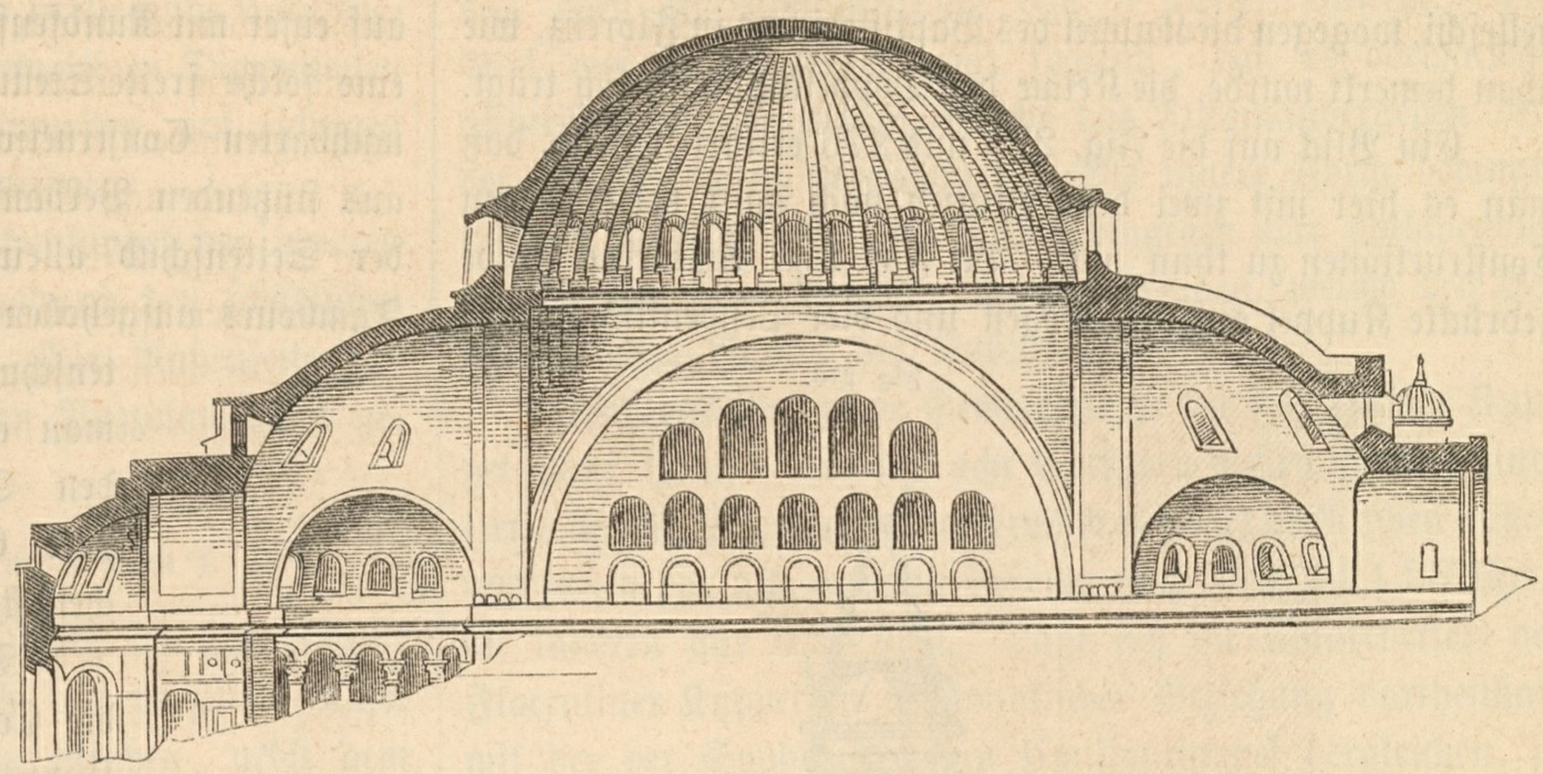
*) Anstatt der Hintermauerung könnte auch eine Verspannung mittelst schwacher Gewölbe geschehen, wodurch ebenfalls eine Erleichterung stattfände und derselbe Zweck erreicht würde; ein Mittel, dessen man sich besonders bei Gewölben bedient, die zur Aufnahme eines Bodens ausgeglichen werden sollen.

*) Dieses interessante altchristliche Baudenkmal ist vollständig aufgenommen und beschrieben von Salzenberg: „Altchristliche Baudenkmale von Konstantinopel. Berlin 1854.“

**) Zweiundzwanzig Jahre nach der Einweihung stürzte der östliche Theil der Kuppel in Folge eines Erdbebens ein. Hierauf ließ Justinian durch den Neffen gleichen Namens des indessen gestorbenen Isidors die Pfeiler verstärken und die Kuppel selbst um 25 Fuß preuß. höher aufführen, worauf die Kirche 563 zum zweiten Mal eingeweiht wurde. Dieß ist der heutige dreizehnhundertjährige Bestand der Kuppel, welche uns hier zunächst interessirt, indem wir im Uebrigen auf das erwähnte treffliche Werk verweisen.

Fläche, auf der die Kuppel fußet, abdecken und am inneren Rande etwa 9 Zoll vorspringen. In die Fugen dieser Abdeckungssteine sollen Bleiplatten gelegt worden sein (Salzenberg S. 69), so wie man außerdem noch die etwa vorhandenen Zwischenräume mit Blei ausgegossen hatte, damit die Steine eine nachgebende Bettung erhielten und unter der Last der Kuppel nicht zerbrächen. Eine sehr nothwendige Vorsicht bei dem zweifelsohne verschiedenen Setzen der Tragböden und der Zwickel nebst ihrem Füllmauerwerk.

Fig. 275.



Die über dem Fußkranz aufgeführte Kuppel besteht zunächst aus 40 an der inneren Seite der Basis 3 Fuß 5 Zoll breiten, in der Richtung des Radius 8½ Fuß langen Pfeilern, die nach Außen und Innen sich verjüngend, im Mittel 15 Fuß hoch und durch Bogen zusammengewölbt sind, welche die im Innern 4¾ Fuß weiten Fenster bilden. Die 3 Fuß 5 Zoll breiten Pfeiler treten 6 Zoll über die innere Kuppelfläche vor und verlieren sich gegen den Scheitel, so daß ein glattes Scheitelfeld von 32,5 Fuß Durchmesser bleibt. Die Dicke der Kuppel beträgt über den Fensterscheiteln 29, in ihrem Scheitel 24 Zoll. Sie ist aus Backsteinen construirt, welche im unteren Theile der Kuppel 27 Zoll lang, 9 Zoll breit und 2 Zoll dick sind; auch sollen Steine von 27 Zoll im Quadrat vorkommen. Im oberen Theile der Kuppel, wo sie nur 24 Zoll Dicke hat, müßten die Steine kürzer sein, als die am unteren Theile verwendeten. In den Zwickeln ist als Füllmaterial ein leichtes weißliches Sintermaterial mit Pflanzenabdrücken gefunden worden, welches aber nicht geformt war*). Der Mörtel hatte eine röthliche Farbe und scheint mit Zusatz von Ziegelmehl bereitet zu sein; die Mörtelfugen sind 1 bis 2 Zoll stark. Die vier Hauptpfeiler, welche die Kuppel tragen, sind aus Werksteinen, einer Art Peperino, ausgeführt.

Nach Rondelet verhält sich der durch Mauern und Pfeiler eingenommene Flächenraum des Gebäudes zum überbauten Raum wie 1 : 4,7.

g. Die Doppelkuppel in der Kirche Santa Maria del Fiore zu Florenz**).

Zwischen der Erbauungszeit der soeben besprochenen Kuppel der Sophienkirche und der Florentinischen liegt ein Zeitraum von ca. 900 Jahren, weßhalb man mit Recht die Frage aufwerfen kann, warum auf einmal dieser gigantische Schritt gethan werde, indem innerhalb dieser namhaften Zeit doch so viele Kuppeln, insbesondere während der romanischen Bauperiode zur Ausführung kamen.

Allerdings wurden viele Kuppelbauten unternommen wie im 10. Jahrhundert an der Markuskirche in Venedig, welche aber nur eine Nachahmung der Sophienkirche ist; ferner im 12. und 13. Jahrhundert die Kuppeln der Dome von Pisa und Siena, der Baptisterien von Pisa, Cremona und Parma und vieler Kuppeln an bekannten rheinischen Bauten aus dieser Zeit. Allein alle diese Kuppeln sind in Bezug auf Größe und Construction eher unter die zuletzt betrachteten zu stellen, weßhalb wir nicht nöthig fanden, eine

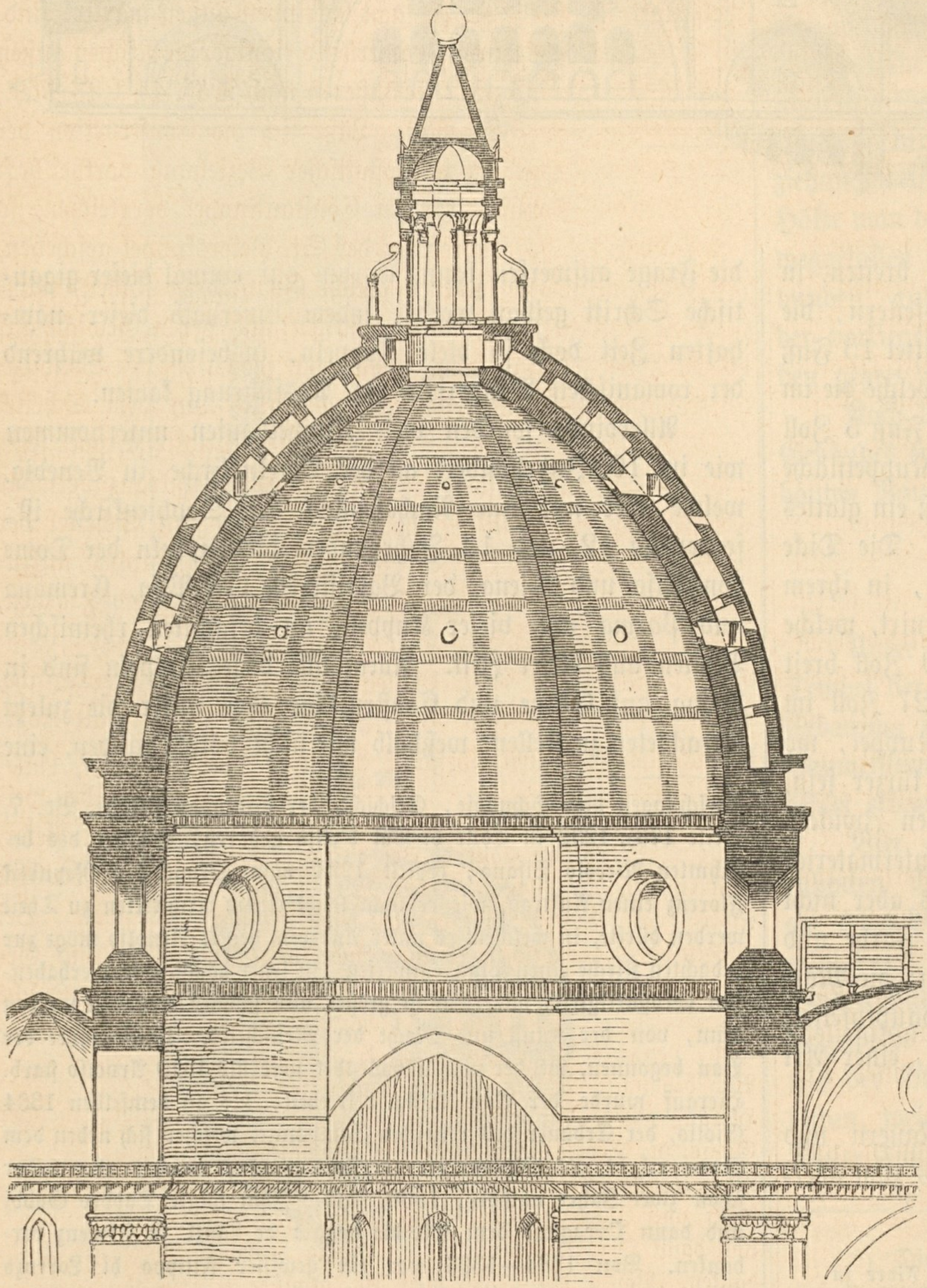
*) Von den auf Rhodus gefertigten Ziegeln von ganz besonderer Leichtigkeit, die zum Kuppelbau verwendet worden seien, deren einige Schriftsteller erwähnen, fand Salzenberg keine Spur.

** Die Geschichte des interessanten Bauwerkes zeichnet sich in den Hauptzügen wie folgt: Arnolfo di Cambio (nach neueren Forschungen von Schnaase, Geschichte der bildenden Künste, Bd. 7, Seite 173), 1232 in Colle di Val d'Elsa geboren, Schüler des berühmten Niccolo Pisano, erhielt 1294 vom Senat der Republik Florenz einen Auftrag, wie er nicht leicht einem Architekten zu Theil werden dürfte, in welchem es unter Anderem heißt: Arnolfo möge zur gedachten Kirche einen Plan entwerfen „in jener höchsten und erhabensten Großartigkeit, wie er nicht größer und schöner erfunden werden kann, von der Kunst und Macht der Menschen". 1298 wurde der Bau begonnen, welcher noch unvollendet war als 1310 Arnolfo starb. Hierauf wurde der Bau lässig betrieben, bis an demselben 1334 Giotto, der Erbauer des reizenden Campanile, welcher sich neben dem Dome erhebt, als Obermeister angestellt wurde, welcher aber leider schon zwei Jahre nachher, 1336, starb. Ihm folgte Taddeo Gaddi und dann Orcagna, dem wir die Loggia de Lanzi in Florenz verdanken. Von 1384—1396 war ein gewisser Filippo di Lorenzo thätig, worauf endlich der Erbauer der Kuppel, der berühmte Brunelleschi folgte. Er begann sein Werk nach Ueberwindung unzähliger Schwierigkeiten 1421 und vollendete es 1434 mit Ausnahme der Laterne, welche erst nach des großen Meisters Tod, der 1444 erfolgte, aufgesetzt wurde. Noch ist dieses Bauwerk unvollendet, indem die vordere Façade fehlt, welche, da Florenz, wenn auch nur vorübergehend, die Capitale des Königreichs Italien wurde, hoffentlich nicht lange auf sich warten lassen wird. Man lese hierüber einen schwungvollen, sehr anregenden Aufsatz von dem leider für die Kunst zu frühe verstorbenen Architekten J. G. Müller aus St. Gallen in Förster Bztg. Jahrgang 1847, S. 179.

aufzunehmen. Sie können uns daher auch nicht als vermittelnde Glieder dienen zwischen der Sophienkuppel und der des Brunelleschi, wogegen die Kuppel des Baptisteriums in Florenz, wie schon bemerkt wurde, die Keime der Doppelkuppel in sich trägt.

Ein Blick auf die Fig. 275 und 276 erklärt sogleich, daß man es hier mit zwei dem Prinzip nach ganz verschiedenen Constructionen zu thun hat. Bei Fig. 275 ruht eine runde gedrückte Kuppel auf vier Bogen und vier Pendentifs, welche

Fig. 276.



deren Gewicht auf vier Hauptpfeiler reduciren, während der Seitenschub der Kuppel durch die Hauptbogen und Zwickel aufgehoben werden muß, was theilweise durch die benachbarten an die Hauptbogen sich anschließenden Gewölbe geschieht. Figur 276 hingegen zeigt uns eine achtseitige, stark überhöhte Kuppel von 43 Meter = 137 Fuß pr. Weite, deren Verticaldruck nicht indirekt — wie bei Fig. 275 — sondern direkt auf acht Pfeiler gebracht wird. Auch mit der Begegnung des Seitenschubes verhält es sich hier anders, indem der Fußkranz der Kuppel vermöge seiner hohen Lage auf einer mit Rundfenstern versehenen Trommel — Tambour eine solche freie Stellung einnimmt, daß er mit den benachbarten Constructionstheilen in keinerlei von der Seite aus stützenden Verband gebracht werden konnte, und somit der Seitenschub allein durch die Widerstandsfähigkeit des Tambours aufgehoben werden mußte. Um daher den Seitenschub möglichst zu verringern, wählte man eine Form, welche mit Rücksicht auf den Styl des Gebäudes und die äußere Erscheinung der Kuppel die entsprechendste ist.

Die wesentlichsten Unterschiede zeigen aber die Constructionen der Kuppeln selbst. Die Kuppel der Sophienkirche stellt ein einfaches gegen den Scheitel um 5 Zoll sich verjüngendes Gewölbe dar, dessen Fuß durch 40 radial angelegte, nach außen sich verbreiternde Pfeiler von oben beschriebenen Dimensionen verstärkt ist, und welche zugleich zur Verminderung des Seitenschubs der Kuppel wesentlich beitragen. Diese Pfeiler setzen sich als Rippen im Gewölbe fort und verlaufen sich gegen den Scheitel hin, so daß ein Scheitelfeld von 32,5 Fuß Durchmesser bleibt. Die Kuppel bildet Decke und Dach zugleich, eine für das Klima des Orientes passende Construction. Hingegen zeigt uns die Kuppel in Florenz die erste Doppelkuppel, ein zweischaliges Gewölbe von 1,50 Met. Zwischenraum, in welchem sich die zur Laterne führende Treppe befindet. Das äußere Gewölbe hat 1,20, das innere 2,26 Met. Stärke an der Basis. Beide Kuppelgewölbe sitzen auf zwei Schichten fester Steinplatten, welche den Tambour abdecken*). Die beiden Gewölbeschalen sind mit einander verbunden und verstärkt durch acht von den Ecken auslaufenden Hauptrippen von 5 Fuß Breite, die sich oben an einen starken Gewölbkranz anschließen, auf welchem die Laterne sich stützt, und 16 Zwischenrippen, von denen je zwei auf eine Achteckseite kommen und diese in drei gleiche Theile theilen. Diese 24 langen Tragrippen bedürfen aber, wie das lange Sparrenwerk, eines gewaltigen Walmdaches der Horizontalverspannung, zu welchem Zweck neun horizontale Verspannungsringe von zwei Fuß Stärke, beziehungsweise von Rippe zu Rippe gesprengte Bogen angeordnet sind,

*) Siehe Isabelle »Les édifices circulaires.«

welche überdies noch die äußere Gewölbeschale stützen. — Diese Anordnung in stärkere Trag- und leichtere Verspannungsrippen ist es besonders, wodurch vorliegende Construction sich auszeichnet und die Bahn in gewaltigen Dimensionen sich eröffnet, zu einem modernen, rationellen, auf richtigen statischen Grundsätzen basirenden Kuppelbau.

Die äußere Kuppel kann als Schutzkuppel der inneren angesehen werden, deren Dekoration dadurch den schädlichen Witterungseinflüssen entzogen wird. Die Außenseite der Kuppel ist mit großen Plattziegeln, in Puzzolanmörtel gelegt, abgedeckt.

h. Die Kuppel der St. Peterskirche in Rom*).

Dieselbe ist auf Taf. 44 zur Hälfte im Durchschnitt und der Ansicht dargestellt, sowie sich auf derselben Tafel die Profile der äußeren und inneren Rippen, nebst dem Horizontalschnitt durch einen Theil der Galerie befinden. Die wesentlichen Dimensionen sind auf unserer Zeichnung, welche wir dem schon erwähnten Werke von Reynaud »Traité d'Architecture« entlehnt haben, in Metern angegeben.

Nachdem sich die Construction der Florentiner Kuppel 1¼ Jahrhundert bewährt hatte, konnte es Michel Angelo nicht schwer fallen, eine Doppelkuppel in ähnlichen Dimensionen zu entwerfen. Wir haben hier die bedeutendste Kuppel vor uns, welche durch vier gewaltige Pfeiler getragen wird. Diese sind mittelst breiter cassettirter Bogen verbunden, zwischen welche sich die Gewölbzwickel einspannen, wie dieß in Fig. 277 zu ersehen ist, welche Zeichnung wir dem genannten Werk von Fontana, Band 4, Tafel 20, entnommen haben. Auf dem Gewölbering oberhalb der Gurten erhebt sich ein außergewöhnlich hoher Tambour mit Pilasterstellung und darüber befindlicher Attika, auf dem die Kuppel fußt. Diese beginnt nun als volle Masse bis auf etwa ⅓ ihrer Höhe, wo sie mit einem Zwischenraum von ca. 1 Meter zweischalig wird und sich in die innere und äußere Kuppel (Schutzkuppel) theilt.

Die Kurven beider Kuppeln bleiben jedoch nicht parallel wie bei der Florentiner Kuppel, sondern sie divergiren, so daß oben ein Zwischenraum von 3 Meter entsteht. Ein Blick auf unsere Tafel zeigt sogleich, daß es vorwaltend ästhetische Gründe waren, welche das Auseinandergehen beider Gewölbschalen veranlaßten. Die innere Form bedingte nämlich die Dekoration, die äußere hingegen war nothwendig, um die gewaltige Wirkung hervorzubringen, welche den Beschauer beim Anblick der Kuppel ergreift.

Während die innere Gewölbefläche der Florentiner Kuppel glatt ist und nur die acht Eckrippen außen markirt sind, treten bei der Peterskuppel constructiv richtiger die Rippen außen und innen vor und zwar die äußeren nach Taf. 44 1,23 Met., die inneren nur 0,23 Met. Läßt sich die Construction der Florentiner Kuppel in technostatischer Beziehung vortheilhaft mit der der Sophienkirche in Constantinopel vergleichen, so kann dieß um so leichter bei der St. Peterskuppel geschehen, da wir bei beiden letzteren gleiche Grundideen finden, nämlich die Kuppel schwebend zu erhalten und deren Gewicht auf vier Pfeiler überzuführen. Während jedoch bei der Sophienkuppel der Fußkranz derselben ängstlich auf dem Scheitel der Hauptbogen ruht, auf den sich die gedrückte Kuppel setzt, erhebt sich bei der St. Peterskuppel der Fußkranz vermöge eines eingeschobenen Tambours hoch über den Scheitel der Hauptbogen, um eine ebenso hochgestreckte Kuppel aufzunehmen, deren Form, der Aufhebung des Seitenschubes wegen, allerdings geboten war.

Die Ausführung einer Kuppel, wie die Florentinische, deren acht Leibungsflächen, aus denen sie besteht, als Fortsetzung der Wandflächen der Pfeiler erscheinen, und deren Gewicht direkt auf die Stützen übertragen wird, ist bei weitem nicht so schwierig, als der Kuppelbau des St. Peter, bei welchem ein indirektes Ueberführen des durch die Kuppel veranlaßten Druckes auf die Stützpfeiler stattfindet. Bei letzterer Construction ist weit mehr Aufmerksamkeit und Genauigkeit erforderlich, indem die Zahl der Faktoren, welche störend auf die Solidität der Kuppel einwirken können, größer ist, als bei der ersten einfacheren Bildungsweise; denn außer der Möglichkeit ungleicher Senkungen der Pfeiler, welcher beide Constructionsarten unterworfen sind, kommt bei der schwebenden Kuppel noch die Möglichkeit der Bewegungen der Hauptbögen und Zwischengewölbe hinzu.

Was endlich den Vergleich beider Kuppeln in ästhetischer Beziehung betrifft, so steht die Kuppel des St. Peter ihres reicheren Formgedankens und gefälligeren Verhältnisses wegen obenan und würde ihre Wirkung eine noch viel gewaltigere sein, wenn nicht der Maßstab für die Decorationen außer allem Verhältniß groß angenommen worden wäre, wodurch die Kuppel viel kleiner erscheint, als sie wirklich ist.

Nachdem wir nun in möglichster Kürze diejenigen Kuppeln kennen gelernt haben, welche sich in constructiver

*) Aus der Geschichte des gewaltigen Bauwerkes, zu dessen Ausführung anderthalb hundert Jahre nöthig waren, und welche in Lübke's bekannter Architekturgeschichte in gedrängter Weise nachgelesen werden mag, heben wir blos vier Baumeister hervor, welche den größten Antheil an dem Gebäude haben: nämlich Bramante (geb. 1444, † 1514), welcher im Auftrag des damaligen Papstes Julius II. den Plan in Form eines griechischen Kreuzes fertigte, und 1506 den Grundstein zu einem der vier Kuppelpfeiler, welchen man den der heiligen Veronika nennt, legte. Michel Angelo (geb. 1474, † 1563), welchem man Zeichnung und Modell zur Kuppel verdankt, die bald nach seinem Tode zur Vollendung kam. Carlo Maderno (geb. 1556, † 1629), welcher das griechische Kreuz in ein lateinisches verwandelte, indem er die Kirche um drei Bogen verlängerte und die vordere Façade herstellte; endlich Bernini (geb. 1589, † 1680), dem die Colonnaden vor dem St. Peter ihren Ursprung verdanken. Ausführliche Colonnaden, Zeichnungen mit Beschreibung gibt Giacomo Fontana in seinem Werke »Chiese di Roma e surburbane Roma 1836.«

Fig. 277.

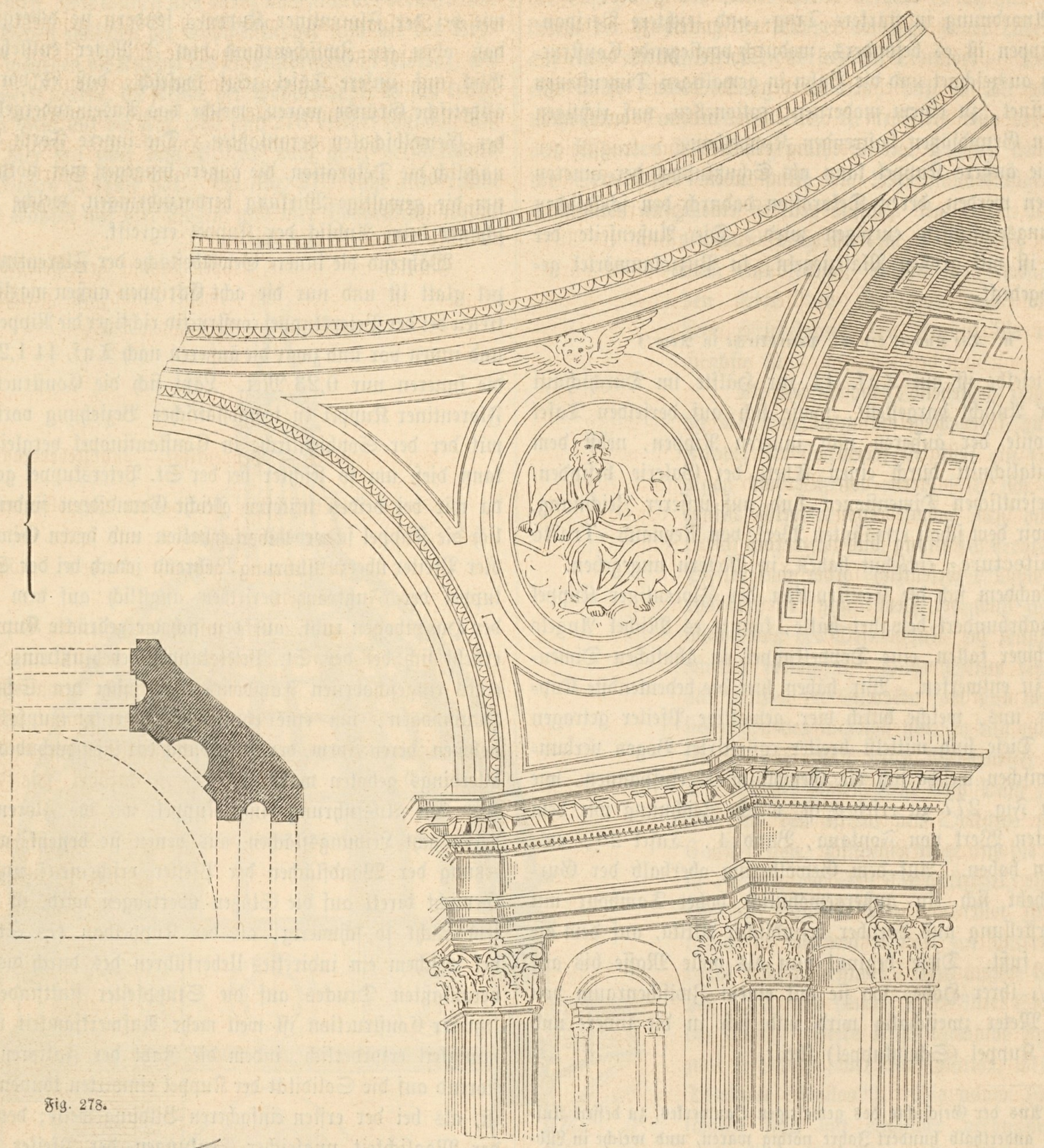
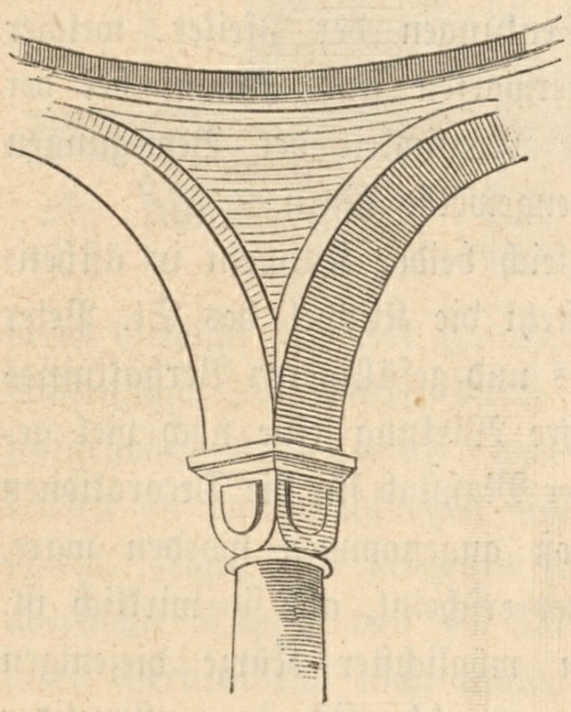


Fig. 278.



Beziehung vor der früher ausgeführten besonders auszeichnen, wollen wir es versuchen, die Grundsätze aufzustellen, nach welchen größere Kuppeln zu construiren sein werden.

1. Der Kuppelbau im Allgemeinen nach dem des Sankt Peter zeichnet sich in Bezug auf Form und Kühnheit der Construction vor allen bisher betrachteten aus.

2. Um einen solchen zu erreichen, sind die vier Stützpfeiler sorgfältig zu fundamentiren und diese Fundamente auf eine gemeinschaftliche nicht zu dünne Sohle zu bringen, wodurch allein eine gleichmäßige Druckvertheilung bezweckt wird, und ungleiche Senkungen verhütet werden. Die Pfeiler selbst sind aus gleichartigem Schichtenmauerwerk mit entsprechendem Verband aufzuführen. Erst nachdem sich dieselben gehörig gesetzt haben und der Mörtel eine gewisse Consistenz erlangt hat, beginne man die Aufführung der Tragbögen

und Pendentifs. Alles über die Ausführung der Bögen Gesagte ist hier mit besonderer Aufmerksamkeit zu befolgen. Da die Hauptbögen besonders im Scheitel durch den aufzusetzenden Tambour belastet werden, so bietet der Spitzbogen die passendste Form für dieselben, indem dadurch auch die Zwickel eine steilere Stellung erhalten und tragfähiger gemacht werden. Unter allen Umständen, besonders aber bei halbkreisförmigen Hauptbögen, ist eine Hintermauerung derselben geboten, indem sonst die Scheitelbelastung ein Ausweichen der Bogenschenkel nach außen veranlassen würde. Auch dürften außerdem von den Pfeilern ausgehende, sporenartige Verstärkungen der Zwickel zu empfehlen sein. Darauf setze man nun den Tambour aus sorgfältig verbundenem Mauerwerk bestehend, wobei gepreßte und gut gebrannte Backsteine, ihrer Regelmäßigkeit und Leichtigkeit wegen, bei hinreichender Festigkeit jedem anderen Material vorzuziehen sind. Das Einmauern von Verband haltenden Schienen von schwachem Schmiedeeisen, welche Ringe von drei- bis vierfüßiger Entfernung bilden, werden dem Zusammenhang des Tambours wesentlich förderlich sein.

3. Nach der Herstellung fester Substructionen erfolgt die Bildung der Kuppel selbst. Was zunächst deren Form betrifft, so wird man aus statischen Rücksichten die überhöhte Kuppelform jeder anderen vorziehen, indem dadurch der Seitenschub am leichtesten aufgehoben werden kann. Ein künstliches Aufheben desselben mittelst eiserner Kränze, dürfte der Veränderlichkeit des Metalls wegen nicht rathsam sein.

Die größte Festigkeit gewährt nun die Doppelkuppel. Was der sogenannte Laves'sche oder hohle Balken gegenüber dem vollen leistet, das leistet das hohle Kuppelgewölbe gegenüber dem vollen, wobei Material erspart und die Belastung verringert wird. Der letztere Vortheil könnte noch dadurch vermehrt werden, daß man den oberen Theil der Kuppel, etwa die obere Hälfte, aus möglichst leichtem Material — etwa Hohlsteinen oder Töpfen — ausführte, während zum unteren Theil, dessen Druck ohnehin überwiegend vertikal auf den Tambour wirkt, volle Backsteine verwendet werden könnten.

Bei der Doppelkuppel ist ferner ein System von Trag- und Verspannungsrippen, nach Art der florentiner Kuppel, anzuordnen. Die Tragrippen zerfallen in Haupt- und Zwischenrippen. Die Anzahl der ersteren ist geringer, als die der letzteren, und greifen jene bis zum Fuß der Laterne, wo sie mittelst eines starken Gewölberinges verbunden und verspannt werden; während die letzteren nur auf eine gewisse Höhe, wie bei Fig. 276 ersichtlich ist, sich erstrecken. Der Zweck dieser Rippen, deren Stärke nach oben sich verringern muß, ist der, den beiden Gewölbeschalen Verspannung und Zusammenhang, somit stellenweise Verstärkung zu gewähren. Die Dicke der Gewölbe selber läßt man ebenfalls nach oben abnehmen, aus Gründen, die wir später kennen lernen werden. Die langen Tragrippen bedürfen auch der stellenweisen Verspannung, was durch Bögen geschieht, die in ihrem Zusammenhange horizontale Ringe bilden und zur Unterstützung der äußeren Gewölbeschale wesentlich beitragen, weßhalb diese dünner als die innere angeordnet werden kann. Da die Abstände der Haupt- und Zwischenrippen nach oben abnehmen, so kann auch die Stärke der Verspannungsrippen sich nach oben verringern in dem Maaße, als ihre Länge kleiner wird.

Endlich werden die Rippen sammt den Gewölben miteinander aufzuführen sein, wobei man ein gleichmäßiges Aufmauern ringsherum zu beobachten hat.

§. 19.

Die Gewölbezwickel — Pendentifs — und Ueberkragungen.

Nur die wesentlichsten Motive der Gewölbezwickel und Ueberkragungen oder Uebersetzungen, wie solche bei Kuppelbildungen zur Ausführung gebracht wurden, mögen hier noch ihren Platz finden.

Wenn die an der Ecke zusammentreffenden Gurten eine möglichst kleine Basis erhalten sollen behufs einer leichten Stützenbildung, so sitzt der Zwickel nicht unmittelbar auf der Kapitälplatte der Stütze auf, sondern nimmt seinen Anfang erst da, wo die senkrechte Schnittlinie der beiden sogenannten Anschläge der Gurtbogen aufhört, wie Fig. 278 zeigt.

Wenn sich dagegen die sichtbaren Bogenhöhen nicht schneiden, sondern auf der Stütze beginnen, so sitzt auch die

Fig. 279.

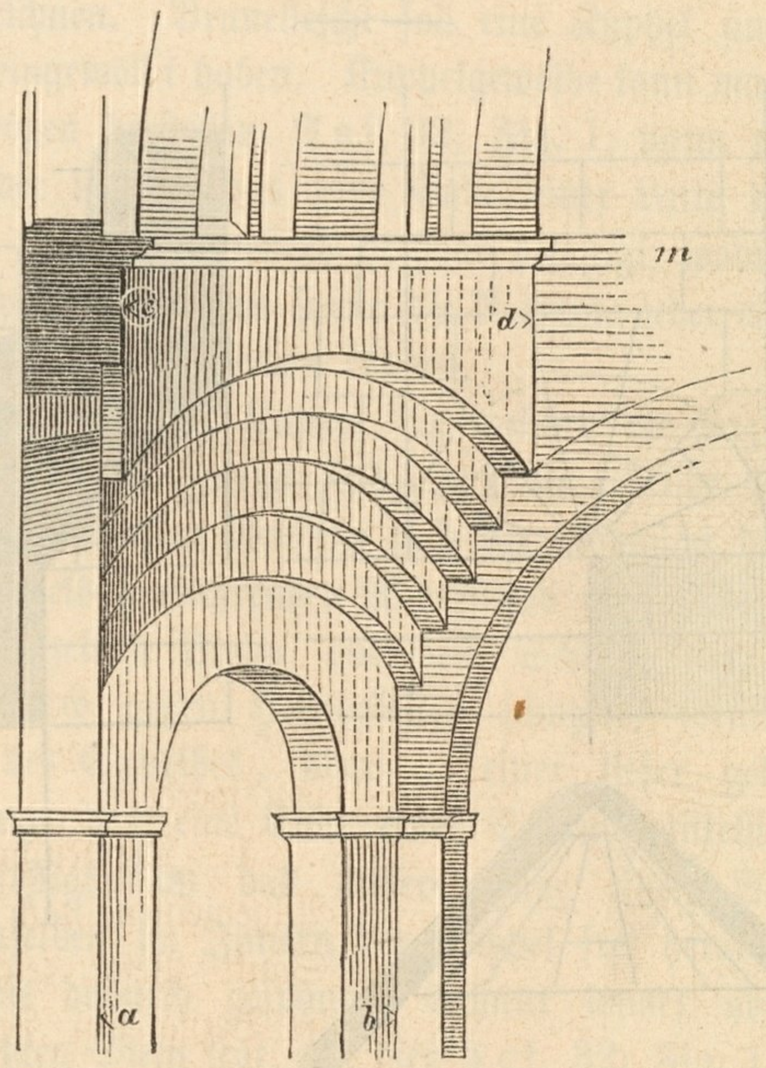
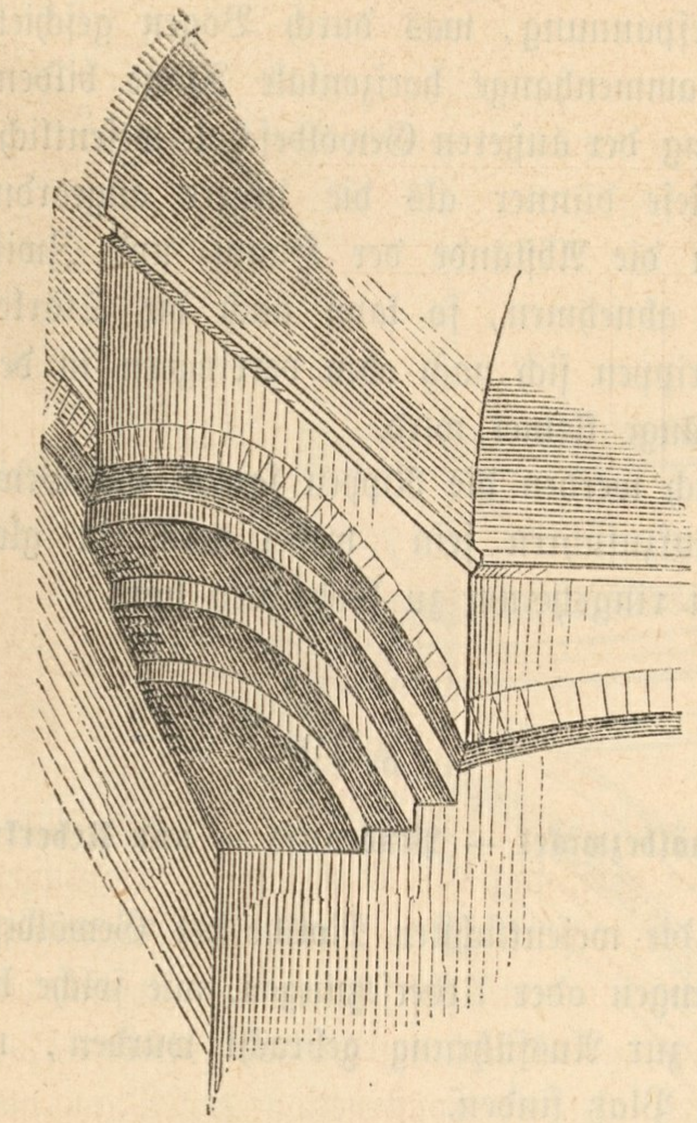


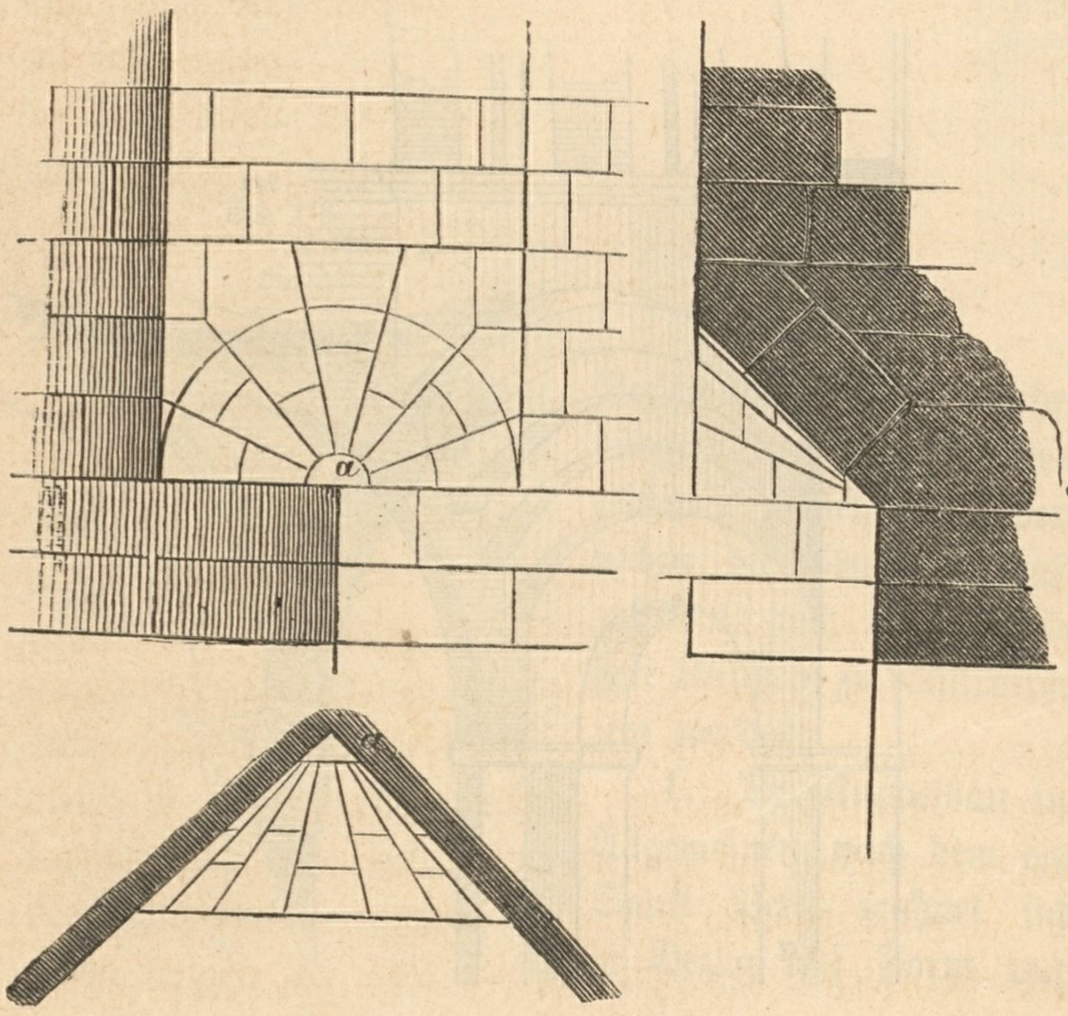
Fig 280.



Spitze des Gewölbezwickels auf dieser Stütze unmittelbar auf, wie dieß Fig. 250 darstellt. Anstatt den Zwickel mit einer Spitze beginnen zu lassen, traf man insbesondere in der Periode der Rennaissance eine Anordnung nach Fig. 277, wie solche im St. Peter zu Rom zur Ausführung kam, wodurch das Zwischengewölbe theilweise auf dem Pfeiler fußt und nicht blos durch die Gurtbogen getragen wird. Dieß sind die hauptsächlichsten Motive der Zwickelbildung.

Was nun die Ueberkragung betrifft, so geben wir in Fig. 279 ein altes Motiv aus der St. Lorenzo-Kirche in

Fig. 281.



Mailand *), wobei zur Ueberführung der Seite a b zur regelmäßigen Achteckseite c d fünf gleiche übereinander vortretende Bögen angelegt wurden, die sich schräg gegen die Hauptgurten anstemmen. Der Gewölbefuß der achtseitigen 24 Meter weiten und überhöhten Kuppel ist bei m.

Ein ähnliches Motiv zeigt uns Fig. 280 aus der altchristlichen Kirche St. Ambrogio in Mailand, wo der Uebergang aus dem Viereck ins Achteck zur Aufnahme der achtseitigen Kuppel ebenfalls durch mehrere übereinander vorgeschobene Bögen bewerkstelligt wurde.

Eine im Mittelalter äußerst gewöhnliche Ueberkragung, wo man sich der Werkstücke bedienen konnte, zeigt Fig. 281 im Grundriß, in der Ansicht und dem Durchschnitt, eine Constructionsweise, welche nicht leicht in einem Lehrbuche über Steinschnitt fehlt. Denn nicht allein zu Uebergängen aus dem Viereck ins Achteck wurde diese Ueberkragung gewählt, sondern überall da wo ein Winkel abzuschneiden und eine Fläche zu übersetzen war, half man sich mit dem aus Schnittsteinen gebildeten Kegel, dessen Keilsteine sich auf dem Kernstück a abstoßen, um deren Auslaufen in eine Schneide zu vermeiden. Anstatt dem Halbkreise kommt auch der Spitzbogen vor, was an dem Wesen der Sache nichts ändert.

Schließlich geben wir noch in Fig. 282 den Grundriß und in Fig. 283 den Querdurchschnitt nach der Linie m n Fig. 282, einer eigenthümlichen Ueberkragungsbildung aus dem Rechteck in das Runde**), wie sie in der romanischen Kirche Notre-Dame des Dons in Avignon existirt. Man hat nämlich mittelst acht übereinander vortretender Bögen b, die sich zwischen die Querbogen einspannen, zunächst ein Quadrat geschaffen; sodann dieses dadurch in ein regelmäßiges Achteck übergeführt, daß man an den vier Ecken eine der Figur 281 ähnliche Ueberkragung anbrachte. Darauf endlich setzt sich ein Tambour, gebildet aus acht Pfeilern und acht inwendig vorgesetzten Säulen, die mit Rundbögen verbunden sind, indem sie Fensteröffnungen zwischen sich lassen und die halbkugelförmige Kuppel aufnehmen.

§. 20.

Das Kuppelgewölbe.

Ausführung.

Wenn zur Ausführung eines Gewölbes geschritten werden soll, so ist es zunächst dessen Form, welche uns beschäftigt und durch die Lehrbögen bestimmt wird, und es

*) Diese Kirche soll aus dem 4. Jahrhundert stammen. Als 1573 die Kuppel plötzlich einstürzte, wurde Architekt Bassi mit deren Wiederaufbau beauftragt, den er 1591 vollendete. Dabei soll er die strenge Weisung gehabt haben, den alten Plan beizubehalten. Dr. Hübsch die „altchristlichen Kirchen", Karlsruhe 1860.

**) Man sehe hierüber »Viollet-le-Duc Dictionnaire raisonné de l'Architecture Tome IV. Coupole.«

Fig. 283.

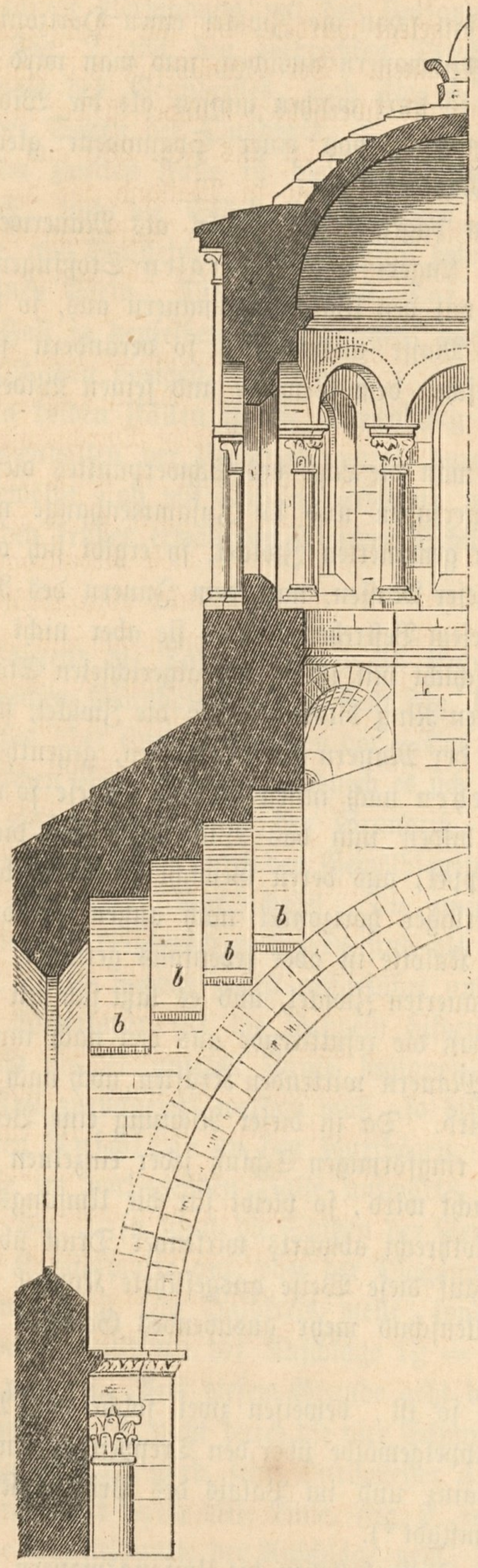
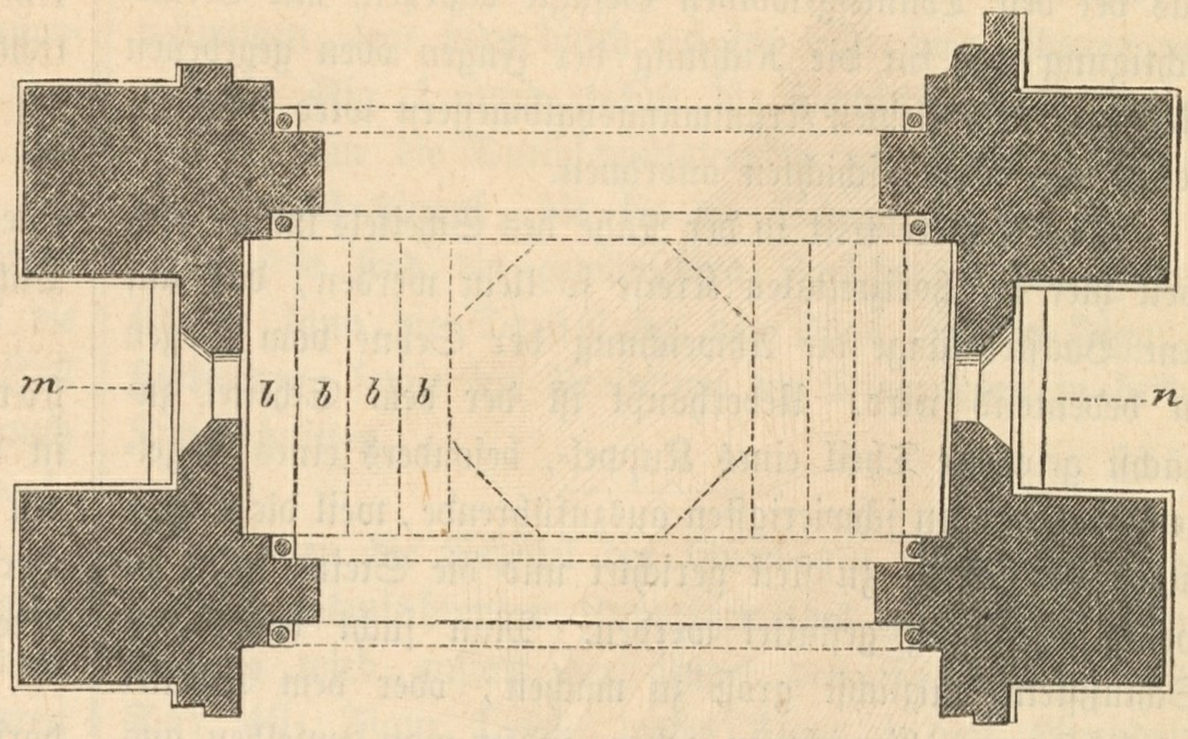


Fig. 282.



entsteht dann nur noch die Frage, ob diese eine Schalung aufzunehmen haben oder nicht. Diese ist aber beim Kuppelgewölbe aus Bruch- oder Werksteinen nothwendig, wird jedoch bei Anwendung von Backsteinen entbehrlich, welches Material blos Lehrbögen verlangt, welche bei kreisförmigem Grundplan einander gleich sind und im Scheitel des Gewölbes zusammen treffen. Die unteren Schichten kann man begreiflicherweise leicht ohne Schalung versetzen, weil ihre Lagerfugen wenig von der Horizontalebene abweichen und jede Schichte einen geschlossenen Raum bildet, der keiner weiteren Unterstützung bedarf. Dabei hat man besonders die senkrechte Stellung der Lager- und Stossfugen auf der Leibung des Gewölbes zu beachten, was durch das Anspannen einer im Centrum befestigten Schnur bei der Kuppelform vollständig erreicht wird. Bei andern Formen kann man sich der bei der Construction der Mauerbögen angegebenen Mittel bedienen, um eine senkrechte Lage der Fugen zu erzielen. Sind nur einzelne Lehrbögen aufgestellt, so erhält man eine richtige Leibung der runden Kuppel, daß man an irgend einem beliebigen Punkte der senkrechten Achse des Gewölbes eine Schnur befestigt, solche in der Höhe der gerade zu wölbenden Schichte an die Außenkante eines der Lehrbögen bringt, mäßig anspannt und die Länge durch einen Knoten oder durch eine in die Schnur gesteckte Nadel bezeichnet. Diese wird, wenn man sie in gleicher Höhe rund herumführt, immer in der Leibung der Kuppel bleiben, mithin auch die Lage der Steine einer und derselben Schichte genau bezeichnen. Brunelleschi soll eine Kuppel auch ohne Schalung eingewölbt haben. Kuppelgewölbe kann man sogar ohne Lehrbögen herstellen, Taf. 32, Fig. 1, wenn man im Centrum der Kuppel das eine Ende einer Latte von der Länge des Kuppelhalbmessers drehbar befestigt, wodurch die richtige Lage der Schichten sowie die Richtung jeder einzelnen Fuge leicht bestimmt werden können.

In der Höhe der Kuppel, in welcher die Lagerfugen der Steine so stark geneigt sind, daß die relative Schwere der Steine den aus der Reibung und der Adhäsion des noch weichen Mörtels herrührenden Widerstand überwindet, kann man die einzelnen Steine vor dem Schlusse der ganzen Schicht dadurch gegen Herabgleiten schützen, wenn man außerhalb des Gewölbes, oder in einer tiefer gelegenen äußeren Fuge das eine Ende einer Schnur mittelst eines Nagels befestigt, an das andere Ende einen Backstein bringt, denselben im Innern der Kuppel frei herabhängen läßt und die dadurch gespannte Schnur immer über den zuletzt versetzten Stein legt, wie dieß Taf. 32, Fig. 1 zeigt.

Was den Steinverband betrifft, können wir aus auf das bei den Tonnengewölben Gesagte beziehen, mit Berücksichtigung der für die Richtung der Fugen oben gegebenen Regeln. Bei kleinen Krümmungshalbmessern wird man am besten nur Binderschichten anordnen.

Das Letztere tritt in der Nähe des Scheitels immer ein, weil hier die horizontalen Kreise so klein werden, daß auf eine Backsteinlänge die Abweichung der Sehne vom Bogen zu bedeutend wird. Ueberhaupt ist der dem Scheitel zunächst gelegene Theil eines Kuppel-, besonders eines Kugelgewölbes der am schwierigsten auszuführende, weil die Lagerfugen der Steine zu steil gerichtet und die Steine selbst zu wenig keilförmig gestaltet werden. Man sucht daher den Schlußstein möglichst groß zu machen, oder dem Scheitel möglichst wenig Gewicht zu geben, indem man denselben aus besonders gefertigten leichteren Backsteinen herstellt.

Aus diesem Grunde und weil der Scheitel den geeignetsten Platz bietet für eine Licht- und Luftöffnung im Gewölbe, läßt man denselben gerne ganz fort und versieht die Kuppel mit einem sogenannten Nabel. Dieß ist in jeder beliebigen Höhe leicht auszuführen, da jede geschlossene Horizontalschicht einen festen Ring bildet. Um indessen einem solchen Schluß mehr Festigkeit zu geben, und weil man der Leibung desselben gerne eine cylindrische Gestalt gibt, pflegt man diesen Ring aus größeren Steinen, Werksteinen, besonders geformten Backsteinen oder zur Noth auch aus Eichenholz herzustellen, Taf. 32, Fig. 2—4 und Taf. 33, Fig. 1—3.

Am häufigsten kommen Kuppelgewölbe über Räumen von quadratischem Grundrisse vor, und wir wollen diesen Fall näher betrachten, da er auch für mehrseitige Grundrisse gültige Anhaltspunkte darbieten wird.

Die Kämpferlinie der Kuppel wird an den vier Umfassungsmauern vier congruente Halbkreise beschreiben, deren Scheitel in ein und derselben Horizontalebene liegen. Bis zu dieser Ebene besteht die Leibung des Gewölbes aus den vier Eckzwickeln (Pendentifs), und darüber beginnt die eigentliche Kuppel, deren Leibung eine Kugelkalotte darstellt. Die Halbmesser der Kämpferlinien sind durch die halbe Länge der Seiten des zu überwölbenden Quadrats gegeben, und man kann eine solche Kuppel ohne alle Schalung, unter Anwendung der früher angegebenen Hülfsmittel ausführen; doch pflegt man gewöhnlich ein Paar (halbkreisförmige) Lehrbögen über den Diagonalen des Quadrats aufzustellen.

Die vier Zwickel laufen in den Ecken in scharfe Spitzen aus, und es ist daher gut, hier einen größeren Stein als Anfänger des Gewölbes zu versetzen, um den nächsten Gewölbsteinen ein ordentliches Lager zu verschaffen.

Will man nun, wie es gewöhnlich geschieht, schon in den Gewölbzwickeln die Fugen normal auf die Leibung richten, so werden schon die Zwickel einen Horizontalschub auf die Umfassungsmauern ausüben, und man wird letztere im Allgemeinen so stark machen müssen als die Widerlager eines Tonnengewölbes von einer Spannweite gleich der Diagonale des Raumes.

Führt man dagegen die Zwickel als Mauerwerk mit horizontalen Lager- und centralen Stoßfugen, und in Verbindung mit den Umfassungsmauern aus, so daß sie mit diesen eine Masse ausmachen, so verändern sich die Verhältnisse zwischen dem Gewölbe und seinen Widerlagern bedeutend.

Betrachtet man die Lage des Schwerpunktes dieser mit horizontalen Lagerfugen und im Zusammenhange mit den Umfangsmauern gemauerten Zwickel, so ergibt sich offenbar ein Bestreben dieser Massen, nach dem Innern des Raumes zuzufallen. Diesem Bestreben können sie aber nicht folgen, weil jede Steinschicht mit ihren centralgerichteten Stoßfugen einen geschlossenen Ring bildet, so daß die Zwickel, statt ein Ausdrängen der Mauern zu veranlassen, gegentheils auf ein Hineinziehen nach innen wirken. Diese so verbundenen Mauern bilden nun das Widerlager für die obere Kalotte der Kuppel, aus deren Gewicht ein Bestreben entsteht, die Widerlager horizontal nach außen zu drängen. Die Masse der Kalotte ist aber jedenfalls geringer, als die der voll ausgemauerten Zwickel, und es läßt sich mit Sicherheit schließen, daß die resultirende aus den nach innen und außen auf die Mauern wirkenden Kräften noch nach innen gerichtet sein wird. Da in dieser Richtung eine Bewegung aber durch den ringförmigen Schluß jeder einzelnen Schicht unmöglich gemacht wird, so bleibt für die Umfangsmauern nur noch ein lothrecht abwärts wirkender Druck übrig, so daß man eine auf diese Weise ausgeführte Kuppel als ein gar keinen Seitenschub mehr ausübendes Gewölbe ansehen kann.

Daß dem so ist, beweisen zwei solche von Moller ausgeführte Kuppelgewölbe über den Treppenhäusern in dem Theater zu Mainz und im Palais des Prinzen Karl von Hessen in Darmstadt *).

Im ersten Falle bestehen die Umfangsmauern und die Zwickel aus Bruchsteinen, die obere Kalotte aus Backsteinen. Die ersteren sind, bei einer lichten Weite des Quadrats von 36 Fuß, oben nur 35 Zoll stark, und zwar in einer Höhe von 62 Fuß. Die Kalotte ist einen Stein oder 10 Zoll stark und besteht aus lauter Binderschichten.

Die Fig. 2—4, Taf. 32, zeigen diese Construction, und zwar in Fig. 3 in der Horizontalprojection die abwech-

---

*) Siehe Moller's Beiträge zu der Lehre von den Constructionen. Heft III.

selnden Schichten der horizontal gemauerten Zwickel, woraus deren innige Verbindung mit den Umfangsmauern hervorgeht. Fig. 2 gibt den lothrechten Durchschnitt nach der Diagonale des Grundrisses, und Fig. 4 den parallel mit einer der Seiten des Quadrats.

Im zweiten Falle ist die lichte Weite des Quadrats 21 Fuß, und die Stärke der Mauern, die, sowie die Kalotte, aus Backsteinen construirt sind, beträgt nur 10 Zoll oder einen Stein. Die Fig. 1—3, Taf. 33, zeigen auch diesen Fall in denselben Darstellungen, wie die Fig. 2—4, Taf. 32, den vorigen.

In beiden Fällen ist die Anwendung von Eisen, zum Zusammenhalten der Umfangsmauern, durchaus vermieden. Die Gewölbe sind mit Nabeln versehen, und die Figuren zeigen den früher erwähnten stärkeren Schlußring.

Während die Tafeln 32 und 33 Kuppelgewölbe über quadratischem Grundplan zeigen, stellt Fig. 1—4, Taf. 39, ein solches über einem rechteckigen vor. Das Gewölbe spannt sich zwischen Gurtbögen ein, wodurch es sich zur Zusammensetzung eignet. Fig. 1 ist der Grundriß, Fig. 2 und 3 sind Querdurchschnitte durch den Gewölbscheitel 1 und Fig. 4 ist ein diagonaler Durchschnitt. Die zwei Paar Kugelabschnitte von verschiedenen Radien sind als Gurtbögen ausgebildet. Diese werden zuerst aufgeführt und zwar so, daß sie das Widerlager für die Kuppeln bilden. Da dasselbe aber nicht an der unteren Kante beginnen kann, sondern 2—3 Zoll zurückgesetzt werden muß, so bilden sich die sogenannten Anschläge an den Gurtbögen. Schneiden sich diese wie im vorliegenden Falle aufwärts bis k, Fig. 1, und k', Fig. 2, so sitzen die Spitzen der Gewölbzwickel nicht auf der Kapitälplatte auf, oder der Diagonalschnitt, Fig. 4, des Gewölbes ist kein Halbkreis mehr, sondern ist um die Länge der Schnittlinie der Anschläge fg = α Fig. 1 = α' Fig. 4 verkürzt. Aus diesem Grunde geht der größte Kreis der Kugel, Fig. 1, nicht durch die vier Eckpunkte des Grundrisses, sondern es wird sein Durchmesser ab = a'b' aus dem Durchschnitt durch diese Linie, Fig. 2, erhalten, welcher durch die Scheitelpunkte der Anschläge geht. Dadurch nähert sich dieses Gewölbe dem böhmischen Gewölbe, welches wir später noch näher kennen lernen werden.

Zur Ausführung des Kugelgewölbes sind blos zwei nach den Diagonalen aufzustellende Lehrbögen, Figur 4, nöthig, auf welchen die Einwölbung auf den Schwalbenschwanz stattfindet. Die Zeichnung der Fugen in den Durchschnitten ist sehr einfach, wenn man bedenkt, daß man es nur mit Projectionen von Kreissegmenten zu thun hat. Um z. B. die Fuge cd, Fig. 1, im Durchschnitt, Fig. 2, darzustellen, bringe man d nach d'; die Höhe des Punktes c kann aus Fig. 3 entnommen und nach c', Fig. 2, gebracht werden. Um noch etwa zwei Zwischenpunkte der Kurve zu bestimmen, lege man durch cd die senkrechten Ebenen mn und op, Fig. 1, und zeichne die Schnittkreise in Fig. 2. Bringt man die Durchschnittspunkte der Ebenen mn und op mit cd hinauf, bis sie die Schnittkreise in Figur 2 treffen, so sind die gewünschten Zwischenpunkte erhalten. Ebenso kann die Darstellung der Fuge c'd' in Figur 3 stattfinden, sowie die Projection der Diagonalen in beiden Durchschnitten.

Sollen die Scheitel der Gurtbögen eines über einem Rechteck auszuführenden Kuppelgewölbes gleiche Höhe erhalten, so wird anstatt der Kugel das Ellipsoid gewählt, Taf. 46, Figur 1—4, wobei Figur 1 den Grundriß, Fig. 2 und 3 die mittleren Durchschnitte durch den Scheitelpunkt und Fig. 4 nach der Diagonale des Gewölbes darstellen. Da sich bei vorstehender Annahme die Anschläge der Gurten nicht schneiden, so beginnen die Zwickelspitzen auf der Kapitälplatte, d. h. die Ellipse muß durch die vier Eckpunkte des Grundrisses gehen. Da alle Querschnitte senkrecht durch die große Achse des Ellipsoids Kreise, und durch die kleine Achse Ellipsen sind, so werden die Gurten über den schmalen Rechteckseiten Kreisform und über den langen Ellipsenform erhalten. Ist daher der halbkreisförmige Gurtbogen nebst Anschlag angenommen in Fig. 3, so hat man nur die Scheitelpunkte beider Kreise rechts und links nach den Projectionen der Gurtbögen über den Langseiten zu bringen, so ist durch den zu ziehenden Kreis fmg der mittlere Durchschnitt durch das Ellipsoid bestimmt, sowie die kleine Halbachse ab, Fig. 1. Man hat nun die bekannte Aufgabe zu lösen, aus einem gegebenen Punkte der Ellipse (da diese durch die Ecken der Grundfigur gehen muß) und der kleinen Achse die große Achse zu finden, worauf die Ellipse in Fig. 1 construirt werden kann. Nun ist wieder alles zur Formbildung des Gewölbes Nöthige gegeben. Die Einwölbung findet wieder auf zwei diagonalen Lehrbögen, wie Figur 4 die Hälfte eines solchen zeigt, ohne Einschalung auf den Schwalbenschwanz statt. Die Auffindung der Kurvenpunkte des Lehrbogens, Fig. 4, kann durch Abtragung der Kreisordinaten oder der Ellipsenordinaten geschehen, je nachdem man durch verschiedene Punkte der Diagonale ab, Fig. 1, Schnitte parallel zur kleinen oder parallel zur großen Achse der Ellipse durchlegt, die Schnitte in Fig. 3 oder in Fig. 2 construirt, wodurch die Ordinaten erhalten werden. Durch Abtragung der Kreisordinaten wird man aus leicht begreiflichen Gründen schneller und sicherer zum Ziele gelangen. Durch die in Fig. 3 gezeichneten Schnittkreise können auch die Kurvenpunkte des Gurtbogens, Fig. 2, bestimmt werden, worauf man, der leichteren Zeichnung der Bogenlinie wegen, eine früher beschriebene Korbbogenconstruction wählt.

Außer dem Quadrat und Rechteck kann auch ein in den Grundkreis gezeichnetes regelmäßiges oder unregelmäßiges Polygon den Grundriß des kugelförmigen Kuppelgewölbes bilden, wobei dann gleiche oder ungleiche Halbkreise als Segmente der Kugel entstehen. Die Ausführung solcher Gewölbe wird nach dem bisher Gesagten keiner Schwierigkeit unterworfen sein. Dasselbe gilt für die als halbe Kuppel- oder halbe Klostergewölbe erscheinenden Chor- und Nischengewölbe.

Um mögliche Leichtigkeit und dadurch geringen Schub auf die Umfassungsmauern zu erhalten, kann man dergleichen Kuppelgewölbe auch aus Töpfen construiren, wie wir eines der ältesten Beispiele aus der Kirche S. Vitale in Ravenna kennen gelernt haben. Dabei erlaubt dieß Material den sogenannten Nabel fortzulassen und das Gewölbe bis zum Scheitel zu schließen, was mit gewöhnlichen Backsteinen, wie schon erwähnt, schwierig auszuführen ist.

Die Töpfe erhalten hierbei am besten eine etwas konische, oder auch eine cylindrische Gestalt, so daß sie ohne Beschwerde auf der gewöhnlichen Töpferscheibe angefertigt werden können. Die Wandstärke solcher Töpfe richtet sich nach der Größe derselben, und dürfte im Durchschnitt $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Zoll betragen. Den nach dem Innern des Gewölbes zu gerichteten Boden der Töpfe versieht man mit einigen Löchern, damit beim Brennen der Töpfe die Luft entweichen kann, und damit der Mörtel bei einem späteren Putzen der Gewölbeleibung besser haftet.

Da die Gewölbe, aus Gründen, die wir später mittheilen werden, in ihrer Stärke vom Scheitel nach den Anfängen hin zuzunehmen pflegen, so müssen, wenn man dieß auch bei Topfgewölben festhalten will, Töpfe von verschiedener Größe angefertigt werden, deren Abmessungen leicht aus dem Grundrisse und Durchschnitte des Gewölbes bestimmt werden können. Hierbei ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß jeder horizontale Ring durch eine gewisse Anzahl *ganzer* Töpfe geschlossen wird, weil Theile von Töpfen begreiflich nicht verwendet werden können. Zu viele verschiedene Nummern von Töpfen vertheuern aber deren Beschaffung, und man thut, um dieß zu vermeiden, besser, eine früher gebrauchte Nummer von passendem Durchmesser später wieder folgen zu lassen. Man setzt die Töpfe möglichst dicht neben einander in ein Mörtelbett, und zwickt die Zwischenräume gewöhnlich erst aus, nachdem das ganze Gewölbe geschlossen ist, um hiemit recht rasch zu Stande zu kommen. Eine Schalung ist auch hier nicht nöthig, sondern es reichen wieder einige Lehrbögen aus. Die Fig. 1 und 2, *Taf.* 34, zeigen ein solches Gewölbe im Durchschnitt und in der Horizontalprojection.

Kuppelgewölbe aus Bruch- oder Quadersteinen bedürfen einer vollständigen Einschalung. Aus rauhen Bruchsteinen dürfte eine Kuppel schwer zu construiren sein, wenn man nicht ein *Gußgewölbe* darstellen will, wovon wir später noch sprechen werden. Sind Quader das Material, so ist die Form der einzelnen Steine sehr leicht zu bestimmen, sobald die Höhe der Schichten und die Eintheilung der Steine in denselben gegeben ist. Beides wird sich bei einer glatten Leibung nach der Größe und Festigkeit der vorhandenen Steine richten, bei einer mit Kassetten verzierten Leibung aber hauptsächlich nach diesen, indem man die Fugen der Steine mit den Friesen zwischen den Kassetten in Uebereinstimmung bringen muß. Daß letztere vor dem Versetzen in die Steine gearbeitet werden, überhaupt das ganze Gewölbe mit Vorsicht und Genauigkeit behandelt werden muß, braucht kaum erwähnt zu werden.

§. 21.

Das Kreuzgewölbe.

Anordnung.

Wir haben hier eine Gewölbeform vor uns, welche ihrer Zweckmäßigkeit wegen für die Anwendung von ganz besonderer Wichtigkeit ist, weßhalb wir sie eingehend betrachten müssen.

Das *Kreuzgewölbe*, auch *Kreuzkappengewölbe* genannt, unterscheidet sich von dem Tonnengewölbe, Klostergewölbe, Muldengewölbe und dem gewöhnlichen Kuppelgewölbe durch einen wesentlichen *statischen* Vorzug, der darin besteht, daß es sein Gewicht auf einzelne Stützpunkte reducirt, während jene umschließende Mauern als Widerlager erfordern. Durch diese Eigenschaft ist die Aufhebung des Seitenschubs, geschehe dieß durch eiserne Anker, Strebepfeiler oder Strebebögen, sehr erleichtert und vereinfacht, weßhalb es sich namentlich zur Einwölbung hoher Räume eignet, indem die Widerlager sammt Schildmauern weit weniger Material kosten, als dieß z. B. beim Tonnengewölbe der Fall ist. Diese so zweckmäßige Gewichtsvertheilung des Kreuzgewölbes bedingt eine eben so rationelle Anlage der Mauern, welche in stützende zugleich strebende, und in umschließende oder füllende Theile zerfallen, wodurch eine vertikale Theilung der Umfassungsmauer entsteht, welche wir besonders dem Einfluß des Kreuzgewölbes verdanken.

Aber auch in Beziehung auf *Beleuchtung* müssen wir das Kreuzgewölbe den genannten Gewölben voran stellen. Während bei diesen die Fenster unterhalb der Kämpferlinien angelegt werden müssen, wenn man die häßlichen Stichkappen vermeiden will, kann beim Kreuzgewölbe deren Anlage weit höher, nahezu in der Höhe des Gewölbscheitels und ohne Rücksicht auf die Kämpferpunkte zu nehmen, geschehen.

Außer den constructiven Vorzügen gewährt das Kreuzgewölbe auch bedeutende ästhetische. Das Tonnengewölbe bewegt sich nur nach einer Richtung, welche durch seine Scheitellinie bestimmt ist, und verbindet nur im Sinne der Breite die gegenüber liegenden Stützen; das Kreuzgewölbe hingegen bewegt sich vermöge seiner beiden Scheitellinien nach zwei Richtungen und verbindet somit nicht allein nach der Breite, sondern auch nach der Länge, ja selbst nach den Diagonalen, die Stützpunkte. Durch diese Eigenschaft macht sich das Kreuzgewölbe besonders geschickt zur Zusammensetzung, indem es sich nach zwei Seiten lebendig bewegt, nach welchen Richtungen es einen Anschluß von beliebiger Ausdehnung erlaubt*).

Die erste Anwendung des Kreuzgewölbes finden wir wieder bei den Römern und von so namhaften Dimensionen bis zu 18 Meter, zuerst an den Bädern des Diocletian in Rom**), sowie an der Basilika des Constantin oder Maxentius (dem sogenannten Friedenstempel). Allein die Römer construirten das Kreuzgewölbe in der primitivsten Weise, während erst im Mittelalter sich eine vollständig freie Auffassung desselben bildete. Der Unterschied liegt nämlich darin, daß das römische Kreuzgewölbe aus der Durchdringung kreisförmiger Tonnengewölbe entstand, Figur 212, Seite 90, wobei sich elliptische Diagonalgräte ergaben. Als man die statische Wichtigkeit dieser Gräte, nach welchen sich die Pressung des Gewölbes fortpflanzt, erkannte, suchte man sie zu verstärken, indem man an ihrer Stelle besondere Bögen von Werksteinen oder Backsteinen ausführte. Da sich alsbald die für den Fugenschnitt unbequeme Form der Ellipse herausstellte, so wählte man den Halbkreis für die Diagonalbögen. Sollten hiebei die Scheitellinien für die Kappen horizontal bleiben, so mußten bei einerlei Kämpferhöhe die Stirnen aller Kappen überhöhte Bögen zeigen; und da man einmal daran war, die elliptischen Bögen zu vermeiden, so suchte man vielleicht die nach denselben Chablonen wie die Diagonalbögen bearbeiteten Steine auch zu den Stirnen der Kappen zu benützen, wo dann der Spitzbogen ganz von selbst entstehen mußte. Als man sich auch über die horizontalen Scheitellinien hinwegsetzte und diese geradlinigt oder gekrümmt ansteigen ließ gegen den Durchschnitt der Diagonalbögen, hatte man ein Kreuzgewölbe der freiesten Art erreicht, wovon Taf. 37, Figur 1—5, ein Beispiel zeigt, welches wir später näher kennen lernen werden. Während somit das römische Kreuzgewölbe den Charakter sich durchdringender gekrümmter Flächen darbietet, ganz entsprechend der massigen Mauerbildung, finden wir im Mittelalter und insbesondere der gothischen Periode ein System von über die Gewölbflächen vortretenden Bögen „Rippen", zwischen welche sich die dreieckigen Gewölbefelder, die keine Tonnengewölbflächen mehr sind, einspannen. Denn so wie die Mauern aus tragenden Pfeilern und Füllmauerwerk construirt waren, bildete man die Steindecke aus tragenden Rippen, deren Zwischenräume mit möglichst leicht gebildeten Kappen ausgefüllt wurden.

Da das Kreuzgewölbe ein wesentlicher Constructionstheil der mittelalterlichen, insbesondere der gothischen Architektur ist, so mögen hier zunächst die Benennungen des gothischen Kreuzgewölbes ihren Platz finden.

Gewölbejoch heißt ein vollständiges Kreuzgewölbe; sind mehrere aneinander gereiht, so können die Gewölbejoche von gleicher oder verschiedener Breite sein.

Nähte, Gräte, Gierungen (arrêtes), die diagonalen Bogenlinien, nach welchen sich die Gewölbkappen schneiden. Werden diese durch vortretende Bögen aus Werksteinen oder Backsteinen ersetzt, erhält man die:

Diagonalrippen, Diagonalgurten, Kreuzrippen. Die Gurten, welche die Gewölbejoche von einander trennen und die Stelle der Schildmauern einnehmen, heißen:

Quergurten, Gurtrippen, Gurtbögen, Transversalrippen. Die Gurten, welche z. B. bei einer dreischiffigen Kirche der Länge nach die Joche trennen und die Stelle der Schildmauern bei einschiffiger Anlage ersetzen, heißen:

Längengurten, Longitudinalrippen. Die Linien, nach welchen die Leibungen der Gewölbekappen die Schildmauern treffen, nennt man Schildbögen, und wenn daselbst ein vortretender Bogen zwischen der Gewölbestirn und der Schildmauer angebracht ist, Schildbogenrippen, Wandrippen, Wandgurten.

Durch weitere Theilung der Kappen des Kreuzgewölbes mittelst Gurten erhält man das Sterngewölbe, Fig. 1 und 2, Taf. 38.

Die Rippen, welche diese Theilung bewirken, wie AB, AC, Fig. 2, heißen Liernen, Zwischenrippen.

Werden die Gräte FG, HK, Fig. 1, Taf. 38, welche geradlinig oder gekrümmt sein können, besonders ausgezeichnet, erhält man die Gratrippen, Scheitelrippen Die beiden letzteren werden Nebenrippen genannt im Ver-

*) Während im Tonnengewölbe jeder Punkt des Gewölbeanfanges nur mit dem einen gegenüber liegenden Punkte verbunden erscheint, entspringen hier aus jedem Ausgangspunkte drei zur gegenüberliegenden Wand hinüberlaufende Linien, welche dieselbe in drei verschiedenen Punkten berühren und von jedem wieder vervielfacht in anderen Richtungen zurückstrahlen. Es ist also ein reicher, sich mannigfaltig kreuzender Verkehr zwischen beiden Wänden gegeben, sie strömen gleichsam herüber und hinüber, in beständigen Repulsionen, welche den ganzen Raum bis an seine äußersten Gränzen durchdringen. Schnaase, „Geschichte der bildenden Künste," 4. Band, Seite 149.

**) Aus dem mittleren größeren Theil der Thermen des Diocletian baute Michel Angelo im 16. Jahrhundert die Kirche Santa Maria degli Angeli, indem er den Hauptsaal als Querschiff benützte.

gleiche zu den anderen, die Hauptrippen heißen. Bleibt das Gewölbe offen, so nennt man die Rippen wie DF, DK Stirnrippen.

Schneiden sich die Rippen, so daß sich Felder bilden, wie die Maschen eines Netzes, Fig. 244, S. 122, so ergibt sich das Netzgewölbe, bei welchem sämmtliche Rippen oder Gräte die Reihungen genannt werden.

Ist die Gewölbekappe, Taf. 37, Fig. 2 (linke Seite), von der Schildbogenrippe gegen die Diagonalrippen ansteigend und gekrümmt, so sagt man, sie habe Busen, so wie auch jede einzelne Kappenschichte Busen haben kann; was nicht der Fall ist, wenn die mittlere Durchschnittslinie eine ansteigende gerade Linie ist und alle einzelnen Schichten gerade ansteigende Linien sind.

Das Kreuzgewölbe ist über dem Dreieck, Quadrat, Rechteck, über dem regelmäßigen und unregelmäßigen Vieleck, in gerader, steigender, ringförmiger und schneckenförmiger Gestalt ausführbar. Es kann ferner mit Schildmauern versehen sein, worauf es ein geschlossenes Gewölbe heißt, im Gegensatz zum offenen, wenn solche fehlen. Wiederholt sich das Kreuzgewölbe, da es sich zur Zusammensetzung besonders eignet, so können die einzelnen Joche durch Gurten von einander abgesondert sein, Fig. 222 AA, S. 96, oder sie können in einander dringen, wie dieß bei B, Fig. 222, gezeigt ist, was jedoch nur bei horizontalen Scheitellinien moglich ist. An die Stelle der halbkreisförmigen Bogenlinie des römischen Kreuzgewölbes trat im Mittelalter, wie wir erwähnt haben, der Spitzbogen, welcher für das ausgebildete Kreuzgewölbe zum wahren Lebensprinzip geworden ist und uns in den zahlreichen Denkmälern vom 13. bis 15. Jahrhundert entgegentritt.

Das einfachste und schönste Kreuzgewölbe ist über dem Quadrat herzustellen, wobei gleiche Schildbögen vorkommen, die Gräte, oder wenn solche vortreten, die Kreuzrippen sich rechtwinklig schneiden und die Winkel halbiren, welche die umschließenden Gurten mit einander bilden, Fig. 222 AA. Dabei sind die Gräte ein Resultat der angenommenen Bogenlinie des Gewölbes bei horizontalen Scheitellinien, und können durch die Methode der Vergatterung, Fig. 2 und 3, Taf. 25, leicht bestimmt werden. Ist der Grundriß ein Rechteck, so werden die Schildbögen über den kleineren Seiten halbkreisförmig angenommen, woraus sich bei wagrechten Scheitellinien die gedrückten Schildbögen der größeren Seiten, sowie die Gräte wie im vorhergehenden Falle, finden lassen. Die Horizontalprojection der Gratlinien wird ein für allemal geradlinigt angenommen, um Kurven von einfacher und nicht von doppelter Krümmung zu erhalten. Je mehr die Rechteckseiten differiren, um so unschöner wird das Gewölbe, weßhalb man wenigstens ein rundbogiges Kreuzgewölbe nicht länger als die eineinhalbmalige Breite machen sollte. Beim dreieckigen Grundriß sucht man zunächst dessen Schwerpunkt, nach welchem die Gräte von den Ecken aus zu ziehen sind. Nimmt man hierauf wieder den Schildbögen über einer der drei Seiten an, so können daraus die übrigen Schildbögen und Gräte leicht bestimmt werden.

Die Anordnung eines Kreuzgewölbes über einem regulären Polygon unterliegt keiner Schwierigkeit, indem sowohl die Gräte gleiche Größe haben, als auch die Schildbögen oder Stirnbögen, im Falle das Gewölbe ein offenes sein sollte. Die Hälfte eines solchen Gewölbes tritt als Chorgewölbe insbesondere der gothischen Periode auf, bei welchem die Rippen spitzbogenförmig angenommen wurden.

Das unregelmäßige Polygon kann ebenfalls mit einem Kreuzgewölbe überspannt werden, indem man von dessen Schwerpunkt die Gräte nach den Ecken zieht, einen Schildbogen bestimmt, aus welchem sich wieder die übrigen Schildbögen nebst den Gräten leicht finden lassen, wie wir später an einer Zeichnung nachweisen werden.

Bei allen erwähnten Fällen können die Scheitellinien horizontal sein oder ansteigen, und zwar geradlinigt oder gekrümmt. Haben Kreuz- und Gurtrippen Halbkreisform, so geht das Kreuzgewölbe in das Kuppelgewölbe über.

§. 22.

Ausführung des Kreuzgewölbes.

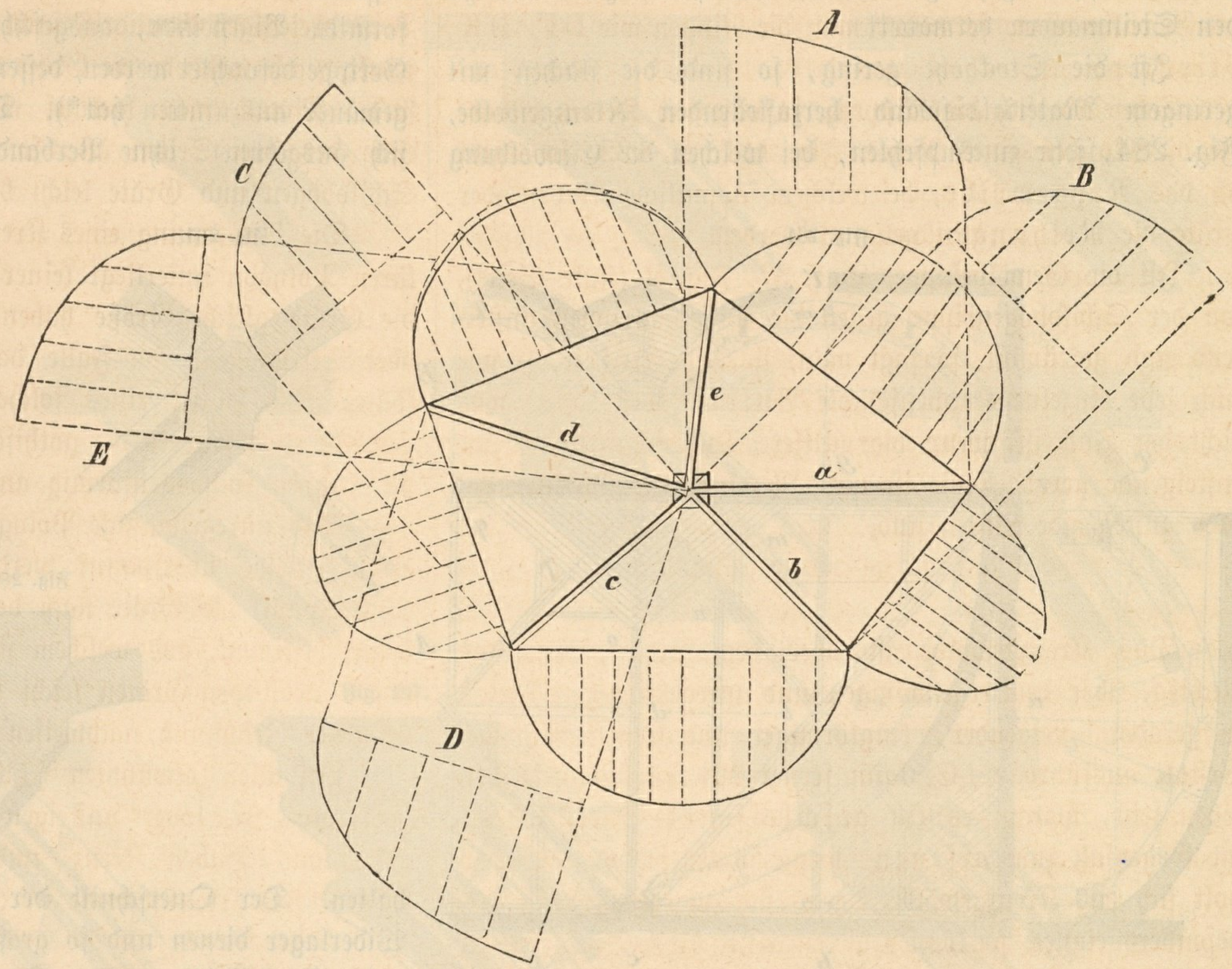
Die Ausführung der Kreuzgewölbe erfordert auch wieder die Aufstellung von Lehrbögen, und zwar bei Kreuzgewölben ohne Gurten für die Schildbögen und Gräte, oder wenn Gurten vorkommen, bedürfen letztere sämmtlich der Lehrbögen. Was dagegen die Schalung betrifft, so hängt diese vom zu wählenden Material ab, und ist da unbedingt nöthig, wo Bruch- oder Werksteine das Material bilden; dagegen ist es bei Backsteinen sogar wünschenswerth, die Schalung fortzulassen, da das Gewölbe, namentlich in den Anfängen, weit besser aus freier Hand ausgeführt werden kann.

Beim Durchschnitt der Diagonalen bei viereckigem Grundplan oder im Schwerpunkte des regulären oder irregulären Polygons wird ein Pfosten, der sogenannte Mönch, aufgestellt, auf welchen sich die daselbst zusammentreffenden Lehrbögen stützen, wie dieß beim unregelmäßigen Fünfeck, Fig. 283, gezeigt ist, wovon Fig. 2, Taf. 36, die Rückenansicht der Einwölbung und Fig. 1 den Durchschnitt nach xy darstellt. a, b, c, d, e, Fig. 283, sind die Horizontalprojectionen der Gratlehrbögen und A, B, C, D, E die uugeklappten Vertikalprojectionen derselben; ebenso sind die Bogenlinien der Schildbögen oder Kappen auf die horizontale Bildfläche niedergelegt. Aus einem angenommenen

Schildbogen werden bekanntlich die übrigen nebst den Gratlehrbögen construirt.

Da der Scheitel eines solchen Gewölbes sich nach der Ausschalung desselben immer etwas setzt, so pflegt man die Scheitellinien der Kappen von den Stirnmauern aus etwas ansteigen zu lassen, und zwar nimmt man als Minimum $^1/_{60}$ der Länge des Grates an. Man nennt dieß Ansteigen der Kappen das Stechen derselben. Dieß deutet die punktirte Linie über einem der Schildbögen, Fig. 283, an, sowie diese Anordnung in den Fig. 1 und 2, Taf. 35, und Figur 1, Taf. 36, zu sehen ist.

Fig. 228.



Auf die Herstellung der Lehrbögen folgt die Einwölbung, welche selbstredend von den Ecken aus beginnen muß. In dieser Beziehung hat man Kreuzgewölbe ohne Rippen von denen mit Rippen zu unterscheiden; bei den ersteren wird das Gewölbe mit einem Male geschlossen, bei letzteren dagegen zerfällt diese Arbeit in zwei Theile, und zwar in die Herstellung des Rippensystems, insbesondere wenn dasselbe aus Werksteinen besteht, und in die Ausführung des Kappengemäuers.

Wo sehr lagerhafte Bruchsteine vorhanden sind, werden solche zur Herstellung von Kreuzgewölben, aber nur in Kellerräumen verwendet, wo sie eine Stärke von 1 bis 1,5 Fuß erhalten. Dabei laufen die Lagerfugen parallel mit den Scheitellinien und erhält das Gewölbe erst nach dem Eintreiben der Schlußschichten seine Verspannung. Dieß Material erfordert, wie schon oben erwähnt, eine Schalung. Die einzelnen Kappenschichten schneiden sich nach den Gratlinien, wo sie je nach der Grundform einen rechten oder beliebigen Winkel bilden.

Sind Backsteine das Material, so findet die Einwölbung auf den Schwalbenschwanz statt, wodurch die Schichten zweier angrenzenden Kappen in eine Ebene zu liegen kommen und sich der nach den Gratlinien wirkende Druck des Gewölbes in normaler Pressung auf die Kappenschichten fortpflanzt. Bei dieser Wölbmethode ist auch eine mit dem Kappengemäuer Verband haltende Verstärkung der Gräte möglich, in welchen die einzelnen Kappen ihr Widerlager finden. Die Verstärkung der Gräte beträgt mindestens $^1/_2$ Stein gegenüber der Kappenstärke. Letztere beträgt gewöhnlich $^1/_2$ Stein bei einer Weite der Kappe von 16—18 Fuß und einer Gratstärke von 1 Stein. Stärker als 1 Stein werden die Kappen nicht wohl ausgeführt, während die Gräte dann $1\,^1/_2$ Stein erhalten. Die Figuren 3—5, Taf. 34, zeigen die Steinverbände für $^1/_2$ und 1 Stein starke Kappen mit jedesmal um $^1/_2$ Stein verstärkten Gräten, in Querschnitten senkrecht auf die letzteren. Taf. 35 zeigt ein Kreuzgewölbe über einem Quadrate im Grundriß, Fig. 3, und den Durchschnitten, Figur 1 und 2, nach den Linien ab und cd, Fig. 3 und Taf. 36 ein solches im Grundriß und Durchschnitt. Bei beiden sind die Kappen $^1/_2$, die Gräte 1 Stein stark. Diese Figuren zeigen, daß die einzelnen Kappen auf den Schwalbenschwanz, §. 15, S. 123, eingewölbt sind. Letzteres ist bei der Ausführung ohne Schalung nothwendig, weil nur so jede Steinschicht in sich geschlossen erscheint, sobald sie vom Grat aus die beiden zugehörigen Stirnmauern erreicht hat.

Indem wir uns bezüglich der Ausführung auf §. 15 beziehen, wollen wir nur bemerken, daß in jeder Kappenschicht mit den Gratsteinen über den Gratlehrbögen angefangen wird, d. h. diese Steine werden zuerst passend (nach den Figuren 3—5, Taf. 34) zugehauen normal auf den Gratlehrbogen aufgestellt, und dann zu beiden Seiten die

zu den Kappen gehörigen Steine aus freier Hand bis zu den Steinmauern vermauert.

Ist die Stockhöhe gering, so sind die flachen mit geringem Materialaufwand herzustellenden Kreuzgewölbe, Fig. 284, sehr zu empfehlen, bei welchen die Einwölbung

Fig. 284.

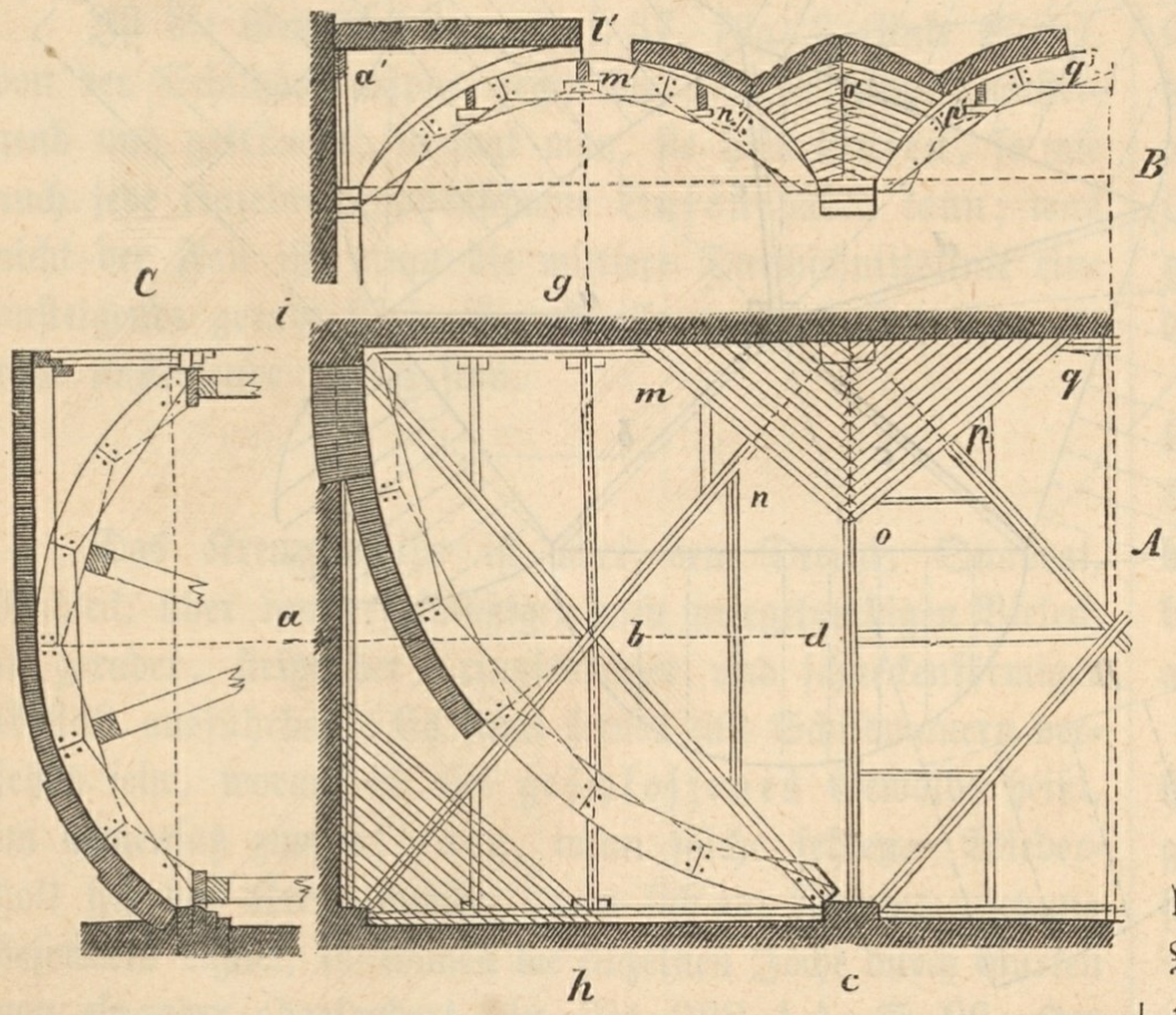


Fig. 285.

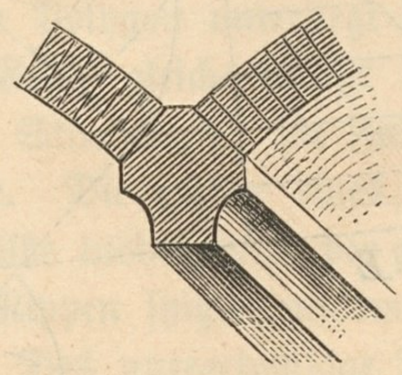


Fig. 286.

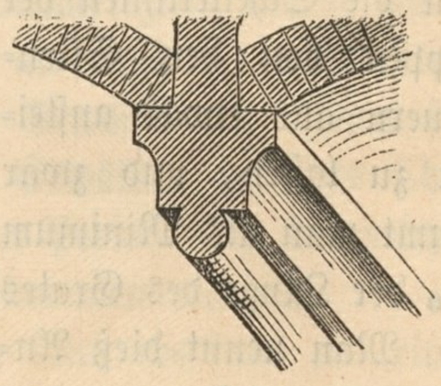
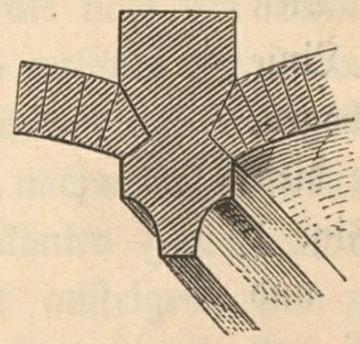


Fig. 287.



auf den Schwalbenschwanz besonders leicht ausführbar ist. A zeigt den Grundriß von $1\frac{1}{2}$ Gewölbejochen ohne Theilung derselben mittelst Gurten; B den Durchschnitt nach ab, und C den Durchschnitt nach cdbg. Die nöthigen Lehrbögen für die Gräte und Schildbögen sind im Grundriß mit 3 Parallellinien angedeutet, während mit Doppellinien blos zwischen die Lehrbögen eingespannte Brettstücke bezeichnet sind, welche zur Absteifung der Lehrbögen beitragen, hier aber noch einen anderen Zweck haben, nämlich den, ungeübten Arbeitern Anhaltspunkte für die richtige Lage der Kappenschichten zu gewähren und nebenbei die Steine gegen das Abgleiten zu sichern. Zu dem Zweck muß selbstverständlich die Oberkante der Brettstücke in der Leibung der Gewölbfläche liegen. mnopq bezeichnet die letzten Schichten der begonnenen Wölbung, deren Vertikalprojection mit entsprechenden Buchstaben markirt ist. Die Scheitellinie abd u. s. f. ist horizontal, während die Scheitellinien bg, bh u. s. f. einige Zoll ansteigen oder Stich haben. Der Gratbogen ci sammt theilweiser Wölbung ist im Grundriß umgeklappt*).

Nachdem wir die gewöhnlichen Kreuzgewölbe besprochen haben, folgen die mit Rippen. Diese werden meist aus besserem Material, entweder Werksteinen oder besonders geformten Backsteinen, ausgeführt, indem sie als tragendes Gerippe betrachtet werden, dessen Zwischenräume das Kappengemäuer auszufüllen hat*). Dabei werden die Rippen für sich ausgeführt, ohne Verband mit den Kappenschichten zu halten. Der Querschnitt der Rippen muß denselben zum Widerlager dienen und so groß angeordnet werden, daß er unter Berücksichtigung der Spannweite, der Belastung und des Materials, aus welchem die Rippen bestehen, die nöthige Tragfähigkeit gewährt. Derselbe zerfällt daher in zwei Theile: erstlich in den, welcher zwischen den Kappen liegt und ihnen zum Widerlager dient, und zweitens in den vor die Kappenflucht vortretenden Theil, Fig. 285, welcher eine seinem Zweck entsprechende Form und eine mehr oder weniger reiche Gliederung erhält. Die Figuren 285—287 zeigen die Ansätze der Kappen an den Rippen.

Da die Formen eines Bauwerkes zu einander in Beziehung stehen müssen, so werden auch die Rippenprofile je nach der einfacheren oder reicheren Bildung der übrigen Bautheile, einfacher oder reicher gebildet werden müssen. Wie wir daher bei den Gesimsen, insbesondere den umrahmenden, einfache und zusammengesetzte hatten, Seite 61, so können wir in analoger Weise auch die Rippenprofile in einfache und zusammengesetzte zerlegen. Diese Bildungsweise der Steinbögen aus 2—3 concentrischen unzusammenhängenden Schichten, wie z. B. Fig. 299, entspricht ganz der römischen Backsteinbogenconstruction aus mehreren Ringen, wie wir solche in Fig. 11, Taf. 30, kennen gelernt haben.

*) In der neuen Zuckerraffinerie in Waghäusel ließ ich gegen 400 solcher Gewölbe mit durchgehender Gratverstärkung ausführen, und verweise auf Band 3, Taf. 18, 3. Aufl. dieses Werkes, wo deren Construction aufgenommen ist.

*) Indem wir hier in das Gebiet der spezifisch mittelalterlichen Architektur eintreten, müssen wir unsere Leser auf die vortrefflichen Werke von Viollet le Duc „Dictionnaire raisonné de l'Architecture. Tome IV. Construction“ und Ungewitter's „Lehrbuch der gothischen Constructionen“, Seite 86 (die Construction der Gewölbe), verweisen.

Fig. 288.

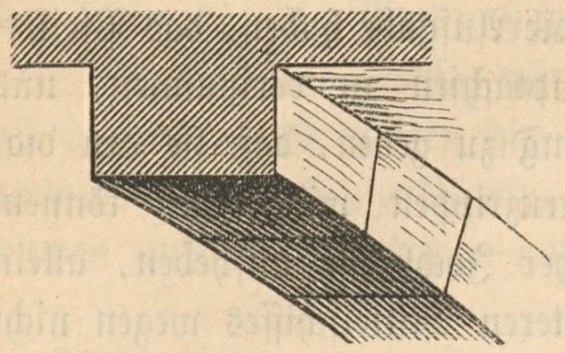


Fig. 289.

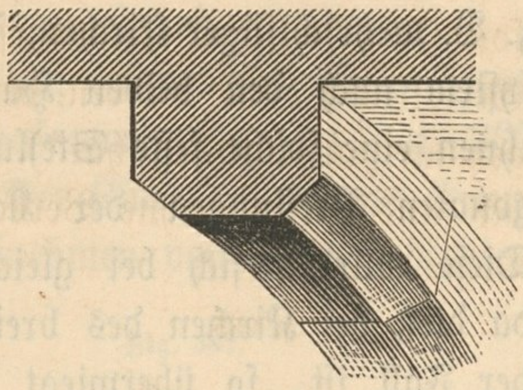


Fig. 290.

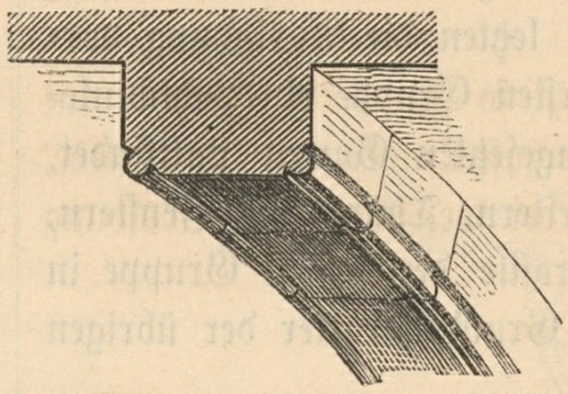


Fig. 291.

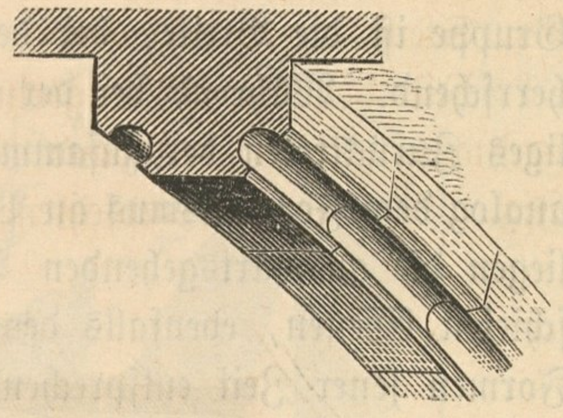


Fig. 292.

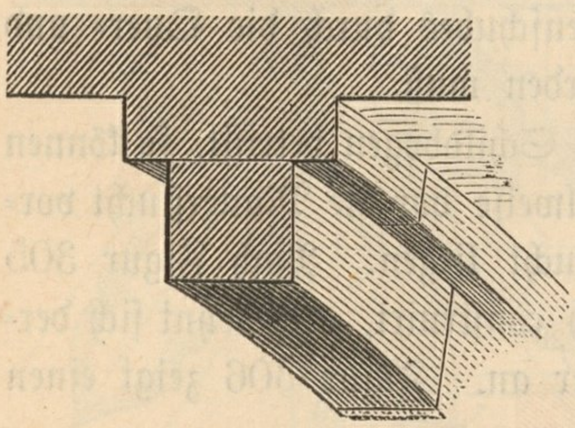


Fig. 293.

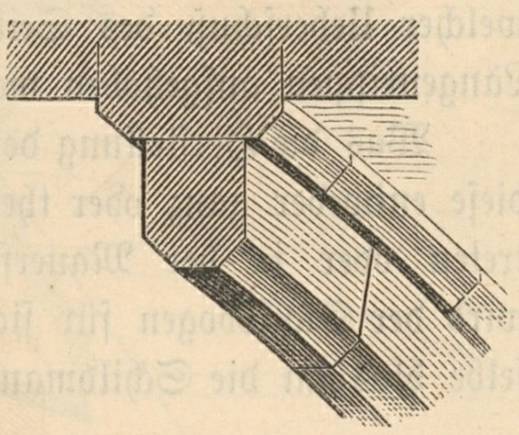


Fig. 294.

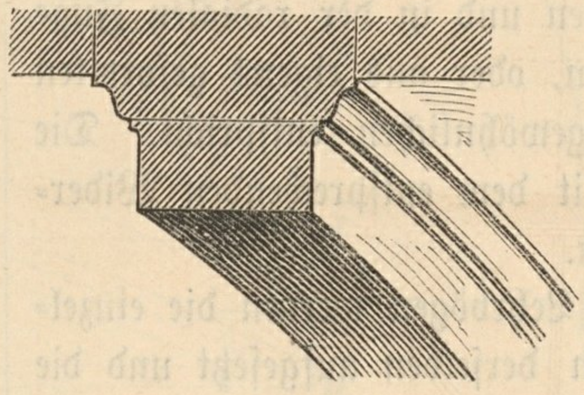


Fig. 295.

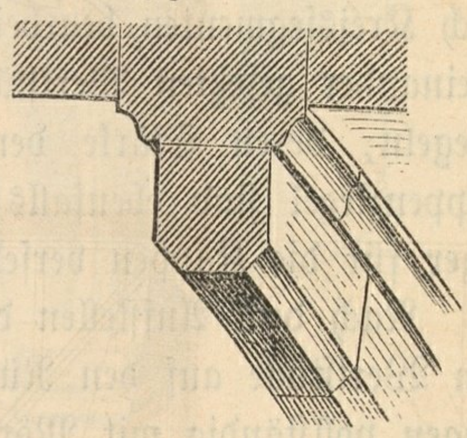


Fig. 296.

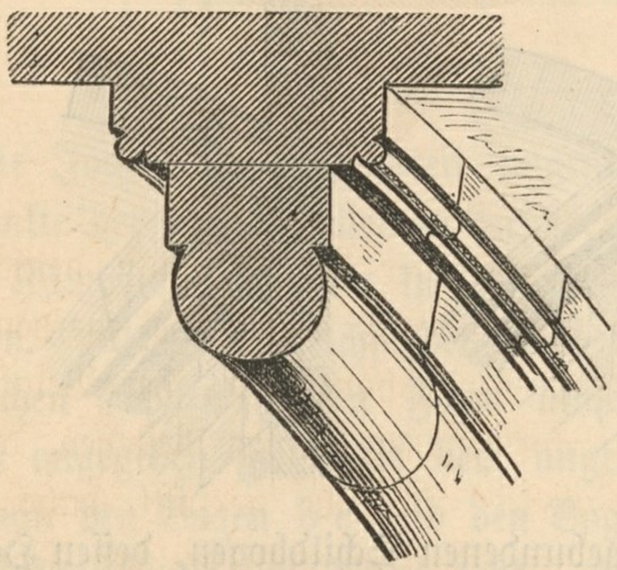


Fig. 297.

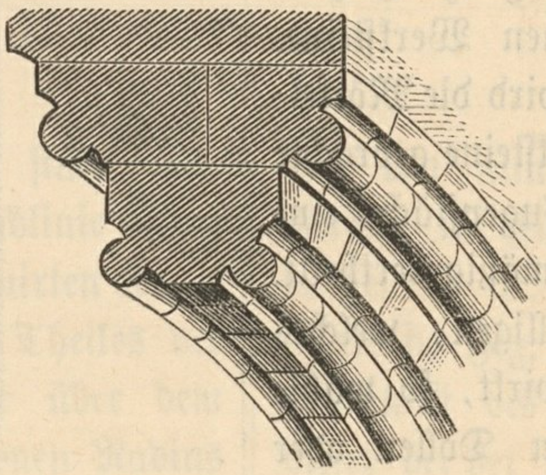


Fig. 298.

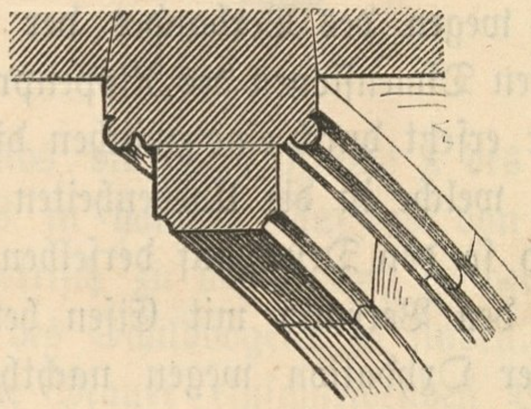


Fig. 299.

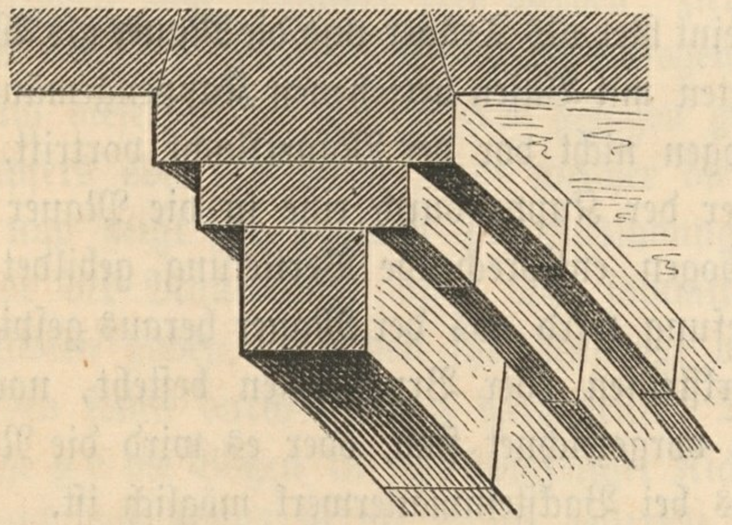


Fig. 300.

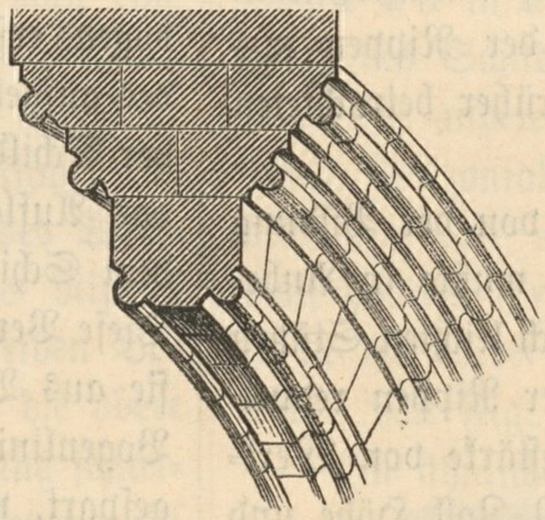


Fig. 301.

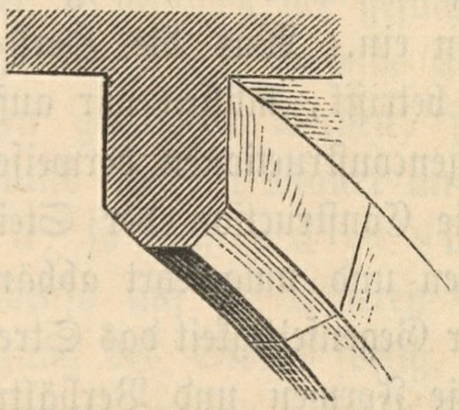


Fig. 302.

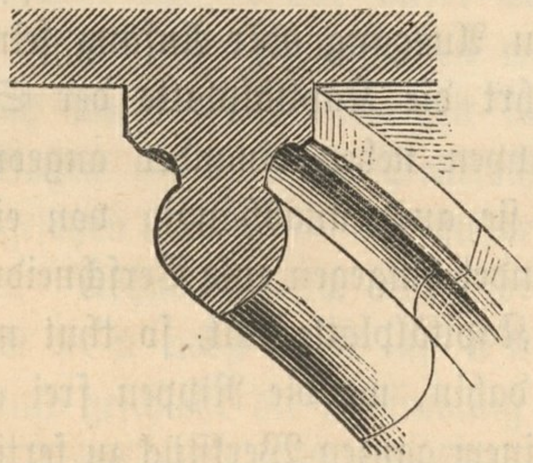


Fig. 303.

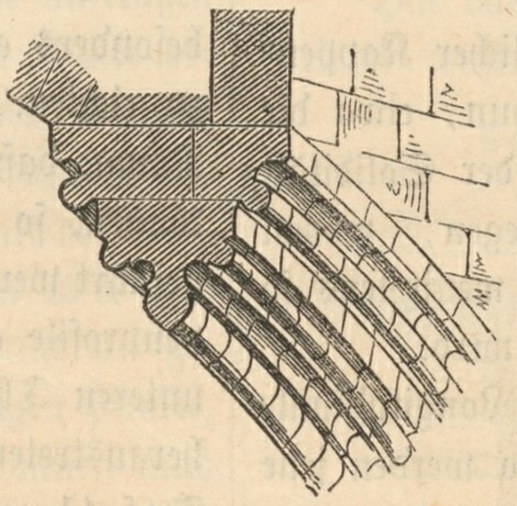
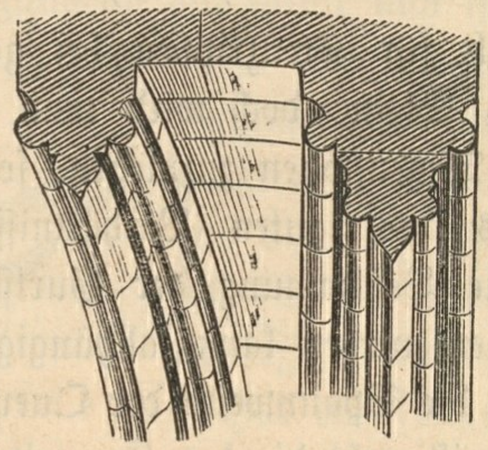


Fig. 304.



In den Fig. 288—300, sowie in den Fig. 5—10, Taf. 41, sind die Hauptcharaktere der Gurtprofile ausgesprochen, und zwar vom römischen Bogen an, welcher als gekrümmter Architrav „Archivolt“ behandelt wurde, bis zum 13. Jahrhundert; während die Fig. 301—304 und Fig. 4, Taf. 41, Beispiele einfacher und zusammengesetzter Rippen

vom 14. und 15. Jahrhundert geben. Bei der ersten Gruppe ist die Breite, bei der letzten die Ausladung vorherrschend. Während bei der ersten Gruppe ein rechtwinkeliges Zurücktreten der zusammengesetzten Gurten stattfindet, analog dem Formalismus an Pfeilern, Thüren und Fenstern, liegen die auswärtsgehenden Profile der letzten Gruppe in schiefen Ebenen, ebenfalls dem Grundcharakter der übrigen Formen jener Zeit entsprechend.

Die Rippen werden ausgeführt entweder aus einzelnen, nach Kreissegmenten bearbeiteten und in der radialen Fuge aneinander gesetzten Werkstücken, oder aus eigens geformten Ziegeln, deren Stärke den gewöhnlichen entspricht. Die Rippenziegel sind ebenfalls mit dem entsprechenden Widerlager für die Kappen versehen.

Nach dem Aufstellen der Lehrbögen werden die einzelnen Werkstücke auf den Rücken derselben aufgesetzt und die Fugen vollständig mit Mörtel ausgefüllt, wegen der gleichmäßigen Uebertragung des Druckes auf die ganze Fugenfläche und wegen des Verbandes der einzelnen Werksteine. Bei kleineren Dimensionen des Rippenprofils wird die Mörtelfuge besser ersetzt durch eine zwischen die Werksteine gebrachte Bleiplatte, welche in die Unebenheiten der Fugenfläche eindringt und so den Druck auf derselben gleichmäßig vertheilt. Will man den Verband mit Eisen bewerkstelligen, welches jedoch seiner Oxydation wegen nachtheilig wirkt, so wähle man anstatt der zwei Zoll langen eisernen Dollen oder Dübel, um welche sich die Werkstücke drehen können, eine andere Form für das Eisen, etwa die ⊤Form, und setze sie mit Gyps oder Blei hälftig in die zusammenstoßenden Fugenflächen ein. Was die Herstellung der Rippen aus Backsteinen betrifft, müssen wir auf die früher betrachteten Backsteinbogenconstructionen verweisen.

Da die Construction der Steindecke von der Bildung ihrer Stützen und umgekehrt abhängt, so mußte in Anbetracht dieser Gegenseitigkeit das Streben nach leichten Stützen auch auf die Formen und Verhältnisse der Rippen reducirend influiren. Als Minimum der Rippenstärke von Werksteinen kann man 4½ Zoll Breite bei 9 Zoll Höhe und 16 Fuß Spannweite annehmen*).

Dieß gilt für Kreuzrippen bei gewöhnlicher Kappenstärke von ½ Stein, doch wird man gut thun, etwa die Hälfte dieser Dimensionen zuzulegen, sowohl der Solidität, als besonders des guten Verhältnisses wegen, wovon namentlich die Bestimmung der Gurtstärke, wenigstens so weit sie gesehen werden kann, abhängig sein wird.

Obschon die Spannweite der Quer- und Longitudinalrippen kleiner ist, als die der Kreuzrippen, so werden jene doch stärker ausgeführt, weil sie bei mehreren Jochreihen, z. B. mehrschiffiger Kirchen, die Aufgabe haben, das Pfeilersystem nach den beiden Hauptachsen zu verspannen, und ihnen eine solche feste Stellung zu geben, daß sie den diagonalen Pressungen der Kreuzrippen widerstehen können. Diese würden sich bei gleicher Jochbreite aufheben, allein da dieß bei Kirchen des breiteren Mittelschiffes wegen nicht der Fall ist, so überwiegt die Seitenpressung der Kreuzrippen des Mittelschiffes die der Seitenschiffdiagonalrippen, welcher Ueberschuß des Seitenschubes durch die Quer- und Längenrippen aufgehoben werden muß.

Was die Herstellung der Schildbögen betrifft, so können diese entweder ganz oder theilweise vor die Mauerflucht vortreten oder in der Mauerflucht liegen. Nach Figur 305 wird der Schildbogen für sich construirt, und lehnt sich derselbe blos an die Schildmauer an. Figur 306 zeigt einen

Fig. 305.

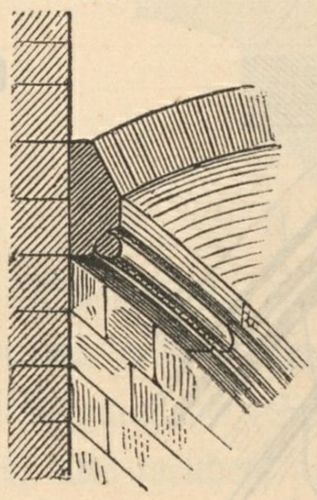
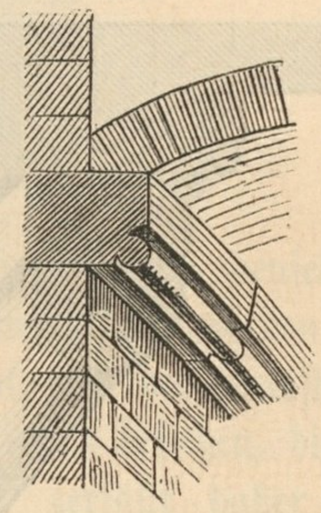


Fig. 306.



in die Mauer eingebundenen Schildbogen, dessen Herstellung mit der der Mauer erfolgen muß. Der Rücken des Schildbogens erscheint hier als Träger und die Mauer als Widerlager des aufgelegten mit Busen versehenen Kappengemäuers. Wo der Schildbogen nicht vor der Mauerflucht vortritt, da muß das Auflager der Kappe durch eine in die Mauer tretende, dem Schildbogen entsprechende Vertiefung gebildet werden. Diese Vertiefung wird aus der Mauer heraus gespitzt, wenn sie aus Werksteinen oder Bruchsteinen besteht, nachdem die Bogenlinien vorgezeichnet sind, oder es wird die Nuthe aufgespart, was bei Backsteinmauerwerk möglich ist.

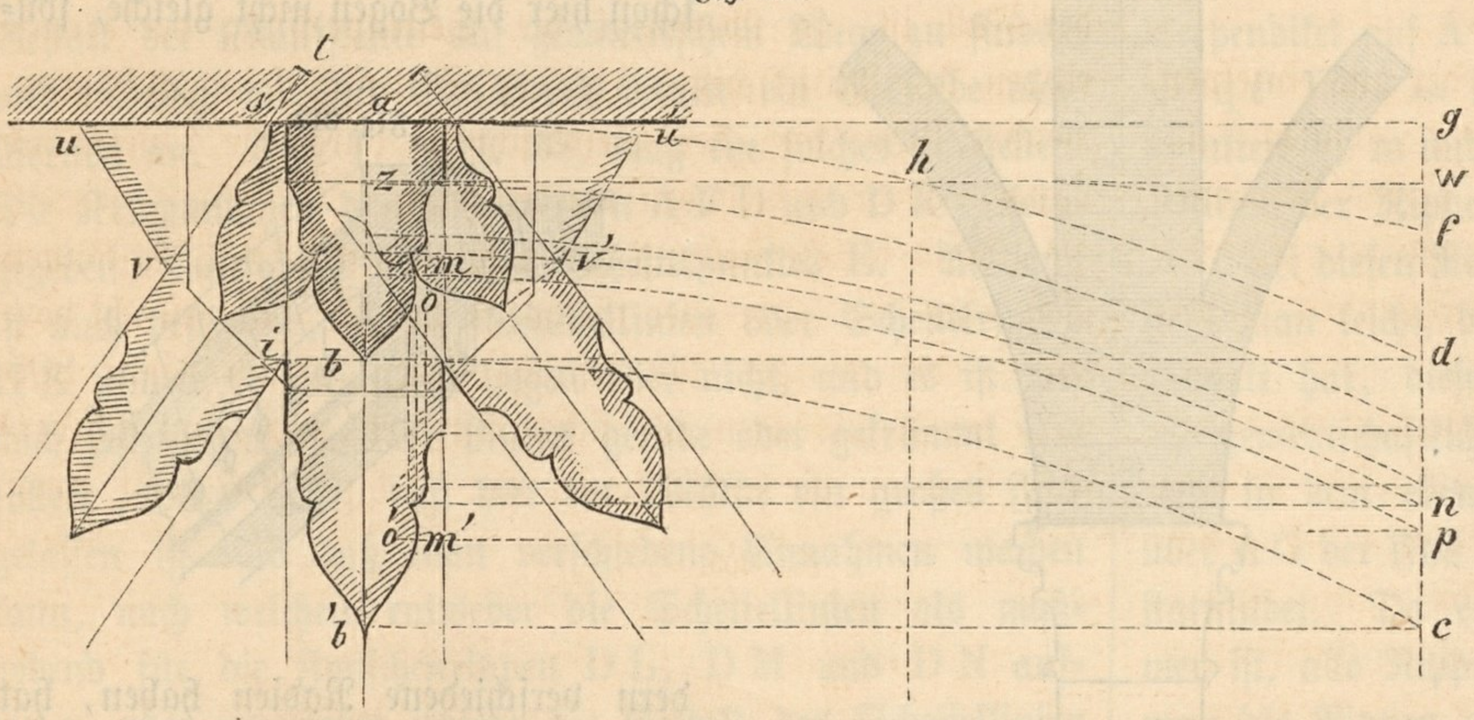
Bei Kreuzgewölben mit Gräten oder Rippen hat man besonders auf deren Ausgang oder Anfang sein Augenmerk zu richten. Gewährt die Kapitälplatte der Stütze so viel Raum, daß die Rippen neben einander angeordnet werden können, so können sie auch unabhängig von einander ausgeführt werden. Findet hingegen eine Verschneidung der Rippenprofile auf der Kapitälplatte statt, so thut man gut, den unteren Theil bis dahin, wo die Rippen frei aus einander heraustreten, aus einem ganzen Werkstück zu fertigen. Fig. 2, Taf. 41, zeigt die Ansicht und Fig. 4 den zugehörigen Grundriß eines solchen Kämpfers oder Anfängers, auf welchem sich fünf Rippen ansetzen sollen. Weniger gut ist die Construction Figur 3, Taf. 41, nach welcher eine solide Auf-

*) Die Kreuzrippen der Bonifaciuskapelle in Fritzlar messen 4½ und 9 Zoll bei 15½ Fuß Spannweite. Siehe Ungewitter, Seite 103.

mauerung angeordnet ist mit horizontalen Fugen bis zu der Höhe, wo die Rippen sich von einander trennen.

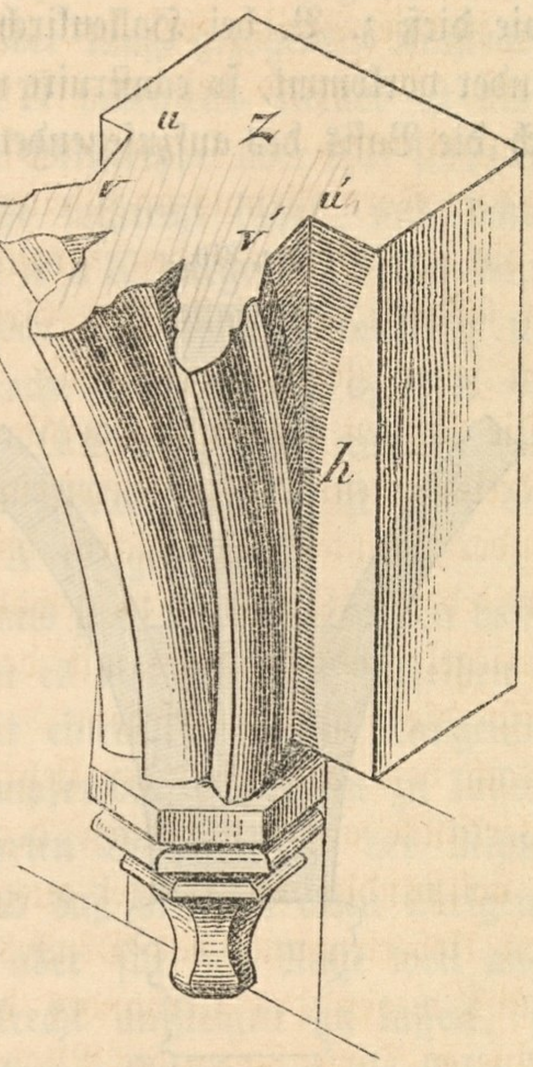
Die Art und Weise, wie ein solcher Gewölbeanfänger zu construiren ist, mögen die zusammengehörigen Fig. 307 und 308, wie folgt, erklären. Der Kämpfer soll zwei Kreuzrippen und eine Gurtrippe aufnehmen von gleichen Radien,

Fig. 307.



indem die Joche als gleich breit angenommen sind. Die Mittelpunkte der Bögen sollen in derselben Grundlinie liegen und der Kämpfer auf einem in's Achteck construirten Kragstein sitzen. a b ist die Achse des vortretenden Theiles der drei gleichen Rippen, deren Form unmittelbar über dem Kragstein angegeben ist. Mit dem angenommenen Radius schlage man den Bogen b c und den Bogen a d, der durch den äußersten Punkt der Rippe geht. Aus dem Punkte i, wo die Rippen von einander frei werden, ziehe man eine Senkrechte auf a b, welche den äußersten Bogen in d schneidet. Durch diesen Punkt g c # a b gezogen gibt die Höhe des Kämpfers oder die Ebene, auf welcher die Rippen beginnen, und zeigt g c zugleich die Ausladung des Werkstückes vor der Mauerflucht an. Da sämmtliche Rippen gleiche Radien haben, so bilden ihre Anfänge dieselben Bögen, werden somit durch b c d a dargestellt. Da die obere Lagerfläche g c die Bögen in schiefwinkeliger Richtung schneidet, so muß das etwas in die Länge gestreckte Rippenprofil construirt werden, um es auf dieser Lagerfläche auftragen zu können. Zu diesem Zweck wollen wir einen Punkt bestimmen, nach welchem alle übrigen aufgefunden werden. Durch den Bogen b c und die Senkrechte b' c wurde, wie wir bereits gesehen haben, b' als äußerster Punkt des Profils bestimmt. Aehnlich wird durch den Bogen m n und die Senkrechte m' n nebst m m' # a b der Punkt m' gefunden. Ebenso geschieht die Auffindung der übrigen Punkte, wie dieß die Figur zeigt. Auf dieselbe Weise können auch Zwischenpunkte wie z. B. o' durch Bogen o p und die Parallellinien p o' und o o' gefunden werden u. s. f. Die Projection der Querrippe gilt auch für die Kreuzrippe.

Fig. 308.

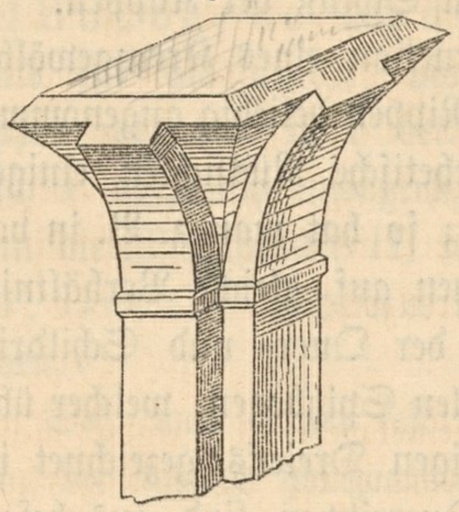


Um nun vollends die obere Fläche z des Kämpfers, welcher in Fig. 308 in halbem Maßstab von Fig. 307 dargestellt ist, geometrisch zu bestimmen, ist der Anfangspunkt h, Fig. 308, des Schildbogens zu finden. t ist der Endpunkt des in die Mauer einschneidenden Profils; wo dieser bei der bogenförmigen Bewegung aufwärts die Mauerflucht schneidet, wird sein Höhepunkt liegen. Man trage daher s t nach a z, ziehe von z die Senkrechte, bis sie den Bogen a d in h schneidet, so ist dieß der gesuchte Anfangspunkt des Schildbogens. Soll nun derselbe mit dem Radius der anderen Bögen gezeichnet werden, so gibt w d seinen horizontalen Abstand von der Mauer an; trägt man denselben von s nach u, so daß w d = s u, und zieht man hierauf u v und ebenso auf der anderen Seite u' v', so ist die obere Begrenzung des Steins fertig. Die Buchstaben von Fig. 308 entsprechen den gleichen in Fig. 307.

In ähnlicher Weise wird verfahren, wenn die Rippen mit verschiedenen Radien beschrieben werden.

Hat das Kreuzgewölbe nur Gräte und ist es aus Backsteinen construirt, so wird man ebenfalls gut thun, zum Anfänger in den Ecken einen größeren natürlichen Stein, Figur 6, Taf. 34, zu nehmen, um für die ersten Gewölbsteine ein besseres Auflager zu erhalten.

Fig. 309.



Hat ein freistehender Pfeiler Kreuzgewölbe mit Gräten und Gurtbögen aufzunehmen, so wird ebenfalls ein Kämpfer etwa nach Fig. 309 angeordnet.

Ist über der Gewölbestütze noch ein Pfeiler anzuordnen, wie dieß z. B. bei Hallenkirchen zur Unterstützung der Dachbinder vorkommt, so construire man nicht nach Fig. 310, wornach die Basis des aufzusetzenden Pfeilers ungemein klein

Fig. 310.

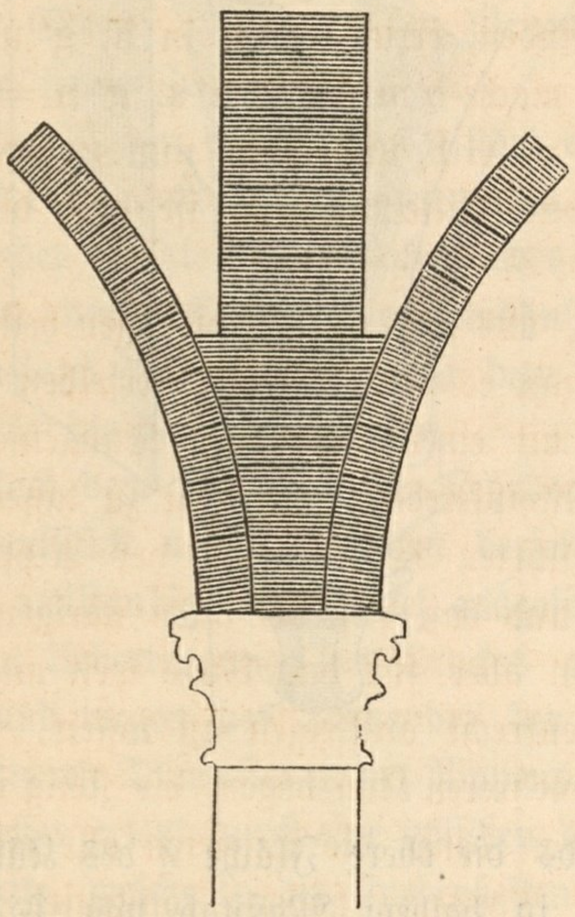
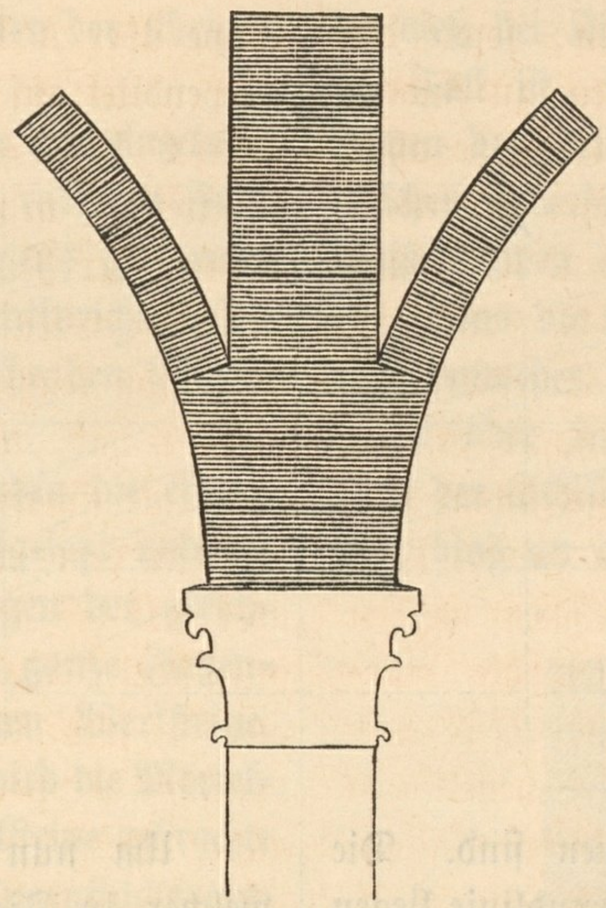


Fig. 311.

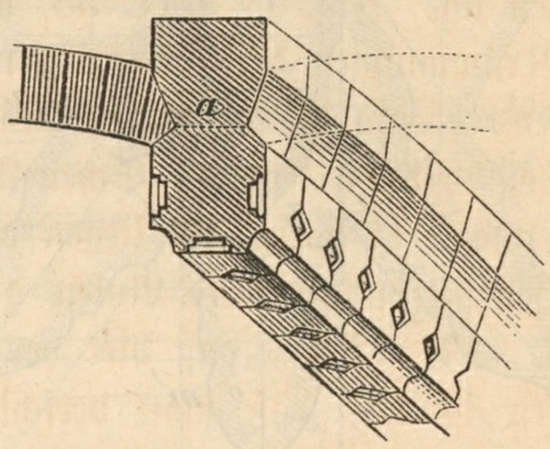


würde, sondern vielmehr nach Fig. 311, bei welcher Construction sowohl den Gewölbewiderlagern, als auch der Pfeilerbasis volle Rechnung getragen ist. Anstatt den drei Schichten Werksteinen kann, wenn es die Steingröße erlaubt, auch ein einziges Kämpferstück angenommen werden.

Schließlich geben wir auf Taf. 37 einen Theil der von Eisenlohr erbauten Kapelle auf dem Friedhofe in Karlsruhe, und zwar in Fig. 1 den Grundriß eines Gewölbejoches mit der umgeklappten Form der Kreuzrippen; in Fig. 2 den Querdurchschnitt, halb durch das Fenster, halb durch den Strebepfeiler geschnitten gedacht, in Fig. 3 den Längenschnitt, in Fig. 4 die vordere und Seitenansicht eines Kämpfers nebst seinem unteren und oberen Lager, und endlich in Fig. 5 die untere Ansicht des durchbrochenen massiven Schlußsteins, mit den vier Ansätzen für die Kreuzrippen nebst einem Durchschnitt durch den Schlußstein am Ansatz der Kreuzrippe und einem solchen am Schluß der Kappen.

Wir haben hier die Construction eines Kreuzgewölbes vor uns, bei welcher sämmtliche Rippen beliebig angenommen werden könnten, wenn nicht ästhetische Rücksichten einigermaßen bindend auftreten würden; so hat man z. B. in vorliegendem Fall Rücksicht genommen auf gleiche Verhältnisse zwischen Spannweite und Höhe der Quer- und Schildrippen, die vom sogenannten normalen Spitzbogen, welcher über den zwei Seiten eines gleichseitigen Dreiecks gezeichnet ist, wenig differiren. Kreuz- und Querrippen sind aus besonders geformten Backsteinen, 6 Zoll breit und 1,5 Fuß hoch nach Fig. 312 construirt, so daß ein durchgreifender Formstein mit je zweien nach a gestoßenen Verband hält. Das Widerlager für die Kappen wird beim Formen der Steine berücksichtigt. Der Kämpfer, Fig. 4, dessen Construction nach früher Gesagtem nicht schwer fallen wird, obschon hier die Bögen nicht gleiche, sondern verschiedene Radien haben, hat eine Querrippe, zwei Diagonal- und zwei Schildrippen aufzunehmen. Die Hohlkehlen der Rippen sind am Aufriß des Kämpfers, Fig. 4, nicht angegeben, da sie erst nach Vollendung des Gewölbes nachgearbeitet wurden. Wegen der Lüftung der Kapelle sind die Schlußsteine durchbrochen angenommen worden und oben mit einem Falz versehen, in welchen ein Deckel eingelegt werden kann. Die nach unten zunehmende Stärke der Strebepfeiler wurde mittelst der Kettenlinie bestimmt, auf welche wir später zurückkommen werden. Die Einwölbung der mit Busen versehenen Kappen geschah auf den Schwalbenschwanz.

Fig. 312.



§. 23.

Das Sterngewölbe.

Dieses Gewölbe zeichnet sich vor dem Kreuzgewölbe nicht durch Verschiedenheit seiner Construction aus, wie wir auf Seite 93 schon erwähnt haben, sondern nur durch ein mehr verzweigtes System von Rippen, deren Horizontalprojectionen, wie die Figuren 215 A—G, S. 92 zeigen, meistentheils sternförmige Figuren darstellen, woher es seinen Namen erhalten hat. Es entsteht aus dem Kreuzgewölbe durch mehrfache Theilung der Kappenfelder mittelst Rippen, welche theils wie die des Kreuzgewölbes von den Stützen ausgehen und Hauptrippen heißen, theils aber auch nur zur Verknüpfung oder Verspannung dieser letzteren, sowie zur Bildung bestimmter geometrischer Figuren beitragen und Zwischenrippen oder Liernen genannt werden. Die Durchschneidungspunkte der Rippen und Liernen sind dann ge-

wöhnlich noch mit rosettenartig gehaltenen Verzierungen, den sogenannten Knäufen, versehen, wodurch der Reichthum des ganzen Gewölbes noch mehr gesteigert wird. Solche Gewölbe finden wir in den Kirchen, Kreuzgängen, Refektorien ꝛc. aus dem 15. Jahrhundert.

Zeigen wir nun das Verfahren, die verschiedenen Bogenlinien für die Rippen, Gräte und Liernen, sowie die Gestalt der Knaufsteine auf geometrischem Wege zu finden, und nehmen wir der Einfachheit wegen ein Gewölbe ohne Liernen an. Fig. 1, Taf. 38, mag ein solches darstellen. Die Krümmungen der Stirnrippen A F D und D K C seien gegeben, ebenso die Lage des Scheitelpunktes E. Alsdann ist auch bestimmt, ob die Scheitellinien oder Scheitelrippen H K und F G horizontal liegen oder nicht, und es ist nur noch festzusetzen, ob diese Linien gerade oder gekrümmt sein sollen. Man sieht, daß hier der Willkür ein großes Feld gelassen ist und daß man verschiedene Annahmen machen kann, nach welchen entweder die Scheitellinien als maßgebend für die Zwischenrippen D L, D M und D N auftreten, oder umgekehrt letztere die Gestalt der Scheitellinien oder Scheitelrippen bestimmen können. Eine dieser Annahmen ist die: daß alle Rippen einander ähnlich sein, d. h. daß bei allen dasselbe Verhältniß zwischen Spannweite und Höhe stattfinden soll; eine andere: daß man die Gestalt der Scheitelrippen F G und H K bestimmt und zugleich die Figur des horizontalen Querschnitts aller Rippen, in einer gewissen (etwa der halben) Höhe der Diagonalrippe D E, wie bei o p q festsetzt. Zu diesen Annahmen kommt dann noch die über die Natur der Krümmungen der Rippen, ob sie nämlich Kreissegmente aus einem Mittelpunkte, oder Korblinien aus verschiedenen Mittelpunkten beschrieben, sein sollen.

Nehmen wir zuerst den Fall, daß die Rippen Kreissegmente, die Scheitellinien gerade und horizontale Linien und in Fig. 2, Taf. 38, a b c und d e f die Querschnitte, dicht über dem Kämpfer, und in einer Höhe der Rippen gleich f q, in der Horizontalprojection gegeben seien; alsdann finden sich die Bogenlinien der Rippen über A C, A B und A E, Fig. 2, auf folgende Weise.

Die Gestalt der Stirnrippe über A G sei durch c F gegeben; und um nun die der Diagonalrippe über A E zu finden, errichte man in e einen Perpendikel e t und mache diesen gleich der im Punkte f errichteten senkrechten Ordinate f q, ferner ziehe man E H senkrecht auf A E und mache diese Linie gleich G F, so sind b, t und H drei Punkte, durch welche eine Kreislinie zu ziehen ist, deren Mittelpunkt man ohne Mühe finden kann. Auf dieselbe Weise findet man die Rippe über A C, indem man die Punkte t' und H' wie vorhin bestimmt und den zugehörigen Mittelpunkt sucht.

Die Rippen über A D und A B derselben Figur kann man nun zwar auch nach der eben angegebenen Methode finden; doch kommt es bei lang gezogenen Rechtecken als Grundfigur, d. h. wo A D bedeutend kleiner ist als A G, häufig vor, daß man die Stirnrippe über A D stelzt, d. h. bis auf eine gewisse Höhe lothrecht führt, und dann erst krümmt. Es sei dieß in a' s K dargestellt. Um dann die Rippe über A' B' zu finden, errichte man in h, g' und B' Perpendikel auf A' B', mache h m = ½ a' s, g' n = d' q' = q f' B' L = D' K = G F und suche nun zu den drei Punkten n, m und L den Mittelpunkt, so ist auch die Bogenlinie der Rippe über A' B' gefunden.

Bei diesen Rippen, aus je einem Kreisbogen bestehend, sieht man leicht, daß man es nur bei einer derselben in der Gewalt hat, dieselbe mit einer lothrechten Tangente von der gemeinschaftlichen Kämpferebene aufsteigen zu lassen, wie dieß in dem eben berührten Beispiele mit der Rippe c F über A G der Fall ist, und daß dieß bei allen übrigen nicht stattfindet. Da es nun aber für das Auge weit angenehmer ist, alle Rippen senkrecht aufsteigen zu lassen, so hat man die Rippen aus mehreren Kreisbögen, die stetig in einander übergehen und von denen die untersten alle eine zur Kämpferebene normale Tangente haben, construirt, dabei aber wieder verschiedene Methoden befolgt, von denen wir einige kurz berühren wollen.

Solche Rippen können in beliebiger Anzahl von einer gemeinschaftlichen Kämpferebene unter einerlei Winkel aufsteigen, dabei bis zu einer gewissen Höhe alle einerlei Krümmungshalbmesser, doch aber, unter gewissen einfachen Beschränkungen, eine verschiedene Höhe oder Spannung haben. Diese Rippen haben gewöhnlich zwei verschiedene Krümmungshalbmesser, und der obere kann, während der untere constant bleibt, entweder auch bei allen Rippen derselbe, oder bei jeder ein anderer sein.

Es stelle Fig. 3, Taf. 38, in A B C D den vierten Theil des Grundrisses eines Gewölbes dar, und es seien der Einfachheit wegen die Scheitellinien horizontal, so daß also alle Rippen gleiche Höhe haben, und d d' bezeichne diese Höhen.

Man trage die Projectionen der Rippen A E, A D und A C nach A e, A d und A c, errichte in B, e, c und d die unter sich und mit der Gewölbhöhe gleichen Perpendikel B b', e e', c c' und d d'; bestimme ferner den Mittelpunkt für die untere, bis G reichende Krümmung aller Rippen auf A D in F beliebig und ziehe die gerade G H durch F vorläufig unbegrenzt lang. Auf dieser Linie sind dann die Mittelpunkte H, K, L und M für die Kreisbögen G b', G c', G e' und G d' auf die bekannte Weise leicht zu finden.

Setzt man ferner fest: daß die oberen Bögen der Rippen, bei wieder horizontalen Scheitellinien des Gewölbes, ebenfalls, wie die untern, gleiche Krümmungshalbmesser haben

sollen, so können die untern Bögen nicht mehr einerlei Höhe behalten, sondern der Uebergang der Bögen in einander muß in verschiedenen Höhen stattfinden.

Es stelle Figur 4, Taf. 38, in A B C D wieder den vierten Theil der Horizontalprojection des Gewölbes dar, und es seien die Projectionen der Rippen über A E, A D und A C wie vorhin nach e, c, d gebracht, auch die Höhe sämmtlicher Rippen mittelst einer durch d', parallel mit A d gelegten Geraden bestimmt; ebenso die Perpendikel B b', ee', c c' und d d' gezogen und auf A d oder deren Verlängerung der Punkt F als Mittelpunkt für die unteren Bögen der Rippen angenommen, endlich der gemeinschaftliche Halbmesser der oberen Bögen gleich A P gegeben. Mit dem Unterschiede F P der beiden Krümmungshalbmesser A P und A F beschreibe man von F aus einen Kreisbogen P M; in diesem liegen die Mittelpunkte der oberen Bögen; und sie werden gefunden, wenn man mit dem Halbmesser A P, von den Punkten b', e', c' und d' aus, den Kreisbogen P M in den Punkten H, K, L und M schneidet. Zieht man nun durch die so gefundenen Punkte und durch F gerade Linien H G, K n, L l und M m, so sind von F aus, mit dem Halbmesser F A, die unteren Bögen A G, A n, A l, A m, und von den Punkten H, K, L, M die oberen Bögen G b', n e', l c', m d' zu ziehen; die Punkte G, n, l und m bezeichnen dann die stetigen Uebergänge der Bögen in einander.

Es sei nun, Fig. 1, Taf. 41, A B C D der vierte Theil der Horizontalprojection eines mit Liernen und Knäufen versehenen Gewölbes. Es sollen die Formen eines Knaufsteins bei G, und der Liernen G E und G F gefunden werden, wobei wir die Krümmung der von B ausgehenden Rippen, sowie die Gestalt der Scheitelrippen D C und A D als bekannt, oder nach dem Vorigen gefunden, ansehen dürfen.

Man errichte in D die zu B D senkrechte D K, mache sie gleich der Höhe des Gewölbes und zeichne den Aufriß der Diagonalrippe über B D in H K. Denken wir uns nun durch die Mitten der Diagonalrippe und der beiden Liernen Ebenen gelegt, die auf der Projectionsebene senkrecht stehen, so werden sich diese in einer auf der Projectionsebene normal stehenden geraden Linie schneiden, deren Horizontalprojection der Punkt G ist*). Diese Linie soll die Achse des Knaufsteins heißen, und wenn wir die Linie G g' senkrecht auf B D ziehen, so wird diese jene Achse in der Ebene der Diagonalrippe darstellen.

Die Knäufe sind in der Regel mit sphärisch oder kreisförmig begrenzten Verzierungen (Schnitzwerken, Wappen ꝛc.) versehen, wie Fig. 11, Taf. 41 einen solchen zeigt; allein der Mittelpunkt dieser Begrenzung findet sich nicht immer in der Achse des Knaufsteins, sondern oft so angeordnet, daß die Verzierung (besonders Schnitzwerk) die Durchschnittsstellen der Rippen gut verdecken kann. Der um (nicht aus) G beschriebene Kreis (Figur 1) bezeichne diese Begrenzung. Auf den Rippen und Liernen bestimme man die Punkte M, N, O und P gemäß den Orten, wo in den Unteransichten die Fugen befindlich sein sollen. Die Punkte N und M projicire man aufwärts nach n und m, ziehe durch diese Punkte, von dem zugehörigen Krümmungsmittelpunkte L der Rippe aus, die Linsen m m' und n n', und bestimme durch die, senkrecht zur Achse des Knaufs gezogene Linie n' m' die (immer horizontalliegende) Oberfläche des Knaufsteins.

Diese Linie muß in einer hinreichenden Höhe über g gezogen werden, damit der Stein an seiner schmalen Seite bei m m' noch hinreichende Stärke erhält.

Bringt man nun die Punkte m' und n' wieder in die Horizontalprojection nach m" und n", so ist durch m" n" die Länge des Knaufsteins in seiner Oberfläche, bezüglich auf die Lage derselben zur Achse, gegeben. Diese Methode des Auf- und Abwärtsprojicirens findet immer Anwendung; denn die Stelle der Fugen bestimmt sich bei diesen Gewölben immer nach den Verzierungen ꝛc. auf der unteren oder sichtbaren Fläche, während man die Form der Steine durch die Projection der oberen Fläche erhält.

Jetzt ist die Form des Steins in der durch G E gelegten Vertikalebene zu bestimmen; und zugleich wird hierbei die Form der Lierne in einem vertikalen Längenschnitte sich ergeben. Man ziehe E E' und G h' senkrecht zu G E, so ist G h' die Achse des Knaufs und G h = G g; G h' = G g'; und die Länge des Punktes E' ist von der Gestalt der Gratrippe über C D abhängig; hier, wo letztere horizontal angenommen, ist E E' = D K.

Bei den vorhandenen Beispielen solcher Gewölbe scheint die Gestalt der Liernen niemals genau bestimmt zu sein, was, da sie gewissermaßen nur als Streben der Rippen anzusehen sind, auch von keinem Belang ist. Oft sind sie gerade, und in andern Fällen haben sie eine leichte Krümmung. Letzteres dürfte das Angemessenere sein, und es ist daher in unserem Beispiele auch angenommen. In Bezug auf die Fuge o o', welche den Knauf mit der Lierne verbindet, muß wieder wie vorhin bei den Fugen n n' und m m' verfahren werden, nachdem der Punkt O so angenommen ist, daß er den Ornamentalknauf frei läßt.

Da der Knaufstein mittelst der Fugen m m' und n n' an der zugehörigen Rippe einen Halt findet, so ist es nicht nothwendig, daß die Fuge o o' genau normal auf die Krümmung der Lierne gerichtet ist; es reicht vielmehr aus,

---

*) In Fig. 1, Taf. 41, bezeichnet G den Punkt, in welchem sich die Linien F P und E O verlängert schneiden.

diese aus freier Hand und zwar so zu bestimmen, daß der Knaufstein einmal nicht zu sehr geschwächt, anderntheils aber auch nicht zu groß wird.

Auf ganz dieselbe Weise findet man die Lierne über G F und die Gestalt des Knaufsteins bei Z p' p i i', und es ist durch m" n" o" p" die vollständige Horizontalprojection der oberen Fläche des Knaufsteins gegeben, nach welcher man denselben anfertigen kann.

Das einfachste Verfahren bei Anfertigung eines Knaufsteins möchte etwa folgendes sein: Man zeichne den Grundriß der Rippen, Liernen und Knäufe wie in Fig. 1, Taf. 41; desgleichen den Aufriß jeder Rippe mit HK. Ist nun die Projection der Oberfläche des Knaufsteins wie in o" p" n" m" gefunden, so ebene man die passende Fläche des Steinblocks, um auf dieser weiter operiren zu können. Auf ihr ziehe man eine, der Rippe über B D entsprechende Linie, nehme in dieser den Punkt G an und ziehe von hier aus die den Liernen G E und G F entsprechenden Linien. Vom Achsenpunkte trage man die Entfernungen g' n' und g' m' auf und bearbeite dann mit Hülfe eines Winkelmaßes (Schmiege) die Fugenflächen n n' und m m', wozu die Winkel m' n' n und n' m' m, welche diese Fugenflächen mit der Oberfläche des Steins bilden, in der Figur gegeben sind. Man sieht leicht, daß die Fugen nur so weit normal auf dem Bogen zu stehen brauchen, als die Stärke des letzteren reicht, und daß man von hier an die Fuge brechen und, wie bei x x', p' Z und o' e, winkelrecht zur Oberfläche des Steins fortführen kann, wodurch man bei n' die spitzwinklige Kante vermeidet und an der Größe des Steins erspart, bei o' y und p' Z aber den Stein nicht unnöthig schwächt. Daß man ferner die Fugen o o' und p p" sowie die Brettungen für die Gestalt der Liernen, ganz nach den vorigen Angaben finden kann, braucht kaum erwähnt zu werden.

Die Art der Darstellung dieser Gewölbe ist verschieden. Die meisten und die aus der besseren Zeit herrührenden sind so gebaut, daß man zuerst das Gerippe der aus Hau- oder Formsteinen gebildeten Rippen, Liernen und Knaufsteine auf Lehrbögen, die unter die Rippen gestellt waren, einwölbte, so daß die Kappen oder Felder dazwischen aus freier Hand eingewölbt werden konnten. Die Fig. 5—10, Taf. 41, zeigen einige dergleichen (aus dem Magdeburger Dome entlehnten) Rippen ꝛc. im Profil. Sind die Kappen groß, so fertigt man dieselben aus leichtem Mauerwerk an, am besten aus Backsteinen, doch sind auch lagerhafte Bruchsteine anwendbar, wie dieß die Gewölbe des Magdeburger Doms z. B. zeigen. Sind die Felder klein und hat man plattenartige Steine, so construirt man sie aus einer oder zwei solcher Platten. Die an den Knaufsteinen befindlichen Rippenstümpfe sind entweder frei ausgearbeitet, so daß sie wie eben so viele Zweige davon wegragen (Figur 11, Taf. 41), oder jeder Knaufstein enthält den Theil Kappenfläche, der von einer die Rippenstümpfe verbindenden Linie eingeschlossen wird.

In der spätgothischen Zeit hat man diese, unstreitig aus der Construction selbst folgende Darstellungsweise dieser Gewölbe verlassen und, wie z. B. an den bereits eingewölbten Theilen des Kölner Domes, die Gewölbe unabhängig von den Gräten und Rippen aus Backsteinen ausgeführt und dann die Rippen aus Werksteinen ohne allen Verband mit den Kappen untergewölbt. Bei dieser Darstellungsweise verlieren die Rippen alle constructive Bedeutung und werden reines Decorationsmittel. Der Vortheil, welchen man dieser Bauweise vindiciren will, soll darin bestehen, daß der Zusammenhang zwischen den aus Backsteinen bestehenden Kappen nicht gestört werde und nun ein gleichförmigeres Setzen stattfinden könne, als wenn die aus Werkstein bestehenden Rippen dieselben trennten. Der Zweck der Rippen ist aber unzweifelhaft eine Verkleinerung der großen Kappen, um sie dadurch stabiler und das Setzen derselben unschädlich zu machen. Die Rippen und Liernen bilden das Gerippe des Gewölbes, was allein für sich Standfähigkeit hat, und machen es möglich, die dazwischen liegenden Kappen aus freier Hand einzuwölben, was sonst, bei großen Gewölben, schwerlich auszuführen sein dürfte, und wodurch man den großen Vortheil verliert, daß das Setzen derselben schon während der Arbeit vor sich geht. Untergewölbte Rippen werden zur Festigkeit eines Gewölbes wenig oder gar nichts beitragen, und wie man dann die in den Gräten, welches die allein tragenden Theile sind (da ja auch die Kappen nur in denselben eine Stütze finden), nothwendigen Verstärkungen herstellen will, ist nicht recht einzusehen; denn daß man einen Verband, wie wir solchen auf Taf. 34 in den Figuren 3—5 dargestellt haben, nur bei ganz einfachen Grundfiguren, wo keine anderen als die Diagonalgräte vorkommen, anwenden kann, leuchtet ein. Man wird gezwungen sein, die Gewölbe auf vollständigen Einschalungen auszuführen, und das ist gewiß kein Vortheil.

Will man die Rippen unterwölben, so muß man jedenfalls das Setzen der Gewölbe vorher abwarten, und dann dürfte es doch unserer Meinung nach vorzuziehen sein, gerade umgekehrt zu verfahren, d. h. die Rippen zuerst zu versetzen, die, bei der immer nothwendigen genauen Bearbeitung der Fugenflächen (welche außerdem in geringer Anzahl vorhanden sein werden), sehr bald nach dem Schlusse alle Bewegung beendet haben, und dann die Kappen dazwischen zu wölben. Bei untergewölbten Rippen können sich durch nachlässige Arbeit verursachte Risse und Sprünge in den Gewölben ungehindert durch das ganze Gewölbe ausdehnen,

was im andern Falle nur in den einzelnen Feldern zwischen den Rippen stattfinden kann.

Schließlich sei noch auf Taf. 45 ein Sterngewölbe im Grundriß, Figur 1, und im Durchschnitt durch die Scheitelrippe, Figur 2, dargestellt, über dessen Construction wir uns, unter Hinweisung auf das bisher Vorgetragene, kurz fassen können. Nach der Formbestimmung der das Quadrat der Grundfigur umgebenden Rippen wird die Mittellinie a b c, Fig. 1, nach a' b' c', Fig. 3, getragen; über c^1 die Scheitelhöhe c^2 angenommen und der Bogen $a^1 c^2$ gezogen, nebst den beiden Kreisbögen, welche den Anschlag und die obere Begrenzung oder die Rippenstärke bezeichnen. Hierauf wird mit Hülfe des Grundrisses und Figur 3 durch Annahme mehrerer Vertikalschnitte die Projection der Rippen in Fig. 2 ausgeführt, wobei $b^2 c^3 = b^3 c^2$ in Fig. 3 ist. Der Busen der Kappe ist so angenommen, daß er so ziemlich nach der Richtung $b^2 c^3$ der Scheitelrippe geht. Da der dreiarmige Knaufstein bei b, Fig. 1, beim Uebergang der Hauptrippen in die Scheitelrippe einen unschönen Absatz erhält, wie der Durchschnitt Fig. 2 zeigt, welchen man bei derartigen Gewölben verdeckte, durch einen mit Wappenschild oder Rosette dekorirten Knauf, so haben wir auf der rechten Seite des Durchschnittes Figur 2 eine kleine Abänderung eintreten lassen, die nämlich darin besteht, daß der Bogen $a^1 c^2$ Fig. 3 bei b^3 eine horizontale Unterbrechung erleidet, und zwar so weit, als die in Figur 1 punktirte Mittellinie a b c das bei b punktirte Dreieck durchläuft, wodurch dieses Dreieck eine ebene Fläche darbietet, an welche sich die Rippen schön anschließen können. Da die Rippen bei b unter beliebigen Winkeln sich begegnen, so wird die kleine Unterbrechung der Mittellinie nicht störend wirken. Die Kämpfer A A, welche zwölf Rippen aufnehmen, sind so hoch angenommen, daß die Rippen frei von einander abgehen können. Auf der rechten Seite Figur 2 sind die Rippen ohne Kappengewölbe, auf der linken dagegen mit der Ausmauerung angegeben. Zu diesem Zweck ist die Aufstellung eines Lehrbogens nach der Mittellinie der mit Busen zu versehenden Kappe zweckmäßig. Die Zeichnung solcher Lehrbögen ist äußerst einfach, so ist z. B. die Höhe des über a c nach a k Fig. 1 umgeklappten Bogens aus Fig. 2 zu entnehmen. Die Höhe des Kurvenpunktes m' wird nun z. B. dadurch bestimmt, daß man zur Höhe des Punktes l oder n, welche aus Fig. 3 zu finden ist, die Pfeilhöhe, welche die Kappenschichte l n erhalten soll, addirt, wodurch sich die Ordinate m m' ergibt. Naturgemäß muß mit der Abnahme der Länge der Kappenschichten auch ihre Pfeilhöhe abnehmen, was durch die Aehnlichkeit der eingezeichneten Dreiecke leicht ermittelt werden kann.

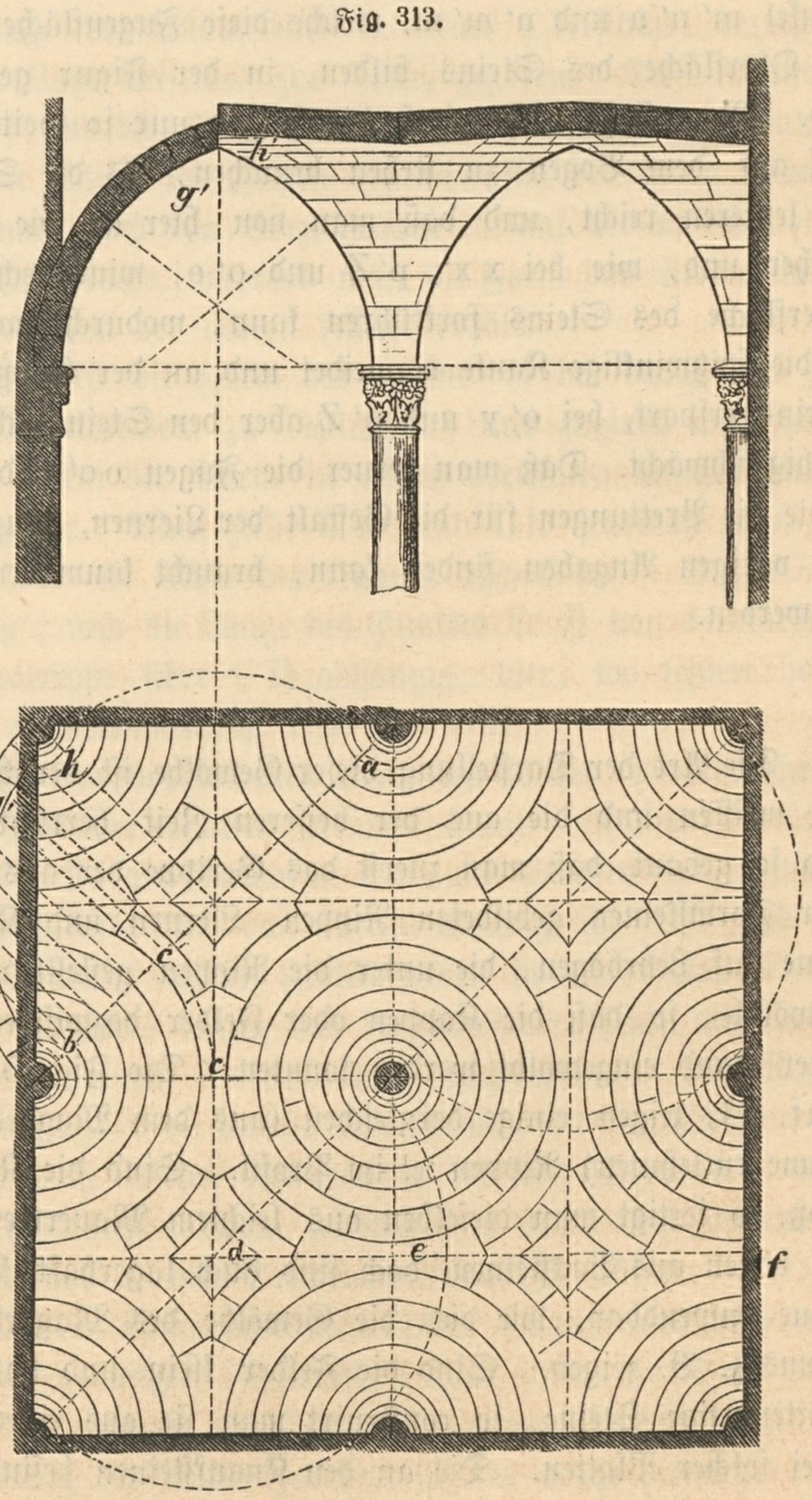
§. 24.

Das Trichter- oder Fächergewölbe.

Wir haben auf Seite 93 die allgemeine Form dieser Gewölbe mittelst der Figuren 217—218 zu erklären gesucht und haben nur noch folgendes beizufügen. Auf dem Continent finden wir keine Beispiele solcher Gewölbe aus dem Mittelalter, wohl aber in England. Dort ist die innere Fläche derselben meist ganz mit Verzierungen bedeckt, die dem Leisten- oder Maaßwerke der gothischen Architektur angehören. Diese Gewölbe sind immer aus natürlichen Steinen mit einem großen Aufwande von Fleiß und Genauigkeit construirt. Betrachten wir somit zunächst derartige Gewölbe aus Werksteinen und gehen wir dann zur Construction in Backsteinen über, welches Material für unsere Verhältnisse am geeignetsten erscheint.

Bei Fig. 217 A, Seite 93, ist ein Halbkreis über der Quadratseite des Grundrisses angenommen, wodurch nach der rotirenden Bewegung des Quadranten an den vier Ecken

Fig. 313.



des Grundrisses das Gewölbe in seiner Mitte noch offen ist und erst durch das Abdecken mittelst Platten oder besser durch das Einspannen einer flachen Kuppel und der vier dreieckigen Zwickel einen Schluß erhält. Auf eine weit einfachere Weise läßt sich das Gewölbe nach Fig. 313 schließen, indem anstatt über der Seite des Quadrats über dessen Diagonale a b der Halbkreis angenommen wird. Bei dieser Annahme erhalten die Gewölblinien über den Quadratseiten die Form des Spitzbogens, dessen Schenkel aus Kreissegmenten bestehen, die sich ergeben, wenn man die halbe Quadratseite b c auf die Diagonale nach b c' bringt und die Senkrechte c' g zieht, worauf b g als gesuchter Spitzbogenschenkel erhalten wird, wie ihn der Durchschnitt Fig. 313 nach der Linie b c d f des Grundrisses in seiner Zusammensetzung zeigt.

Der Segment b g macht bei unserm Grundriß, wo vier Fächergewölbe zusammengestellt angenommen sind, an den vier Hauptecken eine Viertelsdrehung, an den Zwischenpunkten eine halbe und um den mittleren Stützpunkt eine ganze Drehung. Jeder Punkt des Quadranten b h, welcher höher als Punkt g liegt, beschreibt einen kleineren Bogen, als die unterhalb g gelegenen Punkte, und werden die Bogen immer kleiner, je näher der erzeugende Punkt bei h liegt, während der Punkt h selbst keine Drehung mehr macht, woselbst das Gewölbe seinen Schlußpunkt hat. Die Punkte g' und h' entsprechen den Punkten g und h des im Grundriß umgeklappten Bogens, auf welchem auch die Eintheilung der Steinschichten stattfindet, ob das Gewölbe aus Werksteinen oder Backsteinen ausgeführt werden soll. Hier wurde der geringeren Fugenzahl, beziehungsweise der Deutlichkeit wegen das erstere Material gewählt, dessen Fugenschnitt aus dem Grundriß verständlich werden wird. Wer das Entstehungsgesetz dieses Gewölbes begriffen hat, dem kann dessen Construction nicht schwer fallen.

Die Fig. 1, 2 und 3, Taf. 42, geben eine allgemeine Uebersicht der Construction, und zwar zeigt Fig. 1 oberhalb einen Theil der inneren Leibung des Gewölbes, unterhalb dieselbe Partie in der oberen Rückenansicht. Fig. 2 zeigt einen lothrechten Durchschnitt nach der Linie A N Fig. 1, und Fig. 3 die Rückenansicht in isometrischer Projection. Der Theil, welcher dem Halbmesser A C in Fig. 1 entspricht, ist, wie bei den vorhin betrachteten Sterngewölben, aus Rippen und dazwischen liegenden Feldern oder kleinen Gewölbkappen, der Rest bis zum Scheitel aber ohne solche Rippen, aus eigentlichen Gewölbsteinen construirt. Der untere Theil der Fächer ist, etwa bis zur halben Gewölbhöhe, aus solidem Mauerwerk gebildet, wie dieß Fig. 2 und 3 zeigen. Die Fugen des Gewölbes sind offenbar mit Rücksicht auf die Verzierungen an der Leibungsfläche angeordnet. So ist z. B. der um den Mittelpunkt A Figur 1 gehende, der Linie B K entsprechende Steinring so eingerichtet, daß er die erste Reihe der verzierten Spitzbogen und die Kreisrippe mit den Tudorblumen enthält; der folgende zu K M gehörende Ring enthält die nächste Felderreihe mit ihren Bogenverzierungen und Tudorblumen, und der nächste erstreckt sich dann über den Scheitel des Gewölbes. Werden hierbei die Steine zu groß, so theilt man sie wie bei m n Fig. 1, und zwar so, daß die Fugen so wenig als möglich die Verzierungen unterbrechen; dergleichen Fugen finden sich auch oft in einer Rippe wie bei p q. Die strahlenförmigen Fugen liegen in unserem Beispiele in der Mitte der Felder; doch ist dieß keineswegs immer der Fall. Da die Anordnung der Fugen bei diesen Gewölben hauptsächlich durch die Verzierungen bestimmt wird, so ist es natürlich, daß zuerst die Lagen der Fugen in der Leibung bestimmt wurden, woraus die Fugen im Gewölbrücken sich von selbst ergaben. Man muß annehmen, daß die untere Fläche der Steine glatt ausgearbeitet wurde, daß man die kleineren ornamentalen Theile dann auf diese Fläche zeichnete, und zur Ausmittelung der Fugen blos die Rippen und kreisförmigen Bänder in den Grundriß projicirte, weil sonst sehr große Verschiebungen der Zeichnungen zum Vorschein gekommen sein würden.

Ein Verfahren, nach welchem man die Gestalt und Form der einzelnen Steine ausmitteln kann, zeigt Fig. 1, Taf. 43, welche dem in Fig. 1, Taf. 42, dargestellten Grundrisse entspricht. Die gewählten Steine sind: der in Fig. 1 und 3, Taf. 42, mit P bezeichnete, und die, welche mit Q und R Fig. 1 und 3 auf der andern Seite der Scheitellinie symmetrisch liegen, und in Fig. 3 mit Q' und R' bezeichnet sind.

In Fig. 1, Taf. 43, wo die Rippen und kreisförmigen Bänder durch parallele Doppellinien angedeutet sind, ziehe man die Mittellinie A B der Rippe, in welcher der fragliche Stein liegt, und zeichne ihren Aufriß C D; dieser gilt zugleich für alle Rippen des Gewölbes. Zunächst müssen nun die Fugen an der Leibungsfläche gezeichnet werden, wie solche die punktirten Linien zeigen. Die nach A zu convergirenden, strahlenförmigen Stoßfugen sind vertikal, weßhalb ihre Projectionen auf die Rippenfläche des Gewölbes mit der auf die Leibung zusammenfallen. Die Projection der eigentlichen Gewölb- oder Lagerfugen auf der Rückenfläche erhält man nach der schon bei den Sterngewölben angegebenen Methode. Die Fugen durchschneiden die A B in den Punkten n, q und s; man projicire sie aufwärts nach N, Q und S, ziehe F M X concentrisch mit C D in einem Abstande gleich der Stärke des Gewölbes, oder die Rippe über A B. In den Punkten N, Q und S errichte man die Normalen N M, Q P und S R, und bringe die Punkte M, P und R in den Grundriß nach m, p und r. Aus A

zeichne man nun die Kreisbogen m a, p c und r g, so erhält man die obere horizontale Operationsfläche der Steine N P und Q R, wobei die Linien P T und O R diese Flächen im vertikalen Durchschnitt zeigen. Um den dritten Stein S X zu vollenden, ist es nöthig, zuerst die Gestalt der Scheitellinie über G H zu bestimmen, da der Stein seiner Lage nach einem der früher beschriebenen Knaufsteine ähnlich ist, und in der Horizontalprojection auch eine von vier Lager- und zwei Stoßfugen begrenzte sechseckige Figur zeigt. Von den vier Lagerfugen sind die beiden g t und w x concave Flächen, die beiden andern t w und d y aber Ebenen; erstere sind einander congruent; weßhalb es hinreicht, eine derselben zu bestimmen; letztere aber müssen jede für sich gesucht werden, und hierzu ist die Kenntniß der Gestalt der Gratrippe erforderlich.

Da die Bogenrippen eines Fächergewölbes nach §. 8 dieses Kapitels alle dieselbe Krümmung haben, so können die Scheitellinien nicht mehr horizontal sein, jedoch auf folgende Weise gefunden werden. Fig. 2, Taf. 33 stelle in A B C D den Grundriß des Gewölbtheiles in Fig. 1 dar, und A C, A E, A F, A G und A D die Horizontalprojectionen der von A ausgehenden Rippen. Die Krümmung dieser Rippen zeichne man mittelst des Bogens a P, bringe die Punkte O, E, F, G und D nach c, e, f, g, d und errichte die Senkrechten c P, e N, f M, g L und d K, so sind durch P, N, M, L und K die Höhen der Punkte C, E, F, G und D gegeben; errichtet man daher in letzteren Punkten Perpendikel und zieht aus den Punkten P, N, M, L und K die Horizontallinien P p, N n, M m, L l und K k bis an diese Perpendikel, so gibt eine durch p, n, m, l und k gezogene stetige Kurve die Gestalt der Scheitellinie über A B Fig. 2 oder G H Fig. 1. Es sei nun diese Linie in Fig. 1 nach g h übertragen und eine Parallele g' h' in dem erforderlichen Abstande gezogen, um die Stärke des Gewölbes anzudeuten. Den Durchschnitt des Steins B in einer durch die Mitte der Gratrippe gelegten lothrechten Ebene, und zugleich die Gestalt der Lagerfugen t w und d y findet man in K ganz auf dieselbe Weise wie früher bei den Knaufsteinen, wobei die Linien B D X und B K der Achse des Knaufs entsprechen.

Der Stein N P Fig. 1 kann nun auf folgende Weise ausgearbeitet werden: Man zeichne auf die geebnete oder Operationsfläche die Form m a c p aus dem Grundrisse Fig. 1 und den Bogen b q; arbeite die Stoßfugen senkrecht auf diese Fläche und zeichne darauf die Form N M T P Q dieser Fugenfläche; bearbeite die auf der Operationsfläche in a m senkrechte concave Seitenfläche, und ebenso die in b q. Fig. 3, Taf. 33, zeigt den Stein so weit bearbeitet in isometrischer Projection; t T P ist die Kante der oberen Operationsfläche, N M T P Q eine der auf dieser Fläche senkrechten Stoßfugenflächen, t T M m die auf derselben Fläche senkrechte concave Seitenfläche. Um den Stein zu vollenden, wird noch die Bearbeitung der beiden Lagerfugen M N m n und P Q erfordert. Letztere wird leicht erzeugt, wenn man mittelst eines biegsamen Lineals auf der convexen Seitenfläche eine horizontale Linie durch Q zieht und von dieser bis zu der, auf der oberen Operationsfläche durch P bereits gezogenen Bogenlinie den Stein geradlinig abarbeitet. Man kann diese Fläche auch mittelst eines auf den Winkel T P Q, Fig. 1, gestellten Winkelmaßes darstellen. Die untere Lagerfuge M n m N erhält man, wenn man entweder auf der concaven Seitenfläche t T M m die horizontale oder mit t T parallele Linie M m zieht, und dann die Fugenfläche selbst mittelst eines nach dem Winkel T M N, in Fig. 1, gestellten Winkelmaßes bearbeitet, oder wenn man die untere Fläche Z des Steins (wenigstens theilweise) mit der oberen parallel bearbeitet, darauf den Bogen k n aus Fig. 1 nach N n Fig. 3 überträgt, auf den Stoßfugenflächen die Linien M N und m n zieht, diese als Leitlinien betrachtet und darnach die Fläche M N m n selbst bearbeitet. Die nun noch fehlende untere Leibungsfläche des Steins ist sehr leicht darzustellen, denn wir haben nur daran zu erinnern, daß die unteren Begrenzungslinien der Stoßfugenflächen, von denen N Q Fig. 3 eine zeigt, als Leitlinien anzusehen sind, und auf diesen das Richtscheit zu führen ist, um die Leibungsfläche zu erhalten. Auf ganz ähnliche Weise wird auch der knaufähnliche Stein B Fig. 1 zu bearbeiten sein.

Bei großen Fächergewölben hat man, um die Steine leichter zu machen, einen bedeutenden Theil der oberen horizontalen Operationsflächen weggehauen, so daß sie die in Fig. 1 a, Taf. 43, und Fig. 3, Taf. 42, dargestellte Form erhielten, indem man die in Fig. 1, Taf. 43, mit E bezeichneten Theile fortnahm.

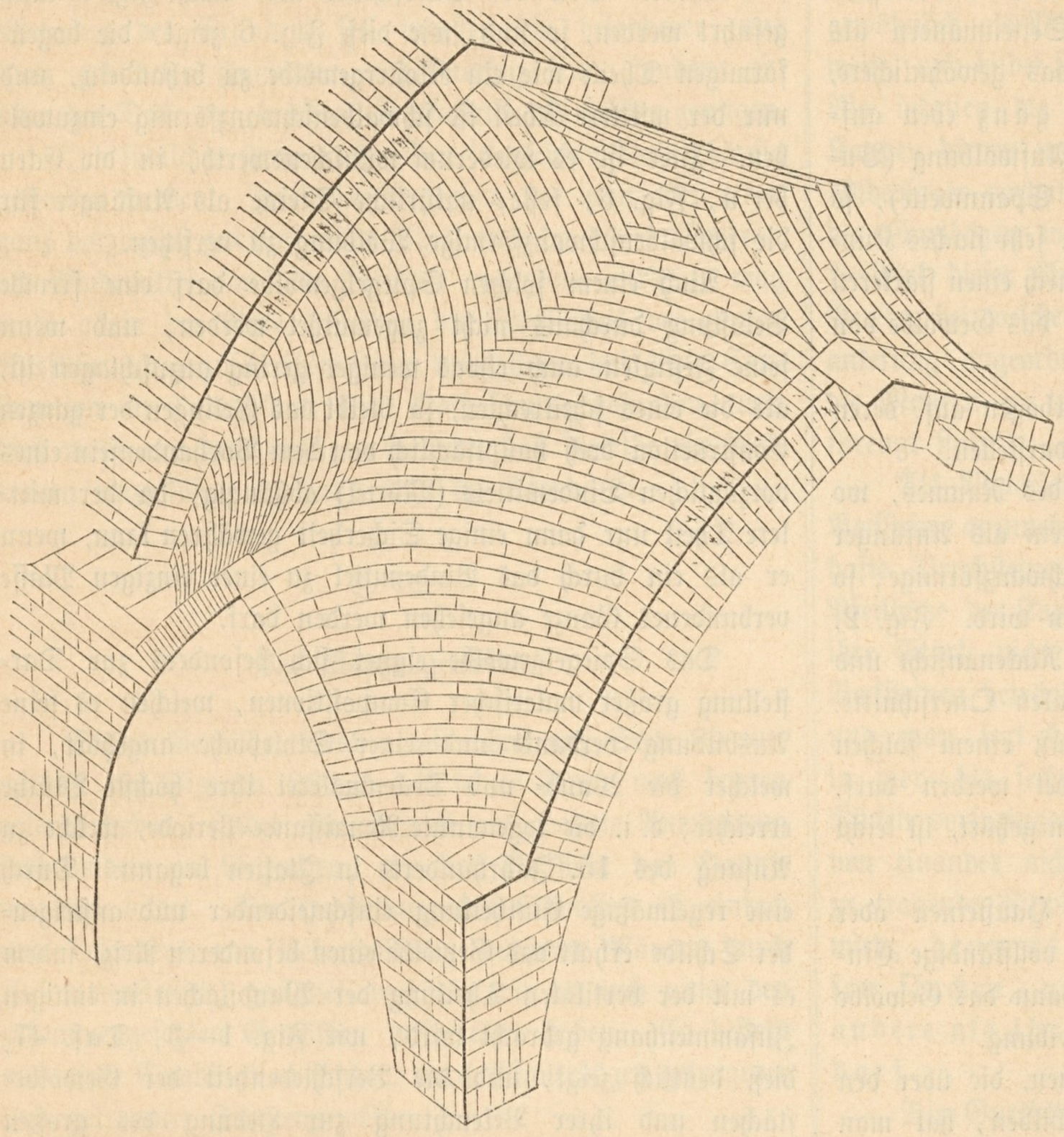
Diese Gewölbe sind meistens sehr dünn ausgeführt, so daß die Stärke derselben, centrisch mit der inneren Leibung gemessen, selbst bei einigen dreißig Fuß Spannung, nur 3 bis 4 Zoll beträgt*). Hierbei gehen dann aber einzelne Hauptrippen, die oberhalb aus dem Gewölbrücken herausragen, in einer Stärke von etwa 10—12 Zoll von einem Fußpunkt der Fächer zum andern, um so die schwächeren Gewölbtheile gewissermaßen einzurahmen.

Sollen nun dergleichen Gewölbe aus Backsteinen construirt werden, so bemerken wir zuerst in Bezug auf die Einrüstung derselben, daß eine vollständige Einschalung dieser,

*) Gewölbe der Kapelle Heinrich VII. in Westminster, gegründet 1502.

aus den Mantelflächen von Kugelkonoiden zusammengesetzten Gewölbflächen nicht wohl thunlich ist; sondern daß man sich begnügen muß, einzelne Lehrbögen aufzustellen. Solche Lehrbögen werden nöthig sein: in Fig. 4, Taf. 43, auf den Projectionen der Stirnen AB, BD ꝛc., der Scheitellinien FG und HK, der Diagonalrippen AE, EB ꝛc. und, je nach der Ausdehnung des Gewölbes, über die Projection

Fig. 314.



einer Zwischenrippe wie BL und DL, oder über mehreren derselben wie CM, CN, DM und DN. Wie die Form aller dieser Lehrbögen gefunden werden kann, geht aus dem Vorigen zur Genüge hervor; und wir bemerken daher nur, daß in E, wie bei den Kreuzgewölben, ein sogenannter Mönch aufgestellt werden muß, der die Bögen für die Diagonal- und Gratrippen unterstützt, und daß die Lehrbögen für die Zwischenrippen an die für die Gräte, in den Punkten L, M und N ꝛc. angeschiftet und befestigt werden müssen. Fig. 5, Taf. 43, zeigt diese Lehrbögen in einem Durchschnitte nach FG Fig. 4.

Bei der Darstellung des Mauerwerks selbst sind die unteren Theile der Fächer (beiläufig bis zur halben Höhe des Gewölbes) als eine solide Masse mit horizontalen Lagerfugen aufzuführen; wobei die Steine, wenigstens in den unteren Schichten, wo der horizontale Krümmungshalbmesser der Leibungsfläche noch sehr klein ist, hiernach zugehauen werden müssen; weßhalb es gerathen sein möchte, diese Schichten aus Rollschichten zu bilden. An der oberen Begrenzung dieses vollen Mauerkörpers ist alsdann für den übrigen Theil des Gewölbes, auf die Breite eines halben Backsteins, ein konisches, auf die Krümmung der Rippen normal gerichtetes Lager darzustellen, und hierauf dieser Theil einen halben Stein stark aufzuführen. Der Steinverband ist ganz wie bei einem Tonnengewölbe von derselben Stärke anzuordnen; und wenn das Gewölbe mit Verstärkungsrippen versehen werden soll, so sind diese analog denen in Fig. 246 und 247, S. 122 angegebenen zu bilden. Zur Controle für die richtige Darstellung der Gewölbform dient, außer den aufgestellten Lehrbögen, noch die Bemerkung: daß jeder horizontale Schnitt eines Fächers immer eine Kreislinie darstellt und jede Schicht daher in dieser Beziehung leicht geprüft werden kann.

Fig. 314 zeigt in isometrischer Projection die Rückenfläche eines solchen, aus Backsteinen construirten, mit Verstärkungsrippen versehenen Gewölbes.

Schließlich dürfte bei Gewölben über quadratem Raum wie Fig. 217, Seite 93 nach der Kreislinie c eine verstärkte Rippe angebracht werden, welche der flachen Kuppel zum Widerlager dient; sowie die dreieckigen Zwickel der besseren Verspannung wegen etwas Krümmung erhalten sollten, wie dieß der Durchschnitt Fig. 4, Taf. 47, aus dem Börsensaale in Frankfurt a. M. deutlich darstellt. Die früher erwähnten Verzierungen werden bei Backsteingewölben in Stuck oder aus gebrannten Thonplatten hergestellt.

§. 25.

Das Spiegelgewölbe.

Dasselbe haben wir schon auf Seite 93 und mittelst der Figuren 216 A—C charakterisirt; bevor wir uns jedoch auf seine Construction weiter einlassen, wollen wir das scheitrechte Gewölbe vorausgehen lassen.

Das scheitrechte Gewölbe kommt zur Ueberdeckung größerer Räume sehr selten vor, und paßt seiner Natur nach auch nur zur Darstellung von Bögen oder Sturzen über mäßig weite Maueröffnungen. Will man indessen ein solches Gewölbe über einen größeren viereckigen Raum (9—10 Fuß) spannen, so kann man dasselbe entweder als einen tieferen Mauerbogen ansehen, so daß nnr zwei der Seitenmauern als Widerlager, und die anderen beiden als Schildmauern dienen; oder man betrachtet es als ein Klostergewölbe und benützt alsdann alle vier Seitenmauern als Widerlager. Das letztere Verfahren ist das gewöhnlichere, und da man das Gewölbe doch niemals ganz eben aufführen kann, sondern immer mit einiger Aufwölbung (Busen) versehen muß (wenigstens 1/16 der Spannweite), so verwandelt man das Klostergewölbe in ein sehr flaches Kuppelgewölbe, und gleicht die Aufwölbung durch einen stärkeren Putzantrag in der Mitte so viel aus, daß das Gewölbe von unten gesehen scheitrecht erscheint.

Als Rüstung stellt man einzelne Lehrbögen auf, deren Oberfläche die beabsichtigte Gewölbefläche darstellen.

Die Wölbung beginnt in den Ecken des Raumes, wo man gern einen größeren natürlichen Stein als Anfänger benützt, und ist die sogenannte schwalbenschwanzförmige; so daß über die Mitte des Raums geschlossen wird. Fig. 2, Taf. 48, zeigt ein solches Gewölbe in der Rückenansicht und Figur 1 derselben Tafel in einem diagonalen Querschnitte. Die Gewölbstärke beträgt 1/2 Stein. Daß einem solchen Gewölbe keinerlei fremde Last aufgebürdet werden darf, überhaupt die Construction zu den gewagten gehört, ist leicht ersichtlich.

Soll ein scheitrechtes Gewölbe aus Hausteinen oder Quadern aufgeführt werden, so ist eine vollständige Einrüstung erforderlich; und man behandelt dann das Gewölbe ganz wie ein Klostergewölbe mit ebener Leibung.

Bei Anwendung von Eisenconstructionen, die über den zu bedeckenden Raum ein rostartiges Netz bilden, hat man als Füllmaterial hohle Töpfe an Stelle der Gewölbsteine angewendet, um eine größere Leichtigkeit zu bezwecken. Wir werden daher auch dergleichen (uneigentliche) scheitrechte Gewölbe am passendsten bei den Eisenverbindungen abhandeln können, weil diese, wie bemerkt, die Hauptrolle spielen.

Das Spiegelgewölbe ist ein durch eine wagrechte Ebene, in beliebiger Höhe, abgeschnittenes Kloster- oder Muldengewölbe, und daher eine Zusammensetzung dieser Gewölbe mit einem scheitrechten.

Für die Ausführung ist eine vollständige Einschalung nöthig, und es wird über dieselbe nichts weiter zu bemerken sein, als daß der mittlere, den Spiegel bildende Theil wieder nicht als Ebene, sondern mit einiger Aufwölbung dargestellt wird. Ist Backstein das Material, so führt man die 1/2 Stein starke Wölbung schwalbenschwanzförmig aus, wie solches Fig. 4, Taf. 48, in einer Rückenansicht darstellt. Hierbei werden, wie dieß Figur 3 derselben Tafel in einem diagonalen Durchschnitte zeigt, die den Umfangsmauern zunächst liegenden, dem Kloster- oder Muldengewölbe angehörigen Theile flacher als ein Viertelkreis gehalten, weil sonst die schwalbenschwanzförmige Wölbung nicht wohl auszuführen sein würde. Soll der Querschnitt aber nach Fig. 5 ausgeführt werden, so sind, wie dieß Fig. 6 zeigt, die bogenförmigen Theile wie ein Klostergewölbe zu behandeln, und nur der mittlere Theil ist schwalbenschwanzförmig einzuwölben. Hier ist es wiederum wünschenswerth, in die Ecken bei a, Fig. 6, feste, natürliche Steine als Anfänger für die schwalbenschwanzförmige Wölbung zu versetzen.

Auch einem solchen Spiegelgewölbe darf eine fremde Belastung durchaus nicht zugemuthet werden, und wenn seine Festigkeit auch etwas weniger gering anzuschlagen ist, als die eines scheitrechten, so bleibt das Gelingen der ganzen Construction doch hauptsächlich von dem Vorhandensein eines vorzüglichen Bindemittels (Mörtel) abhängig, da der mittlere Theil nur dann einige Sicherheit gewähren kann, wenn er als ein durch das Bindemittel zu einer einzigen Masse verbundenes Ganze angesehen werden darf.

Das Spiegelgewölbe eignet sich besonders zur Darstellung großer malerischer Compositionen, welchen es seine Ausbildung verdankt und einer Stylepoche angehört, in welcher die Wand- und Deckenmalerei ihre höchste Blüthe erreichte; d. i. die sogenannte Renaissance-Periode, welche zu Anfang des 15. Jahrhunderts in Italien begann. Durch eine regelmäßige Eintheilung einschneidender und ansteigender Schilde erhält das Gewölbe einen besonderen Reiz, indem es mit der vertikalen Theilung der Wandflächen in innigen Zusammenhang gebracht wird, wie Fig. 1—3, Taf. 47, dieß deutlich zeigt, und die Verschiedenheit der Gewölbeflächen und ihrer Beleuchtung zur Hebung des großen Deckenfeldes des Spiegels wesentlich beitragen*).

Das d'Espié'sche Gewölbe, so genannt nach seinem Erfinder, einem Grafen d'Espié, ist eigentlich gar keine Wölbung mehr, sondern die ganze Construction gehört mehr in den Bereich der Pflasterarbeiten; weßhalb wir hier desselben auch nur historisch erwähnen wollen.

In der äußeren Erscheinung stimmt es ganz mit dem eben betrachteten Spiegelgewölbe überein, wie dieß die Fig. 1 und 2, Taf. 49, in der Ansicht von oben und in einem Querschnitte zeigen.

Auf der die ganze Deckenform darstellenden Einscha-

---

*) Ueber die Decoration derartiger Gewölbe sehe man »Décorations de Palais et d'églises en Italie« par L. Gruner. Paris et Londres 1854.

lung wird das sogenannte Gewölbe aus einer doppelt und verbandmäßig gelegten Lage 2 bis 2½ Zoll starker, gebrannter Fließen dargestellt; und in Entfernungen von etwa 3 Fuß, von Mitte zu Mitte, werden von den Umfangsmauern aus, bis an den Spiegel der Decke, 1 Stein starke Zwickel mit horizontalen Fugen herausgemauert, um dem Ganzen etwas mehr Stabilität zu geben; besonders aber, um den Ripphölzern eines über die Decke etwa anzubringenden Fußbodens ein Auflager zu verschaffen. Nach der Meinung des Erfinders soll indessen ein besonderer, aus Holz gebildeter Fußboden nicht nöthig sein, sondern ein über der Decke angebrachter Gipsbestrich als solcher genügen.

Im südlichen Frankreich sollen dergleichen Decken häufig gefunden werden. In diesen Gegenden hat man aber einen ganz vorzüglich gut bindenden Gips, und da dieses Material als Bindemittel von dem Erfinder angegeben wird, so mag wohl allein der Güte desselben die Möglichkeit der ganzen Ausführung zuzuschreiben sein; wenigstens hat diese Construction in Deutschland keine Nachahmung gefunden, und dieß wohl aus dem triftigen Grunde, daß dieselbe ein Vertrauen einzuflößen durchaus nicht im Stande ist.

§. 14.

Das Kappengewölbe.

Dieses Gewölbe, welches wir schon auf Seite 95 nur mittelst der Figuren 220 A—B seiner Form nach kennen gelernt haben, findet eine äußerst ausgedehnte Anwendung insbesondere in Gegenden, wo der Backstein das Hauptmaterial bildet. Die Herstellung des Gewölbes ist einfach und besonders zur Ueberwölbung größerer Räume durch Zusammenstellung geeignet, weßhalb wir es auch unter den zusammengesetzten Gewölben aufgeführt haben. Es besteht aus einer Combination flacher, durch Mauerbögen getragener und getrennter Tonnengewölbe.

Um unter den einzelnen Tonnengewölben möglichst viel nutzbare Höhe zu erhalten, macht man sie sehr flach; und um dieß ohne Gefahr thun zu können, gibt man ihnen auch eine nur geringe Spannweite. Diese beträgt 10 bis höchstens 16 Fuß, wobei im letzteren Falle schon ein vorzügliches Material, sowohl zu den Steinen als zum Mörtel, vorausgesetzt ist. Für gewöhnliche Fälle sind 10—12 Fuß eine passende Abmessung. Als Pfeilhöhe nimmt man ⅛ bis $^1/_{12}$ der Spannweite, und es dürfte auch hier die Mitte, d. i. $^1/_{10}$ der Spannweite, als angemessen erscheinen. Die Bogenlinie ist immer ein Theil des Kreisumfanges.

Als Widerlager für diese Tonnengewölbe dienen Mauerbögen, deren innere Scheitel daher wenigstens einige Zolle (2 bis 3) unter der Kämpferlinie der Kappen liegen müssen. Die Eigenschaft der Gurtbögen als Widerlager bedingt eine Tiefe derselben von 1½ Stein bei Backsteinen und 1 Fuß bei natürlichen Steinen als Minimum. Die Stärke macht man nicht gern geringer als 2 Stein, oder 1½ Fuß bei Hausteinen; doch hängt dieselbe auch von der Spannweite der Gurtbögen ab. Zuweilen dienen die Gurtbögen aber nicht allein als Widerlager für die Kappen, sondern zugleich auch als Unterstützungen darüber stehender Mauern, und dann müssen sich die Abmessungen der ersteren nach denen der letzteren richten. Der Bogenlinie der Gurtbögen gibt man gewöhnlich als Minimum eine Pfeilhöhe von ¼ der Spannweite, und bildet sie als Kreisstücke, Ellipsen oder Korbbögen. Wo indessen die Gurtbögen *nur* als Widerlager für die Kappen dienen und hinreichend starke, oder gut verankerte Widerlager vorhanden sind, vermindert man die Pfeilhöhe der Gurtbögen wohl bis auf ⅛ der Spannweite. Ein Beispiel dieser Anordnung gibt die neue Bauacademie in Berlin, bei welcher aber auch eine vorzüglich wirksame Verankerung angeordnet ist, und wo über *den* Gurtbögen, die Mauern zu tragen haben, einige Entlastungsbögen gesprengt sind*).

Als Material für die Kappen ist im Allgemeinen der Backstein anzunehmen; doch lassen sich auch recht lagerhafte Bruchsteine verwenden; nur wird man dann die Pfeilhöhe der Kappen nicht unter ⅛ der Spannweite, und ihre Stärke nicht unter 7—8 Zoll annehmen dürfen. Bei Backsteinen beträgt diese Stärke gewöhnlich nur ½ Stein, und man legt bei sehr langen Kappen zur Verstärkung in vier- bis sechsfüßiger Entfernung 1 Stein starke (im Rücken vorspringende) Gurten an, wenn deren Entfernung von einander nicht durch besondere Umstände, etwa durch zu tragende Ripphölzer von Fußböden ꝛc., anders bestimmt wird; *denn es muß als Regel gelten, daß diesen flachen, nur ½ Stein starken Kappen keine andere als ihre eigene Last aufgebürdet werden darf.*

Die Gurtbögen können ebenfalls aus Backsteinen construirt werden, und die Steinverbände für diesen Fall sind in den Figuren 1—10, Taf. 30, gegeben. Hat man indessen Hausteine zur Hand, so sind solche als Material für die Gurtbögen vorzuziehen, besonders bei geringer Pfeilhöhe derselben.

Soll nun ein größerer Raum, etwa das Souterrain eines Gebäudes, mit preußischen Gewölben überdeckt werden, so ist zuvörderst die Eintheilung für die Kappen zu machen, wobei zu berücksichtigen ist, daß, wenn der Raum Fenster erhalten soll, man die Kappen gern so ordnet, daß die Fenster in den Stirnmauern derselben befindlich sind.

*) Notizblatt des Architekten-Vereins zu Berlin Nr. 3, p. 17.

Zuerst bestimmt man die Stellen für solche Gurtbögen, die entweder der Eintheilung des Raumes, seines Zweckes wegen, oder für die Unterstützung darauffstehender Mauern und Wände nothwendig sind, und dazwischen die, welche nur als Widerlager für die Kappen dienen sollen. Letztere werden, wie oben bemerkt, in Entfernungen von 10 bis 16 Fuß angeordnet; doch nimmt man hierbei auch gern darauf Rücksicht, daß die Achsen der Kappen auf die Mitten der Fenster in den Umfangsmauern treffen, weil man so den Fenstern die möglichst größte Lichthöhe geben kann. Ferner vermeidet man gern eine zu verschiedene Spannweite der einzelnen Kappen, bestimmt aber die Pfeilhöhe aller gewöhnlich nach der größten. Die Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes dienen theilweise als Widerlager für die Gurtbögen, und wenigstens zwei davon auch als solche für die Kappen. Da nun die Stabilität dieser Mauern durch die Belastung derselben oberhalb der Kämpferlinie bedeutend vermehrt wird, so folgt daraus, daß man sowohl die Gurtbögen als die Kappen erst dann einwölben kann, wenn die Widerlagsmauern ihre volle Last bekommen haben. Zuweilen reicht aber die Stärke der Umfangsmauern als Widerlager für die Gurtbögen nicht aus, und man legt dann die Widerlager, pfeilerartig vorspringend, nach dem Innern des Raumes an. Da nun die Gurtbögen erst eingewölbt werden, nachdem die Umfangsmauern in ihrer ganzen Höhe aufgeführt sind, und die erwähnten Vorsprünge daher erst später die ihnen zugedachte Belastung erhalten, so spart man in den Mauern ½ Fuß oder ½ Stein tiefe Falze aus, und führt die Pfeiler erst auf, wenn die Bögen eingewölbt werden sollen, damit das ungleiche oder ungleichzeitige Belasten der Mauern und vorspringenden Pfeiler, was eine ungleiche Senkung hervorbringt, keinen nachtheiligen Einfluß haben kann. Diese Falze werden aus demselben Grunde auch über der Kämpferhöhe der Pfeiler bis zur äußeren Scheitelhöhe der Bögen fortgesetzt, damit das die Schenkel der Bögen bis zum äußeren Scheitel horizontal ausgleichende Mauerwerk sich unabhängig von den Mauern setzen kann.

Sind die Umfangsmauern in ihrer ganzen Höhe aufgeführt, so werden die Pfeiler für die Gurtbögen ebenfalls aufgemauert, die Lehrbögen aufgestellt und die Bögen eingewölbt. Alles Nöthige hierüber ist bereits früher bei den Mauerbögen angeführt, und es bleibt hier nur noch zu bemerken, daß die nöthigen Widerlager für die Kappen hergestellt werden müssen. Dieß kann auf zweierlei Weise geschehen: entweder führt man Bögen wie gewöhnlich aus, ebenso das Mauerwerk in den Bogenwinkeln (Ankengemäuer), und haut mittelst eines scharfen Stemmeisens einen der Stärke der Kappen angemessenen breiten Streifen in schräger Richtung in den Bogen und das Gemäuer ein, wie solcher in Fig. 1, Taf. 50, bei a a zeigt. (Fig. 4, Taf. 49, zeigt zugleich die schräge Richtung des Widerlagers, damit die Kappen mit einer centralen Fuge sich dagegen lehnen können.) Da aber das Einhauen dieses Widerlagers der Festigkeit des Bogens leicht gefährlich werden kann, so ist es vorzuziehen, gleich bei dem Einwölben desselben jeden einzelnen Stein mit dem nöthigen Einschnitte zu versehen, zu welchem Zwecke man eine der — doch nöthigen — Fluchtschnüre in der Höhe der Unterkante des zu bildenden Widerlagers ausspannt. Bestehen die Gurtbögen aus Hausteinen, so ist es freilich viel bequemer, die Widerlager für die Kappen, mit scharfem Geschirr, in die fertigen Bögen einzuspitzen, als an jedem einzelnen Bogensteine das zugehörige Stück auszuarbeiten.

Diejenigen Gurtbögen, auf welche Mauern zu stehen kommen, die mit den übrigen des Gebäudes im Zusammenhange aufgeführt werden, müssen natürlich gleich eingewölbt werden, sobald die Umfangsmauern die Höhe erreicht haben, daß diese Mauern angelegt werden können. In diesem Falle ist es aber nothwendig, die Einrüstung der Gurtbögen so lange stehen zu lassen, bis die als Widerlager dienenden Mauern ihre ganze Belastung erhalten haben.

Sind so alle Gurtbögen aufgeführt, so werden die Kappen eingerüstet. Dieß geschieht bei allen denen, deren Achsen parallel laufen, gleichzeitig, damit der durch die Kappengewölbe hervorgebrachte horizontale Seitenschub auf die Enden der ganzen Kappenreihe reducirt werde, wo immer für hinreichend starke Widerlager gesorgt sein muß. Soll aus irgend einem Grunde eins oder mehrere der Kappenfelder leer bleiben, so müssen diese gegen die eingerüsteten abgestützt werden, damit keine nachtheiligen Verschiebungen der Gurtbögen stattfinden können. Denn diese können wohl die lothrecht wirkende Last, welche aus zwei auf einem gemeinschaftlichen Widerlager auffitzenden Kappen entspringt, tragen, aber nicht einzelnen Kappen als Widerlager dienen. Die Einrüstung der Kappen besteht aus Gewölbscheiben h h Figur 3 und 4, Taf. 49, und Figur 2, Taf. 50, die aus Brettstücken geschnitten und am besten mit Dachlatten eingeschalt werden. Die Gewölbscheiden stehen auf Rahmstücken a a von schwachem Holze (5—6 Zoll) in Entfernungen von 3—4 Fuß, und letztere werden durch Pfosten b b unterstützt, die 4—6 Fuß von einander entfernt sind und auf untergelegten großen Steinen oder Bohlstücken ruhen. Zwischen den Rahmstücken und den Gewölbscheiben bringt man die schon früher bei den Mauerbögen erwähnten Keile an, um bequem ausrüsten zu können.

Das Einwölben der Kappen geschieht nun nach den früher erwähnten Arten, von denen die sogenannte schwalbenschwanzförmige den Vorzug verdient; und wobei nicht zu

übersehen ist, die Scheitellinie der Kappen von den Stirnen nach der Mitte zu um einige Zolle steigen zu lassen.

Die Fig. 3 und 4, Taf. 49, und 1 und 2, Taf. 50, zeigen eine nach obiger Beschreibung dargestellte Wölbung, und zwar Fig. 2, Taf. 50, die Ansicht von oben; Fig. 4, Taf. 49, einen Querschnitt nach der Linie AB; Fig. 3, Taf. 49, einen Längenschnitt durch das fertige, aber noch eingerüstete Gewölbe, und Fig. 1, Taf. 50, die Seitenansicht eines Gurtbogens mit dem bereits eingehauenen Widerlager für die Kappen, und mit der Einrüstung des Gurtbogens. In Fig. 3, Taf. 49, ist der Gurtbogen aus Hausteinen, in Fig. 1, Taf. 50, aber aus Backsteinen, und zwar 1 ½ Stein stark und 2 Stein tief, angenommen. In dem Querschnitt Fig. 4, Taf. 49, ist auch bei xx angedeutet, wie die Gewölbwinkel der Kappen bis zur horizontalen Abgleichung der Gurtbögen ausgemauert sind.

Man sieht leicht, daß man, wenn die Gurtbögen sehr flach ausfallen würden (und es sonst die Benützung des Raumes erlaubt), dieselben durch zwischengesetzte Pfeiler in zwei oder mehrere theilen könnte, und daß man endlich eine solche Reihe von Gurtbögen auch an die Stelle einer der Umschließungsmauern setzen, und so sehr große Räume auf die beschriebene Weise überdecken kann, sobald einzelne Pfeiler im Innern desselben angebracht werden dürfen.

Unsere Figuren zeigen rechteckige Räume für die Kappen; aber es macht auch keine großen Schwierigkeiten, wenn nach der Eintheilung durch die Gurtbögen ein unregelmäßiger viereckiger Raum sich bilden sollte; ein solcher kann, wenn die Divergenz zweier gegenüberliegender Seiten nur nicht gar zu stark ist, ganz auf die beschriebene Weise eingewölbt werden. Man gibt der betreffenden Kappe an beiden Stirnen gleiche Pfeilhöhe, so daß ein konisches Gewölbe entsteht, dessen Einwölbung, besonders nach der Methode des Schwalbenschwanzverbandes, durchaus keine Schwierigkeiten hat, wenn nur die einzelnen Lehrbögen der Einrüstung diesem gemäß eingerichtet sind.

Bei diesen für die Praxis so vortheilhaften und daher sehr häufig vorkommenden Gewölben pflegt man die Oberflächen der einzelnen Kappen in den Kostenüberschlägen nur nach der Größe ihrer Horizontalprojection anzugeben und den Preis pro Quadrateinheit »in plano« gemessen zu bestimmen. Dieses ziemlich ungenaue Verfahren hat seinen Grund in der Unbequemlichkeit, welche mit der Berechnung der Bogenlängen der Kappen verbunden ist, wenn man dazu vorher die Länge des Halbmessers und die Größe des zugehörigen Centriwinkels ermitteln muß. Wir führen daher nachstehende Tabelle an, mit deren Hülfe sowohl die Länge der Bogenlinie, als auch die Größe des Centriwinkels und des Flächeninhaltes des Kreisabschnittes sehr leicht gefunden werden können, wenn nur die Sehne (Spannweite) und Höhe (Pfeilhöhe) der Kappe gegeben sind, Daten, welche man immer sehr leicht zur Hand hat.

Mit Hülfe dieser (aus Proß's „Lehrbuch der praktischen Geometrie" entlehnten) Tabelle findet man blos aus der Sehne und Höhe eines Kreisabschnittes nicht nur seinen Inhalt sehr einfach und genau, sondern noch überdieß auch die Anzahl der Grate und die Länge des Bogens; sie ist für die Berechnung der Kreisabschnitte viel bequemer, als die bekannte Lambert'sche Tabelle, bei welcher man außer der Sehne und Höhe auch noch den Halbmesser des Bogens kennen muß, und bei welcher man, da sie für einen bestimmten Halbmesser berechnet ist, den Inhalt erst durch eine geometrische Proportion erhält; ferner gewährt sie noch den weiteren Vortheil, daß man durch dieselbe auch die Anzahl der Grate des Bogens und dessen Länge erhält.

Die Einrichtung der Tabelle ist folgende:

Die Columne A enthält den Höhen-Coefficienten $\frac{s}{h}$

wo s die Sehne und h die Höhe des Abschnittes bezeichnet.

Die Columne ½ φ enthält die Anzahl der Grade des halben Bogens.

Die Columne B enthält den Coefficienten, mit welchem man die Sehne multipliciren muß, um die Länge des Bogens zu erhalten.

Die Columne C endlich enthält die Coefficienten, mit welchen man die Näherungsformel $F = \frac{2}{3} sh$ multipliciren muß, um den Inhalt des Abschnittes genau zu erhalten.

Folgendes Beispiel wird den Gebrauch dieser Tabelle näher erläutern:

Die Sehne s des Kreisabschnittes sei = 40′ und die Höhe h = 5′.

Hier ist $A = \frac{40}{5} = 8.$

Sucht man nun in der Tabelle für A = 8 den zugehörigen Bogen ½ φ und die Coefficienten B und C, so findet man mit Hülfe der beigesetzten Differenzen:

1) Die der Zahl 8 am nächsten kommende kleinere Zahl = 7,7334 und die zugehörige Differenz = 2882 oder eigentlich = 0,2882; daher aus

$$0{,}2882 : 8 - 7{,}7334 = 60 : x$$

$$x = \frac{2666 \cdot 60}{2882} \text{ 55,7 Minuten}$$

und daher ½ φ = 29° — 55,7′ = 28° 4,3′
mithin φ = 56° 8,6′.

2) Auf ganz ähnliche Weise findet man den Coefficienten B = 1,0411 aus

$$0{,}2882 : 8 - 7{,}7334 = 0{,}0031 : x;$$

nämlich $x = \frac{2666 \cdot 0{,}0031}{2882} = 0{,}00287$ rund = 0,0029,

und daher B = 1,0440 — 0,0029 = 1,0411 Fuß,
mithin die Länge des Bogens = 1,0411 . 40 = 41,644 Fuß.

Kreis-Segmenten-Tabelle.

A.	Diff.	½ φ	B.	Diff.	C.	Diff.	A.	Diff.	½ φ	B.	Diff.	C.	Diff.
229,184		1°	1,0000		1,0000		4,7117	1167	46	1,1161	54	1,0351	16
114,575		2	1,0002	2	1,0001	1	4,5997	1120	47	1,1216	55	1,0369	18
76,375	48200	3	1,0005	3	1,0002	1	4,4921	1076	48	1,1273	57	1,0368	17
57,274	19101	4	1,0008	3	1,0003	1	4,3886	1035	49	1,1332	59	1,0404	18
45,808	11466	5	1,0013	5	1,0004	1	4,2890	996	50	1,1392	60	1,0422	18
38,162	7646	6	1,0018½	5	1,0005	1	4,1931	959	51	1,1454	62	1,0441	19
32,700	5462	7	1,0025	7	1,0007	2	4,1006	925	52	1,1517	63	1,0461	20
28,601	4099	8	1,0033	8	1,0010	3	4,0114	892	53	1,1583	66	1,0481	20
25,412	3189	9	1,0041	8	1,0013	3	3,9253	862	54	1,1650	67	1,0501	20
22,860	2552	10	1,0051	10	1,0016	3	3,8420	832	55	1,1719	69	1,0523	22
20,771	2089	11	1,0062	11	1,0019	3	3,7615	805	56	1,1789	70	1,0545	22
19,029	1742	12	1,0073	11	1,0022	3	3,6835	780	57	1,1862	73	1,0567	22
17,554	1475	13	1,0086	13	1,0026	4	3,6081	754	58	1,1937	75	1,0590	23
16,289	1265	14	1,0100	14	1,0031	5	3,5350	731	59	1,2013	76	1,0614	24
15,191	1098	15	1,0115	15	1,0035	4	3,4641	709	60	1,2092	79	1,0638	24
14,2307	9603	16	1,0131	16	1,0039	4	3,3953	688	61	1,2173	81	1,0663	25
13,3824	8483	17	1,0148	17	1,0044	5	3,3286	667	62	1,2256	83	1,0689	26
12,6275	7549	18	1,0166	18	1,0050	6	3,2637	649	63	1,2341	85	1,0715	26
11,9515	6760	19	1,0186	20	1,0056	6	3,2007	630	64	1,2428	87	1,0742	27
11,3426	6089	20	1,0206	20	1,0062	6	3,1394	613	65	1,2517	89	1,0770	28
10,7910	5516	21	1,0227	21	1,0068	6	3,0798	596	66	1,2609	91	1,0799	29
10,2891	5019	22	1,0250	23	1,0075	7	3,0217	581	67	1,2703	94	1,0828	30
9,8303	4588	23	1,0274	24	1,0083	8	2,9651	566	68	1,2800	97	1,0858	31
9,4093	4210	24	1,0299	25	1,0090	7	2,9100	551	69	1,2909	100	1,0889	32
9,0214	3879	25	1,0325	26	1,0098	8	2,8563	537	70	1,3002	102	1,0921	33
8,6629	3585	26	1,0352	27	1,0106	8	2,8040	523	71	1,3106	104	1,0954	34
8,3306	3323	27	1,0380	28	1,0114	8	2,7528	512	72	1,3213	107	1,0988	34
8,0216	3090	28	1,0409	29	1,0123	9	2,7028	500	73	1,3323	110	1,1022	36
7,7334	2882	29	1,0440	31	1,0132	9	2,6541	487	74	1,3436	113	1,1058	36
7,4641	2693	30	1,0472	32	1,0142	10	2,6064	477	75	1,3552	116	1,1094	38
7,2118	2523	31	1,0505	33	1,0152	10	2,5599	465	76	1,3671	119	1,1132	38
6,9748	2370	32	1,0539	34	1,0163	11	2,5143	456	77	1,3793	122	1,1170	40
6,7519	2229	33	1,0575	36	1,0174	11	2,4698	445	78	1,3918	125	1,1210	40
6,5417	2102	34	1,0612	37	1,0185	11	2,4262	436	79	1,4046	128	1,1250	42
6,3432	1985	35	1,0650	38	1,0196	11	2,3835	427	80	1,4178	132	1,1292	43
6,1554	1878	36	1,0690	40	1,0208	12	2,3417	418	81	1,4313	135	1,1335	43
5,9774	1780	37	1,0730	40	1,0221	13	2,3007	410	82	1,4452	139	1,1379	44
5,8084	1690	38	1,0772	42	1,0233	12	2,2606	401	83	1,4595	143	1,1425	46
5,6478	1606	39	1,0816	44	1,0246	13	2,2212	394	84	1,4742	147	1,1471	48
5,4950	1528	40	1,0861	45	1,0260	14	2,1826	386	85	1,4892	150	1,1519	50
5,3492	1458	41	1,0907	46	1,0274	14	2,1447	379	86	1,5047	155	1,1569	51
5,2102	1390	42	1,0955	48	1,0289	15	2,1076	371	87	1,5205	158	1,1620	52
5,0773	1329	43	1,1004	49	1,0304	15	2,0711	365	88	1,5368	163	1,1672	54
4,9502	1271	44	1,1055	51	1,0319	15	2,0352	359	89	1,5536	168	1,1726	55
4,8284	1218	45	1,1107	52	1,0335	16	2,0000	352	90	1,5708	172	1,1781	55

3) Ebenso findet sich der Coefficient C = 01,1236 aus

$$0{,}2882 : 8 - 7{,}7334 - 0{,}0009 : x$$

$$x - \frac{2666 \,.\, 0{,}0009}{2882} = 0{,}000832;$$

daher C = 1,0132 — 0,000832 = 1,012368,
mithin der Flächeninhalt des Kreisabschnitts

$$F = 1{,}01236 \,.\, \frac{2}{3} \,.\, 40 \,.\, 5 = 134{,}98 \text{ Quadratfuß.}$$

Man sieht leicht, daß die verschiedenen Coefficienten durchaus dieselben bleiben für die verschiedensten Spannweiten oder Sehnenlängen, wenn nur das Verhältniß $\frac{s}{h}$ das gleiche bleibt, so daß die Benützung der Tabelle für die Praxis eine sehr bequeme ist. Bei allen auf $\frac{1}{8}$ gedrückten Kreisbögen ist daher die Spannweite mit der Zahl 1,0411 zu multipliciren, um die Länge des Bogens zu erhalten; und der Flächeninhalt des Kreisabschnitts wird gefunden, wenn man $^2/_3$ sh mit der Zahl 1,01236 oder das Product sh mit 0,66816 multiplicirt.

Außerdem soll hier noch bemerkt werden, daß sich über die Berechnung der Gewölbflächen von Kreuz- und Klostergewölben in Förster's „Bauzeitung" 1845, Seite 104 ein lesenswerther Aufsatz findet.

§. 27.

Das böhmische Gewölbe.

Wie wir auf Seite 95 schon bemerkt haben, versteht man unter dem böhmischen Gewölbe ein flaches Kugelgewölbe, welches sich dem flachen Tonnengewölbe ähnlich zwischen Gurtbögen nach bogenförmigen Kämpferlinien einspannt. Der Unterschied zwischen diesem Gewölbe und den auf Taf. 39, Fig. 1—4 und Taf. 32 und 33 besprochenen Kuppelgewölben ist nicht sehr groß und liegt nur darin, daß beim böhmischen Gewölbe der Kugelradius viel größer angenommen wird im Verhältniß zur Seite des zu überwölbenden Raumes. Die Aufwölbung beträgt gewöhnlich nur $^1/_{12}$ von der längsten Seite des Raumes und zuweilen noch weniger. Die Ausführung geschieht ohne Einschalung, aus freier Hand, nur mit Hülfe einiger Lehrbögen und beginnt in den Ecken des zu überwölbenden Raumes.

Sowie das flache Kappengewölbe und Kreuzgewölbe, insbesondere bei Räumen von geringer Höhe, eine sehr ausgedehnte Anwendung findet, ebenso wird auch der leichten Ausführbarkeit wegen vom böhmischen Gewölbe ein sehr häufiger Gebrauch gemacht, und eignet sich dasselbe über entschieden oblongen Räumen besser, als das Kreuzgewölbe, wo die Differenz der Winkel, welche die Gräte mit den Gurtbögen oder Schildmauern bilden, eine sehr unschöne Wirkung macht. Immerhin wird man auch bei beabsichtigter Anwendung vorstehenden Gewölbes, wenn über die Eintheilung der Räume mehr frei verfügt werden kann, aus leicht einzusehenden Gründen, Quadrate oder regelmäßige Polygone zu erzielen suchen, obgleich auch die Ausführung über einen unregelmäßigen Polygon, wie wir später sehen werden, keine Schwierigkeit verursacht, wie überhaupt dies Gewölbe über jedem beliebig gestalteten Raum ausgeführt werden kann.

Die Gewölbstärke beträgt selbst bei 20 Fuß Spannweite noch mehr als $^1/_2$ Stein, wobei der Backstein als das einzig passende Material für diese Gewölbe erscheint; während jedoch die Gurtbögen auch sehr wohl aus Hausteinen gebildet werden können.

Die Ausmittelung der Formen für die verschiedenen Lehrbögen ist es, was uns hier beschäftigen muß; denn sind diese aufgestellt, so ist die eigentliche Mauerung ganz so, wie wir sie bei den Kuppelgewölben beschrieben haben. Für diese Ausmittelung bemerken wir: daß die Leibung des Gewölbes stets einen Theil einer Kugelfläche bildet, deren Mittelpunkt in einer Lothrechten durch den Schwerpunkt der Grundfigur liegt. Hiernach wird die Bestimmung der Form der verschiedenen Lehrbögen dem nicht schwer fallen, der mit der Kugel und ihren Schritten durch Ebenen bekannt ist. Wir wollen daher auch nur in ein paar Beispielen eine nähere Andeutung der für die Praxis anzuwendenden Methode geben.

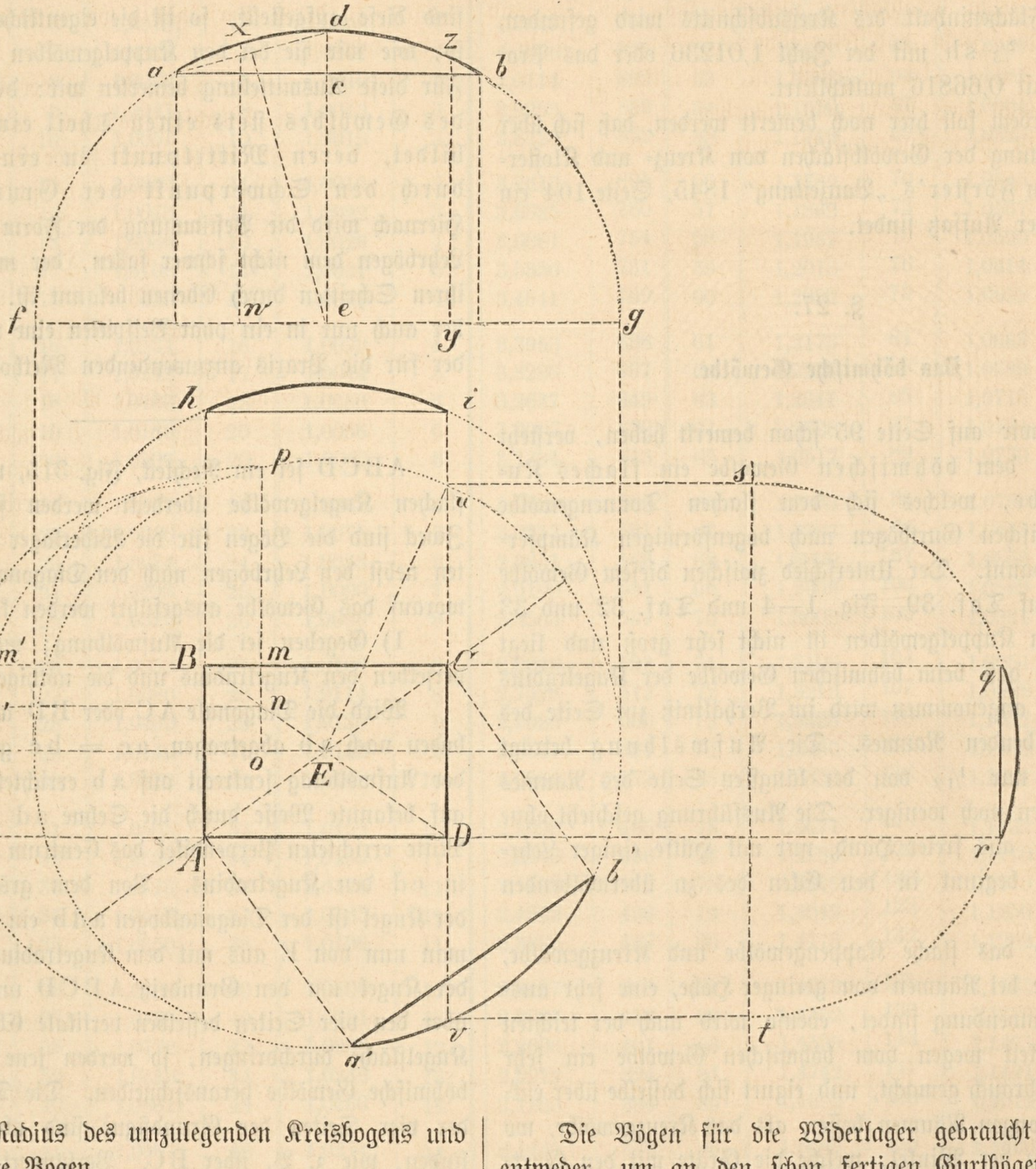
ABCD sei ein Rechteck, Fig. 315, welches mit einem flachen Kugelgewölbe überdeckt werden soll. Zu diesem Zweck sind die Bögen für die Widerlager an den vier Seiten nebst den Lehrbögen nach den Diagonalen zu bestimmen, worauf das Gewölbe ausgeführt werden kann.

1) Gegeben sei die Aufwölbung; man bestimme aus derselben den Kugelradius und die nöthigen Bögen.

Wird die Diagonale AC oder BD auf einem Schnürboden nach ab abgetragen, ac = bc gemacht, cd gleich der Aufwölbung senkrecht auf ab errichtet, so erhält man auf bekannte Weise durch die Sehne ad und den in ihrer Mitte errichteten Perpendikel das Centrum e der Kugel oder in ed den Kugelradius. Von dem größten Kreis fdg der Kugel ist der Diagonalbogen adb ein Theil. Beschreibt man nun von E aus mit dem Kugelradius ed die Contur der Kugel um den Grundriß ABCD und denkt man sich über den vier Seiten desselben vertikale Ebenen, welche die Kugelfläche durchdringen, so werden jene aus letzterer das böhmische Gewölbe herausschneiden. Die Durchschnittslinien der vier Seiten der Grundfigur sind aber sehr leicht zu finden, wie z. B. über BC. Verlängert man diese Linie zu beiden Seiten, bis sie die Kugel an zwei Punkten schneidet, so hat man den Durchmesser des umzuklappenden Kreises und in hi den gesuchten Bogen. Ebenso erhält man in ke den Bogen über AB, wenn man diese Linie verlängert bis zur Kugel, darüber einen Halbkreis zeichnet, wovon ke ein Theil ist. Errichtet man endlich in A und C Perpendikel bis zur Kugel, so ist auch der Diagonalbogen a'b' = adb gefunden.

Bei größeren Räumen sind außer den beiden Diagonal-Lehrbögen noch andere nöthig, um mehr Anhaltspunkte bei dem Einwölben aus freier Hand zu haben, und es ist ganz gleichgiltig, wo man solche aufstellt, wenn man sie nur so einrichtet, daß der Maurer frei zwischen den Lehrbögen stehen und arbeiten kann. Es sei ein solcher Lehrbogen über m n aufzurichten; so verlängere man diese Linie bis o und p,

Fig. 315



so ist o p der Radius des umzulegenden Kreisbogens und m'n' der gesuchte Bogen.

Trägt man die halbe Seite AB von e nach w, und zieht bei w eine Senkrechte, so erhält man in wx den Radius des Bogens über AB; ebenso die Hälfte von BC von e nach y getragen einen Perpendikel errichtet, gibt in y z den Halbmesser zum Bogen über BC. Mit diesem Radius darf man nur die Bögen auftragen, so kann man die Zeichnung um den Grundriß, welche jedoch am faßlichsten ist, ersparen.

2) Gegeben sei der Bogen eines Widerlagers etwa über AB; man soll daraus die fehlenden Stücke finden.

Trägt man den Bogen nach q r und ergänzt ihn zum Halbkreis, so ist s t sein Durchmesser. Bringt man nun denselben nach u v und zieht uE, so ist der Kugelradius gefunden, worauf die fehlenden Stücke wie vorhin gezeichnet werden können.

Die Bögen für die Widerlager gebraucht man nun entweder, um an den schon fertigen Gurtbögen die Linie vorzuzeichnen, nach welchen die Widerlager eingehauen werden sollen, oder um sie, wenn die Widerlager sogleich beim Wölben hergestellt werden, was vortheilhafter ist, als Lehre zu gebrauchen.

Sind die Widerlager fertig und die übrigen Lehrbögen aufgestellt, so beginnt die eigentliche Wölbung, wie schon bemerkt, in den Ecken des Raumes aus freier Hand, indem jede Schicht an ihren Enden scharf gegen die Widerlager

gepaßt wird. Hierbei dienen die Lehrbögen nur als Anhaltspunkte für das Auge; denn man darf die Steine, welche über dieselben treffen, nicht etwa auf die Lehrbögen auflegen, weil sich das Gewölbe sonst ungleich setzt und buckelig wird. Vielmehr bleibt man mit den Steinen etwas von den Lehrbögen zurück, so daß man, wenn man die Schichte erreicht hat, welche etwa 6 Fuß (im Bogen gemessen) lang ist, circa ½ Zoll über dem Lehrbogen ist. Längere Schichten kann man überhaupt nicht wohl darstellen, weil die Steine leicht herabfallen, weßhalb man den Verband so einzurichten sucht, daß keine längeren Schichten entstehen, wie dieß in Fig. 316 dargestellt ist. Bei kleinern Gewölben kann man diese Maßregeln umgehen, und diese stellen sich dann in ihrer Rückenansicht, wie Fig. 317 zeigt, dar.

Fig. 316.

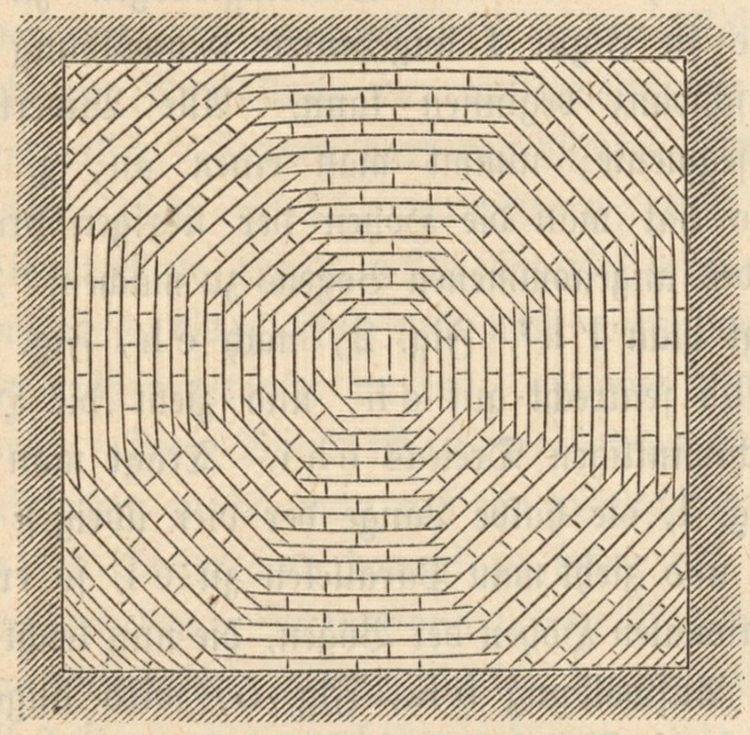
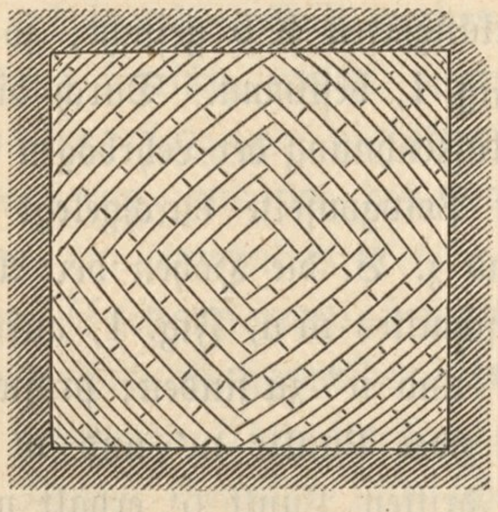


Fig. 317.



Gleich nach dem Schlusse des Gewölbes nimmt man sämmtliche Lehrbögen heraus, damit das Gewölbe sich frei setzen kann. Man findet hiebei fast immer, daß sich das Gewölbe, selbst bei der fleißigsten Arbeit, schon während des Wölbens etwas gesetzt hat, so daß der über den Lehrbögen gelassene Spielraum verschwunden ist und das Gewölbe auf den Lehrbögen aufliegt.

Die Gewölbwinkel müssen auch hier, wie bei den Kappengewölben, gleich nach dem Schlusse des Gewölbes ausgemauert werden. In den Ecken verwendet man gern natürliche Steine als Anfänger, und legt auch wohl hier das Gewölbe 10 Zoll oder einen ganzen Stein stark an; doch geht man gegen den Scheitel hin immer wieder auf eine Stärke von 5 Zoll zurück.

Daß an die Stelle der bisher vorausgesetzten Gurtbögen auch volle Mauern als Umfassungen der Gewölbe treten können, versteht sich von selbst *).

Unter Bezugnahme auf das Vorgetragene mögen nun noch einige Beispiele ausgeführter böhmischer Gewölbe **) folgen, zu deren Verständniß wir nicht mehr viel zu sagen haben werden.

In Fig. 5—7, Taf. 39, ist der Grundriß und die beiden mittleren Durchschnitte eines böhmischen Gewölbes dargestellt, welches sich zwischen flache Gurtbögen einspannt. Der Gurtbogen über a b oder a' b' ist angenommen; verlängert man denselben bis f' zum Halbkreis, so ist dieß ein Punkt des Durchmessers, dessen Horizontalprojection in f liegt, somit f g der Kugelradius, wie wir dieß früher schon an Fig. 315 erörtert haben. Beschreibt man nun mit dem Radius f g den größten Theil der Kugel um den Grundriß, so können alle fehlenden Stücke wie bei Fig. 315 leicht gefunden werden. Verlängert man b c nach zwei Richtungen, bis sie die Kugel schneidet, so erhält man den Durchmesser des Halbkreises, auf welchem der Gurtbogen Fig. 7 liegt. Ferner werden mit dem Kugelradius die mittleren Durchschnittslinien Fig. 6 und 7 gezeichnet; sowie eine Senkrechte bei a auf a g bis zur Kugel den Anfangspunkt des in dem größten Kreis liegenden diagonalen Lehrbogens bezeichnet. Die Einwölbung ist auf den Schwalbenschwanz angenommen und findet die Fugeneintheilung auf dem Diagonalschnitte statt, den man erhält, wenn man bei b und d Perpendikel auf b d bis zur Kugel zieht. Die Projection der Fugen in den Durchschnitten Fig. 6 und 7 wollen wir an einer Fuge m n erklären. Verlängert man diese bis zur Kugel, so ist o p der Durchmesser des Halbkreises, auf welchem die Fuge m n oder m' n' in ihrer wahren Größe zu finden ist. Diese Fuge ist nun zu projiciren. Punkt m liegt in m^3 Fig. 6. Die Höhe von n ist in Fig. 7 in n^3 zu finden und kann nach n^3 Fig. 6 gebracht werden. Legt man durch einen beliebigen Punkt s eine Ebene # a b, so erhält man in t u den nach t' u' zu bringenden Durchmesser des Schnittkreises, auf welchem der gesuchte Kurvenpunkt s' erhalten wird, wenn man von s einen Perpendikel errichtet. Ebenso

---

*) Bei dem schon erwähnten Schloßbaue zu Camenz in Schlesien sind die verschiedenartigsten Wölbungen in dieser Beziehung zur Ausführung gekommen und in der Förster'schen Bauzeitung, Jahrgang 1850, Seite 177—184 so lehrreich beschrieben, daß wir das Studium dieses Aufsatzes angelegentlichst empfehlen müssen.

**) Einführung und Verbreitung dieser Gewölbconstruction hier in Karlsruhe verdanken wir dem † Baudirektor Hübsch.

kann durch s eine Parallele zu b c gezogen werden, wodurch man in ähnlicher Weise Durchmesser, Schnittlinie und Punkt s' in Fig. 7 erhält.

Ein Gewölbe, welches ein gedrücktes Kugelgewölbe genannt werden kann, und so die Mitte hält zwischen Kugelgewölbe und böhmischem Gewölbe, zeigen auf Taf. 46 die Figuren 5—7 im Grundriß und den mittleren Durchschnitten, sowie Fig. 8 den halben Diagonalschnitt mit dem Lehrbogen darstellt. Halbkreisförmige Gurtbögen und gefällige Verhältnisse, welche man deren Stützen geben will, bei unzureichender Stockhöhe, können zu solchen gedrückten Gewölben führen, welche in constructiver Beziehung nicht zu loben sind. Das Gewölbe ist auch so weit gedrückt, als dieß nur möglich war, indem der mittlere Durchschnitt, Fig. 7, sogar einen horizontalen Scheitel erhielt, während die mittlere Schnittlinie, Fig. 6, wegen der verschiedenen Höhe der Gurtbögen kreisförmig gekrümmt ist. Um nun wieder die zur Ausführung des Gewölbes nöthigen Diagonalbögen zu erhalten, nimmt man an, daß alle Schnitte, welche man parallel zu den Gurtbögen durch das Gewölbe legt, Kreisbögen, jedoch von verschiedenen Mittelpunkten sind. Demnach werden z. B. die Schnitte, parallel zum kleinen Gurtbogen durchgelegt, immer flachere Kreissegmente geben, bis sie endlich in die gerade Linie übergehen. Um nun einen beliebigen Punkt d des Diagonalbogens zu finden, legt man durch diesen Punkt eine senkrechte Ebene parallel zur großen Seite, und erhält in g, Fig. 7, den Anfangspunkt der Schnittlinie, welche aber in Fig. 6 dargestellt und dadurch erhalten wird, daß man f g nach f' g', Fig. 6, trägt und zu den Punkten g' und c das Centrum sucht auf der verlängerten c b'. Auf dieser Schnittlinie liegt nun die Höhe des Punktes d oder m n, welche Höhe man bei Fig. 8 abträgt, wenn a' m = a d gemacht worden ist. Bringt man endlich a b Fig. 5 nach a' b' Fig. 8, und trägt man die angenommene Höhe b' c Fig. 6 nach b' c', so hat man drei Punkte des Diagonalbogens a, n' und c' Fig. 8.

Nach der Herstellung der Gurtbögen werden die Lehrbögen nach den Diagonalen aufgerichtet und auf den Schwalbenschwanz eingewölbt.

Endlich wollen wir noch zeigen, daß ein böhmisches Gewölbe auch über einem beliebigen unregelmäßigen Grundriß ausführbar ist. Läßt sich um die Ecken des unregelmäßigen Vielecks ein Kreis beschreiben, so kommen sämmtliche Anfangspunkte der Bögen der Widerlager auf eine Höhe zu liegen. Da dieß jedoch in den meisten Fällen nicht möglich ist, so fangen die Widerlager auf verschiedenen Höhen an, was schlecht aussieht, weßhalb wir auf Taf. 40 in Fig. 1—5 eine derartige Gewölbeconstruction mittheilen, bei welcher die Anfangspunkte sämmtlicher Bögen der Widerlager in einer Ebene liegen.

Fig. 1 zeigt den Grundriß des unregelmäßigen Fünfecks; Fig. 2 den Durchschnitt nach a b f und Fig. 3 den Durchschnitt nach a b c d der Fig. 1.

Zuerst ist der Schwerpunkt b der Grundfigur zu bestimmen, um als Horizontalprojection des Scheitelpunktes des Gewölbes zu dienen. Wenn dieser jedoch einer der Umfangseiten gar zu nahe fällt, so daß die Entfernungen der Eckpunkte von demselben sehr ungleich werden, so verläßt man den Schwerpunkt und sucht einen solchen Punkt auf, der möglichst gleichweit von allen Eckpunkten absteht, wodurch das Gewölbe an Ansehen gewinnt. Es sind nun wieder die vom Schwerpunkte nach den Ecken aufzustellenden Lehrbögen nach den fünf Widerlagerbögen zu zeichnen, worauf die in Figur 1 angedeutete Einwölbung auf den Schwalbenschwanz beginnen kann. Alle Widerlagerbögen sind Kreissegmente; nimmt man einen an, z. B. l' i n' Fig. 2, so hat man die Höhen der übrigen proportional der Höhe des angenommenen Bogens zu machen. Zu diesem Zweck trägt man l' h^2, Fig. 2, nach e h, Fig. 4, sowie h^2 i nach h i senkrecht auf e h, und zieht die Hypotenuse e i des rechtwinkligen Dreiecks e h i. Trägt man nun von h aus, Fig. 4, die halbe Länge der vier übrigen Polygonseiten a b, und zieht man Parallelen zu e i, so erhält man die proportionalen Höhen der Bögen, die nun leicht zu ziehen sind. Die Aufwölbung b K, Fig. 5, wird angenommen; h' b = h b in Fig. 1 und h' i^2 in Fig. 5 gleich h^2 i in Fig. 2 gemacht; sodann zum Kreissegment i^2 K das Centrum auf der verlängerten K b gesucht, so ist die Bogenlinie über b h, Fig. 1, bestimmt. Durch diese Linie werden nun behufs der Aufzeichnung der Lehrbögen Schnitte 1, 2, 3 parallel zu einer Polygonseite durchgelegt und in Fig. 2 verzeichnet; so sind z. B. die Höhen der Anfangspunkte m und n des Durchschnittes m n, Fig. 1, auf den umgeklappten Bögen in m^2 und n^2 zu finden; projicirt man sie nach Fig. 2, so sind zwei Punkte m' und n' der Schnittlinie bestimmt. Einen dritten Punkt o' erhält man, wenn h 1 nach h' 1 Fig. 5 getragen und eine Senkrechte bis zum Bogen gezogen wird, welche man nun nach i o', Figur 2, trägt. Auf der Achse o' 1 liegen nun die zu bestimmenden Centra der Bögen m' o' und o' n'. Nachdem sie gezeichnet sind, zieht man von q und r, Fig. 1, Perpendikel bis p' und s', Fig. 2, und trägt p' q' nach p q, und n' s' nach r s, Fig. 1, so sind zwei Punkte q und s der umgeklappten Lehrbögen gefunden, ebenso die anderen. Die umgeklappten Scheitelpunkte k k Fig. 1 werden aus Fig. 5 entnommen, indem b k abgetragen wird. Die Gewölbefläche ist nun auch wieder keine reine Kugelfläche mehr, sondern eine gedrückte.

§. 28.

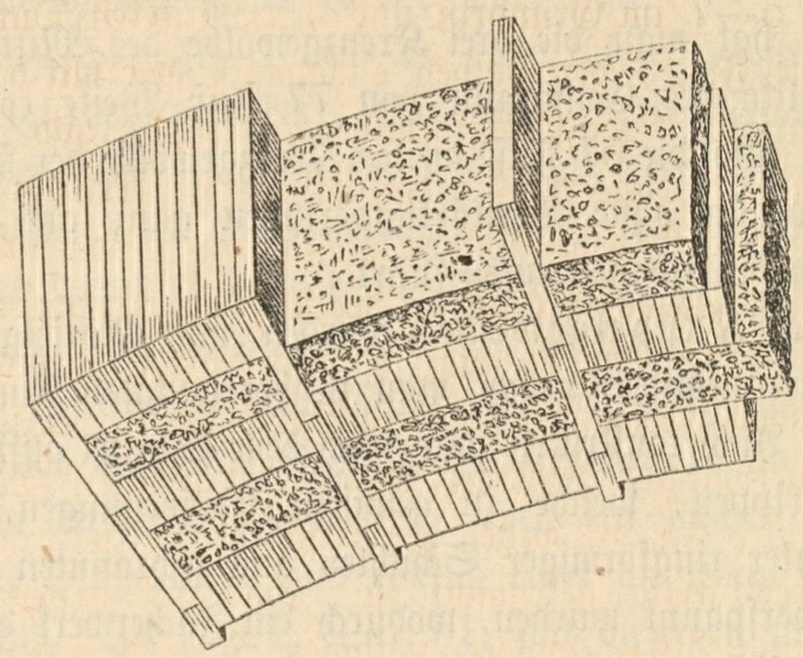
Das Gußgewölbe.

Die Constructionsweise der Mauern übte begreiflicherweise von jeher einen wesentlichen Einfluß auf die der Gewölbe aus, und da man schon sehr frühe, namentlich unter den Römern, Gußmauerwerk zur Ausführung brachte, hat man diese Constructionsart auch auf die Gewölbe übertragen. Die Masse besteht aus Steinbrocken und Puzzolanmörtel, oder anderem gut und rasch bindenden Mörtel, wobei man das leichtere Material als Lava, Tuffstein, Bimsstein, Backsteinbrocken ꝛc. dem schwereren vorzog. Mörtel und Steinstücke müssen in einem solchen Verhältniß und so innig gemengt sein, daß jedes Steinstück mit Mörtel überzogen erscheint, aber auch nicht mehr Mörtel in der Masse ist, als hierzu und zur Ausfüllung der unvermeidlichen Zwischenräume erforderlich. Ferner darf der Mörtel sein Volumen beim Erhärten nicht zu sehr vermindern, weil sonst das Gewölbe leicht Risse erhält. Die Stärke solcher Gewölbe wechselt von 1½ bis 4 Fuß und muß wenigstens um das Doppelte größer gemacht werden, als bei regelmäßigem Steinverband. Diese Stärke ist zu erreichen durch ein schichtweises Auftragen, wobei man auf ein möglichst regelmäßiges Vertheilen der Steine und darauf zu sehen hat, daß keine Höhlungen entstehen. Diese Construction setzt immer eine vollständige Einschalung voraus, welche die dem Gewölbe zu gebende Gestalt genau in erhabener Form zeigt. Wo solche Gewölbe mit Cassetten verziert wurden, mußten diese auf der Einschalung erhaben dargestellt werden.

Was die Form betrifft, welche man diesen Gewölben zu geben haben wird, so zeigen die älteren Ueberreste meistens die Halbkreisform, und da des bedeutenden Mörtelaufwandes wegen ein namhaftes Setzen unvermeidlich ist, so wird man zu flache Formen beim Gußgewölbe ausschließen müssen. Das Gußgewölbe führt ohnehin, nach unserer früher gegebenen Charakterisirung des Gewölbes, uneigentlich den Namen Gewölbe und scheint diese Benennung seiner gekrümmten Form zu verdanken. Es ist vielmehr eine in gekrümmter Form aufgebrachte Masse von Steinbrocken und Mörtel, welche nach dem Austrocknen und Erhärten eine Steindecke abgibt, die auf die Widerlager bloß einen senkrechten Druck ausübt, so lange nämlich die Masse ihren Zusammenhang durch Risse oder Sprünge nicht verliert.

Will man einen vortheilhaften Gebrauch vom Gußgewölbe machen, so verwende man es als Füllgewölbe, d. h. man construire ein Gerippe aus solidem Material und gieße dessen Zwischenfelder mit der Mörtel- und Steinmasse aus. Demgemäß wäre das Netz- und Sterngewölbe ganz geeignet, in seinen Maschen oder Feldern solche Füllmasse aufzunehmen, wie dieß auch nicht selten vorgekommen ist. Die älteste Anregung zu dieser Constructionsweise finden wir wieder bei den Römern und zwar bei dem Tonnengewölbe, Kreuzgewölbe und Kuppelgewölbe angewendet. Beim Tonnengewölbe, Fig. 318, führte man in Entfernungen von 1½ Fuß backsteinerne im Gewölbe liegende Rippen aus,

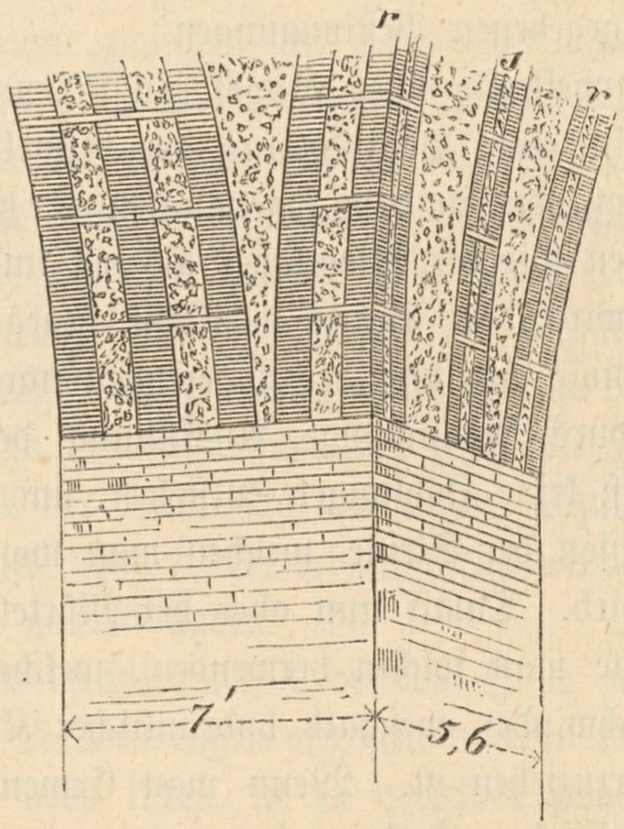
Fig. 318.



welche in Distanzen von circa 2 Fuß mittelst Binderplatten aus Backsteinen von 2 Fuß im Quadrat Seite und 1½ Zoll Dicke verbunden waren, worauf man die Zwischenräume mit Gußwerk ausfüllte *).

Bei cassettirten Gewölben, wie solche bei der Basilika des Constantin vorkommen, sind die Rippen auf die Stege der Cassetten verlegt, die Cassetten selbst aber mit Tuffsteinen und Mörtel ausgefüllt.

Fig. 319.



Bei großen Kreuzgewölben bestehen die Gräte aus drei einzelnen Rippen, r Figur 319, aus Backsteinen, welche stellenweise durch gebrannte Bindersteine verbunden sind, während das übrige Gewölbe aus Gußwerk gebildet ist.

*) Man lese hierüber in Erbkam's Bauzeitung, Jahrgang 7, „Einige Bemerkungen über die Gewölbconstructionen des antiken Roms" von Salzenberg.

Figur 319 stellt den Pfeiler eines Kreuzgewölbes von 65 Fuß Spannweite aus den Bädern des Diocletian vor, welcher eine Schildmauer um 7 Fuß vorgelegt ist. Einer der aus Backsteinen gebildeten Gräte des Kreuzgewölbes ist immer ganz durchgeführt, an welchen sich die anderen am Scheitel anschließen. Ebenso sind die Quergurten s aus zwei ähnlichen Rippen gebildet. Die Rippen traten nicht vor die Gewölbeflächen, und waren durch den Putzüberzug verdeckt. Aehnlich hat man die drei Kreuzgewölbe des Mittelschiffes der Basilika des Constantin von 77 Fuß Weite construirt. Dagegen sind die 57 Fuß weiten Kreuzgewölbe der Thermen des Caracalla ohne Verstärkungsrippen ganz aus Mörtelwerk und Tuffsteinen ausgeführt.

Auch Kuppelgewölbe wurden mit Mörtelguß und Tuffsteinen gebildet, welche man in horizontalen Ringen anordnete. Auch construirte man nach dem Scheitel aufsteigende Backsteinrippen, welche in gewissen Entfernungen mittelst horizontaler ringförmiger Schichten aus gebrannten Binderplatten verspannt wurden, wodurch ein Fächerwerk entstand, dessen Zwischenräume mit Gußwerk ausgefüllt wurden. Ferner kommen ganz aus Mörtelwerk und Tuffsteinen gegossene Kuppeln vor, wie z. B. die 78 Fuß weite Kuppel in den Bädern des Caracalla. Insbesondere für den oberen Theil oder den Schluß der Kuppelgewölbe möchte sich das Gußwerk eignen, während die unteren Theile aus regelmäßig verbundenem Mauerwerk hergestellt werden sollten.

Schließlich noch einige Worte über die Ausführung der Gewölbe unter Hinweisung auf die für die Herstellung des Mauerwerkes gegebenen Bestimmungen.

Das Mangelhafte einer Gewölbeausführung zeigt sich hauptsächlich in einer Veränderung der Gewölbeform nach der Ausrüstung oder in dem sogenannten Setzen der Gewölbe. Nehmen wir die Widerlager als fest und unverrückbar an, so wird dem Setzen möglichst begegnet werden, durch eine richtige Stellung der Lagerfugen normal auf die Bogenlinie, durch vollständige Ausfüllung derselben mit Mörtel, so daß keine Höhlungen entstehen, und durch festes Aneinanderpressen der Steine, welchen man womöglich Keilform geben wird. Damit nun aber der Mörtel selbst nicht nachgebe, sollte man solchen verwenden, welcher beim Erhärten nicht schwindet, weßhalb hydraulischer Kalk dem gewöhnlichen vorzuziehen ist. Wenn man Cement mit ungelöschtem, pulverisirtem Kalk in einem geeigneten Verhältniß mengt, erhält man einen Mörtel, welcher unveränderlich ist und sich besonders für die Fugen der Werkstücke mit exaktem Fugenschnitt eignet. Auch der Gyps, nicht zu stark gebrannt, kann unter Umständen, jedoch nur im Trockenen, einen guten Mörtel für die Gewölbe abgeben. Endlich soll der Mörtel nicht zu wasserreich oder zu dünnflüssig sein, indem er sonst durch das Verdunsten des Wassers zu sehr schwindet. Man thut daher besser, den Mörtel in die Gewölbefugen einzustreichen, was bei Werksteinen mittelst einer sägeartig gebildeten langen Kelle geschieht, anstatt dieselben auszugießen.

Großen Einfluß auf die richtige Gestalt des Gewölbes hat die Einrüstung sowie die Ausrüstung nach Vollendung desselben. Was die erstere betrifft, so darf sie ihre Form nicht ändern, und sind in dieser Beziehung feste Gerüste den gesprengten vorzuziehen. In Betreff der letzteren ist die Frage, ob ausgerüstet werden soll, wenn der Mörtel gehörig erhärtet oder noch weich ist, dahin zu beantworten, daß bei Gewölben aus großen Werksteinen, wobei der Mörtel mehr nur als Füllmittel dient, man früher ausrüsten solle, als bis der Mörtel ganz erhärtet ist. Der Mörtel muß natürlich eine solche Consistenz erlangt haben, daß er nicht aus einzelnen Fugen ganz herausgedrückt wird.

Besteht das Gewölbe aus Backsteinen, und ist es auf einer vollständigen Einschalung ausgeführt, so sollte es so lange stehen bleiben, bis der Mörtel (im gewöhnlichen Sinne) erhärtet ist. Hierbei ist das Einwölben aus freier Hand vortheilhaft, weil dann das Setzen fast unmerklich, schon während der Arbeit, eintritt, und nach dem Schlusse des Gewölbes keine nachtheilige Gestaltsänderung mehr eintreten kann. Die Fortnahme der Einrüstung darf keine Erschütterung im Gewölbe verursachen, weßhalb dieselbe auf Keile zu setzen ist, welche leicht gelöst werden können.

B. Von den Steinbalkendecken.

§. 29.

Diese Construction ist sehr alt und wurde lange vor der Einführung der gewölbten Decken besonders durch die Griechen angewendet; weßhalb man sie hätte vor die Gewölbeconstruction setzen müssen; allein da sie für uns in constructiver Beziehung wenig Werth mehr hat, so haben wir sie nur der Vollständigkeit wegen am Schlusse der Steindecken aufgenommen. Ob die Holzdecken den Steinbalkendecken zum Muster gedient haben oder nicht, worüber verschiedene Ansichten herrschen, haben wir hier nicht zu erörtern.

Die Steinbalkendecke verlangt zu ihrer Construction gute und feste Hausteine, wie Granit, Kalk- und Sandsteine u. s. f., gestattet keine großen freien Räume, paßt für mehrstöckige Gebäude nicht und ist überdieß sehr kostbar, weßhalb ihre Verwendung eine sehr seltene ist. Nur etwa als Decke von Peristylen und Vorhallen, welche man antiken Mustern nachzubilden beabsichtigt, kommt sie vor und auch dann oft nur scheinbar, indem Holzbalken anstatt Steinbalken verwendet werden, eine nicht unsolide aber keineswegs monumentale Deckenbildung, für welche sie doch ausgegeben wird. Beim Gewölbe wird die rückwirkende Festigkeit der Steine in Anspruch genommen, welche weit größer ist als die rela-

tive, die bei der Steinbalkendecke in Betracht kommt, wobei das eigene Gewicht schon sehr viel zum Bruche beiträgt, weßhalb sie keine fremde Last zu tragen im Stande ist, sich daher zu einer mehrstöckigen Anlage nicht eignet. Bei den kühnsten Bauten dieser Art, wie an den Decken der athenien-sischen und eleusinischen Propiläen befanden sich Balken aus pentheliſchem Marmor auf 19—20 Fuß freitragend, wo-durch die beschränkte Stützenstellung um so einleuchtender sein wird, wenn man bedenkt, daß man nur in seltenen Fällen über so vorzügliches Material zu verfügen hat. Die ausgedehntesten Deckenwerke aus Steinbalken sind die der Propiläen, weßhalb wir eines derselben in Betracht ziehen wollen, um dadurch einen Anhaltspunkt für derartige Con-structionen zu gewinnen *).

Das wesentlichste Stück der Construction ist der Archi-trav oder Hauptbalken, der unmittelbar von der Stützen-stellung getragen wird. Er besteht aus zwei, hochkantig neben einander gestellten, Steinbalken, von einer Stütze (Säule) zur andern reichend. Am Eck geht einer der äuße-ren Balken bis zu diesem durch und stößt hier mit dem der andern Front stumpf zusammen; während die innern auf der Kehrung zusammengeschnitten sind, weil so alle vier Stücke auf dem Deckel der Eckstütze das beste Auflager er-halten. Auf den mittleren Stützen geht die Stoßfuge durch die Stärke beider Balken geradlinig hindurch; und wenn auch ein besserer Verband erreicht würde, wenn man diese Stoßfugen verwechseln könnte, so wären doch hierzu Steine von einer Länge gleich zwei Stützen erforderlich. Die Länge der vorhandenen Steine zu Architravstücken bestimmte aber die Entfernung der Stützen von einander, so daß auf andere Weise für die Wiederherstellung des Verbandes Sorge getragen werden mußte. Hierzu dient der Fries, der über dem Architrav liegt und dessen Steine die Fugen der Archi-travstücke überbinden. Dieser Theil des antiken Säulen-gebälks, dessen Nothwendigkeit nachzuweisen den Archäologen schon manche Schwierigkeit gemacht hat, erklärt sich sehr leicht (wenn man auch den eben ausgesprochenen Zweck als genügend nicht anerkennen will) aus der Deckenconstruction selbst, sobald man die Decke so groß annimmt, daß im Innern des überdeckten Raumes Stützen noch nöthig wer-den, wie solches bei den Propiläen der Fall war. Es würden nämlich, da auch die innern Stützen eines Architravs bedürfen, auf dem Deckel einer äußeren Stütze, nach Fig. 3, Taf. 51, nun zwei Architrave und zwar in sechs einzelnen Stücken zusammentreffen, und so ein schlechtes Auflager er-halten. Man hat daher in diesem Falle die inneren Stützen höher gemacht als die äußeren, und zwar um so viel, daß der Architrav der inneren Stützen auf dem der äußeren sein Auflager findet, und durch seine Höhe den Fries der äußeren Stützenstellung bedingt.

Daß man übrigens sich nicht gescheut hat, den Fries dort, wo seine constructive Nothwendigkeit nicht vorhanden war, fortzulassen, beweist z. B. das sogenannte Pandroseion in Athen, wo der Fries in der That fehlt.

(Taf. 51, Fig. 1 und 2). Die interessanteste Anord-nung zeigt der dorische Fries mit seinen Metopen und Triglyphen. Er besteht seiner Dicke nach ebenfalls aus zwei Steinschichten, die so angeordnet sind, daß sie die Stoß-fugen des darunter liegenden Architravs decken. Ueber jeder Stützenachse mit Ausnahme der der Eckstütze, ruht in der vorderen Steinschicht ein Triglyph, in seiner Masse ein Prisma von quadrater Grundfläche darstellend, und die hier befindliche Architravfuge deckend; eben ein solcher über der Mitte der Stützenweite und endlich einer an jedem Eck, die-ses bildend. In Fig. 1, Taf. 51, sind dieselben mit a be-zeichnet. Die hintere Steinschicht ist dann häufig so ange-ordnet, daß die Architravfuge über der Stützenachse über-gebunden wird und die Stoßfuge dieser Friessteine auf die über den Stützen-Intervallen liegenden Triglyphen trifft. Diese Anordnung ist auch überall bei der dorischen Ord-nung festgehalten, und nur da, wo die Säulenweite größer sein mußte, wie z. B. in der Mitte der Propiläen, durch welche man hindurchfahren konnte, sind mehr als ein Tri-glyph über derselben angeordnet. Hier bestand dann aber auch Architrav und Fries aus einem einzigen Steinblocke.

Die Räume zwischen den Triglyphen, die Metopen, sind mit dünnen Steintafeln ausgefüllt, die durch Falze mit ersteren verbunden werden, und die besonders geschickt waren, den für diese Räume bestimmten Bildhauerschmuck aufzu-nehmen. Bei der eben beschriebenen Construction geht eine Stoßfuge parallel mit der Länge des Gebälks durch die ganze Höhe desselben, und diesem Uebelstande hat man durch Klammern und Schwalbenschwänze (oft von Holz), die die Steinlagen A der Dicke nach verbinden, abzuhelfen gesucht, wie wir solches schon früher bei der Construction des Mauer-werks kennen gelernt haben.

Auf den Architraven A der die Halle umschließenden Stützen und Mauern lagen also jene inneren Architrave oder Unterzüge B, nebst ihren, sie zu derselben Höhe ausgleichen-den Fortsetzungen B′, als eine den innern Fries bildende Schicht. Die Architrave B dienten der Decke als Unter-zugsbalken, und auf ihnen und den Friesen B fanden die eigentlichen Balken C ihre Auflager, in Entfernungen, welche ihrer Tragkraft angemessen waren. Die nun noch bleiben-den Oeffnungen waren endlich mit Steinplatten D bedeckt, die, um sie zu erleichtern, mit Vertiefungen den sogenann-ten Cassetten, versehen waren.

*) Im übrigen verweisen wir auf das vortreffliche Mauch'sche Werk: „Neue systematische Darstellung der architektonischen Ordnungen der Griechen, Römer und neueren Baumeister." 4. Aufl. Potsdam bei F. Riegel. Ferner Semper, „der Styl (stereotomie)." 2. Bd.

Eine auf gleiche Weise gebildete Decke ist in den Figuren 1 und 2 auf Taf. 51 dargestellt, und auf Taf. 17, 12 und 38 des genannten Mauch'schen Werks, zugleich mit den dabei vorkommenden Ornamenten und Formverhältnissen, so ausführlich gezeichnet, daß wir auf dieses Werk (das wohl in keiner Bibliothek eines Architekten fehlen wird) verweisen können; um so mehr, da die Construction der antiken Tempel ꝛc., wenn sie auch dem Architekten nicht unbekannt bleiben darf, doch eigentlich mehr in das Bereich der Kunstgeschichte, als in das unserer heutigen Constructionen gehört.

Viertes Kapitel.

Construction der Steintreppen.

§. 1.

Die stufenförmige Vorrichtung, welche dazu dient, übereinander gelegene Räume so zu verbinden, daß die Communication zwischen denselben mit Sicherheit und Bequemlichkeit stattfinden kann, wird Treppe genannt.

Sicherheit und Bequemlichkeit sind daher die beiden Haupterfordernisse einer jeden Treppenanlage. Erstere wird hauptsächlich durch die Wahl des Materials bedingt, während letztere bei jedem Material mit einiger Aufmerksamkeit immer zu erreichen ist.

Stein, Holz und Metall, namentlich Eisen, sind die wesentlichen Materialien, aus welchen man die Treppen zu construiren pflegt; wir werden jedoch hier nur die aus Steinmaterial herzustellenden Treppen betrachten, da solche aus Holz und Metall bestehenden andern Abschnitten angehören.

§. 2.

Benennung der Treppentheile.

Die Treppen haben theils nach dem Orte, wo sie sich befinden, theils nach ihrer Form, ihrem Gebrauch und ihrer Constructionsweise verschiedene Benennungen erhalten; auch hat sich eine gewisse Terminologie gebildet, die wir nachstehend kennen lernen wollen.

Zunächst unterscheidet man Freitreppen, d. h. solche, welche im Freien außerhalb der Gebäude angebracht werden, von den im Innern von Gebäuden angelegten inneren Treppen. Letztere nennt man nach ihrer Lage, ihrer Ausstattung und ihrem Gebrauche Haupttreppen, Nebentreppen, geheime Treppen, Kellertreppen, Bodentreppen ꝛc., welche Benennungen sich durch den Wortlaut erklären.

Die einzelnen Theile einer Treppe sind:

1) Treppenwangen (Treppenbäume), unter welchen man die Theile versteht, welche seitwärts die Stufen der Treppe begrenzen und zu ihrer Unterstützung dienen. Man unterscheidet innere Wangen oder solche, die von den das Treppenhaus einschließenden Wänden abgekehrt, und äußere Wangen, oder solche, die diesen Wänden zugewandt liegen und oft an denselben befestigt oder in sie eingelassen sind.

2) Trittstufe nennt man den wagrechten Theil der Treppenstufe, auf den man beim Begehen der Treppe tritt.

3) Setzstufe (Futterstufe) dagegen den Theil der Treppenstufe, der zur Unterstützung jener dient und meistens lothrecht steht.

4) Blockstufe nennt man eine solche, wo Tritt- und Setzstufe aus einem Stücke bestehen oder aus dem Vollen gearbeitet sind, wie dieß bei allen Treppen aus natürlichen Steinen der Fall zu sein pflegt.

5) Antritt einer Treppe nennt man die Stufe, welche, auf das Stockwerk bezüglich, die unterste ist.

6) Austritt hingegen die oberste Stufe, deren Trittstufe mit dem Fußboden des zu ersteigenden Raumes in einer Ebene liegt.

7) Steigung einer Treppe ist die vertikale Entfernung von der Oberfläche einer Trittstufe zur Oberfläche der nächstfolgenden; und unter

8) Auftritt versteht man den horizontalen Abstand von der Vorderkante einer Trittstufe bis zur Vorderkante der nächstfolgenden.

9) Podest, Ruheplatz, heißt ein größerer wagerechter Platz, der die Reihenfolge der Stufen unterbricht; er ist eigentlich nichts Anderes, als eine breitere Trittstufe.

10) Länge einer Stufe ist die Entfernung von einer Wange zur andern und gleichbedeutend mit Breite der Treppe.

11) Treppengeländer ist die zum Schutz gegen das Herabfallen und zur Bequemlichkeit beim Begehen angebrachte, meist gitterartig gestaltete Vorrichtung; und unter Handgriff versteht man den obersten Theil des Geländers, den man mit der Hand zu umspannen pflegt.

12) Treppenarm (Treppenlauf) nennen wir eine ununterbrochene Reihenfolge von Treppenstufen, entweder zwischen An- und Austritt, zwischen dem Antritt und einem Podest, zwischen zwei Podesten oder einem solchen und dem Austritt der Treppe. Unter mehrarmigen Treppen verstehen wir aber solche, wo mehrere — gewöhnlich zwei — Treppenarme zu derselben Höhe, entweder zu einem gemeinschaftlichen Podest oder zum Austritt der Treppe führen, so daß wir einen Unterschied machen zwischen einer Treppe mit zwei Armen und einer zweiarmigen Treppe.