

Sterngewölbe konstruieren, die bei angemessener Ausführung der Rippen selbst über weiten Räumen nur einer Kappenstärke von 10 cm und weniger bedürfen. Die Ersparnis an Widerlagsmasse hält damit gleichen Schritt, — diese tritt überhaupt nur noch auf, wo Kräfte wirken; demgemäss zeigt der vollendete gotische Kirchenbau eine klare Trennung in ein tragendes Gerüst und in füllende Flächen.

Das lässt sich am Bau von oben bis unten verfolgen. Im Gewölbe bilden die Kappen leichte füllende Flächen, während die Rippen zu tragen haben, letztere übergeben ihre senkrechte Kraft Pfeilern, deren Dicke nur gering zu sein braucht; den wagerechten Schub dagegen überliefern sie kräftigen, widerstehenden Strebebogen und Strebepfeilern. Die Umfassungswand hat auch hier nur abzuschliessen, sie besteht je nach ihrer Bestimmung aus Stein oder selbst aus einer frei sich ausdehnenden Glasfläche.

Die Wirkung der Kräfte muss bei beiden Baurichtungen als eine grundverschiedene angesehen werden. Ein echt römischer Bau bildet einen einzigen leblos ruhenden, gewaltigen Körper, der zu vergleichen ist mit einem ausgehöhlten Steine oder wenn man will mit einem gebrannten Thongefässe. Gehalten wird das Ganze durch die inneren Kräfte, die von der Festigkeit des Stoffes abhängen.

Das gotische Bauwerk gleicht mehr einem lebendigen, elastischen Systeme zahlreicher Einzelkörper, die durch aufeinander wirkende Kräfte in einer bestimmten Gleichgewichtslage gehalten werden. Tritt eine äussere Formveränderung ein, senkt sich zum Beispiel die Grundmauer einerseits ein wenig, so wird das römische Werk gleich einem Gefässe in einige Stücke zerbersten; der gotische Bau hingegen wird mehr eine Verschiebung und Verdrückung der einzelnen Teile zeigen, die in etwas veränderter Stellung wieder eine Ruhelage anzunehmen suchen.

Der Gegensatz der beiden grossen Konstruktionsabschnitte des Römertums und des Mittelalters ist nach alledem ein einschneidender, er findet aber in der Geschichte leicht seine Begründung. Die Römer waren ein weltbeherrschendes Volk, ihnen standen unerschöpfliche Reichtümer und zahllose sklavische Arbeitskräfte zur Verfügung. Für sie ergab es sich aus der Natur der Sache, ohne Ansehung der Mittel so zu bauen, dass ein denkender Meister genügte, gewaltige Werke selbst in abgelegenen Gebieten durch Tausende wenig geübter Hände errichten zu lassen.

Unter anderen Bedingungen schuf das Mittelalter, seine Mittel waren massvoll, die Arbeitskräfte gezählt. Galt es dennoch Grosses zu leisten, so musste der Umfang der rohen Masse und Arbeit beschränkt werden, kein Bauglied durfte Überflüssiges enthalten. Das war aber nur erreichbar durch ein vollendet durchgebildetes Konstruktionssystem, vom Meister sorgsam durchdacht, von kundigen mitdenkenden Werkleuten vollführt. Was die Römer vermochten durch Fülle und Macht, wird hier erworben durch die gesteigerte Leistung des Geistes.

Wenn die Auffassung des Römertums und des Mittelalters in ihren grössten Gegensätzen vorgeführt sind, so darf nicht unerwähnt bleiben, dass auch alle Zwischenstufen erkennbar und je nach Lage der Dinge berechtigt sind.

Es sei bei dieser Gelegenheit auf einen Aufsatz Schlöbckes über „Stilformen und Arbeitsgesetz“ in der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins 1895 verwiesen.

2. Die Konstruktion der Gewölbe. Allgemeines.*

Römische
Wölb-
flächen, —
gotische
Wölbflächen.

Der wichtigste Unterschied des römischen von dem gotischen Gewölbe liegt in dem Verhältnisse der dasselbe bildenden Flächen zu den begrenzenden Linien. In ersteren sind diese Flächen, also die Mantelflächen der das Volle des Gewölbes bildenden Körper, des Halbcylinders oder der Halbkugel, die bestimmenden Teile in der Weise, dass bei dem Kreuzgewölbe wie bei der über dem Vierecke gespannten Kuppel (dem sogen. böhmischen Gewölbe) die begrenzenden Linien durch Ausschnitte aus diesen Körpern sich bilden. Nach dem gotischen Prinzip wird von vornherein die zu überwölbende Grundfläche durch die aus dem angenommenen Systeme hervorgehenden Linien geteilt, über diesen Linien werden dann die einzelnen Bogen geschlagen, welche als Gerippe des Ganzen das die eigentliche Überdeckung bewirkende Kappengewölbe zwischen sich aufnehmen und tragen.

Es sei Fig. 36 die Grundrissform eines römischen Kreuzgewölbes, welches dann im Aufrisse aus vier gleichen Ausschnitten aus dem Halbcylinder *abc*, *bce* etc. besteht. Über den Seiten des Raumes *ab*, *bc* wölben sich also Halbkreise und ein jeder diesen Seiten parallel gelegte Schnitt durch die Gewölbefläche *fg* oder *hi* bildet ein Segment desselben Halbkreises, durch dessen tiefsten Punkt die Höhe des Diagonalbogens gegeben wird, so dass derselbe sich durch diese Segmente bestimmt. Die Ausführung geschieht über einem Lehrgerüste, welches gewissermassen das Volle des Gewölbes darstellt, dessen Aussenfläche daher der innern Gewölbefläche entspricht. Auf diese Aussenfläche werden die das Gewölbe bildenden Steine oder Ziegel entweder in einer zu den verschiedenen Segmenten radialen Stellung hingemauert (Fig. 30 *a*), oder aber es wird darauf nach altrömischer Weise ein aus Mörtel und Ziegelbrocken bestehender Guss gebracht.

Gemauerte
Gewölbe —
Guss-
gewölbe.

Im ersteren Falle haben die einzelnen Steine entweder eine keilartige Form, d. i. ihre Seitenflächen divergieren nach der Richtung der Radien, und die dazwischen befindliche Mörtelfuge nimmt dieselbe Gestalt an (Fig. 37), wenn nämlich das Ganze aus behauenen Steinen oder Formziegeln gemauert wird; wenn dagegen nur gewöhnliche Ziegel zur Disposition stehen, so behalten dieselben in der Regel ihre parallelepipedische Form, und nur die Mörtelfuge erhält eine um so stärkere Divergenz nach oben (Fig. 37 *a*). Es bindet also dann die Mörtelfuge die Ziegel an ihre Stelle, und zwischen denselben kann die keilige Fuge nach unten nicht weichen.

Beim Gussgewölbe ist die Form der gebundenen Steine eine ebenso unregelmässige, wie die der bindenden Mörtelmasse, und gerade in dieser Unregelmässigkeit liegt die Haltbarkeit des Ganzen, indem der Mörtel, in die Vertiefungen in und zwischen den Steinen und Ziegelbrocken eindringend, das Ganze zu einer Masse verbindet.

Nach der ersten Ausführungsweise ist daher die Lage eines jeden Steines gesichert, und kann das Lehrgerüst herausgenommen werden, sobald das Ganze

* Das vorliegende Kapitel ist ungeachtet einiger Wiederholungen wegen der darin enthaltenen grundlegenden Anschauungen Ungewitters unverändert aus den früheren Auflagen übernommen.

geschlossen ist, nach der zweiten erst dann, wenn die ganze Masse erhärtet ist. Es entsteht demnach durch dieselbe eigentlich nur eine aus anorganischen Körpern gebildete Decke, welche die bogenförmige Gestalt nur deshalb hat, damit der Last nicht allein die relative, sondern auch die rückwirkende Festigkeit der Masse entgegensteht, während man über einer kleineren Fläche auch eine ebene Decke daraus hätte bilden können und wirklich im 12. Jahrhundert sogar Fensterstürze daraus bildete.

Die Ausführung einer Kuppel kann gleichfalls auf beiderlei Weise geschehen, durch einen auf das halbkugelförmige Lehrgewölbe zu bringenden Guss oder durch wirkliches Heraufmauern. Ausführung
der Kuppel.

In der Art und Weise der letzteren Ausführung bringen die besonderen Eigenschaften der Halbkugel eine wesentliche Veränderung hervor und ermöglichen eine wichtige Vereinfachung. Das Tonnengewölbe und das daraus gebildete römische Kreuzgewölbe bestehen aus einzelnen wagerechten, geradlinigen Schichten, die sich in dem den Halbcylinder erzeugenden Halbkreise oder Segmente verspannen, mithin erst nachdem derselbe geschlossen ist, eine gesicherte Lage erhalten. Einen Stein aus solcher Schicht zeigt Fig. 38. Im Kuppelgewölbe dagegen bildet eine jede der gleichfalls wagerecht liegenden Schichten einen Kreis. Ein jeder Stein einer solchen Schicht erhält etwa die in Fig. 38a gezeigte Gestaltung, verspannt sich also erstlich als Bestandteil des den Durchschnitt der Kuppel bildenden Halbkreises und sodann des Kreises, den eine jede horizontale Schicht ausmacht. Er erhält also schon eine gesicherte Lage, sobald diese Schicht geschlossen ist. Kann daher letzteres ohne Lehrgerüst geschehen, so ist ein solches überhaupt überflüssig. Man denke sich eine von Ziegeln auszuführende Kuppel, in dem unteren Drittel nähert sich die Lage der Schichten so sehr der Wagerechten, dass die einzelnen Ziegel ohne Bindemittel aufeinander liegen bleiben. Weiter hinauf tritt der Mörtel in Kraft und zwar um so leichter, als er dicker genommen wird, und die Arbeit langsamer vor sich geht, so dass er anziehen kann. Zugleich aber werden mit jeder oberen Schicht die Radien der in der wagerechten Ebene liegenden Kreise kleiner, so dass die einzelnen Ziegel dann, wenn die Bindekraft des noch nassen Mörtels nicht mehr ausreicht, einstweilen gehalten werden können. Immerhin aber bleibt das Schliessen der Kuppel eine schwierige Arbeit durch die Bemühung sowohl die Ziegel an ihrer Stelle zu halten, wie durch die Notwendigkeit dieselben den mit kleineren Radien geschlagenen obersten Kreisen anzupassen. Zu der ganzen Ausführung bedarf man eines Mittels, welches jedem einzelnen Steine seine Stelle anweist. In der Romberg'schen Zeitschrift für praktische Baukunst hat der verstorbene v. LASSAULX ein solches angegeben, welches darin besteht, dass in dem Centrum der Kuppel eine Stange von der Länge des Radius angebracht ist, welche sich in der horizontalen und vertikalen Ebene um diesen Mittelpunkt dreht, daher durch ihre Berührung einem jeden Steine seinen Platz bestimmt.

Die obengenannten Stabilitätsverhältnisse erleiden eine Abänderung, wenn die Kuppel über einem Vierecke gewölbt ist, für die unteren Schichten derselben. Eine derartige Kuppel zeigt Fig. 39 im Grundrisse, Fig. 39a im Durchschnitte nach *eg* und Fig. 40 in Perspektive. Es ist darin das Quadrat *abcd* der zu Ausführung
der
Stutzkuppel.

überkuppelnde Raum, mithin der Radius der Kuppel $= aC$ und der nach der Linie ab durch dieselbe gelegte Schnitt ein Halbkreis. Während nun in der über dem Kreise geschlagenen Kuppel eine jede wagerechte Schicht einen vollen in sich verspannten Kreis bildet, dessen Radius mit jeder folgenden abnimmt, so ist das hier erst dann der Fall, wenn die Schichten dem in das Quadrat beschriebenen Kreise entsprechen, d. h. oberhalb der sich über den Seiten des Quadrates wölbenden Halbkreise, also von der in Fig. 39a mit fg bezeichneten Schicht an. Alle unterhalb fg gelegenen Schichten bilden nur noch Kreissegmente, die, sich zwischen den Seiten der Grundform verspannend, ihren Druck unmittelbar auf diese ausüben.* Sie würden dies ganz in derselben Weise thun, wenn ihre Bogen statt aus dem Mittelpunkte C mit ganz willkürlichen Radien geschlagen wären, d. h. wenn z. B. die in der Höhe no liegende Schicht statt des Segmentes hik das Segment hlk oder hmk bildete. Es wird daher die Beibehaltung des Mittelpunktes C für die in der wagerechten Ebene liegenden Kreise nur durch die Rücksicht auf die von em an beginnenden Schichten geboten, welche auf den darunter befindlichen ihre Stützpunkte finden müssen. Denkt man sich nun die beiden seither entwickelten Systeme des Kreuzgewölbes und des Kuppelgewölbes miteinander verbunden, so entstehen allmählich alle Eigenschaften des gotischen Gewölbes von selbst. Es handelt sich bei dieser Verbindung darum, dem Kreuzgewölbe die dem Kuppelgewölbe eigentümliche gesicherte Lage einer jeden Schicht, oder umgekehrt dem Kuppelgewölbe die Teilung der grossen Fläche in vier kleinere durch die Diagonalbögen und somit beiden eine leichtere Ausführbarkeit anzueignen. Fig. 41 zeigt zunächst den wagerecht durch das Kreuzgewölbe Fig. 36 gelegten Durchschnitt. In Fig. 39 verspannen sich, wie gesagt, die unteren Teile, die Füsse der Kuppel, zwischen den über den Seiten des Raumes geschlagenen Bogen, wie Fig. 40 in der Perspektive zeigt. Ebenso könnten sich dieselben zwischen den über den Seiten und den Diagonalen geschlagenen Bogen des Kreuzgewölbes verspannen, mithin die Kappenflächen in dem Grundrisse 41 statt durch gerade Linien durch Segmentbögen begrenzt sein, wie Fig. 41a zeigt. Sofort wird, wenn die Lage des in dem Diagonalbogen liegenden Punktes b gesichert ist, auch die Lage der beiden Schichten ab und bc es sein, also der Unterschied in der Ausführung im Vergleiche zum Kuppelgewölbe nur noch darin liegen, dass, während man im letzteren nur zur Ausführung der über die Seiten geschlagenen Bogen Lehrbögen bedurfte, hier solche auch für die Diagonalen nötig werden. Während hierbei sämtliche Bogen sowohl über den Seiten wie den Diagonalen des Raumes unverändert bleiben, tritt doch in den Stabilitätsverhältnissen des ganzen Gewölbes eine wesentliche Veränderung ein. In Fig. 41 verspannt sich der einzelne Stein, wie schon gesagt, nur als Bestandteil des den Cylinderteil

Vereinigung
der Eigen-
schaften von
Kuppel und
Kreuzge-
wölbe.

* Es ist zu beachten, dass sich nicht, wie es nach Obigem scheinen könnte, die kleinen liegenden Ringschichten der Zwickel lediglich mit ihren Enden zwischen den Wänden verspannen. In der Längsrichtung der Schichten kann zwar auch eine ringförmige Verspannung stattfinden, der eigentliche Gewölbedruck der Kuppel überträgt sich aber von oben nach unten in meridionaler Richtung von der einen Schicht auf die andere, bis er in die Umschliessungswände übergeht. Siehe hinten S. 57.

erzeugenden Halbkreises oder Segmentes, drückt also erst da auf den Diagonalbogen, wo der Bogen, dem er zugehörig ist, darauf trifft. So wird der Stein *s* erst in *t* den Diagonalbogen belasten. In Fig. 41*a* verspannt er sich dagegen in dem Segmente *ab*, drückt also auf den in derselben Höhe gelegenen Stein des Diagonalbogens und verpflanzt in dem letzteren seine Last nach unten.*

Während also nach Fig. 41 der unterste Punkt des Diagonalbogens die volle Last des Halbkreises, jeder weiter vorgeschobene Punkt die eines kleineren Segmentes, und der Scheitel schliesslich gar nichts mehr zu tragen hat, tritt hier das umgekehrte Verhältnis ein, indem auf den Scheitel unmittelbar das Segment der Schicht presst, der unterste Punkt aber von dem Kappengewölbe gar nicht, sondern allein durch den sich nach unten fortpflanzenden Druck des Bogens selbst belastet wird.

Dieser überaus beträchtlichen Belastung des Scheitels zu widerstehen ist die gleichsam zufällig aus der Durchdringung zweier Halbcylinder entstandene Diagonalbogenlinie des römischen Kreuzgewölbes wenig geeignet, insofern sie, wie Fig. 36 *bnd* zeigt, auf eine ansehnliche Länge am Scheitel *n* sich der Wagerechten nähert, also gerade da, wo die Last am grössten ist, ihre schwächste Stelle hat. Sie musste daher durch eine reine Bogenlinie ersetzt werden, also zunächst durch den Halbkreis. Nehmen wir nun, immer bei dem quadratischen Grundrisse stehen bleibend, den Halbkreis als Diagonalbogen und das ganze Gewölbe nach römischem Prinzip in der Weise gebildet an, dass derselbe seine wirkliche diagonale Durchschnittslinie abgäbe, so wird der rechtwinklige Durchschnitt durch ein Viertel des Gewölbes eine auf der kleinen Axe stehende Halbellipse sein, die sich aus dem Halbkreise in umgekehrter Weise entwickelt wie in Fig. 36 der elliptische Diagonalbogen aus dem über die Seite geschlagenen und das Gewölbe erzeugenden Halbkreise. Derartige Gewölbe finden sich noch in einzelnen frühgotischen Werken, an dem Kreuzflügel der Stiftskirche zu Wetter** und, wenn wir nicht irren, der Collegiatkirche zu Mantes. Immerhin zeugen sie von einer noch unvollendeten Durchbildung des gotischen Systemes, dessen Konsequenz darauf führte, sämtliche Bogen sowohl über den Diagonalen wie über den Seiten als das Gerippe des ganzen Gewölbes durch reine Bogenlinien d. i. durch Kreisteile zu bilden.

Halbkreis-
förmige
Kreuzgrate.

Denkt man sich nun auch die letzteren Bogen wieder als Halbkreise, so kommt man auf das Kuppelgewölbe zurück, und allein der wagerechte Durchschnitt der Kappenflächen kann die Unterscheidung ausmachen. Der Scheitel der Diagonalbogen sitzt aber wie beim Kuppelgewölbe hoch über den über den Seiten des Raumes geschlagenen Bogen, und es entsteht selbst schon bei quadratischer, noch mehr aber bei rechteckiger Grundform über den letzten Bogen ein Höhenverlust, welcher der Differenz der Seite und der Diagonale entspricht. Gewölbe dieser Art finden sich z. B. im Dom zu Trient.*** Um diesen in praktischer wie ästhetischer Hinsicht gleich nachteiligen Höhenverlust zu vermeiden, war es notwendig, die

* Letztere Annahme ist nur teilweise zutreffend, vergl. darüber hinten Fig. 117—120.

** Nach SCHÄFER (Centralblatt der Bauverwaltung 1885) nicht zu Wetter, sondern in der Godehardskapelle zu Mainz.

*** Mittelalterliche Kunstdenkmäler im österreichischen Kaiserstaate.

Höhen der Bogen von ihrer Spannung unabhängig zu machen, zunächst den über die Seiten geschlagenen Bogen eine grössere Höhe zuzuteilen.*

Spitzbogen
über den
Seiten.

Die oben angeführte Belastung der Scheitel hatte aber schon vorher darauf geführt, den über den Seiten der Räume geschlagenen Bogen eine diese Punkte verstärkende Form zu geben, also den Spitzbogen für den Rundbogen zu substituieren. Über die Entstehung und Herkunft dieser Bogenformen sind bereits so viele Meinungen verbreitet, dass wir uns hüten werden, eine neue Hypothese zu wagen, zumal dieselbe weitaus nicht die ihr beigemessene Wichtigkeit hat und ein völlig gotisches Gewölbe recht wohl ohne einen einzigen Spitzbogen gedacht werden kann.

In der Wahl der Radien des Spitzbogens aber lag ein ausreichendes Mittel, eine jede beliebige Höhe zu erreichen, mithin die Höhenverhältnisse der Scheitel nach Belieben zu regeln, somit jenen Höhenverlust zu vermeiden.

Schichten-
lage in den
Kappen.

In dem romanischen Tonnengewölbe und Kreuzgewölbe liegen die Fugen der einzelnen Schichten parallel den die gegenüberliegenden Bogenscheitel verbindenden Linien. Dieselbe Fugenrichtung wurde auch in dem gotischen Kreuzgewölbe zunächst beibehalten und nur in den späteren Ziegelbauten durch eine andere verdrängt. In den Figuren 41 und 41a ist dieselbe angenommen. Fig. 42 zeigt dann die Ansicht eines nach dieser Weise bis auf etwa die Hälfte der Höhe gemauerten Gewölbes, wonach also auf dem Diagonalbogen die Wölbsteine entweder auf Kehrung gehauen würden, wie Fig. 41a zeigt, oder nach Fig. 42b eine hakenartige Form erhielten. Im ersteren Falle würde sowohl die durchgehende Fuge als die spitzwinklige Gestalt der Steine einen Übelstand bilden und letzterer sich steigern, wenn die Kappenschichten, wie 41a zeigt, nach Segmentbogen gebildet sind. Im letzteren Falle würde die Bearbeitung der Hakensteine umständlich sein und keinen entsprechenden Nutzen gewähren, da der dadurch bewirkte Verband der Kappenflächen über dem Diagonalbogen durchaus nicht nötig ist. Hiernach liegt es am nächsten, die Diagonalbogen für sich bestehen zu lassen und aus radial gestellten Steinen nach Fig. 43 zu bilden, so dass die einzelnen Kappenschichten sich gegen dieselben verspannen. Hiernach war das System der Rippen- gewölbe schon gefunden und es bedurfte nur einer Verstärkung des Diagonalbogens und der Annahme einer selbständigen Form für denselben, um von der Fig. 43 in die Gestaltung von Fig. 43a zu gelangen. Gemäss der eben angeführten Unterscheidung des gotischen Gewölbes von dem römischen, stellen sich demnach als charakteristische Eigenschaften des ersteren heraus:

Vortretende
Rippen.

1. die Bildung der Kappenschichten nach Segmentbogen, d. i. die Busung oder der Busen,
2. die Regelung der Höhenverhältnisse der einzelnen Bogen,
3. die selbständige Ausführung und Behandlung derselben.

Ferner aber wird aus dem Gesagten erhellen, dass das gotische Kreuzgewölbe

* Der Höhenverlust ist relativ, je nachdem man vom Scheitel des Schildbogens oder vom Gewölbewiderlager als festem Punkte ausgeht.

Tafel VI.

