

Bögen, Gewölbe, Kuppeln - Teil 1

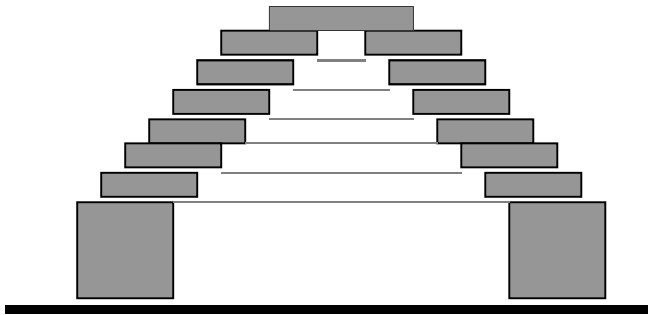


Bögen, Gewölbe, Kuppeln

Bis zur allgemeinen Verbreitung von Stahl und Stahlbeton waren neben Holz gewölbte Konstruktionen aus Mauerwerk die einzige Möglichkeit, Öffnungen in Mauern und über Räumen zu überdecken. Im Geschosswohnungsbau waren Keller außerordentlich wichtige Bauwerksteile, da vor der Verbreitung des Eis- und später Kühlschranks und der Konserven die Aufbewahrung von Lebensmittelvorräten nur im Keller möglich war. Auch Städter, vor allem die Ackerbürger in den Kleinstädten, waren zum großen Teil Selbstversorger. Fleisch aus eigener Schlachtung und Gemüse wurden durch Einsalzen haltbar gemacht und mit Obst und Bier als Vorrat eingelagert. Dazu war ein Keller unumgänglich. Im Festungsbau und für größere klerikale und kommunale Bauvorhaben konnte man größere Räume ohne das brennbare Holz nur in Gewölbetechniken überspannen. Es finden sich in fast allen größeren Bürgerhäusern bis zum Beginn des 20. Jh. Keller in Gewölbetechnik. Öffnungen in den in der Regel sehr dicken Bruchsteinwänden für Fenster, Türen und Tore wurden durch gemauerte Bögen überspannt. Die Kenntnis von Konstruktionsprinzipien und die Herstellungsweisen sind wichtige Voraussetzungen zum Einschätzen der weiteren Verwendungsmöglichkeiten und von Sanierungstechniken. Dazu ein kurzer Abriss der Entwicklung und der Funktionsweise von gewölbten Bauteilen:

Gewölbe entstanden möglicherweise aus geflochtenen kuppelförmigen Hütten aus lehmverschmiertem Reisig. Als das Holz verbrannte bzw. vermoderte, blieb der harte Lehmverstrich als Schale stehen. Daraus entwickelte sich der Bau mit Trockenlehmsteinen (Adobe). Die frühesten Zeugnisse von gewölbten Kuppeln und Bögen sind etwa 3.300 Jahre alt. In Griechenland wurde um 1.325 v.u.Z. das „Schatzhaus des Atreus“, eine Grabstätte in Mykene, als falsches Gewölbe errichtet. Die kegelförmige, über rundem Grundriss errichtete Kuppel wurde als Kraggewölbe geformt. Ähnlich

wie in ägyptischen Pyramiden wurden die Steine jeder Schicht etwas nach innen versetzt.



Die ringförmig gesetzten Steine jeder Schicht verspannten sich gegenseitig und die Auflast der oberen nächsten Kragsschicht hat sie am Platz gehalten. Nach Fertigstellung wurden die innere, treppenförmige Fläche durch Abschlagen der vorstehenden dreieckigen Steinkanten geglättet.

Im Gegensatz zum Scheingewölbe sind im echten Gewölbe die Lagerfugen nicht mehr ausschließlich waagrecht, sondern stets zum Mittelpunkt des Bogens geneigt:



Die ältesten bekannten und erhaltenen echten Gewölbe sind etwa 3.300 Jahre alt und stehen in Ramasseum, Ägypten in der nubischen Wüste. Es sind eine Reihe von Tonnengewölben mit etwa 4m Spannweite, errichtet aus Adobe. Adobe sind luftgetrocknete Lehmziegel.

Der Rundbogen und das daraus abgeleitete Tonnengewölbe fanden im Mittelmeerraum schnell Verbreitung. Die unter den aus Ziegeln gewölbten Bogen, auf dem Foto der vorherigen Seite, zu sehende Halbkuppel, wurde aus kleinen Lehmsteinen – Adobe und Lehmörtel frei Hand gewölbt- der Rohbau eines Lehmofens.



römische Bögen und Tonnengewölbe (Maxentiusbasilika, Rom)

Mit den römischen Legionen wurden diese Bauweisen auch nach Deutschland gebracht. Die Technologie des Wölbens mit Stein und Mörtel war den hier lebenden Völkern unbekannt. Auch lange nach dem Untergang des römischen Imperiums fand diese Technologie nur in kirchlichen und herrschaftlichen Bauten Anwendung und findet sich im Namen dieses Baustils, der Romanik, wieder. Für das einfache Volk war es zu teuer und technisch zu kompliziert. Daher finden wir in solchen Kleinstädten wie Aschersleben fernab

der damaligen wirtschaftlichen und kulturellen Zentren kaum solche Konstruktionen in einfachen Bürger- und Bauernhäusern. Nur da, wo es unbedingt notwendig war, wurden Gewölbekonstruktionen eingesetzt. Diese Notwendigkeit bestand im Bereich der Keller- und der Erdgeschosse. Der Keller war wichtiger Bestandteil eines Wohnhauses, da nur in ihm Lebensmittelvorräte wie Obst, Gemüse, Bier und Wein den Sommer über lagerfähig waren.



Einstufiges Gewölbe, Bauernhaus von 1845



Teil eines Gewölbekellers aus dem 16.Jhr.

Um die Schubkräfte aus den Gewölben abzufangen, wurde das Erdgeschoss massiv errichtet. Dazu wurden die Öffnungsüberdeckungen wie Türen und Fenster überwölbt.

Arten und Funktionsweisen von gewölbten Bauteilen (B G K)

Bögen, Gewölbe und Kuppeln liegen immer zwischen Auflagern, die Wölbung erfolgt stets nach oben. Eine Ausnahme bilden kurze scheitrechte Bögen bzw. Gewölbe und Negativgewölbe gegen Wasserdruck.



Scheitrechter Türsturz im Kloster Fontevraud-l'Abbaye, Frankreich

Definition:

Ein Bogen überspannt eine Wandöffnung, seine Widerlager befinden sich in der Wand, die Kräfte werden parallel zur Wandachse abgeleitet.



Wenn ein Bogen auf zwei parallelen Linien aufliegt, ist es ein Gewölbe.



Paris, Arc de Triumph



Abteikirche von Fontenay, Burgund

Wenn diese Linien kreisförmig verlaufen, ist es eine Kuppel.



Kuppel des Pantheon, Rom



Halbe Kuppel (Apsis), Rom. Die Kuppel und die Gewölbe im Vordergrund bestehen aus Beton.

Funktionsweise von gewölbten Bauteilen

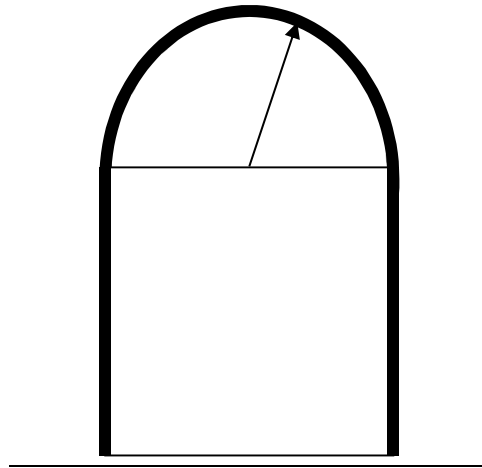
Die Grundidee eines Bogens ist es, die waagerechten Kräfte über dem Bogen nach rechts und links auf die Auflager abzuleiten. Dabei werden am Auflager geneigte Kräfte mit einer senkrechten und einer waagerechten Komponente erzeugt. Diese waagerechten Kraftkomponenten müssen im Auflager aufgenommen werden, sonst bricht der Bogen zusammen.

Daraus ergeben sich für den Bau eine Reihe von Fragen:

1. Was ist die optimale Bogenform mit möglichst wenig waagerechtem Schub im Auflager?
2. Welche Kräfte treten im Bogen auf?
3. Wie berechne ich die Kräfte, um das Material des Bogens bemessen zu können?
4. Wie fange ich den waagerechten Schub im Auflager ab?

Bogenformen

Die einfachste Form eines Bogens ist der Rundbogen.



Seine Form entstand sicher instinktiv und aus praktischen Gründen.

Er besteht aus einer Kreishälfte und ist damit einfach zu konstruieren. Da die geometrische Mittellinie des Bogens senkrecht auf dem Auflager steht, ging man davon aus, dass es keinen bzw. nur geringen waagerechten Schub im Auflager gibt.

Auf Grund dieser Vorteile wurde er bis ins vorige Jahrhundert im Wohnungsbau verwendet.

Ein Großer Teil der alten Kellergewölbe in Bürgerhäusern hat Rundbogenform. Sein Nachteil ist die begrenzte Spannweite, die große Dicke und die lineare Auflagerung. Um bei sakralen Bauten größere Spannweiten und größere überwölbte Flächen für mehr Gläubige zu erreichen, wurde ein anderer Typ von Bogen entwickelt.

Man begann, Tonnengewölbe zu kombinieren, um als Auflager Stützen und nicht mehr Wände zu erhalten. Beim Durchdringen zweier Tonnengewölbe stellte sich in den Diagonalen dann allerdings kein Kreisbogen, sondern ein flacherer Segmentbogen ein, da die Bogenhöhe zwar gleich blieb, die Spannweite und damit der Durchmesser über die Diagonale des Quadrates

über dem Kreuzgewölbe aber größer war. Die Folge war mehr Schub genau da, wo es weniger Material gab.

Die Lösung wurde gefunden, in dem die Baumeister die Diagonale als Kreisdurchmesser wählten. Damit waren die beiden Tonnengewölbe höher als ihre Spannweite, statt eines Halbkreises entstand ein Spitzbogen, der sich aus zwei größeren Kreisabschnitten zusammensetzte ($r = 0,707 \times \text{Spannweite}$ oder $r = \text{Spannweite}$). Der gotische Spitzbogen war erfunden.

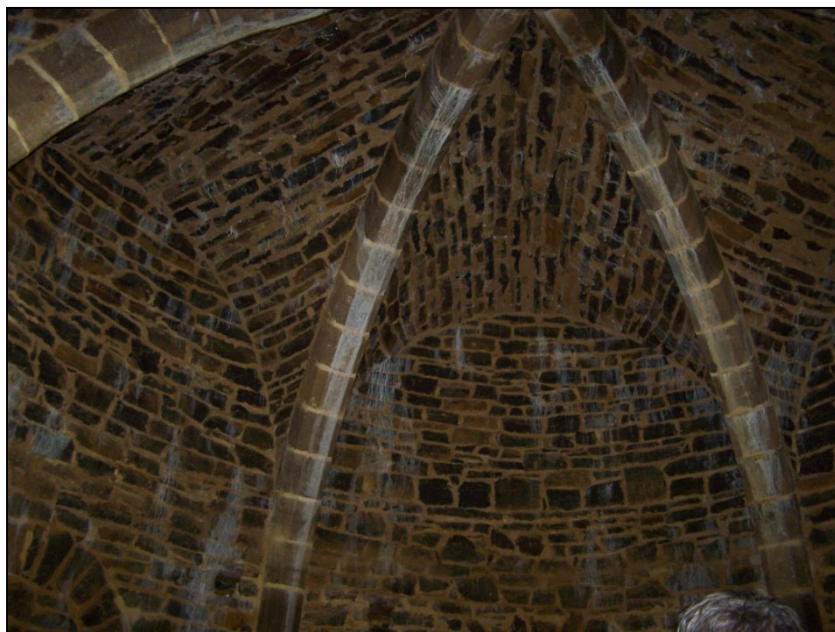


Kreuzgang, Abtei Fontenay, Burgund

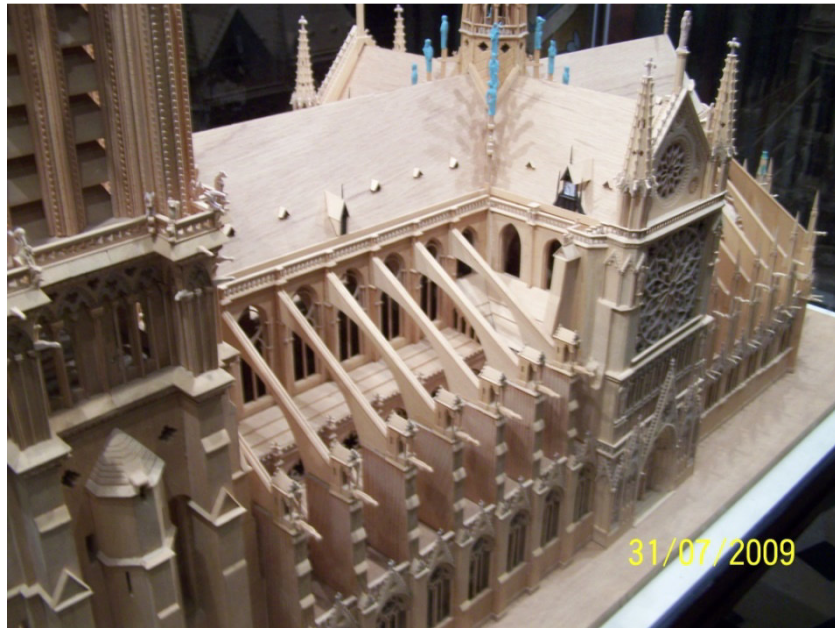
Bedingt durch seine Form minimierte man die waagerechten Kräfte an den Auflagern soweit, das Kreuzgewölbe und Kreuzgratgewölbe gebaut werden konnten, die nur noch punktförmig gelagert wurden. Selbst die Außenwände wurden mit externen Strebfeilern aufgelöst.



Kreuzgratgewölbe Abtei Fontenay



Kreuzgratgewölbe in einer Burg, Guedelon, Burgund



Äußeres Strebwerk einer gotischen Kirche, hier Notre Dame in Paris

Erkaufte diese neue Transparenz und Leichtigkeit mit einer größeren Bauhöhe.

Bei Kathedralen war dies sogar erwünscht; für Profanbauten wie einem Bürgerhaus aber unnötiger Luxus, wenn nicht gar Verschwendung von Geschossfläche, da große Bauhöhen die Geschossanzahl reduzierten. Gotische Spitzbögen sind also bei Bürgerhäusern nur in Fassaden bei Fenstern und Türen als schmückendes Element zu finden. Wer sich eine gotische Halle in sein Haus baute, musste sehr reich sein.

Diese 5 Bogenarten stellen die Grundform aller Bogenformen dar:



Rundbogen - Trier, Basilika

Aus dem Rundbogen entstanden Spitzbögen, flachere Segmentbögen die niedriger sind, aber höheren waagerechten Schub am Auflager erzeugen, aus verschiedenen Radien zusammengesetzte Korbbögen und als optimale Bogenform der Parabelbogen.



Spitzbogen - Gotischer Bogen



Parabelbogen, Auroville, Indien

Die Parabel ist die statisch günstigste Form eines Bogens.



Segmentbogen - Brücke über dem Canal du Midi, Südfrankreich



Korbbogen, Haute Koenigsbourg, Elsass



Segmentbögen, Korbbögen und –gewölbe, Greve, Toscana