



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Universitätsbibliothek Paderborn

Lehrbuch des Hochbaues

Grundbau, Steinkonstruktionen, Holzkonstruktionen, Eisenkonstruktionen ,
Eisenbetonkonstruktionen

Esselborn, Karl

Leipzig, 1908

IV. Wölbungen (Bogen und Gewölbe)

[urn:nbn:de:hbz:466:1-50294](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-50294)

IV. Wölbungen (Bogen und Gewölbe).

A. Allgemeines.

§ 41. **Begriff der Wölbung.** Bei der Abdeckung von Maueröffnungen mittels Hausteinen, kommt bei einfachster Konstruktion ein »Sturz« zur Verwendung (Abb. 118); etwas umständlicher ist die Herstellung der »Überkragung« (Abb. 119). In beiden Fällen handelt es sich bei der Abdeckung um senkrecht abwärts wirkende Druckkräfte. Wird zur »Spreizung« (Abb. 120) gegriffen — eine Anordnung, die nur selten angewendet wird — so hat man es mit Seitenschub zu tun. Selten ist auch heutigen Tages die Anordnung vieler Überkragsteine über einer Maueröffnung, während die Verwendung einzelner Überkragsteine (Konsolen) zur Verringerung der Spannweite unter wagerechten Trägern (in Stein, Holz oder Eisen) im Bauwesen eine große Rolle spielt. Ganz unentbehrlich ist für uns der »Sturz«.

Abb. 118. Der Sturz.

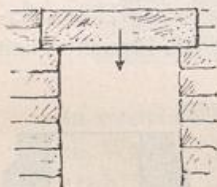


Abb. 119. Die Überkragung.

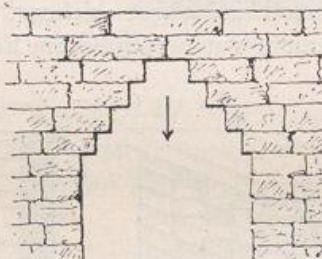
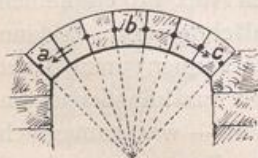


Abb. 120. Die Spreizung.



Eine weitgehende Bedeutung kommt der Öffnungsabdeckung entsprechend, Abb. 121, der »Wölbung« zu, deren Wesen darauf beruht, daß jeder Wölbungsstein durch seine beiden Berührungssteine fest eingespannt ist. Infolgedessen wird das senkrecht abwärts wirkende Gewicht aller einzelnen Gewölbesteine in »Seitenschub«

Abb. 121. Die Wölbung.



umgewandelt und wirkt schließlich als »Wölbungsschub« auf die Seiten-Mauern oder -Pfeiler. Je bedeutender das Gewicht der Einzelsteine ist und je mehr die Wölbung an Nutzlast zu tragen hat, um so bedeutender gestaltet sich der Wölbungsschub.

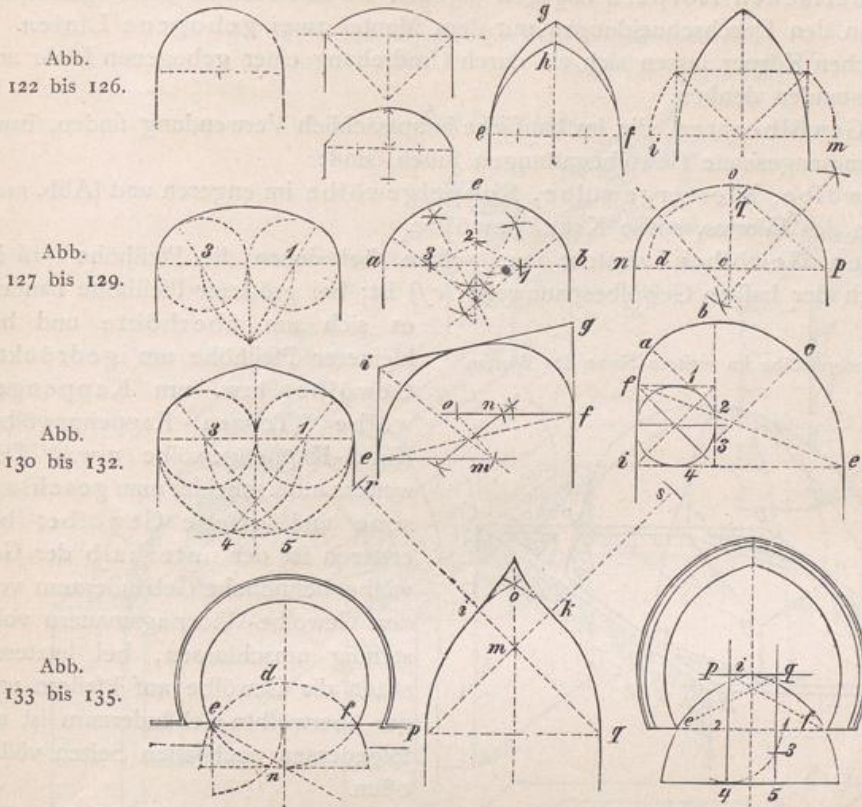
Überdeckt eine solche Wölbung eine Maueröffnung oder Mauer-Flachnische (s. Abb. 184, S. 112), so wird sie »Bogen« genannt; überdeckt sie dagegen einen Gebäuderaum, so bezeichnet man sie mit dem Ausdruck »Gewölbe«. In beiden Fällen hat die Einteilung der Fugen auf der Wölbungslauflinie (*a*, *b*, *c* in Abb. 121) zu erfolgen. Ist letztere ein Kreisteil, so sind sämtliche Wölbungsfugen nach dem Kreismittelpunkt zu richten.

§ 42. **Wölbungsformen. Benennung der Einzelteile von Bogen und Gewölben.** Bei Bauausführungen kommt eine große Zahl von Wölbungsformen in Betracht; diesen liegen die geometrischen Bogenlinien zugrunde. Die gebräuchlichsten Formen sind: (s. Abb. 122 bis 135)¹⁶⁾ Halbkreis- oder Rundbogen (Abb. 122),

¹⁶⁾ Die Abb. 122 bis 135, 244 u. 421 bis 423 sind entnommen: OSCAR MOTHES »Illustriertem Bau-Lexikon«. Bd. I u. IV, 3. Aufl., 1874 bzw. 1877.

Flacher- oder Stich-Bogen (Abb. 123), Hoher Stichbogen (Abb. 124), Spitzbogen (Abb. 125 u. 126), Korbbogen (Abb. 127 bis 129), Elliptischer Bogen,

Abb. 122 bis 135. Wölbungsformen.

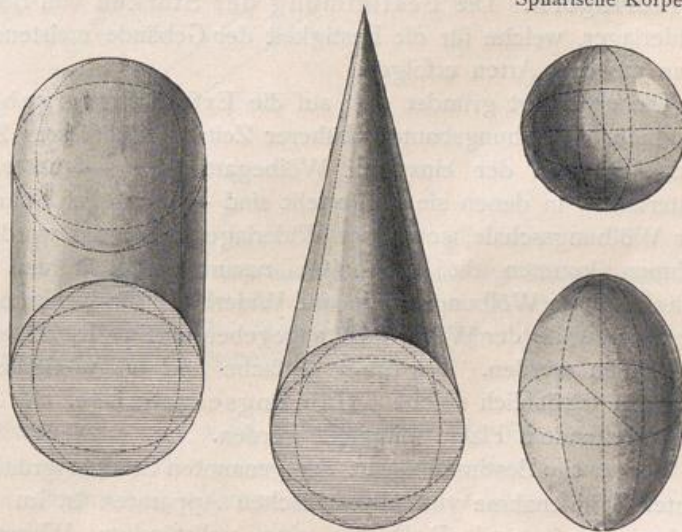


Tudorbogen (Abb. 130), Einhüftiger Bogen (Abb. 131 u. 132), Hufeisenbogen (Abb. 133), Eselsrückenbogen (Abb. 134), Hufeisenspitzbogen (Abb. 135). Hierzu tritt der scheinrechte Bogen, dessen Unterkante eine gerade Linie ist (s. Abb. 149, S. 105).

Abb. 136. Zylinderkörper. Abb. 137. Kegelkörper. Abb. 138 u. 139. Sphärische Körper

Bei Wölbungskurven, die aus Teilen von Kreisbogen zusammengesetzt sind, erhalten die Wölbefugen die Richtung nach den Mittelpunkten der Krümmungsteile.

Die Wölbungsflächen sind Mantelteile von Zylinderkörpern (Abb. 136), Kegelkörpern (Abb. 137) und Sphärischen Körpern (Abb. 138 u. 139).



Werden durch Zylinder- und Kegelkörper senkrechte und wagerechte Schnittebenen gelegt, so ergeben deren Durchschnitte mit dem Körpermantel je eine gerade und eine gebogene Linie.

Bei den sphärischen Körpern dagegen ergeben die senkrechten und wagerechten Schnittebenen in den Durchschnitten mit dem Mantel zwei gebogene Linien.

Die sphärischen Körper lassen sich als durch Umdrehung einer gebogenen Linie um eine Achse entstanden denken.

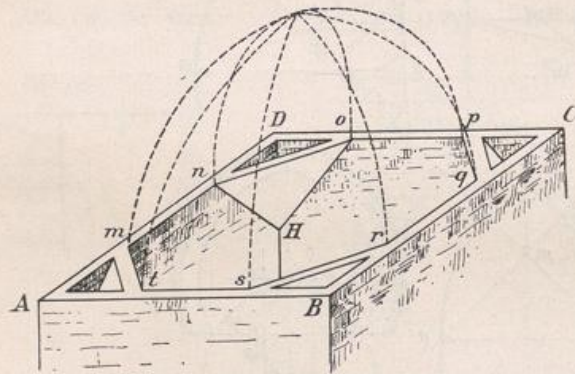
Diejenigen Gewölbearten, die im Baufache hauptsächlich Verwendung finden, bzw. auf denen zusammengesetzte Gewölbegattungen fußen, sind:

Tonnengewölbe, Klostergewölbe, Kuppelgewölbe im engeren und (Abb. 140) im weitem Sinne des Wortes, sowie Kreuzgewölbe.

Unter vollen Gewölben versteht man solche, bei denen die Pfeilhöhe (ab in Abb. 141) gleich der halben Gewölbespannweite (ef) ist; bei größerer Pfeilhöhe handelt

es sich um überhöhte und bei kleinerer Pfeilhöhe um gedrückte Gewölbe, bzw. um Kappengewölbe (Tonnen-Kappengewölbe, Kugel-Kappengewölbe usw.). Des weitem unterscheidet man geschlossene und offene Gewölbe; bei ersteren ist der unterhalb der Gewölbe befindliche Gebäuderaum von den Gewölbe-Widerlagsmauern vollständig umschlossen, bei letzteren sitzen die Gewölbe auf Pfeilern und der überwölbte Gebäuderaum ist infolgedessen nach allen Seiten völlig offen.

Abb. 140. Kuppelgewölbe im weitem Sinne des Wortes.



Die Benennungen der Wölbungseinzelteile stimmen für Bogen und Gewölbe in entsprechender Weise überein; sie sind aus den Abb. 141 u. 142 ersichtlich.

§ 43. Verfahren zur Bestimmung der Stärke von Wölbungen und Widerlagern. Die Bestimmung der Stärken von Bogen und Gewölben und ihrer Widerlager, welche für die Festigkeit der Gebäude meistens von größter Wichtigkeit ist, kann auf drei Arten erfolgen.

Die erste Art gründet sich auf die Erfahrungsergebnisse bei den auf uns überkommenen Wölbungsbauten früherer Zeiten. Zu diesem Zweck ist eine große Anzahl von Beispielen der einzelnen Wölbegattungen — unter Berücksichtigung der Baumaterialien, in denen sie hergestellt sind — bezüglich Spannweite, Pfeilhöhe und Stärke der Wölbungsschale, sowie der Widerlager gemessen worden. Auf Grund solcher Aufnahmen konnten die Ergebnisse zusammengestellt und Durchschnittswerte der Stärken von Wölbungsschale und Widerlager für bestimmte Verhältnisse von Pfeilhöhe zur Spannweite der Wölbungen angegeben und als Richtschnur für ähnliche Anordnungen empfohlen werden. Für ganz einfache und oft wiederkehrende Wölbungsverhältnisse genügen tatsächlich solche Erfahrungsergebnisse. Im Folgenden sollen daher diese an betreffendem Platze mitgeteilt werden.

Die zweite Bestimmungsart der genannten Stärken gründet sich auf »Berechnung«. Unter Zuhilfenahme von physikalischen Apparaten ist im Anschluß an die Gesetze der Schwerkraft und Reibung eine vollständige Wissenschaft der »Theorie der

Wölbung* geschaffen worden. In der Praxis findet diese jedoch im Hinblick auf die Umständlichkeit ihrer Handhabung nur seltene Anwendung.

Die dritte Bestimmung beruht auf der »Graphischen Statik«, d. h. zeichnerisch-

Abb. 141 u. 142. Benennungen der Wölbungseinzelteile.

Abb. 141. Querschnitt.

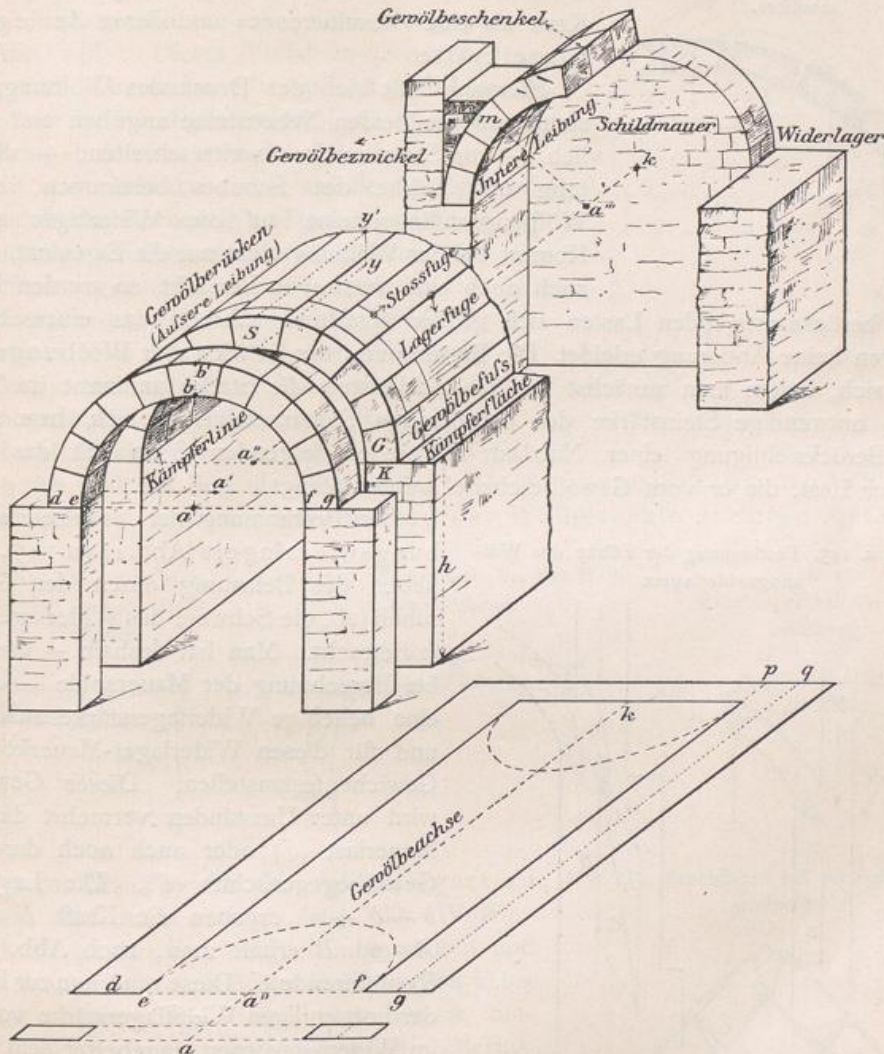


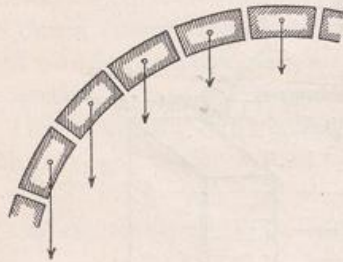
Abb. 142. Grundriß.

a Mittelpunkt des Wölbungsbogens. *b* u. *b'* Scheitelpunkte. *by* innere Scheitellinie. *b'y'* äußere Scheitellinie. *ab* Pfeilhöhe oder Gewölbbestich. *ef* Spann- oder Sprengweite. *K* Kämpfer. *G* Gewölbeanfänger. *S* Schlußstein. *h* Kämpferhöhe. *ebf* Bogen- oder Gewölblinie. *fggp* Gewölbfußfläche. *debfgb'd* Bogen- (Gewölbe)-Stirn oder Haupt. *bb'* Bogen (Gewölbe)-Stärke.

bildliche Darstellung der Kräftwirkungen; sie wird heutzutage in der Praxis vielfach verwandt. Bei derselben werden die Kräftwirkungen bezüglich ihrer Lage und Richtung durch Pfeilstriche dargestellt, während zugleich die Länge des Pfeilstriches die Größe der Kraft angibt.

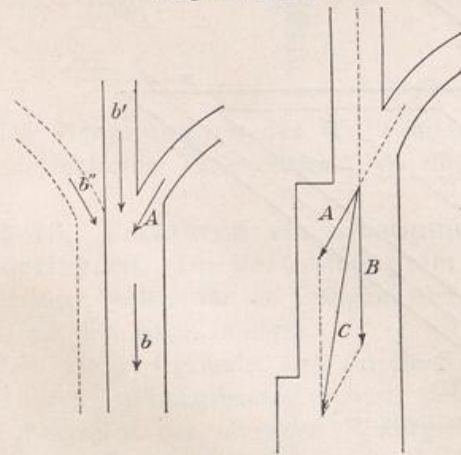
Die Kraftäußerung eines Wölbungsschnittes läßt sich nach Richtung und Größe aus Gewicht und Lage seiner einzelnen Wölbungssteine darstellen, indem zunächst das Gewicht jeden Steines einzeln bestimmt und zeichnerisch durch Richtung und Länge eines in seinem Schwerpunkt ansetzenden Pfeilstriches dargestellt wird (Abb. 143).

Abb. 143. Zeichnerische Darstellung der Kraftäußerung eines Wölbungsschnittes.



die zu berücksichtigenden Lasten sich größer gestalten, während das einzuschlagende Verfahren keine Änderung erleidet. Die Bestimmung der Stärke der Wölbungsschale ergibt sich, indem man zunächst für den Schlußstein die Stärke annimmt im Hinblick auf die notwendige Steinstärke des betreffenden Steinmaterials an sich, bzw. zugleich unter Berücksichtigung einer Nutzlast; für jeden folgenden Stein gilt das Gleiche plus der Last, die er vom Gewölbescheitel aus empfängt.

Abb. 144 u. 145. Bestimmung der Stärke des Wölbungswiderlagers.



A Gewölbeschub. b Eigengewicht des Widerlagers.
b' Gewicht einer oberen Mauer. b'' Schub eines Gegengewölbes.

Ausführliches über »Gewölbetheorie« ist enthalten in »Handbuch der Architektur«, I. Teil, I. Band, 2. Hälfte, sowie in »Lehrbuch des Tiefbaues«, herausgegeben von ESSELBORN. III. Aufl., Leipzig 1908«.

§ 44. Ergebnisse der Wölbungstheorie. Bruchfugen bei den verschiedenen Wölbungsformen. Bei einer Wölbungsform entsprechend Abb. 144 gestaltet sich die Kurve, in der die Gewölbeschubkraft wirkt, entsprechend Abb. 146.

Des weiteren kommt hier das »Parallelogramm der Kräfte« mit der Diagonale als »Resultierende« (Mittelkraft) in Betracht, bzw. die Behandlung einer bekannten Kraft als eine »Resultierende« und deren Zerlegung in Einzelkräfte.

Hiernach läßt sich der Druck des Wölbungsschlußsteins auf die beiden Nebensteine angeben und schließlich — von Stein zu Stein weiterschreitend — die Richtung und Stärke des Schubes bestimmen, den die Wölbungsanfängersteine auf die Widerlager ausüben. Kommt bei der Wölbung nicht nur die Eigenlast, sondern auch noch eine Nutzlast in Betracht, so werden lediglich

Für Bestimmung der Stärke des Wölbungswiderlagers (Abb. 144 u. 145), kommt, neben der Belastung durch den Gewölbeschub (A), die Schwere des Widerlagers selbst in Betracht. Man hat deshalb — wie in § 37 bei Berechnung der Mauersohle — zunächst eine beliebige Widerlagerstärke anzunehmen und für diesen Widerlager-Mauerkörper das Gewicht festzustellen. Dieses Gewicht (b) wird unter Umständen vermehrt durch eine Mauerlast (b') oder auch noch durch einen Gewölbegegenschub (b''). Die Lastwirkung $b + b' + b''$ ergeben die Kraft B und aus A und B erhält man, nach Abb. 145, die Resultierende C. Diese muß nun zur Erzielung der notwendigen Widerlagerstärke vollständig im Widerlagskörper eingebettet sein und darf — auch wenn der Widerlagskörper, um Mauerwerk zu sparen, abgetreppt ist — nirgends zu nahe an dessen Außenfläche treten.

Dieselbe läßt sich auch körperlich feststellen, wenn eine Schnur oder Kette entsprechend der Länge dieser gekrümmten Linie (a, b) ausgestreckt wird und an ihr in Entfernungen, die gleich den Abständen der Schwerpunkte der einzelnen Wölbsteine sind, Körper befestigt werden, deren Gewicht je demjenigen der einzelnen Wölbsteine entspricht (Abb. 147). Werden nun die Endpunkte der Schnur oder Kette auf die Kämpferpunkte a und b gehalten, so nimmt sie die Gestalt eines nach abwärts gerichteten parabolischen Bogens an (Abb. 148). Dieses Verfahren (Anwendung der Kettenlinie) empfiehlt sich als Probe für die Richtigkeit eines Entwurfes für »Wölbung«; hierbei wird die Zeichnung umgedreht und die Kettenlinie auf diese gelegt.

Sowohl aus Rechnung und graphostatischer Behandlung, als auch aus der Anwendung der Kettenlinie ergibt sich die Erkenntnis, daß die Druckparabel um so flacher wird, je niedriger die Pfeilhöhe der Wölbung im Verhältnis zu ihrer Spannweite ist; dementsprechend wächst der Gewölbeschub mit Verkleinerung der Wölbungspfeilhöhe und mit ihm die Notwendigkeit für Vergrößerung des Widerlagerwiderstandes, sowie für Verstärkung der Wölbeshale an ihren Anfängen.

Abb. 146 bis 148.
Kurve der Gewölbeschubkraft.

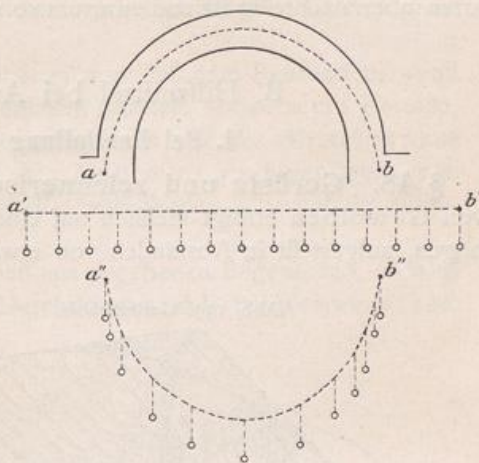


Abb. 149. Bruchfugen bei der scheinbaren Wölbung.

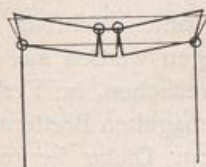


Abb. 150. Bruchfugen bei der Halbkreiswölbung.

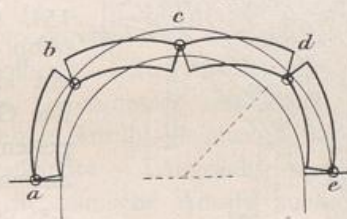
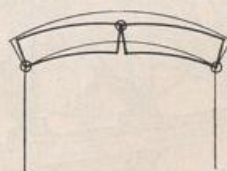
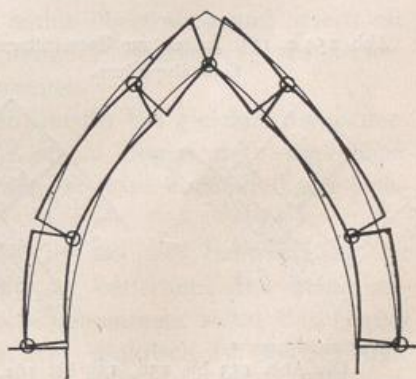


Abb. 151. Bruchfugen bei der Stichwölbung.



Um an Mauerwerk des Widerlagers zu sparen wird man besorgt sein, den Wölbeschub so gering wie möglich zu gestalten und daher in allen Fällen, in denen Wölbungen keine Nutzlast aufzunehmen haben, dieselben in tunlichst leichtem Material herstellen. Bezüglich der Widerlager selbst ist Sorge zu tragen, daß diese ein recht großes Gewicht erhalten. Sie sind deshalb in schwerem Material herzustellen und zu belasten, was, entsprechend Abb. 144 u. 145, durch Mauerwerk oder durch Wölbungsgegendruck erfolgen kann. Oftmals wird auch zu Verankerungen gegriffen, s. § 46.

Abb. 152. Bruchfugen bei der Spitzbogenwölbung.



Je nach den Wölbungsformen werden sich beim Einsturz von Wölbungsausführungen zunächst an gewissen Stellen die Wölbefugen öffnen; man nennt diese die »Bruchfugen«.



Bei der am wenigsten tragfähigen Wölbung, der »schiefechten«, entstehen die Bruchfugen entsprechend Abb. 149; die Zerstörung der Halbkreiswölbung erfolgt nach Abb. 150, die der Stichwölbung nach Abb. 151 und die der Spitzbogenwölbung nach Abb. 152.

Hieraus geht hervor, daß eine Belastung von Wölbungen im Scheitel bei Spitzbogenwölbungen für deren Standfestigkeit günstig, den anderen genannten Wölbungsarten aber nachteilig ist und zwar um so mehr, je flacher diese Wölbungen gestaltet sind.

B. Hilfsmittel bei Ausführung von Wölbungen.

1. Bei Herstellung von Bogen und Gewölben.

§ 45. Gerüste und zeichnerische Hilfskonstruktionen. Die Herstellung von Gewölben erfolgt vielfach auf einer Gerüstschale aus Brettern, die auf Gerüstbogen, aufgestellt in Abständen von etwa 1 m, ruhen; die äußere Umrißlinie der Bogen

entspricht der gewählten Wölbungsform. Diese Gerüstbogen sind gewöhnlich durch Holzgerüste unterfangen (Abb. 153).¹⁷⁾ Je gekrümmter die Wölbungsform ist, um so schmaler sind die zu verwendenden Schalldielen zu wählen, bzw. kommen Latten zur Benutzung. Letztere empfehlen sich auch für Wölbungen in Quadern, wobei die Stoßfugen auf den Latten (Abb. 154), oder besser zwischen diesen (Abb. 155) angeordnet werden, damit sie von unten sichtbar sind. Die Gerüstbogen werden aus doppelten oder dreifachen, im Verband aneinander genagelten Brettern von 2,5 oder 3 cm Dicke hergestellt (Abb. 156).

Um die äußere Umrißlinie der Gerüstbogen herzustellen, wird der

Abb. 153. Gerüstschale.

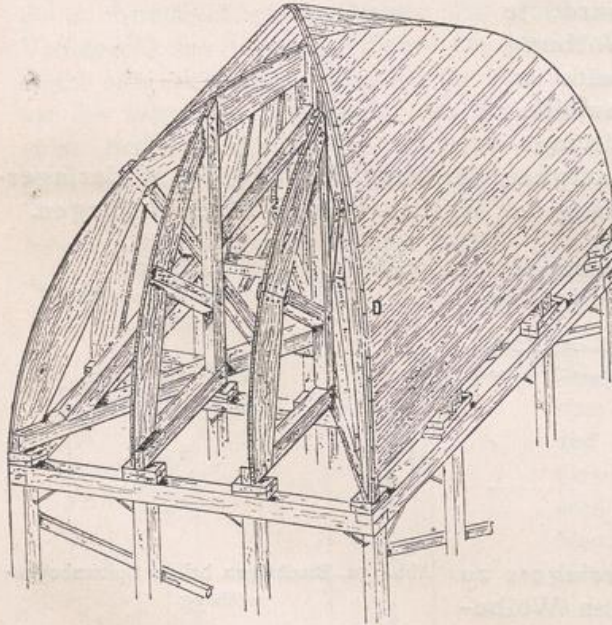


Abb. 154 u. 155. Latten zur Unterstützung von Gewölbquadern.

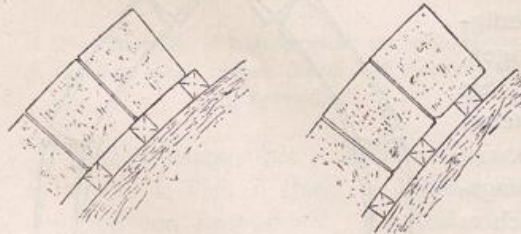
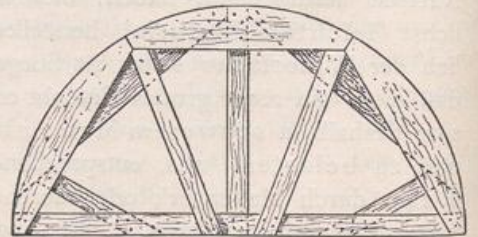


Abb. 156. Gerüstbogen aus doppelten aufeinander genagelten Brettern.



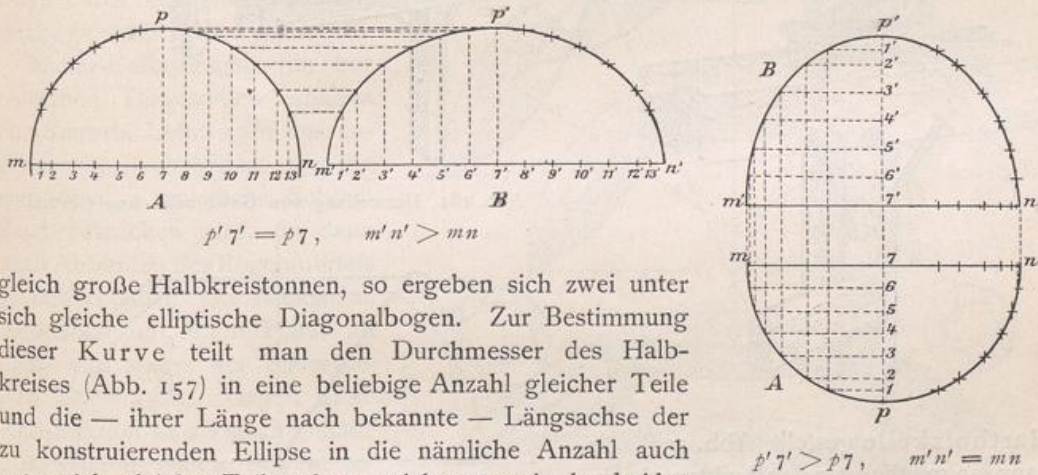
¹⁷⁾ Die Abb. 153 bis 156, 159 bis 161, 207, 245, 247 bis 250, 252 bis 255, 280 bis 288, 292 bis 295, 304 bis 306, 310 bis 311, 325, 326, 328 bis 330, 341 bis 344, 414 bis 418 u. 430 bis 435 sind entnommen dem »Handbuch der Architektur«, III. Teil, 2. Bd., Heft 3^b: »Gewölbedecken« von Geh. Hofrat Prof. CARL KÖRNER, 2. Aufl., Stuttgart 1901.

Gewölbequerschnitt in natürlicher Größe auf einem »Reißboden« »aufgerissen«. Die hierfür erforderliche Zeichnungsunterlage auf Papier wird, wenn die Wölbungsform eine verwickelte Kurve bildet, in möglichst großem Maßstab hergestellt und nach dem Koordinatensystem auf den Reißboden in die natürliche Größe übertragen, d. h. man überzieht die Zeichnung mit einem Netz von wagerechten und senkrechten Linien, das unter entsprechender Vergrößerung auf den Reißboden übertragen wird. Nunmehr ist es ein leichtes, die für Darstellung der Kurve in natürlicher Größe benötigten Punkte ebenfalls zu übertragen.

Einfacher gestaltet sich die Zeichnung der Wölbungskurve auf dem Reißboden, wenn es sich nicht um aus freier Hand entworfene Bogenlinien handelt, sondern um Formen, die aus Zirkelschlägen zusammengesetzt sind. In diesem Falle sind die Mittelpunkte für die Kreislinien der einzelnen Bogenteile auf den Reißboden zu übertragen, von denen aus dann vermittels Schnüren oder Latten die betreffenden Kurventeile aufgerissen werden.

Handelt es sich um Ableitung von Bogenformen aus gegebenen Bogenlinien, so wird die Methode der Vergatterung angewendet. Durchdringen sich beispielsweise zwei

Abb. 157 u. 158. Vergatterung.



gleich große Halbkreistonnen, so ergeben sich zwei unter sich gleiche elliptische Diagonalbogen. Zur Bestimmung dieser Kurve teilt man den Durchmesser des Halbkreises (Abb. 157) in eine beliebige Anzahl gleicher Teile und die — ihrer Länge nach bekannte — Längsachse der zu konstruierenden Ellipse in die nämliche Anzahl auch unter sich gleicher Teile; dann errichtet man in den beiden Figuren auf den Linien mn und $m'n'$ in den Teilungspunkten Senkrechte. Die in der linken Figur sich ergebenden Höhenpunkte der Halbkreislinie über dem Durchmesser werden auf die entsprechenden Senkrechten der Figur rechts übertragen und liefern die notwendigen Anhaltspunkte für die gesuchte entsprechende Ellipsenkurve. In diesem Falle ist eine gleiche Höhe der beiden Kurven angenommen.

Handelt es sich um eine Veränderung der Höhe der Kurven bei gleicher Breite derselben, so ist nach Abb. 158 zu verfahren. Soll aus einem Bogen mit wagerechter Achse ein solcher mit geneigter Achse entwickelt werden, so wird ebenfalls nach demselben System verfahren.

Bei Aufstellung der Gerüste unter den Lehrbogen ist mit der Schwierigkeit zu rechnen, diese nach Gebrauch in solcher Weise wieder zu entfernen, daß keine ungleichen Setzungen im Gewölbe entstehen. Theoretisch genommen, sollte das Gerüst stehen bleiben, bis der Mörtel vollständig abgebunden hat; praktisch ist solches aber meistens nicht durchführbar und deshalb wird jede Wölbung (Bogen oder Gewölbe) sich »setzen«, indem seine eigene Last den Mörtel der Fugen zusammenpreßt, ebenso wie es bei der Aufführung von Mauern der Fall ist. Bei ungleichem Setzen eines Gewölbes

liegt aber die Gefahr vor, daß bei Verbreiterung einer Wölbefuge die über dieser befindlichen Steine infolge ihres Eigengewichtes aus dem Gewölbe herausrutschen und unter Umständen herausfallen. Ein zu frühes Entfernen des Gerüsts hat auch schon in vielen Fällen den Einsturz einer Wölbung verursacht. Bei Gewölben darf, je nach deren Größe und der Art der verwendeten Baumaterialien, sowie nach Güte der Ausführung, nicht vor vier Tagen bis zu vier Wochen »ausgerüstet« oder »ausgeschalt« werden. Je weniger Zeit ein Gerüst unter einem Gewölbe verbleiben soll, um so besser muß die Gewölbe-Ausführung sein; auch empfiehlt es sich unter Umständen die Gewölbefugen um so enger zu halten.

Im Hinblick auf eine durchgängig gleichmäßige Entfernung des Gerüsts, werden die Lehrbogen oder die Pfosten, auf denen die, die Lehrbogen tragenden, Pfetten ruhen, auf

Abb. 159. Hartholzkeile.

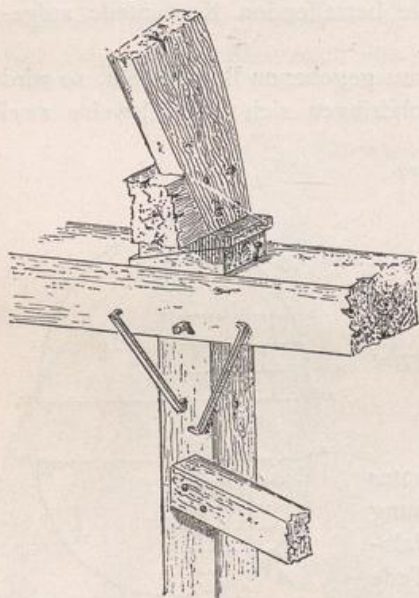


Abb. 160. Die Rutsche.

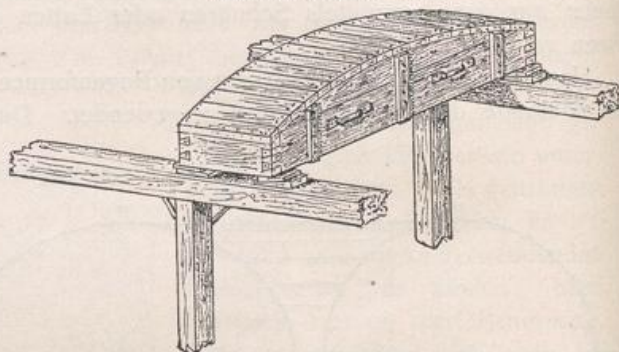
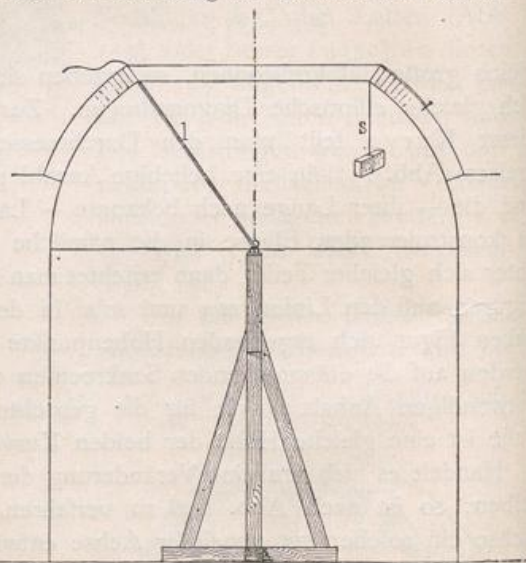


Abb. 161. Herstellung von Gewölben ohne Gerüst.



Hartholzkeile gestellt (Abb. 159), die dann, an möglichst vielen Punkten gleichzeitig, langsam entfernt werden oder man verwendet als Zwischenunterlage mit Sand gefüllte Säcke, Töpfe oder Kästen, bei denen man für die Niedersenkung des Gerüsts den Sand langsam auslaufen läßt. In anderen Fällen werden besondere Schraubenwinden aufgestellt.

Eine andere Art von Unterstützung bei Gewölbeausführungen besteht in der »Rutsche« (Abb. 160), die bei einigen Gewölbe-Verbandsarten Verwendung finden kann. Es ist dies eine umgekehrte Holzkiste, deren Boden entsprechend der betreffenden Wölbung hergestellt ist, und die mit Leichtigkeit auf einem feststehenden Gerüst bewegt werden kann.

Bei gewissen, einfachen Wölbungsformen ist es möglich, die Gewölbe ohne Gerüste »freihändig« auszuführen. Hierbei müssen die einzelnen Wölbesteine in ihrem Mörtelbett nicht nur auf die unter ihnen befindlichen Steine gedrückt, sondern auch zunächst

in dieser Lage festgehalten werden, bis der Mörtel wenigstens einigermaßen abgebunden hat. Hierfür bedient man sich einer Schnur mit Gewicht (Abb. 161).

Einfacher als bei Gewölben gestaltet sich die Herstellung der Wölbung bei Bogen. Handelt es sich um bedeutende Leibungsstärken und um große Spannweiten, so bedient man sich auch hier hölzerner Lehrbögen, die jedoch meist nur aus einer Lage Bretter bestehen, die durch aufgenagelte Latten zusammengehalten werden (Abb. 162 u. 163).²⁸⁾ Bei noch einfacheren Verhältnissen und geringen Wölbungs-Pfeilhöhen wird die Aufstellung zweier einfacher Bretter genügen, deren obere Kante nach der Wölbungskurve geschnitten ist. Wenn nötig werden über diese Bretter Lattenstücke gelegt (s. Abb. 237, S. 120).

Mauer-Entlastungsbogen über hölzernen Türgestellen erhalten mancherorts Lehrbogen aus zugehauenen Backsteinen, über die eine etwa 2 cm dicke Schicht Sand gestrichen wird, die dann nach Abbinden des Bogenmörtels zu entfernen ist. Die Backsteine verbleiben an ihrem Platz; an diese wird später der Mauerverputz angetragen. Gegen diese Konstruktion ist als solche nichts einzuwenden, doch besteht erfahrungsgemäß die Gefahr, daß die Entfernung des Sandes unterbleibt; alsdann wird der Bogen nur einen Teil seiner Eigen- und seiner Nutzlast durch Schub seitwärts abgeben, während der andere Teil als Druck auf das Türgestell wirkt.

Bei Verwendung hölzerner Lehrbögen ist ein Belassen derselben unter dem Entlastungsbogen nicht zu befürchten. Zur Ausfüllung des dann entstandenen Hohlraumes, sowie im Hinblick auf Anbringung des Wandputzes, ist der Raum zwischen Türgestell und Mauerbogen nachträglich in der

Abb. 162 u. 163. Lehrbogen.

Abb. 162. Querschnitt.

Abb. 163. Ansicht.

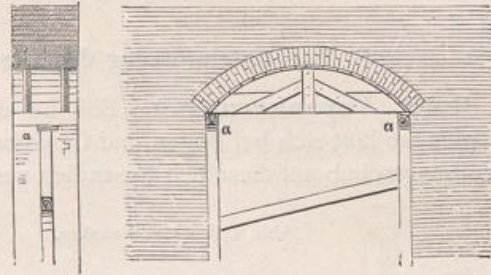
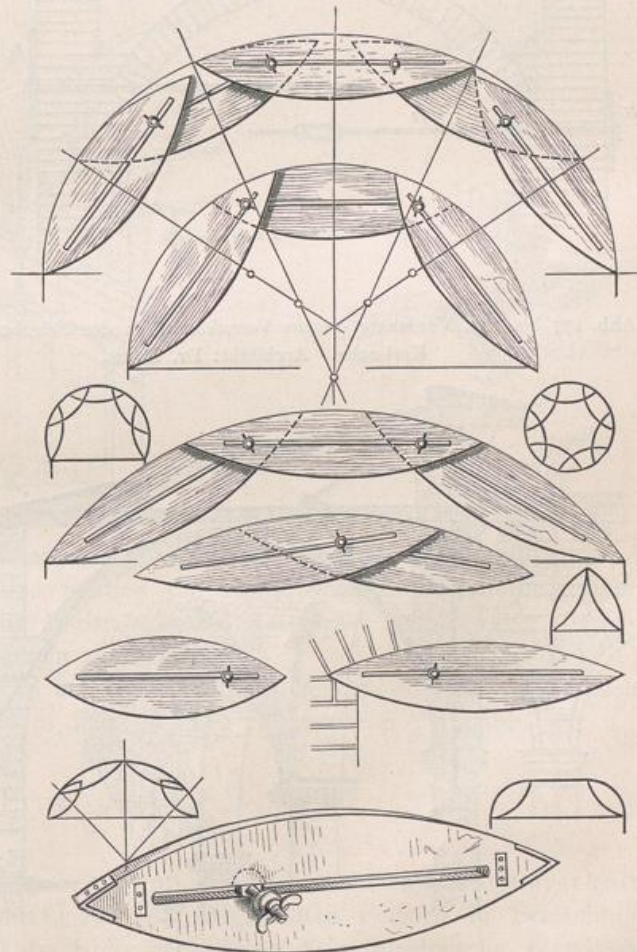


Abb. 164 bis 175. Patent-Sparbogen.



²⁸⁾ Die Abb. 162, 163, 216 bis 220 u. 270 sind entnommen: RUDOLPH GOTTGREU, »Lehrbuch der Hochbau-Konstruktionen«, I. Teil, Berlin 1880.

Weise auszufüllen, daß zwischen der Füllung und dem Mauerbogen ein kleiner Hohlraum verbleibt, der Hohlzuge genannt wird, s. Abb. 209 u. 210, S. 116.

Eine praktische Neuerung für Lehrbogen ist im »Patent Sparbogen« geboten (Abb. 164 bis 175),¹⁹⁾ dessen Benutzung aus vorstehenden Abbildungen ohne besondere Erläuterung erhellen dürfte.

2. Zur Unterstützung des Bestandes von Bogen und Gewölben.

§ 46. Verankerungen. Soll an der Stärke von Wölbungswiderlagern gespart werden, so läßt sich bei Bogen und Gewölben durch Einziehung von Gewölbeankern der Wölbungsschub auf dieselben wesentlich verringern. Solche Anker wurden in alten Zeiten

Abb. 176. Gewölbeanker.

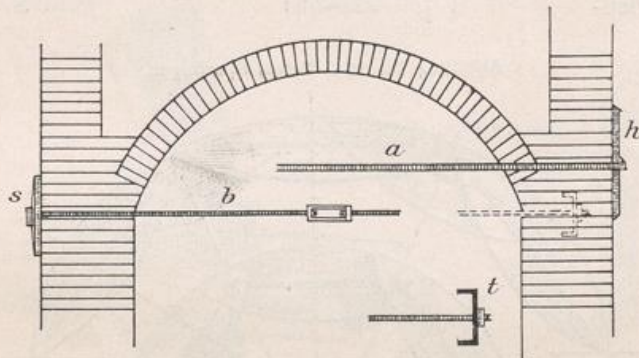
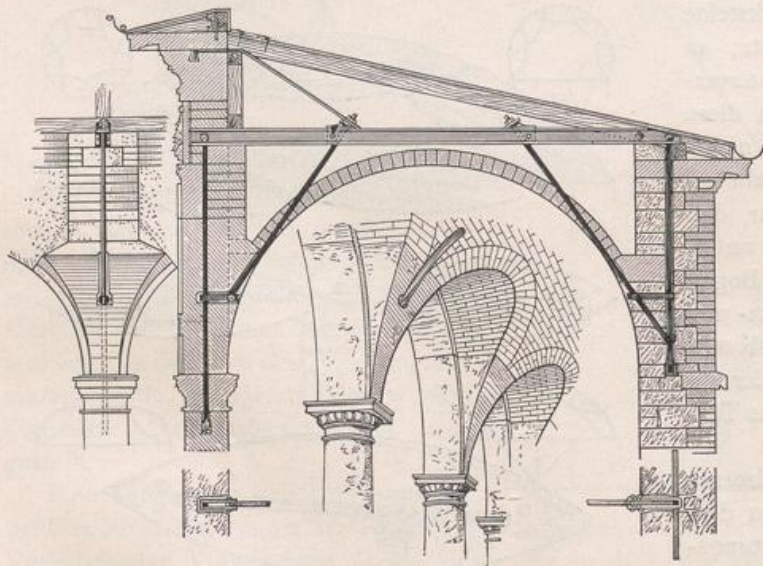


Abb. 177 bis 179. Verdeckte eiserne Verankerung in der Friedhofsanlage zu Karlsruhe. Architekt: Dr. DURM.



kann. In anderen Fällen werden sie vollständig in Mauerwerk eingebettet oder in

¹⁹⁾ Die Abb. 164 bis 175, 177 bis 179, 212 bis 215, 251, 256 bis 268, 277, 289 bis 291, 307 bis 309, 322 bis 324, 374, 380 bis 384, 393, 394, 407 bis 410, 426 bis 429 u. 458 bis 462 sind entnommen: G. A. BREYMANN, »Allgemeine Baukonstruktionslehre«, I. Bd., 7. Aufl., Leipzig 1903, bearbeitet von Oberbaurat Prof. Dr. WARTH.

und bis in das späte Mittelalter, auch noch darüber hinaus, vielfach in Holz ausgeführt; doch hat sich solches aus nahe liegenden Gründen nicht bewährt. Neuerdings werden diese Anker aus Eisen hergestellt und zwar in Eisenstangen mit rundem Querschnitt, wo es sich um deren Beanspruchung auf Zug handelt, und in I-, T-, I-, C-Eisen bei Inanspruchnahme auf Zerknickung.

Die für die beabsichtigte »zu-

sammenfassende« Wirkung der Anker zweckmäßigste Höhenlage (s. Abb. 176) ist bei den am häufigsten in Betracht kommenden Wölbungsarten die Kämpferhöhe (Anker *b*), bzw. der Horizont oberhalb der Widerlager-Vorkragung (Anker *a*). Die Ankerschließen beläßt man entweder außen sichtbar am Mauerwerk (Abb. 176 bei *h*), oder fügt sie in einen Mauer-schlitz ein, so daß schließlich »Wandputz« über dieselben greifen

durchlochte Hausteine eingesteckt. Statt der »Schließen« finden auch »Kopfplatten« (Abb. 176 bei *s*) oder C-Eisen (Abb. 176 bei *t*) Verwendung.

Solche eiserne Verankerungen spielen beispielsweise in der italienischen Spätgotik und Renaissance eine große Rolle (Abb. 180 u. 181).²⁰⁾ Auch heutigen Tages werden sie sehr häufig angewendet, wobei als Neuerung der gelegentliche Gebrauch von »Spannschrauben« hinzugetreten ist (Abb. 176 bei *b*).

Vielfach werden die Hilfskonstruktionen verborgen. Wie die Abb. 177 bis 179 zeigen,

Abb. 180 u. 181. Gewölbeanker.

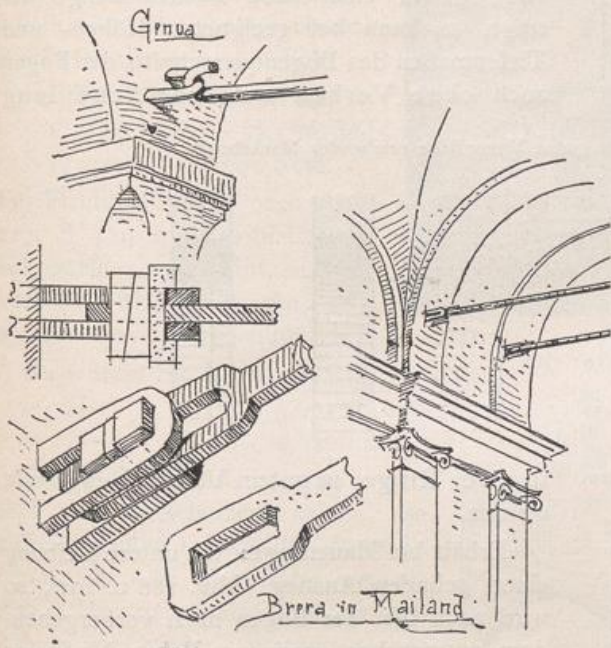
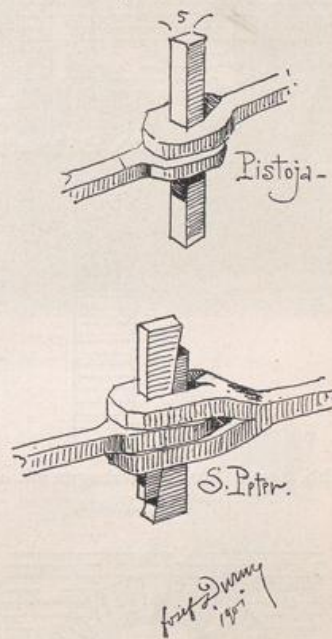


Abb. 182 u. 183. Verbindung der Teile eiserner, um Gewölbe gelegter Bänder.



erfordern diese in solchem Falle einen weit größeren Aufwand an Material und Arbeit als die einfachen Zugstangen und werden die Kraftwirkung der letzteren kaum erreichen; doch wird es auf solche Weise möglich, die oft in künstlerischer Beziehung sehr störenden sichtbaren Zugstangen zu vermeiden.

Werden eiserne Bänder in oder um Gewölbeschalen gelegt, so sind ihre Einzelteile in sicherer Weise zu verbinden; es kann solches entsprechend den Abb. 182 u. 183 erfolgen.

C. Bogen.

§ 47. Allgemeines. Bei Mauerbogen kommen hinsichtlich ihres Querschnittes hauptsächlich die in den Abb. 184 bis 189 dargestellten Formen in Betracht. Bei Abb. 184 reicht der Bogen nicht durch die ganze Mauerdicke (Flachnische, Blendbogen), bei Abb. 187 u. 190 ist dieses der Fall. Der für die Ausführung solcher Bogen zu wählende »Verband« ist derselbe wie bei freistehenden Pfeilern (s. Abb. 78 bis 93, S. 85).

²⁰⁾ Die Abb. 180 bis 183, 192 u. 347 bis 349 sind entnommen: dem »Handbuch der Architektur«, II. Teil, 5. Bd.: »Die Baukunst der Renaissance in Italien« von Geheimrat Prof. Dr. DURM, Stuttgart 1903.

Bei Herstellung von Bogen nach der Querschnittsform der Abb. 189 u. 191 werden entweder die Wölbungssteine vor Ausführung des Bogens, unter Berücksichtigung des Vorsprungs, bzw. der Vertiefung, passend zubehauen oder der Bogen wird aus zwei nebeneinander liegenden Ringteilen gebildet (s. Abb. 211, S. 117). Die erste Art kommt bei kleinen Verhältnissen und namentlich bei Verwendung von Bruchsteinmaterial zur Anwendung, die zweite ist die bessere. Wenn bei Bogen in Backsteinen der vorspringende Absatz (Abb. 189) oder der einspringende Absatz (Abb. 191), genau eine halbe Backsteinlänge beträgt, so kann bei geeigneten Höhen- und Tiefenmaßen des Bogenquerschnitts der Bogen auch ohne Verhau und ohne Scheidung

Abb. 184 u. 185. Nicht durch die ganze Mauerdicke reichender Mauerbogen.

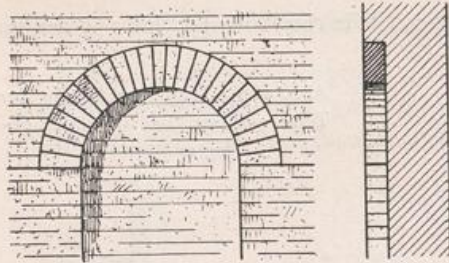


Abb. 186 bis 189. Durch die ganze Mauerdicke reichender Mauerbogen.

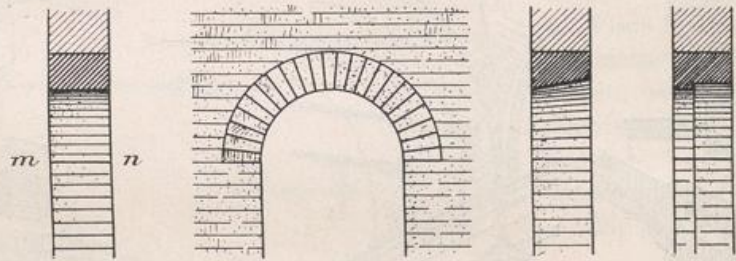
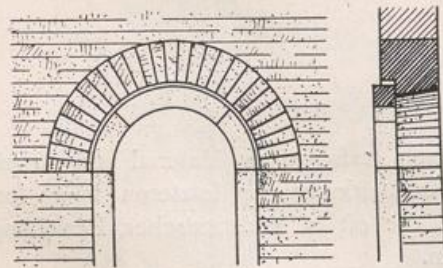


Abb. 190 u. 191. Mauerbogen mit einspringendem Absatz.



in zwei Ringe, in gutem Verband hergestellt werden.

Erhält bei Mauerbogen die untere Leibung einen gelinden Anstieg (Abb. 188 u. 191), so wird auch hier der Bogen nach vorhergehendem, entsprechend geringem Behau der Steine ausgeführt.

Für Bestimmung der Bogen- und Widerlagerstärke werden im allgemeinen folgende Erfahrungsmaße verwendet:

Bogen.

Bei der Spannweite	halbkreisförmig	überhöht	gedrückt bis zu $\frac{1}{4}$ Pfeilhöhe
bis nahezu 1,75 m	1 Stein	$\frac{1}{2}$ Stein	$1\frac{1}{2}$ Stein
von 2 bis 3 m	$1\frac{1}{2}$ >	1 >	$1\frac{1}{2}$ bis 2 Steine
> 3,5 bis 5,75 m	2 >	$1\frac{1}{2}$ >	2 bis $2\frac{1}{2}$ >
> 6 bis 8,5 m	$2\frac{1}{2}$ >	$1\frac{1}{2}$ bis 2 Steine	$2\frac{1}{2}$ bis 3 >

Widerlager.

- Bei Rundbogen $\frac{1}{4}$ der Spannweite,
- > überhöhten oder Spitzbogen $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ der Spannweite,
- > gedrückten bis zu $\frac{1}{8}$ Pfeilhöhe $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ der Spannweite,
- > Segmentbogen bis $\frac{1}{2}$ Pfeilhöhe $\frac{1}{2}$ der Spannweite,
- > scheinrechten Bogen $\frac{1}{3}$ der Spannweite.

Entsprechend Abb. 226, S. 119 werden bei Bogen unter Umständen »Keilsteine« verwendet; handelt es sich hierbei nicht um Formsteine, sondern um zubehauene Normal-Backsteine, so empfiehlt es sich, dieselben nicht weitergehend zu behauen als bis deren Spitze etwa noch 43 mm mißt. Hierdurch bestimmt sich das Mindestmaß des Halbmessers für entsprechende Backsteinbogen, nämlich:

- bei $\frac{1}{2}$ Steinstärke zu 25,1 cm,
- » 1 » » » 53,3 cm und
- » $1\frac{1}{2}$ » » » 79,6 cm.

Für Flachbogen, die nach Abb. 227, S. 119 mit Normalsteinen hergestellt sind, ergibt sich als kleinstes Maß für die entsprechenden Bogenhalbmesser:

- bei 1 Stein Stärke zu 2,416 m,
- » $1\frac{1}{2}$ » » » 3,671 m und
- » 2 » » » 4,930 m.

Bezüglich der Anlage von Bogen sind zu unterscheiden: solche, die gewissermaßen selbständig dastehen und solche, die mehr oder weniger sich in Mauern befinden; bei letzteren haben wir wieder getrennt zu betrachten: Bogen als sichtbare Fassaden-Architekturglieder, und Bogen als Hilfskonstruktionen.

§ 48. Selbständige Bogen.

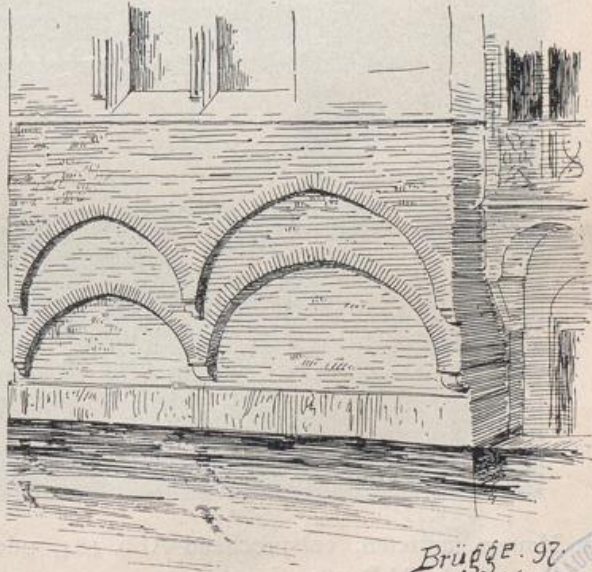
In erster Linie sind hier Prunkbauten zu nennen, wie Triumphpforten und dgl.; diese sind meistens in mächtigen Quadern errichtet und bringen den Bogen als Kunstform zur Geltung. Ferner kommen hier Bogen in Betracht, die, wenn sie auch einem konstruktiven Zwecke dienen, doch frei sichtbar dastehen, wie Bogen unter Treppenläufen (ähnlich wie bei Abb. 207, S. 116), Bogen bei Laubengängen (Arkaden), Hallen, Loggien, Veranden, Korridoren um Treppenhäuser u. dgl. Sollen solche Bogen nicht zwischen Mauerkörpern, sondern freistehend errichtet werden, und erfolgt ihre Unterfangung nicht durch breite Pfeiler, sondern durch

Esselborn, Hochbau. I. Bd.

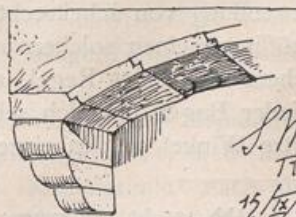
Abb. 192. Bauernhaus zu Porrena.



Abb. 193 u. 194. Den Mauern vorgesetzte Bogen.



Brügge. 97
Kfm.



S. Maino
Tathaus
15/12/04. Kfm.

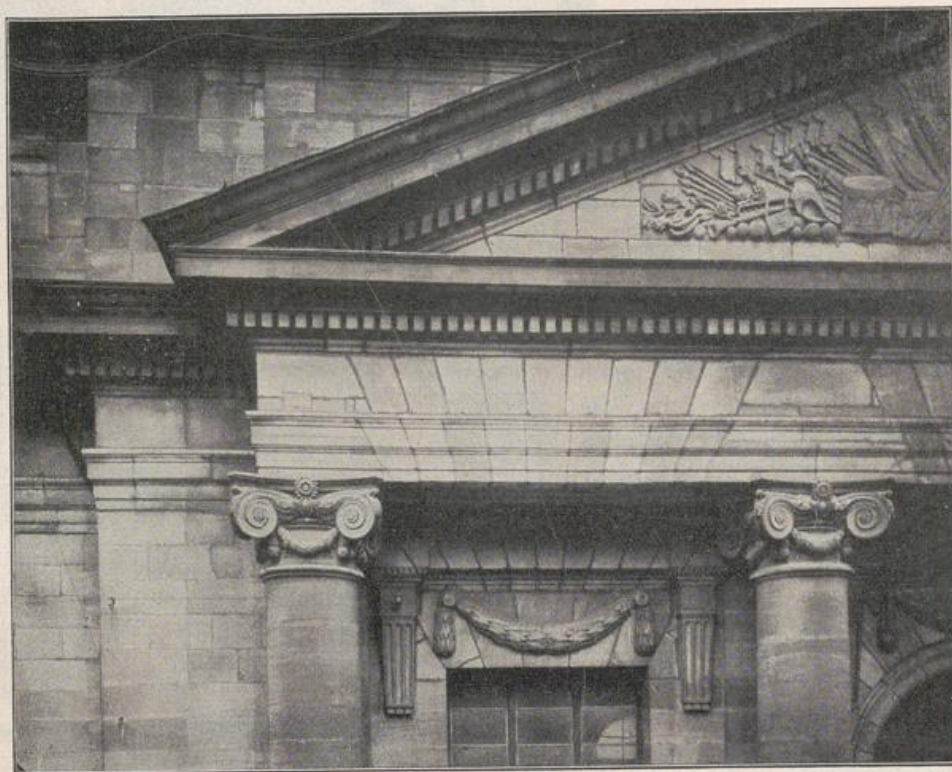
Säulen, so werden »Zugstangen« als Hilfskonstruktionen kaum zu umgehen sein (Abb. 192).

Freistehende Bogen können durch besondere Art der Zusammenfügung zu einem Traggerippe für Gewölbeschalen werden, wie bei den Kreuzgewölben unter E, 6, § 78 zur Besprechung gelangen soll. Des weiteren finden selbständige Bogen im Bauwesen Verwendung bei Fundamenten, s. I. Kapitel: Grundbau.

Den Übergang von selbständigen Bogen zu solchen, die im Zusammenhang mit Gebäudemauern stehen, bieten Bogen entsprechend den Abb. 193 u. 194; sie sind den Mauern vorgesetzt und greifen zugleich mehr oder weniger in diese ein.

§ 49. Bogen in Gebäudemauern als sichtbare Architekturglieder.
Dergleichen Bogen — in ihren mannigfaltigen Formen — können als Verblendungen

Abb. 195. Scheitrechte Bogen.



an Mauern auftreten, entsprechend Abb. 184, oder durch die ganze Tiefe der Mauern reichen wie in Abb. 187, S. 112.

a) **Scheitrechte Bogen.** Stehen für Hausteinfassaden keine Werksteine von bedeutenden Abmessungen zur Verfügung, so muß, wie Abb. 195²¹⁾ zeigt, als Aushilfe zur Anwendung von scheitrechten Bogen gegriffen werden. Hier erblicken wir über der Fensteröffnung einen solchen und über diesem noch drei weitere »scheitrechte Bogen«. In solchem Fall ist es Regel, zwischen den Bogenschichten »Hohlfugen« anzuordnen, damit jeder Bogen nur sich selbst zu tragen hat. Weiter empfiehlt es sich, um gefährlich-spitze Winkel an den einzelnen Bogensteinen zu vermeiden die Wölbungsfugen ent-

²¹⁾ Die Abb. 195 ist entnommen: PAUL JOHANNES RÉE, »Nürnberg«, Leipzig und Berlin 1900.

sprechend der Darstellung in Abb. 196 zu gestalten. Die Widerlager sind nach Abb. 196 oder nach Abb. 197 zu bilden. Letztere, hakenförmige Form ist weniger zu empfehlen, da Hakensteine bei $d \dots a$ leicht brechen können; je weniger zuverlässig das Gesteinsmaterial derselben ist, um so kürzer wird die Hakenausladung ($d \dots c$) und um so länger die

Abb. 196. Wölbungsfugen zur Vermeidung spitzer Winkel an den Steinen.



Abb. 197. Metalleinlagen als Ersatz des Verbandes der Wölbsteine.

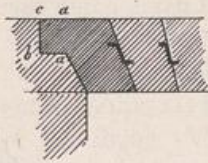


Abb. 198. Hakenförmige Form der Wölbsteine.



Hakenhöhe ($b \dots c$) sein müssen. Eine seit alter Zeit überlieferte Form für die Wölbsteine zeigt Abb. 198; auch ist ein Verband der Wölbsteine durch Steinansätze nach Abb. 199 zur Ausführung gekommen. Einen Ersatz für letztere bieten Metalleinlagen nach Form von — oder \llcorner (s. Abb. 197).

Abb. 199. Verband der Wölbung durch Steinansätze.

Abb. 200. Scheitrechter Bogen mit eiserner Hilfskonstruktion.



Binden die Wölbungssteine bei einer Verblendarchitektur in ihrem hinteren Teile in die Mauer ein, so wird der Bogen teilweise entlastet; reicht aber der scheitrechte Bogen über einer Maueröffnung (Fenster oder Türe) durch die ganze Mauertiefe, so erscheint irgend eine Hilfskonstruktion in Eisen erwünscht. Die einfachste Art einer solchen dürfte wohl die Abb. 200 veranschaulichen.

b) **Halbkreisbogen.** Bei Werkstein-Fassaden mit Bogen über Öffnungen, liegt der Gedanke nahe, die Schichtenhöhe der Fassade in die Quadereinteilung der Bogen zu überführen; die Abb. 201 bis 203 zeigen einige Beispiele. Die sich bei Ausbildung

Abb. 201. Nicht empfehlenswerter Halbkreisbogen aus Haustein.

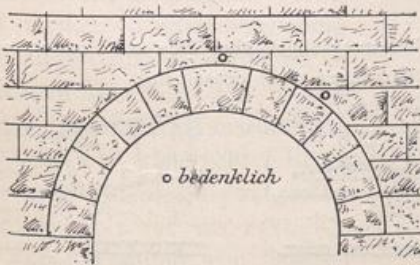
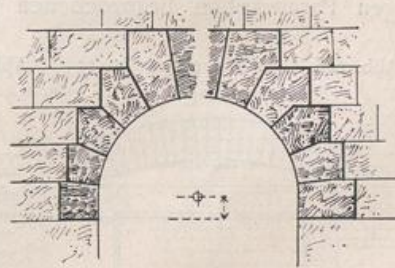


Abb. 202 u. 203. Überführung der Schichten- teilung der Fassade in die Quadereinteilung der Bogen.



nach Abb. 201 ergebenden spitzen Steinwinkel und die geringe Höhe der Schichtensteine über dem Bogenschlußstein sind sehr bedenklich.

Wie bei der Wahl solcher Bogenformen meistens künstlerische Gesichtspunkte maßgebend sind, so werden Bogen oft aus ästhetischen Gründen gestelzt, d. h. man verlegt hinsichtlich der formalen Ausbildung des Bogens die »Kämpferlinie« nach abwärts. Der Grund hierfür liegt in dem Umstand, daß für den aufwärts Blickenden die über

seiner Augenhöhe sich befindenden lotrechten Linien scheinbar Verkürzung erfahren. Damit nun nicht in hoher Lage befindliche Bogen gedrückter aussehen als sie in Wahrheit sind, nimmt man diese Stelzung vor (s. Abb. 202).

c) **Stichbogen.** Die Ausbildung der Bogensteine kann hier entsprechend Abb. 204 u. 205 erfolgen. Eine Ausbildung des Widerlagers nach Abb. 206 ist verwerflich.

Abb. 204 u. 205. Konstruktion der Stichbogen aus Haustein.

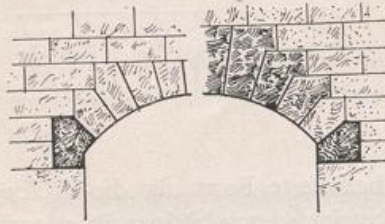


Abb. 206. Verwerfliche Ausbildung der Widerlager.



d) **Spitzbogen.** Für diese sind Kurvenformen in Abb. 125, 126 u. 134, S. 101 gegeben. In schlanken Spitzbogen lassen sich die Fugen der Wölbsteine in der Nähe des Scheitels nicht nach den Kurvenmittelpunkten richten; es müssen daher für diese besondere Fluchtpunkte auf der Kämpferlinie oder auf der senkrechten Bogenachse gewählt werden (s. Abb. 234, S. 120 u. 245, S. 121).

e) **Bei Bogen mit zusammengesetzten Krümmungskurven** sind, wie oben erwähnt, die Bogenfugen radial nach den einzelnen Krümmungsmittelpunkten zu richten; auch bei diesen Wölbungen kann Stelzung angeordnet werden. Abb. 207 zeigt die Ausführung eines einhöftigen Bogens.

Werden Wölbungsformen freihändig, solcherweise angenommen, daß Mittelpunkte nicht bestimmbar sind, so sind die Richtungen der Wölbungen nach statischer Empfindung anzulegen.

§ 50. **Bogen in Gebäudemauern als Hilfskonstruktionen.** Wenn die im vorigen Paragraphen besprochenen Bogen den Blicken durch Mauerverputz entzogen

Abb. 208. Unrichtig angeordneter Entlastungsbogen.

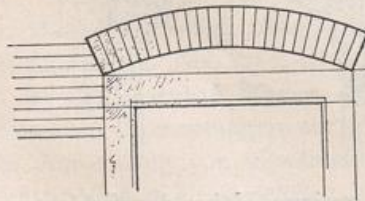
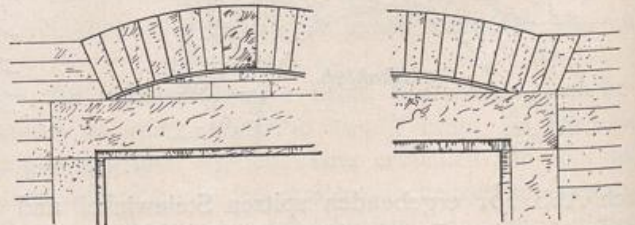


Abb. 209 u. 210. Entlastungsbogen über Tür- und Fensterstürzen. (Hohlfugen unter denselben.)



werden, kann man sie in gewissem Sinne auch als Hilfskonstruktionen bezeichnen; doch handelt es sich an dieser Stelle um Bogen, die zur Entlastung von Tür- und Fensterüberdeckungen dienen und um solche, die in Mauerwerk eingesetzt werden, so daß ihre untere Leibung unsichtbar ist. Man nennt solche Bogen: Entlastungsbogen.

a) Um das Durchdrücken von Öffnungsüberdeckungen, seien es Stürze oder schwache Bogen, durch Mauerlasten zu verhindern, werden über denselben tragfähige Entlastungsbogen angeordnet. Bei Tür- und Fensterstürzen empfiehlt es sich — im Gegensatz zu Abb. 208 — die Wölbungswiderlager (Abb. 209) oder die Köpfe der Bogen (Abb. 210) auf den Sturzenden aufsitzen zu lassen, um den Sturz selbst fest einzuspannen. Diese Entlastungsbogen erhalten als »Stich« etwa $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{10}$ ihrer Spannweite. Erfolgt die Überdeckung der dahinter befindlichen Fensternische gleichfalls durch einen Bogen, so können diese beiden Bogen, wie bereits erwähnt, getrennt als zwei Ringe (Abb. 211) oder in einen einzigen Bogen vereinigt ausgeführt werden (Abb. 212 bis 215).

Erhält die innere Fenster- oder Türleibung »Verkleifung«, d. h. stehen ihre Wandflächen nicht senkrecht, sondern schräg zum inneren Mauerhaupt (Abb. 218), so wird die Kämpferlinie des Nischenbogens (*mn* in Abb. 186, S. 112) bei Ausführung des Bogens mit wagerechter Scheitellinie (Abb. 186), nicht ebenfalls wagerecht, sondern

Abb. 211. Getrennte Ausführung des Entlastungsbogens und des Überdeckungsbogens der Fensternische.

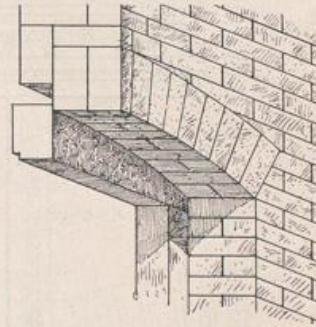
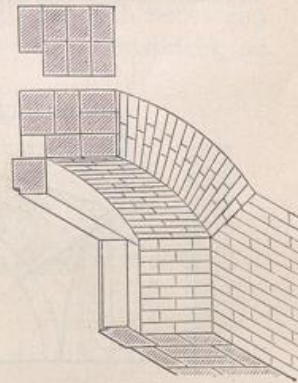
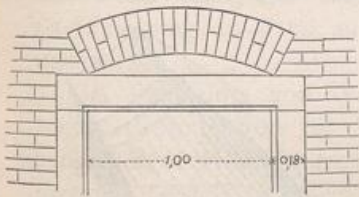


Abb. 212 bis 215. Entlastungs- und Überwölbungsbogen als ein einziger Bogen ausgeführt.

Abb. 212. Ansicht.

Abb. 213. Rückseite.

Abb. 214 u. 215. Querschnitte.



gegen das Innere des Gebäudes abfallend verlaufen, was als Übelstand empfunden würde. Bei starker Nischenverkleifung und dicken Mauern empfiehlt es sich, den Nischenbogen in einzelnen Ringschichten auszuführen, die dann auf wagerechter Kämpferebene stufenförmig aufgesetzt werden (Abb. 216 bis 218).

Zur Entlastung von Stürzen oder schwachen Bogen bei zwei- oder mehrteiligen Fenstern ist eine Konstruktion wie in Abb. 219 oder 220 geeignet.

Besondere Schwierigkeit bietet bei dicken Mauern die Herstellung von Nischenüberwölbungen, wenn die unter denselben

Abb. 216 bis 218. Nischenbogen in dicken Mauern.

Abb. 216. Ansicht.

Abb. 217. Widerlager.

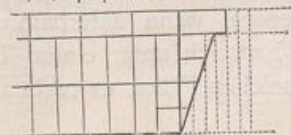
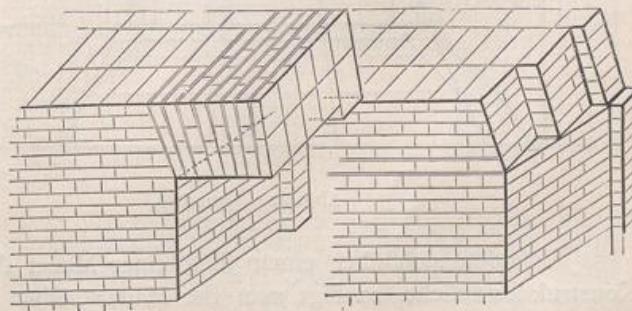
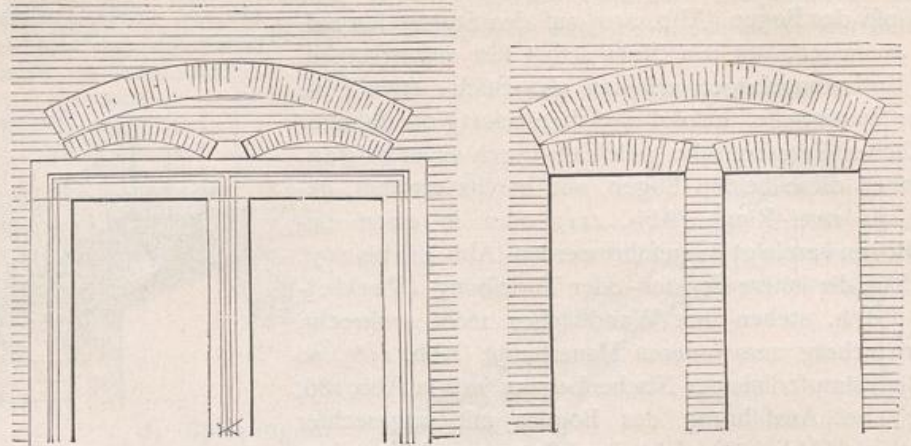


Abb. 218. Grundriß.

befindlichen Öffnungsverschlüsse (Fensterflügel, Türen, Tore) seitwärts, um senkrechte Achsen sich drehend, zu öffnen sind, in welchem Falle die Wölbung als »Kernbogen«,

Abb. 219 u. 220. Entlastungsbogen bei mehrteiligen Fenstern.



der eine muldenförmige Aushöhlung bildet, herzustellen ist. Die Abb. 221 bis 224²²⁾ zeigen die Konstruktion desselben, die auch für den Fall Gültigkeit hat, daß die obere Abschlußkante des Kernbogens nicht eine gebogene, sondern eine wagerechte Linie zeigt.

Abb. 221 bis 224. Kernbogen.

Abb. 221. Ansicht.

Abb. 223 u. 224. Gewölbsteine.

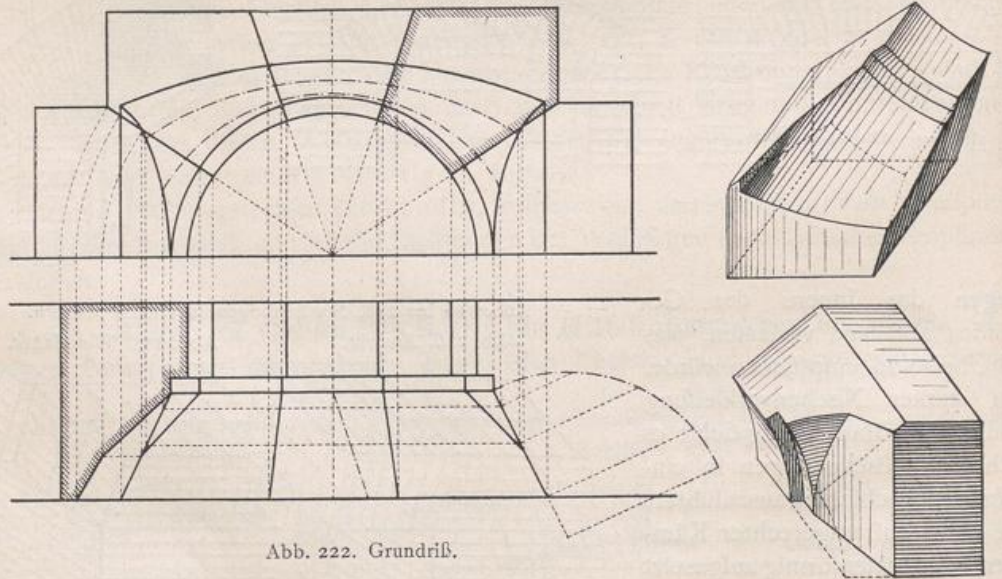


Abb. 222. Grundriß.

b) Befinden sich über einem Teil einer Mauer Aufbauten oder besonders schwere Konstruktionsstücke, so fügt man der Mauer selbst einen Entlastungsbogen ein. Dergleichen wird solches erforderlich, wenn unterhalb eines Mauerteils viel Öffnungsraum sich befindet oder wenn das Erdreich unter einem Teil der Mauer sich als wenig tragfähig erweist. Da in vielen solchen Fällen es nicht angängig ist, unter dem Entlastungs-

²²⁾ Die Abb. 221 bis 224 sind hergestellt nach: LEJEUNE, »Traité pratique de la coupe des pierres«, Paris.

bogen eine Hohlfuge anzuordnen, so wird, wie bereits besprochen, der Bogen einen Teil seiner Nutzlast durch Druck abwärts weitergeben, weshalb es sich unter Umständen empfiehlt, statt eines solchen Entlastungsbogens, deren mehrere übereinander anzulegen (Abb. 225).

Abb. 225. Mehrere Entlastungsbogen übereinander.

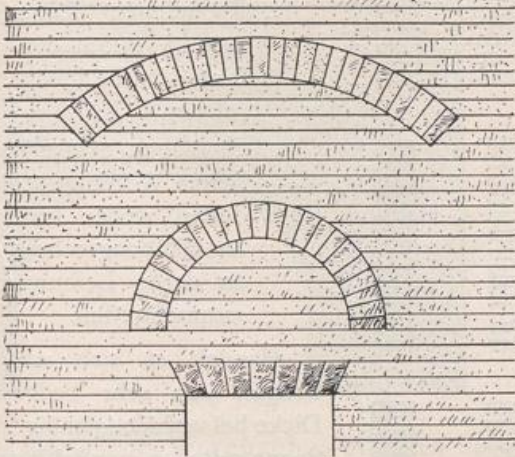


Abb. 226. Gewölbefugen mit parallelen Seitenflächen (Keilsteine).

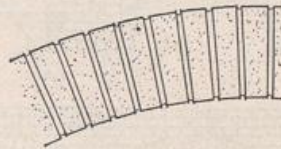
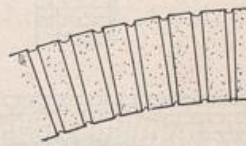


Abb. 227. Keilförmige Mörtelfugen (Normalsteine).

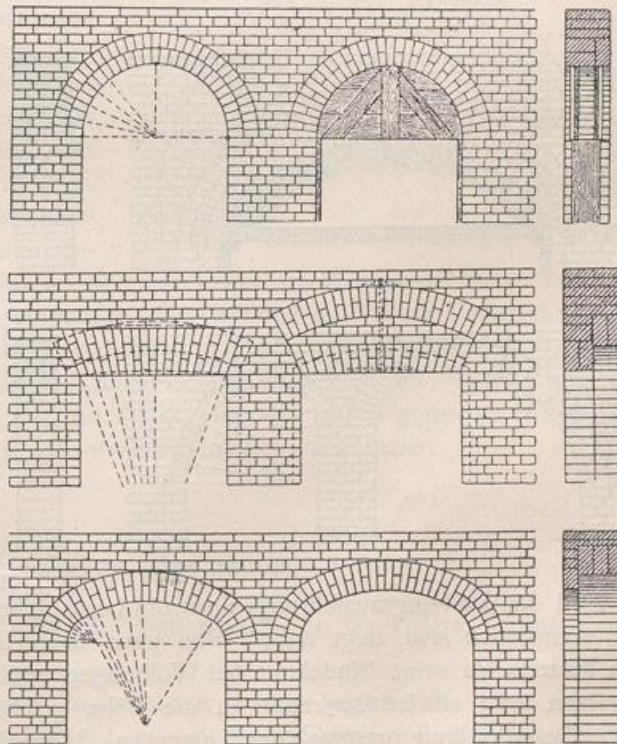


§ 51. Ausführung. Was für die Ausführung der Bogen gilt, hat auch Bedeutung für die Herstellung der Tonnengewölbe, deren Querschnitt diesen Bogen entspricht, so daß dieser Paragraph zugleich als Ergänzung zu § 60 zu betrachten ist.

Bei Benutzung von Werk- oder Bruchsteinen zu Wölbungen ist denselben eine keilförmige Gestalt zu geben; die Gewölbefugen erhalten dann parallele Seitenflächen (Abb. 226). Wird mit Backsteinen gewölbt, so benutzt man entweder ebenfalls keilförmige Backsteine »Formsteine«, sofern solche erhältlich sind, oder man verwendet — wie es meistens der Brauch ist — unbehauene »Normalsteine« und bildet die Mörtelfugen keilförmig (Abb. 227).

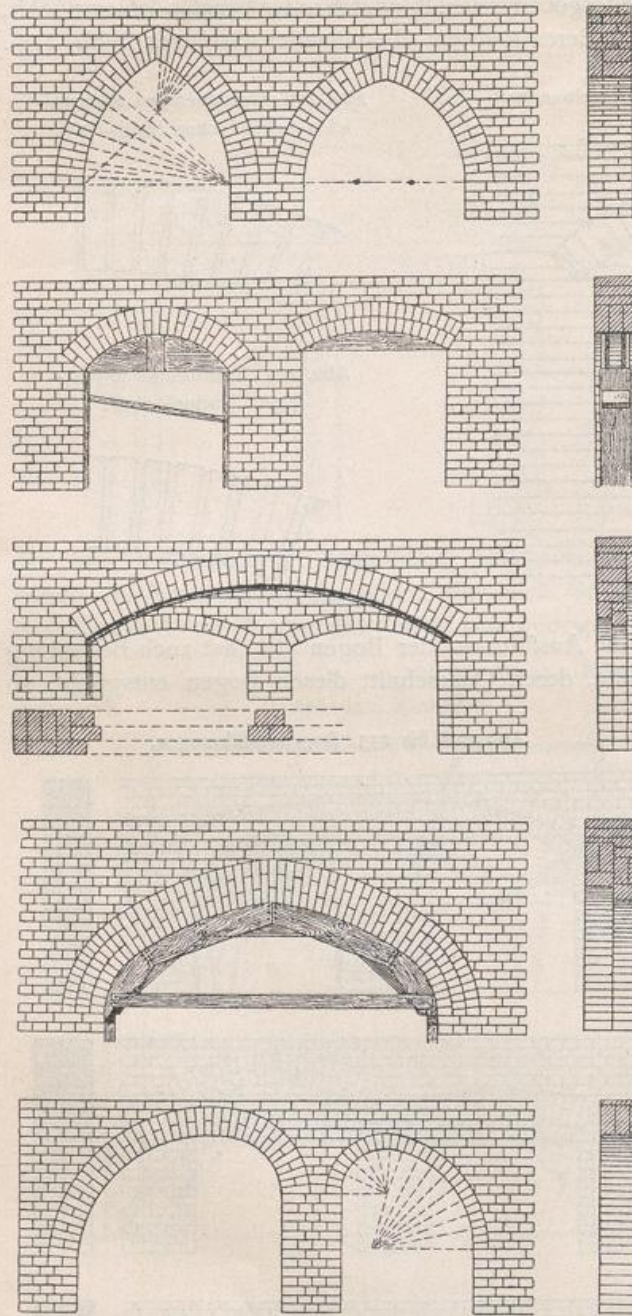
Die Abb. 228 bis 243²³⁾ zeigen eine Anzahl von Bogenausführungen in Backsteinmaterial. Bei entsprechender Dicke von Bogen und Gewölben lassen sich bei denselben auch mehrere der für Mauern und Pfeiler be-

Abb. 228 bis 233. Bogenausführungen.



²³⁾ Die Abb. 228 bis 243 sind hergestellt nach: LACHNER, »Lehrhefte für den Einzelunterricht«, Leipzig.

Abb. 234 bis 243. Bogenausführungen.



sprochenen Verbandarten anwenden; im allgemeinen gelten für Wölbungen, deren Schalendicke aus mehreren Steinen besteht, folgende Regeln:

1. Radialfugen (Lagerfugen) müssen durch die ganze Tiefe der Wölbungsschale reichen.
2. Stoßfugen zweier benachbarten Wölbungsschichten dürfen weder im Innern der Wölbungsschalen noch an deren Leibungen zusammentreffen.

Handelt es sich um Wölbungen von sehr bedeutender Dicke bei verhältnismäßig kleiner Spannweite, so empfiehlt es sich, die Wölbung in zwei oder mehr Ringen auszuführen (Abb. 244), da bei einer einzigen Wölbungsschicht an ihrer inneren Leibungsfläche die Gewölbesteine zu spitz und an der äußeren die Fugen zu weit ausfallen würden. Auch die Abb. 228 zeigt einen doppelten Bogen, sowie ferner Abb. 240 an den beiden Bogenanfängerteilen dreifache Schichtung. Die Anordnung mehrerer Wölbungsringe übereinander findet hauptsächlich Verwendung bei Bogen, während sie bei Gewölben heutigen Tages, mindestens in Deutschland, ziemlich außer Gebrauch ist. Verstärkung von Gewölben erzielt man durch Anordnung von »Gurten« (Rippen), entsprechend der Verstärkung von Mauern durch Pfeiler.

Daß für Wölbungsausführungen sowohl beste Arbeit als auch beste Materialien durchaus erforderlich sind, liegt nahe. Von ganz besonderer Wichtigkeit ist hier die Güte des Mörtels, da seine Bindekraft bei Wölbungen noch wesentlich mehr in Anspruch genommen wird als bei senkrecht in die Höhe geführtem Mauerwerk. Man verwendet daher beim wölben meistens »verlängerten« Mörtel oder reinen »Zementmörtel«. Die Weite der Mörtelfugen soll in der ganzen Wölbung die gleiche sein, um ungleiche Setzungen einzelner Teile derselben zu verhüten.

Bezüglich der Bogenwiderlager und Bogenanfänger sei auf die folgenden Ausführungen bei den Gewölben verwiesen, da das dort zu Besprechende auch für die Bogen gilt.

Abb. 244. Wölbungen von sehr bedeutender Dicke.

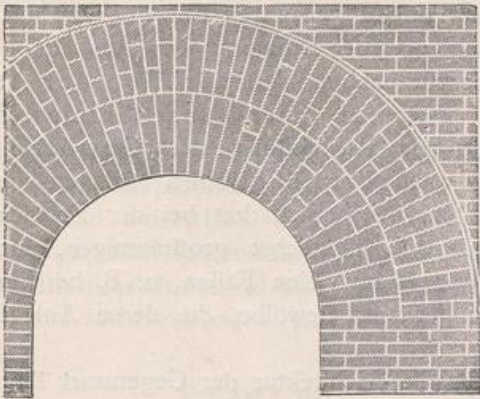
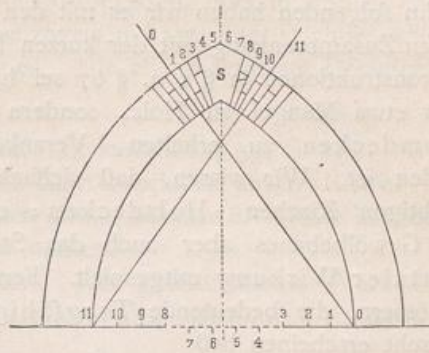


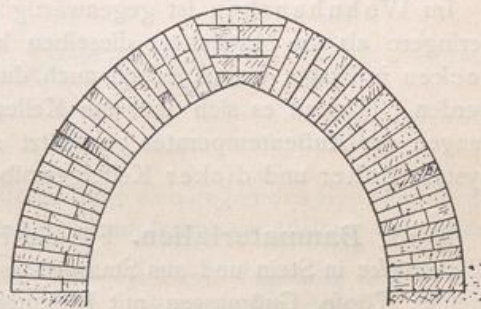
Abb. 245. Schlußstein im Bogenscheitel.



Hinsichtlich der Bogenscheitel ist zu bemerken, daß bei Ausführung der Wölbung in Backsteinen die Bogen häufiger im Scheitel einen Werkstein als Schlußstein

(Abb. 245) erhalten, als solches entsprechenderweise bei Gewölben der Fall ist. Stehen für den Scheitelschluß weder Werksteine noch besondere Ziegel-Formsteine, sondern lediglich Bruchsteine oder Normalbacksteine zur Verfügung, so ist Sorge zu tragen, daß die, die Wölbung schließenden Steine vom Maurer, soweit es die Dicke des Steines gestattet, keilförmig zubehauen werden, oder man mauert den Wölbungsschluß entsprechend Abb. 246. Bei mittelalterlichen Spitzbogen-Maueröffnungen trifft man gelegentlich, namentlich bei Hausteinbogen lotrechte Fugen im Wölbungsscheitel an, doch ist eine solche Ausführung nicht zu empfehlen; für Gewölbe muß diese Konstruktionsart aber als durchaus unzulässig bezeichnet werden.

Abb. 246. Wölbungsschluß.



Schlußsteine der Bogen und Gewölbe müssen sehr vorsichtig mit dem Hammer in die Wölbung eingetrieben werden, um die weiter unten bereits begonnene Arbeit des Abbindens seitens des Mörtels, nicht zu unterbrechen, bzw. aufzuheben.

D. Gewölbe. Allgemeines.

§ 52. Zweck und Anlage. Im Hochbau dienen die Gewölbe hauptsächlich folgenden Aufgaben:

1. Sie können den Gebäudegrundmauern Schutz gegen Erd- und Wasserdruck bieten, oder die Verteilung von Pfeilerlasten auf größere Grundflächen vermitteln. Hierüber ist im I. Kapitel: »Grundbau« das Nähere mitgeteilt.

2. Sie können den Abschluß eines Raumes nach oben hin bilden, wobei die Wölbung auch gleichzeitig zum Träger einer Nutzlast werden kann. Solche Raum-Deckwölbungen können auch zugleich das Dach über einem Gebäude oder einem Teile desselben bilden; in anderen Fällen werden über den Deckwölbungen besondere Dächer aufgeführt.

Im folgenden haben wir es mit den unter Punkt 2 genannten Gewölben zu tun.

Im Zusammenhang mit der kurzen Betrachtung über Erfindung und Ausbildung von Baukonstruktionen in § 1 u. § 67 sei hier hervorgehoben, daß nördlich der Alpen nicht etwa Mangel an Holz, sondern das Bestreben feuer- und fäulnissichere Raumdecken zu erhalten, Veranlassung zur Ausbreitung der Gewölbe geworden ist. Wir wissen, daß vielfach die alten ursprünglichen Anlagen unserer mächtigen Kirchen »Holzdecken« enthielten. Sicherlich hat bei der Entwicklung des Gewölbebaues aber auch das Streben nach möglichst großräumiger, monumentaler Wirkung mitgespielt. Ferner war es in vielen Fällen, z. B. bei Burgen, Schlössern, die bedeutende Tragfähigkeit gewisser Gewölbe, die deren Anlage erwünscht erscheinen ließ.

Alle diese Gesichtspunkte haben auch für die Architektur der Gegenwart ihre Bedeutung; man versieht Kirchen mit Gewölben und desgleichen in Monumentalbauten die Hallen, Vorplätze, Treppenhäuser, Korridore usw.; ferner kommen Gewölbe zur Anwendung bei Archiven, Kassenräumen, Kellern u. dgl. m. Da die Gewölbe starke Widerlagsmauern beanspruchen, so werden sie besonders für jene Räume in Frage kommen, deren Umfassungsmauern schon aus anderen Gründen bedeutende Stärkenmaße aufweisen.

Im Wohnhausbau ist gegenwärtig die Verwendung von Gewölben eine wesentlich geringere als im Mittelalter; dieselben kommen hier hauptsächlich noch als Kellerdecken in Frage, wo sie jedoch auch durch neue Deckenkonstruktionen verdrängt werden. Handelt es sich aber um Kelleranlagen, die besonders gut gegen die Schwankungen der Außentemperatur geschützt sein sollen, so wird zu dem bewährten alten System hoher und dicker Kellergewölbe zurückgegriffen.

§ 53. Baumaterialien. Für die Herstellung von Gewölben kommen in Betracht: Werkstücke in Stein und aus Stampfmassen, Bruchsteine, Backsteine (massive oder Hohlsteine), Töpfe, Gußmassen mit Kalkmörtel oder mit Zement als Bindemittel (Beton), armierte Gußmassen (Rabitz-, Monier-, Hennebique-Systeme, Drahtziegelnetz-, Streckmetall- usw., -Konstruktionen). Unter diesen Materialien und Verfahren wird bei Gewölbeausführungen zu wählen sein, je nachdem, ob es sich um Gewölbe handelt, die:

1. außer der eigenen Last noch Nutzlasten aufzunehmen, oder
2. lediglich sich selbst zu tragen haben.
3. Ferner ist hier die Frage von Einfluß, ob das Gewölbe in einem gedeckten Raum ausgeführt werden soll, oder ob es zugleich selbst als Bedachung dient, so daß dasselbe den atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt ist.

Je größer die Last der Gewölbe — um so fester und schwerer muß ihr Herstellungsmaterial sein. Werden Gewölbe lediglich als wirkungsvoller Raumabschluß, unterhalb von tragenden Decken oder selbständigen Dächern, ausgeführt, so wird man sie aus möglichst leichten Stoffen herstellen. Da die moderne Technik in der Erfindung leichter und bequem auszuführender entsprechender Konstruktionen sehr schöpferisch ist, so dürfte solches auf die Wiederbelebung der Anordnung von Gewölben fördernd wirken, nachdem diese in den letzten Jahrzehnten infolge der weiten Verbreitung der I-Eisen-träger wie eben erwähnt vielfach außer Gebrauch gekommen sind.

Besteht ein Gewölbe aus einem System tragender Gurten (Rippen) und dazwischen befindlichen Wölbeschalen, so werden die Gurten in Haustein (bzw. in »Ersatz« desselben durch Beton oder Kunststein) und die Zwischenfelder in leichtestem Material ausgeführt.

Bei Gewölben, die zugleich auch als Dach zu dienen haben, kann als Baumaterial Haustein verwendet werden; führt man diese Gewölbe in Backsteinen, oder in einer konstruktiven Verbindung von Backsteinrippen und Gußmassen, oder in Töpfen aus, so muß die äußere Gewölbeleibung mit Verputz überzogen und mit einer Dachdeckung, zu der am besten Metall gewählt wird, umhüllt werden. Die allergeeignetste Dachdeckung bietet das Kupfer.

§ 54. Herstellung der Gewölbeschale. (S. zunächst § 51, S. 119.) Wie in § 42, S. 101 besprochen, handelt es sich bei den Gewölbeschalen um Zylinder-, um Kegel- und um sphärische Flächen. Werden diese Schalen in Stein hergestellt, so hat man unter folgenden Ausführungsarten zu wählen.

a) **Steinverbände.** a) *Für Zylinderflächen.* Der gebräuchlichste Verband ist hier der Läuferverband (Lagerverband, Kufmauerung) (Abb. 247 bis 250). Bei

Abb. 247 bis 250. Läuferverband.

Abb. 247 u. 248.

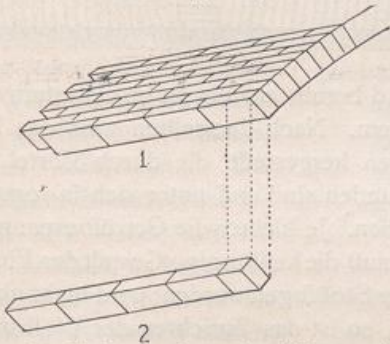
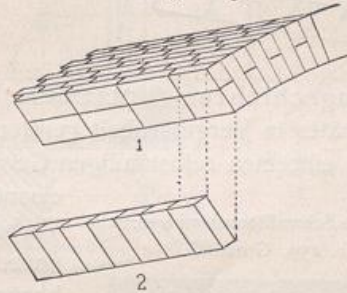


Abb. 249 u. 250.



diesem laufen die Lagerfugen (s. Abb. 141, S. 103) deren Lage sich gegen den Gewölbescheitel hin immer mehr einer lotrechten Ebene nähert, mit der Kämpferlinie parallel, an welcher der

Beginn der Wölbeausführung stattfindet. Die Stoßfugen jeder Läufer-schicht (auch »Schar« genannt), befinden sich in Ebenen normal zur Kämpferlinie und müssen unter sich einen regelrechten Verband bilden.

Abb. 251. Schablonen zur Einhaltung der Fugenrichtung.

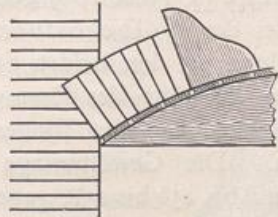
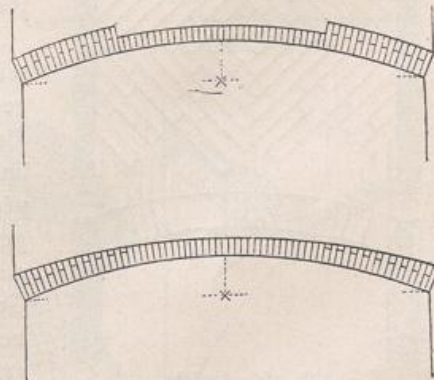


Abb. 252 u. 253. Verstärkung der Gewölbeschale an ihren Anfängen.



Die Ausführung der Wölbung bedarf beim Läuferverband einer vollständigen »Einrüstung«, d. h. einer Schalung auf Lehrbogen, die auf Pfosten oder dgl. stehen (s. § 45, S. 106). Zur Einhaltung der Fugenrichtung benutzt man Schablonen (Abb. 251), die auf der Gerüstschalung entlang geschoben werden.

Je flacher ein zylinderförmiges Gewölbe gestaltet ist, um so notwendiger wird eine Verstärkung der Gewölbeschale an ihren Anfängen (s. § 44, S. 105). Meistens wird eine solche unter Anordnung von Absätzen ausgeführt (Abb. 252); wesentlich empfehlenswerter ist jedoch der allmähliche Übergang zu größerer Gewölbestärke (Abb. 253).

Sollen auf der Gewölbeschale zu ihrer Verstärkung im allgemeinen (s. § 51) oder für Aufnahme von Lasten an bestimmten Stellen (für Querwände u. dgl.) Gurten (Rippen) angeordnet werden, so sind solche im Verband mit den Gewölbeschalen auszuführen (Abb. 254 u. 255). Was hier für Backsteine gezeigt ist, gilt auch für Werk- und für Bruchsteine.

Abb. 254 u. 255. Verstärkungsgurten auf der Gewölbeschale.

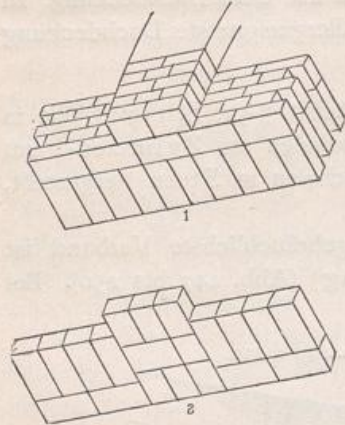
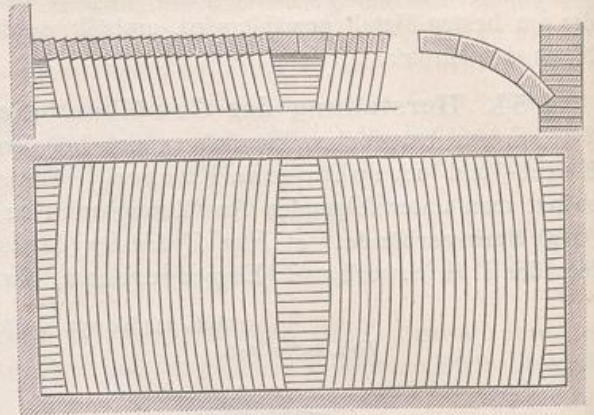


Abb. 256 bis 258. Ringschichtenverband mit Läufer-schichten an den Stirnmauern und in der Mitte des Gewölbes.



Der Ringschichten-(MOLLERSche)Verband beruht auf einem im Altertum wohl bekannten, später in Vergessenheit geratenen System. Nach demselben wird das Zylinder-gewölbe in einzelnen selbständigen Gewölberingen hergestellt, die durch Mörtel fest miteinander verbunden sind und unter sich in regelrechtem

Abb. 259 u. 260. Schwalbenschwanzverband.
Abb. 259. Grundriß.

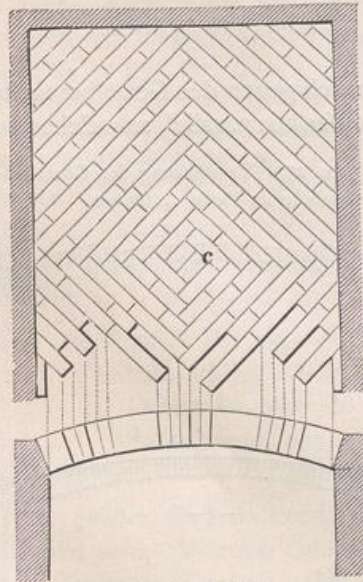


Abb. 260. Ansicht.

Verbande stehen. Je kleiner die Gewölbespannweite ist, um so spitzer muß die keilförmige Gestalt der Einzelsteine bezüglich ihrer Stoßfugen werden; wird nicht über Formsteine verfügt, so ist das Zurichten der Wölbsteine umständlich. Diesem Nachteil steht der Vorteil gegenüber, daß bei Anwendung des MOLLERSchen Verbandes die ihrerseits umständliche, vollständige Lehrbogen-Aufstellung gespart wird, da hier die Benutzung der Rutsche (s. Abb. 160) genügt.

Bei der Wölbeausführung wird mit den Ringschichten an den beiden Stirnmauern begonnen und gegen die Mitte des Raumgrundrisses hin gearbeitet; die Herstellung jeden Ringes beginnt an den Kämpferlinien. Die Gewölberinge können senkrecht oder, wie in Abb. 256 bis 258, gegen die Stirn-(Schild-)Mauern geneigt hergestellt werden. Der Gewölbeschluß an der mittleren Raum-Querachse kann unter Herstellung eines Gewölberinges in Läuferverband erfolgen, wodurch in bequemer Weise eine Verspannung der Ringschichten erzielt wird; desgleichen empfehlen sich Läufer-schichten an den Stirnmauern bei geneigten Ringschichten (Abb. 256 bis 258). Bei solchen geneigten Ringschichten spitzt sich der mittlere im Läuferverband ausgeführte Schlußring nach den Gewölbe-Kämpfern hin zu.

Der Schwalbenschwanz-Verband (Weiherschwanzverband) zeigt Lagerfugen der Wölbung in einem Neigungswinkel von 45° gegen die Gewölbekämpfer gerichtet (Abb. 259

u. 260). Es ergeben sich hierbei 4 Gewölbefelder, deren Schub auf die Längsmauern und auf die Schildmauern wirkt, so daß auch letztere ein Gewölbewiderlager zu erhalten haben. Neben der Druckentlastung der Längsmauern tritt auch für die Herstellung des Gewölbes ein Vorteil auf. Da nämlich die entsprechenden Gewölbeschichten sich sofort gegenseitig verspannen, so kann ein eigentliches Lehrgerüst, auf dem die Gewölbeteile zunächst zu ruhen haben, vollständig entbehrt werden, sofern man nicht von der Mitte der Raumfläche, wie solches aber auch ab und zu beliebt wird, sondern von den Raumecken aus mit der Wölbungsarbeit beginnt. Um die Richtung der Wölbungsform einzuhalten, stellt man Diagonal-Lehrbogen auf, die jedoch keine Belastung erfahren.

Ein Übelstand bei Herstellung dieses Gewölbes ist die Notwendigkeit, die einzelnen Wölbungssteine in umständlicherer Weise als bei den beiden anderen genannten Wölbungsverbänden zuzuhauen.

Der Schwalbenschwanzverband empfiehlt sich daher nur bei flachen Gewölben, da bei diesen der Steinbehau geringer ist als bei stark gewölbten Flächen.

Über den Zusammenschluß der 4 Gewölbefelder wird in § 55 abgehandelt werden.

β) Für Kegelflächen (Konische Gewölbe). Bei Ausführung derselben können die genannten 3 Verbandarten ebenfalls Anwendung finden, wobei sich beim Läuferverband (Kufmauerung), und beim Schwalbenschwanzverband (Abb. 261 bis 263) die Notwendigkeit des Zuhauens der Steine bezüglich ihrer Lagerflächen ergibt. Beim MOLLERSchen Verband (Abb. 264 bis 266) wird die Herstellung des Gewölbeschlusses durch einen Läuferstreifen — wie bei den geneigten Ringschichten im zylinderförmigen Gewölbe — erforderlich, sofern nicht in jeder einzelnen Schicht die Wölbsteine gegen die Spitze des Kegels zu geringere Breite erhalten. Die Abb. 267 u. 268 zeigen eine weitergehendere Vereinigung von Läufer- und Ringschichten.

γ) Für sphärische Flächen. Beim Wölben derselben wird meistens der Läuferverband

Abb. 261 bis 263. Schwalbenschwanzverband bei konischen Gewölben.

Abb. 261. Ansicht.

Abb. 262. Querschnitt.

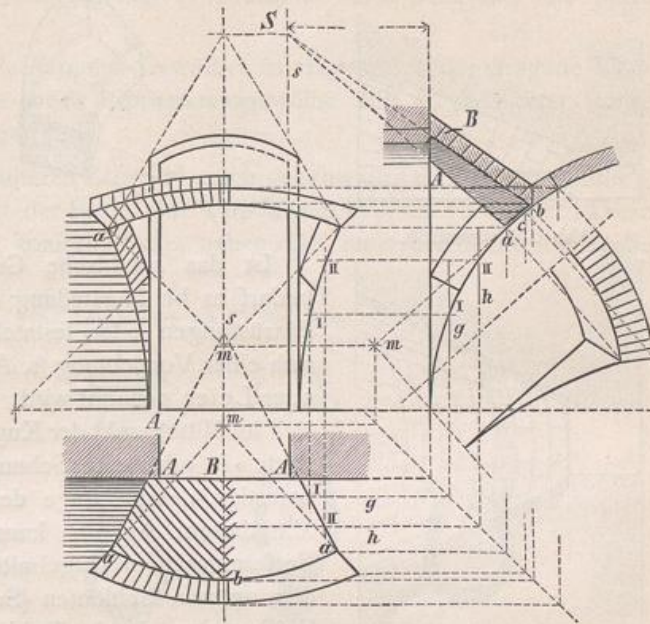


Abb. 263. Grundriß.

Abb. 264 bis 266. MOLLERScher Verband bei konischen Gewölben.

Abb. 264. Ansicht.

Abb. 265. Querschnitt.

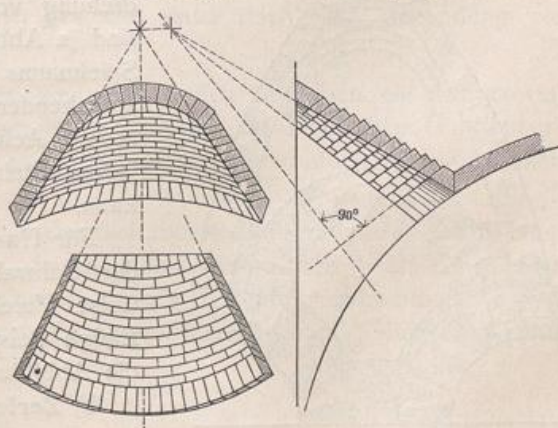


Abb. 266. Grundriß.

in Anwendung gebracht unter Zubehau der Wölbsteine, sofern das Verhältnis deren Größe zum Umfang der Wölbungsschale solches erfordert. Bei Werksteinen ist ein Zuhauen derselben selbstverständlich. Sie erhalten sowohl bezüglich der Lagerflächen, als der Stoßflächen konische (keilförmige) Gestalt (Abb. 269); ihre innere Leibungsfläche

Abb. 267 u. 268. Vereinigung von Läufer- und Ringschichten.

Abb. 267. Querschnitt.

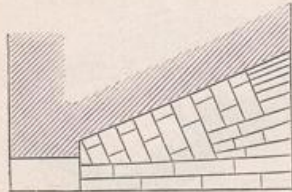


Abb. 268. Grundriß.

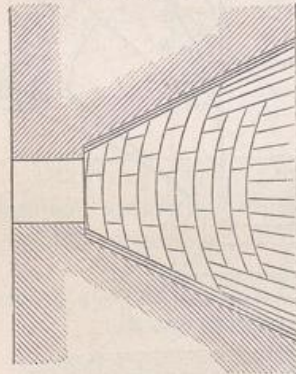
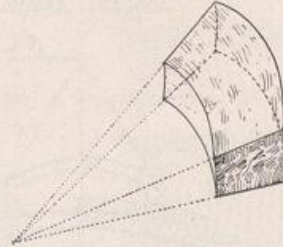


Abb. 269. Werksteine sphärischer Gewölbe.

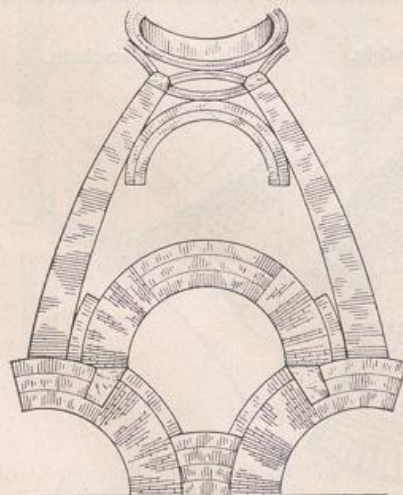


wird sphärisch gestaltet, d. h. sowohl der Vertikal- als der Horizontalschnitt weisen »Kurven« auf. Das gleiche gilt für die Außenfläche des Werksteines, sofern er durch die ganze Dicke der Gewölbeschale zu binden hat und somit seine Außenfläche einen Teil der Außenleibung des sphärischen Gewölbes bildet.

Ist das sphärische Gewölbe ein Kugelgewölbe, so bedarf es bei Herstellung der Wölbung keiner vollständigen Einrüstungen oder feststehender Lehrbögen. Man bedient sich einer Vorrichtung (s. Abb. 161, S. 108), die Spielmann oder Leier genannt wird. Auf der Spitze eines Pfostens, die sich im Mittelpunkt der Kugel befindet, wird in einer Öse eine Latte »l« oder eine Schnur, bzw. werden mehrere Schnüre, befestigt, deren Länge dem Radius der Kugel entspricht. Mit diesem Apparat kann jedem Wölbstein die richtige Entfernung vom Kugelmittelpunkt angewiesen werden. Bei den unteren Schichten (Scharen) der Wölbung werden die Wölbsteine durch ihr Eigengewicht im Mörtelbett fest-

gehalten; weiter hinauf müssen infolge der größeren Neigung der Läuferfugen gegen den Horizont (bei über 30°) die einzelnen Steine durch ein Gewicht an einer Schnur »s«

Abb. 270. Zerlegung von Gewölben in tragende und getragene Teile.



so lange in ihrem Mörtelbett festgehalten werden, bis der Mörtel begonnen hat abzubinden.

Handelt es sich nicht um Kugel-, sondern um beliebige sphärische Gewölbefflächen, die durch Umdrehung von Bogenlinien um Achsen entstanden sind (s. Abb. 139, S. 101), so wird in der Achse des Spielmanns über der Gewölbekämpferhöhe ein entsprechender Lehrbogen aufgestellt, der um die senkrechte Achse zu drehen ist, wodurch ebenfalls jedem Stein der richtige Platz bestimmt werden kann.

Für flache sphärische Gewölbe empfiehlt sich der Schwalbenschwanzverband oder eine stückweise Vereinigung desselben mit Läuferverband. Einige Beispiele für sphärische Wölbungen bieten die Abbildungen 278, 346, 352 u. 407 bis 410.

b) Zerlegung von Gewölben in tragende und getragene Teile. Durch die regelrechte Aus-

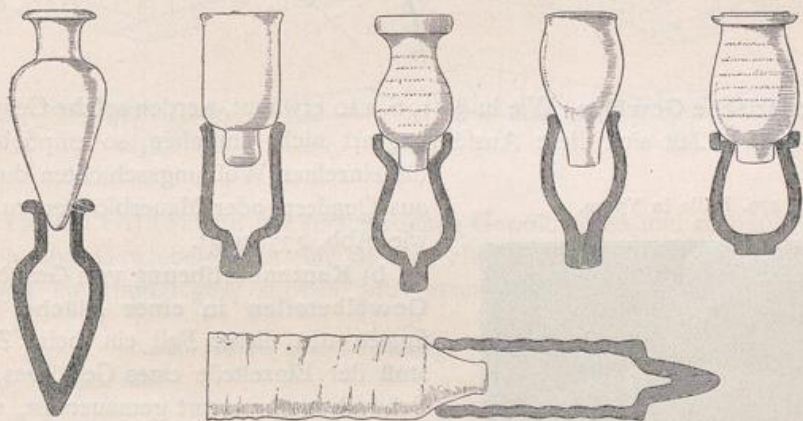
führung von Gewölben in einem der drei genannten Steinverbände wird deren innere Festigkeit erzielt. Ein weiteres Mittel in dieser Richtung beruht auf Zer-

legung großer Gewölbeflächen in einzelne Pfeiler, die durch Bogen miteinander verbunden werden, auf denen die zwischen den Pfeilern befindlichen Wölbungsteile sitzen. Die Abb. 270 zeigt das Prinzip dieses Systems. Dasselbe fußt auf der Erfahrung, daß — die nötige gute Berechnung und Ausführung vorausgesetzt — durch die Verteilung von bedeutenden Lasten auf einzelne Punkte mehr Gewähr für die Standfestigkeit eines großen Körpers geboten wird, als wenn dessen Last gleichmäßig auf, oder in, einer sehr langen Mauer auftritt. Ein Blick auf die »Füße« großer Eisenkonstruktionen, wie etwa bei dem allbekannten Eiffelturm in Paris, wird hier die beste Erläuterung bieten.

Im Gewölbebau wird die Gliederung des Gewölbes in tragende und getragene Konstruktionsteile in sichtbarer Weise beim Rippenkreuzgewölbe und in verdeckter Weise bei Kuppelgroßkonstruktionen angewendet.

c) **Topfgewölbe.** Sowohl in früheren Zeiten als auch gegenwärtig werden gelegentlich, des leichten Gewichtes wegen, statt der Backsteine Töpfe zum Wölben verwendet. Diese können einfache zylindrische oder konische Form haben oder unterschiedliche kunstvolle

Abb. 271 bis 276. Topfformen für Topfgewölbe.



Formen aufweisen (Abb. 271 bis 276).²⁴⁾ Sie werden sowohl stehend als liegend, und sowohl nebeneinander als auch ineinander gesteckt, unter reichlicher Anwendung von Mörtel verwendet.

d) **Gußgewölbe.** Im Altertum wurde vielfach bei den Gewölben ein Rippenwerk aus Backsteinen und Backsteinplatten hergestellt, das in den Hohlzellen Gußgemäuer erhielt. In vielen Fällen herrschte die Gußmasse räumlich aber noch wesentlich mehr vor (s. Abb. 385 bis 392).

Nach Einführung des »Betons«, und namentlich nach Einführung des »armierten Betons«, wird — wie oben bemerkt — diesen Konstruktionsarten beim Gewölbebau in der nächsten Zukunft voraussichtlich eine sehr große Bedeutung zukommen. — Eine Besprechung der Konstruktionen mit diesen Baumaterialien wird im V. Kapitel: »Eisenbetonkonstruktionen« geboten.

²⁴⁾ Die Abb. 271 bis 276, 331 bis 337, 385 bis 392 u. 411 bis 413 sind entnommen: dem »Handbuch der Architektur«, II. Teil, 2. Bd.: »Die Baukunst der Etrusker und Römer« von Geheimrat Prof. Dr. JOSEF DURM, 2. Aufl., Stuttgart 1905.

§ 55. Zusammenfügung von Gewölbeschalen. Gewölbeschalen können:
 konzentrisch preß aufeinander liegen (Flächenberührung);
 in der Lauflinie ihrer Wölbungsform aneinander stoßen (Kantenberührung in
 einer Fläche) oder
 unter irgend einem Winkel aufeinander stoßen (Winkelberührung).

Abb. 277. Konzentrische Gewölbe.

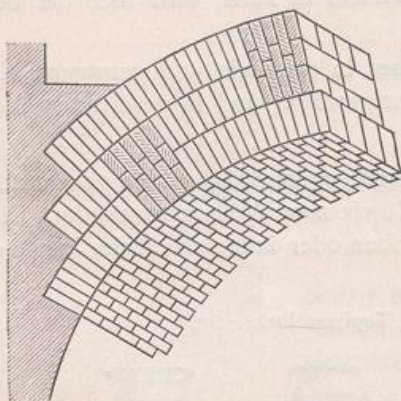
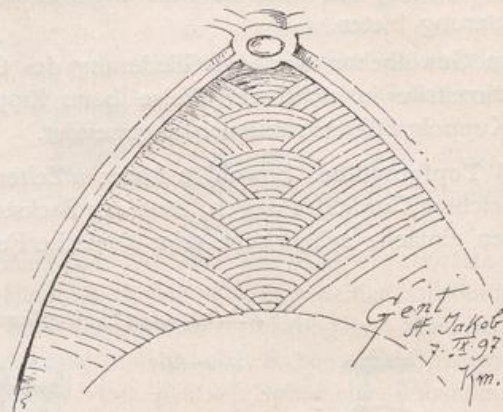


Abb. 278. Nahtbildung durch eingeschobene Gewölbchen.



a) **Konzentrische Gewölbe.** Wie in § 51, S. 120 erwähnt, werden solche Gewölbe kaum mehr ausgeführt. Läßt sich diese Ausführungsart nicht umgehen, so empfiehlt es sich,

Abb. 279. Halle in Ypern.



die einzelnen Wölbungsschichten durch Binder aus Quadern oder Mauerblöcken zu verbinden wie Abb. 277 zeigt.

b) **Kantenberührung von Gewölben oder Gewölbeteilen in einer Fläche.** Am häufigsten tritt dieser Fall ein beim Zusammenstoß der Einzelteile eines Gewölbes, das nach Schwalbenschwanzart gemauert ist, wobei, wie aus Abb. 259 S. 124 hervorgeht, eine »fischgrätenartige« oder »ährenartige« »Naht« entsteht. Dieser Nahtverband kann aus je einer, oder je zweier oder je dreier Steinschichten gebildet werden.

Eine andere Art der Nahtbildung zeigt Abb. 278. Hier ist die Verbindung der beiden Schwalbenschwanz-Gewölbeteile durch Anordnung kleiner eingeschobener Gewölbchen erzielt, die in konzentrischen Läuerschichten gemauert sind. Die innere Leibung dieser Gewölbchen liegt durchaus in der Gesamtwölbungsfläche, so daß bei letzterer nirgends eine Vertiefung oder ein Vorsprung entsteht.

In ähnlicher Weise lassen sich die verschiedenen Verbandarten bei allen zylindrischen, kegelförmigen oder sphärischen Flächen

verwerten, um das Entstehen von Gewölbebruchfugen bei dem Aneinanderfügen von Gewölben oder Gewölbeteilen zu verhüten.

c) **Berührungen oder Kreuzungen von Gewölben in gegeneinander geneigten Flächen.** Hier kommen sowohl die aus verschiedenen Wölbungsteilen zusammengesetzten Gewölbe, beispielsweise das Kreuzgewölbe, in Betracht, als auch Über-

Abb. 280 bis 287. Verstärkungsrippen an Graten.

Abb. 280 u. 281.

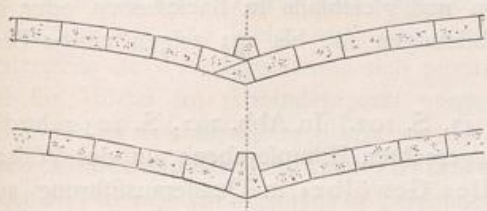


Abb. 282 u. 283.

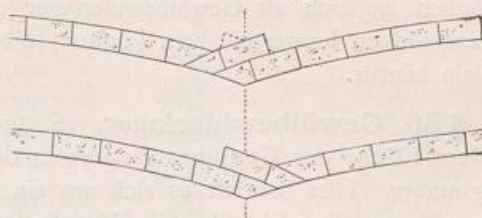


Abb. 284 u. 285.

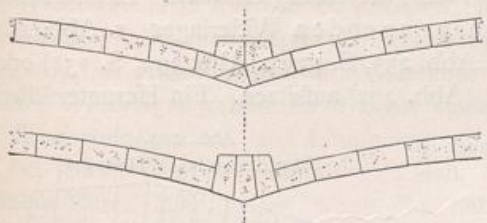
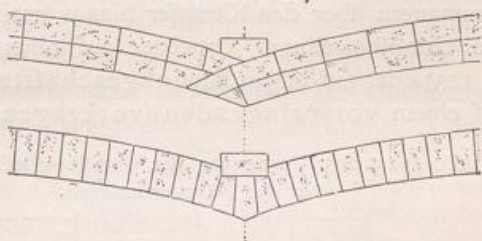


Abb. 286 u. 287.



wölbungen von Öffnungen bei verschiedenen Gewölbearten und schließlich die Übergänge von einer Gewölbeform in eine andere. Handelt es sich darum, ein kleines, leichtes Gewölbe auf ein tragfähiges, großes aufzusetzen, welcher Fall bei Lichtöffnungen in

Abb. 288 bis 291. Selbständige Bogen an den Graten.

Abb. 288.

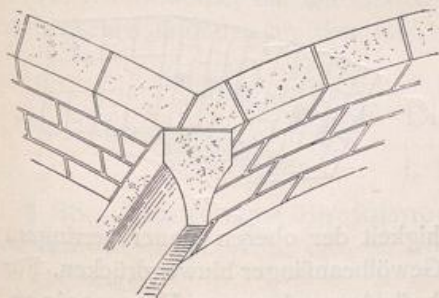


Abb. 289.

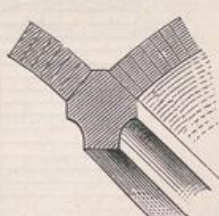


Abb. 290.

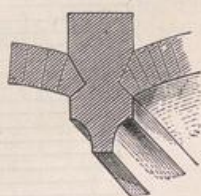
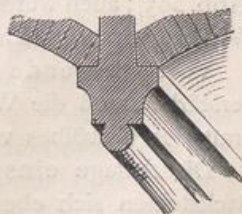


Abb. 291.



Deckenwölbungen sehr häufig eintritt, so wird in dem großen Gewölbe über der Lichtöffnung ein »Kranz« eingemauert (s. Abb. 407), auf welchen das kleine Gewölbe nachträglich aufgesetzt wird.

Bei Winkelanschluß größerer Gewölbe aneinander werden, sofern sie in Werksteinen ausgeführt sind, in der Berührungskurve Winkelsteine angeordnet, die in beide Wölbungsschalen eingreifen. Beim Wölben mit Backsteinen wird entweder ebenfalls im Hauptgewölbe an der Berührungsstelle ein »Kranz« hergestellt, gegen den sich das Nebengewölbe lehnt, oder es erfolgt die Verbindung beider Mauerschalen nach dem Prinzip der Naht, wobei je nach der Gewölbeart

an der unteren Gewölbeleibungsfläche entweder eine Kehle oder ein Grat entsteht; die obere Gewölbeffläche weist dann umgekehrt im ersten Fall einen Grat und im zweiten Fall eine Kehle auf. Abb. 279 zeigt bezüglich der Verbindung von Gewölbeschalen auf der linken Seite die Anordnung des Kranzes und auf der rechten den fischgrätenartigen (ährenartigen) Gratverband.

Bei Kehlen und Graten empfiehlt sich die Anordnung von Verstärkungsrippen entsprechend Abb. 280 bis 287. Größere Gewähr für die Haltbarkeit der Gewölbe bietet die Unterfangung der Gewölbeverbindungen mittels selbständiger Bogen, die womöglich zugleich als Gewölbewiderlager dienen und gleichfalls in Backsteinen oder in Werkstücken hergestellt sein können; die Abbildungen 288 bis 291 zeigen einige Beispiele hierfür.

§ 56. Gewölbewiderlager. (S. auch § 43, S. 102.) In Abb. 141, S. 103 ruht die untere Fläche des Gewölbeanfängers in der wagerechten Kämpferebene auf der Widerlagsmauer. Hier handelt es sich um ein »volles Gewölbe« in Quaderausführung auf einer Mauer, die nicht über die Kämpferfläche weiter empor geführt ist. In der Praxis tritt häufig — wie beispielsweise bei Kellerwölbungen — der Fall ein, daß die Gewölbewiderlagsmauern über den Kämpfer hinaus nach oben hin Fortsetzung erfahren. Dann müssen die Gewölbeanfänger entweder auf einem einspringenden Widerlager (s. Abb. 251, S. 123) oder auf einem zurückgeschafften (s. Abb. 253, S. 123 u. Abb. 299, S. 132) oder auf einem vorspringenden (vorkragenden) (Abb. 292) aufsitzen. Ein Herunterführen

Abb. 292 u. 293. Fortsetzung der Gewölbewiderlagsmauer über den Kämpfer aufwärts.

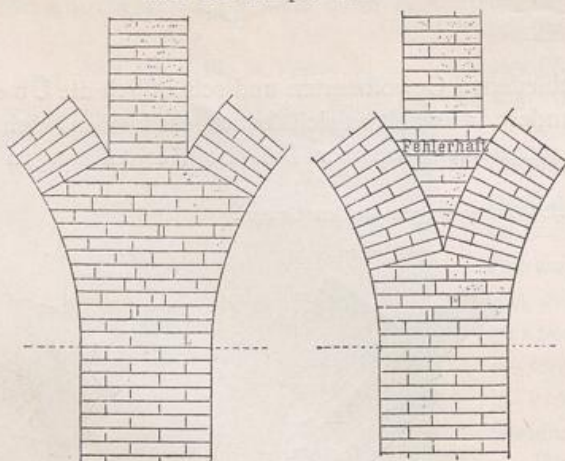


Abb. 294.
Einspringendes Widerlager.

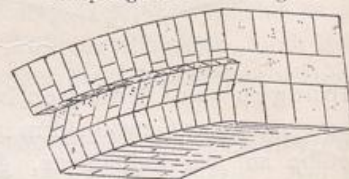


Abb. 295. Eingreifen leichter Gewölbe mittels »Zahnung«.



der Wölbung bis zur Kämpferlinie würde die Tragfähigkeit der oberen Mauer verringern (Abb. 293); auch würde die Last der oberen Mauer die Gewölbeanfänger hinwegdrücken. Für Widerlagvorsprünge in Backsteinmaterial empfiehlt sich die Anwendung von Formsteinen.

Vorspringende Widerlager bieten zugleich den Vorteil, die Widerlagsmauern zu verstärken und die Wölbungsspannweite zu verkleinern, wodurch dann auch die Schubkraft des Gewölbes verringert wird.

Die Anlage einspringender Widerlager (Abb. 251), für die bei Herstellung in Backsteinen sich ebenfalls Formsteine empfehlen, sollte nur bei dünnen, leichten Gewölben ausgeführt werden.

Beide Arten von Widerlagern werden nicht nur bei vollständigen Mauern, sondern auch bei Gurten in Haustein oder Mauerwerk angewendet, die zur Aufnahme von Gewölbeschub dienen. Abb. 294 u. 295 zeigen Widerlager in Gurtbogen; bei Abb. 294

handelt es sich um ein einspringendes Widerlager, bei Abb. 295 sind Hohlräume ausgespart, um ein leichtes Gewölbe vermittle »Zahnung« eingreifen lassen zu können.

§ 57. Einige Bemerkungen zur Ausführung von Gewölben. Im allgemeinen werden im Hochbau die Gewölbe erst nach Herstellung des Gebäudedaches ausgeführt, um ein Auswaschen des Mörtels aus den Fugen bei etwaigem Regen zu vermeiden und um die Gewölbe unter Umständen auch gegen Frost zu schützen. Die nachträgliche Herstellung von Keller- und Stockwerk-Gewölben bietet auch den Vorteil, daß mittlerweile die Widerlagsmauern sich gesetzt haben und ihr Mörtel im Abbindeprozeß vorgeschritten ist; ferner werden dieselben durch weitere Mauern, durch Gebälke und durch das Dach »Belastung« erfahren und so an Widerlagstärke gewonnen haben.

Die Herstellung der vorspringenden Widerlagsflächen (Abb. 296) hat gleichzeitig mit der Aufführung der Widerlagsmauern selbst zu erfolgen; man bedient sich hierbei besonderer Brettschablonen, Abb. 297, im Anschluß an die Wölbelinie der betreffenden Lehrbogen. Die Oberfläche solcher Widerlager erhält für 1 Stein starke Backsteingewölbe eine Länge von 25 cm, für Bruchsteingewölbe eine Länge von etwa 40 cm.

Bei jedem Gewölbe empfiehlt es sich, dessen Oberfläche mit dünnem Mörtel auszugießen, womöglich unter Zusatz von Zement. Wird ein Gewölbe nicht unter Dach, sondern im Freien ausgeführt, so sollte nicht unterlassen werden, dasselbe mit reinem Zementmörtel herzustellen und mit solchem auszugießen. In diesem Fall ist auch für Abfluß des Regenwassers auf der Wölbung selbst zu sorgen; des weiteren wird dann das Lehrgerüst — sofern ein solches benutzt wurde — besonders lange Zeit unter dem Gewölbe zu belassen sein.

Erhalten Gewölbe, die mit Graten versehen sind, Verputz, so wird dieser häufig aus künstlerischen Gründen an den Graten besonders scharf »ausgezogen« (Abb. 298).

Abb. 296 u. 297. Herstellung vorspringender Widerlager.

Abb. 296. Widerlager.

Abb. 297. Schablone.



Abb. 298. Scharf ausgezogener Verputz an den Graten.



E. Die Gewölbearten.

1. Tonnengewölbe.

§ 58. Tonnengewölbeformen. Alle Tonnengewölbeformen entsprechen Zylindermänteln (s. Abb. 136, S. 101); ihr Querschnitt kann Kurven nach Abb. 122 bis 135 zeigen.

In der Praxis kommt, im Hinblick auf die technische Ausführung, in erster Linie der Halbkreis- und der Korbbogen-Querschnitt in Betracht, dann die Ellipse und der Spitzbogen. Zu diesen Formen tritt des öfteren die besprochene Stelzung. Die meist angewendete Form des Tonnengewölbes beruht auf dem Halbkreisbogen, der entweder vollständig (Vollbogen) oder als Segment (Stichbogen) zugrunde gelegt wird. Befindet sich die eine Kämpferlinie in höherer Lage als die andere, so ist das Gewölbe einhüftig.

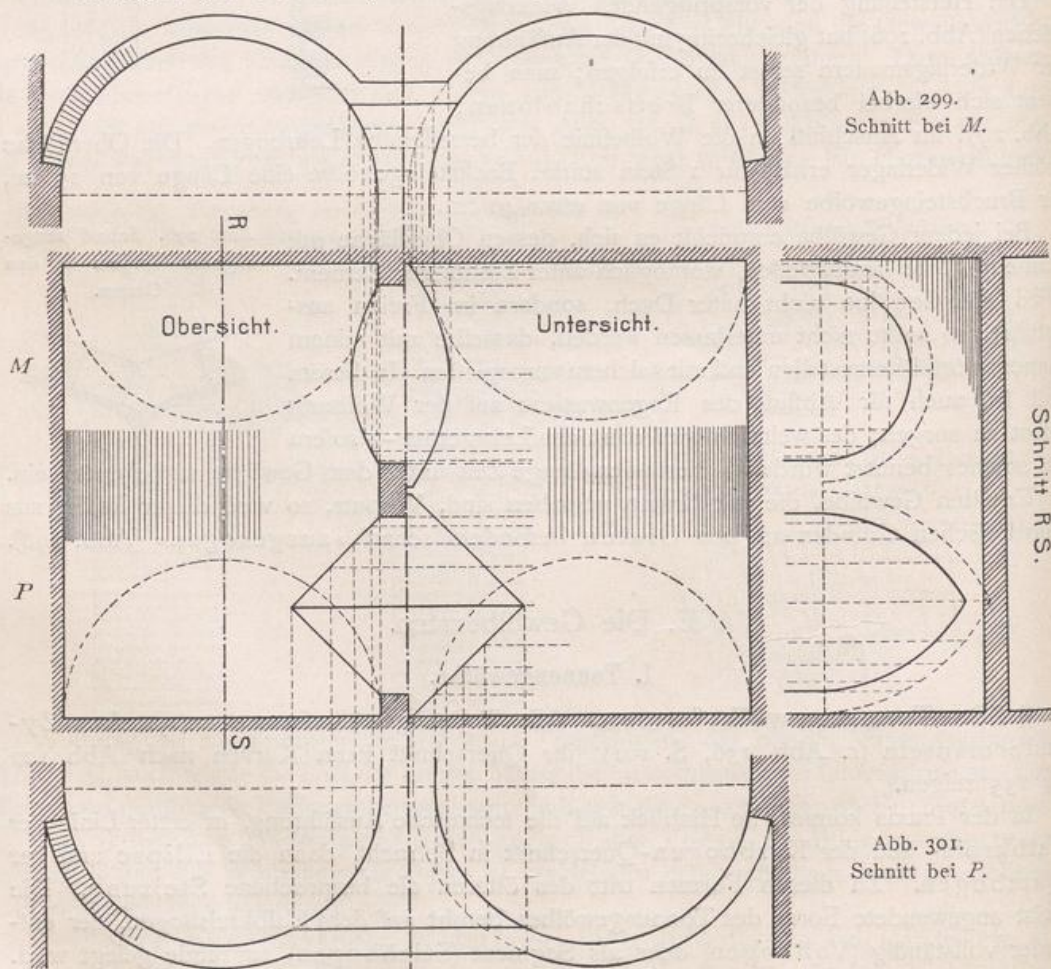
Bezüglich der Form der Gewölbeachse unterscheidet man gerade (s. Abb. 142, S. 103) und gebogene, und im Hinblick auf die Lage der Gewölbeachse: wagerechte und steigende Tonnengewölbe, sowie gerade-steigende und gebogen-steigende.

Erfolgt die Biegung der Achse entsprechend der Kreisform, so erhalten wir wagerechtringförmige, sowie schraubenförmig-ansteigende Ringtonnen »Schnecken-gewölbe« (z. B. Tonnengewölbe als Decke in Treppenhäusern mit Wendeltreppe oder Wendelrampe).

Ferner ist für die Konstruktion der Tonnengewölbe die Richtung ihrer Stirnflächen zur Gewölbeachse von Belang. Im einfachsten Fall ist dieselbe »normal«, d. h. die Stirnflächen bilden mit der Gewölbeachse nach jeder Richtung rechte Winkel. Eine oder beide Stirnflächen können sich aber auch in irgend einer schrägen Lage zur Gewölbeachse befinden.

§ 59. Anlage der Tonnengewölbe in Gebäuden. Die Annahme der Tonne als Gewölbeform empfiehlt sich besonders für lange, schmale Räume, deren Längsrichtung dann zur Gewölbeachse wird. Tonnen werden bei rechteckigem Grundriß über die

Abb. 299 bis 302. Überdeckung eines rechteckigen Raumes mit 2 Haupt- und 2 Hilfstonnen.



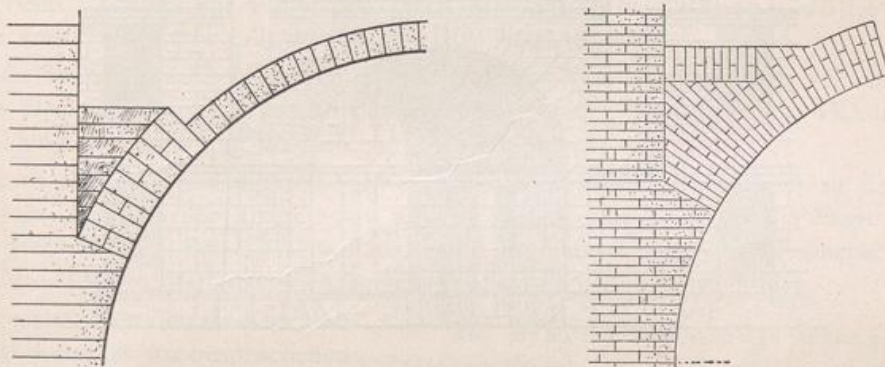
kürzere der beiden Lichtweiten gewölbt, um möglichst geringe Spannweite zu erhalten. Der Einfachheit wegen bezeichnet man die Anordnung von Tonnengewölben in Grundrißzeichnungen durch einwärts umgeklappte Bogen an ihren Stirnenden, die zugleich den »Stich«, d. h. die Pfeilhöhe des Gewölbes angeben (s. Abb. 142, S. 103).

In großen Räumen, bei denen die Anlage einer einzigen Tonne im Hinblick auf die bedeutende Spannweite zu Bedenken Anlaß gibt, können zwei Quertonnen angelegt werden nach Teilung des Raumes etwa durch einen Gurtbogen, der als Mittel-Widerlager der beiden Tonnen dient. Wo ein solcher Gurtbogen aber den zu überwölbenden Raum störend beengen würde, zieht man andere Konstruktionen vor, wie die Anlage von einem oder mehreren Pfeilern, die als Träger von quer zu den beiden Tonnen gerichteten Hilfsstonnen dienen. Die Abb. 300 zeigt, links: von oben gesehen, rechts: von unten her, die Überwölbung eines rechteckigen Raumes mit 2 Haupttonnen unter Annahme von 1 Mittel- und 2 Seitenpfeilern, auf denen gleichzeitig 2 Hilfsstonnen, »Stichkappen« genannt, ruhen.

Liegen die Scheitellinien der Hilfsstonnen, in dem gleichen Horizont wie diejenigen der Haupttonnen, so entstehen Kreuzgewölbe.

§ 60. Ausführung von Tonnengewölben. In § 44 war im allgemeinen von den Bruchfugen der Wölbungen die Rede. Bei Tonnengewölben nach Halbkreisform

Abb. 303 u. 304. Mittel, um den Gewölbeanfängern möglichste Festigkeit zu verleihen.



tritt, wenn sie zu schwach für die Eigenlast oder für die ihnen zugemutete Nutzlast sind, nach Abb. 150 eine Zerstörung derselben in der Weise ein, daß an den Stellen *b* und *d* (in etwa $\frac{2}{3}$ der Gewölberückenhöhe, entsprechend einem Winkel der Fuge zur Kämpferebene von 45 bis 50°) die Fugen sich öffnen. Während hierbei die Gewölbestücke *ab* und *de* auf der Kämpferebene um *a* und *e* nach auswärts gekippt werden, öffnet sich die Fuge bei *c*, die Scheitelfuge, einwärts und die Gewölbestücke *bc* und *cd* fallen abwärts — das Gewölbe stürzt ein.

Um gegen solche Gefahr aufzukommen ist den Gewölbeanfängern möglichste Festigkeit zu verleihen; Mittel hierfür sind:

Ausführung von Wölbungswiderlagern über Kämpferhöhe durch Übertragung (s. § 56, S. 130),

Verstärkung der Gewölbeanfänger (s. Abb. 253, S. 123),

Belastung der Gewölbeanfänger durch Mauerwerk oder Beton, bzw. Mörtelgußgemäuer (s. Abb. 176, S. 110).

Diese Anordnungen finden vielfach gleichzeitig und meistens entsprechend Abb. 303 Verwendung; zuverlässiger jedoch ist die in Abb. 304 dargestellte Konstruktion.

Für gedrückte Gewölbe gilt das eben Ausgeführte in erhöhtem Maße.

Dem Wölbungsmantel einer Tonne gibt man in Wohnhausbauten, wo sie einen Fußboden zu tragen haben, unter Voraussetzung normaler Nutzlasten:

Bei Spannweiten	Am Widerlager	Am Scheitel	
bis zu 3 m	1 Stein 40 cm	$\frac{1}{2}$ Stein 30 cm	in Backstein in Bruchstein
von 3 bis 6 m	$1\frac{1}{2}$ Stein 50 cm	1 Stein 35 cm	in Backstein in Bruchstein

Sollen Zwischenwände auf die Tonne gestellt werden oder ist deren Längenausdehnung besonders groß oder will man aus sonstigen Gründen dieselbe verstärken, so erhält sie, wie in § 54 erwähnt (s. Abb. 254, S. 124) Verstärkungsgurten, die bei Verwendung

Abb. 305 u. 306. Schiefes Hausteintonnengewölbe.

Abb. 305. Ansicht.

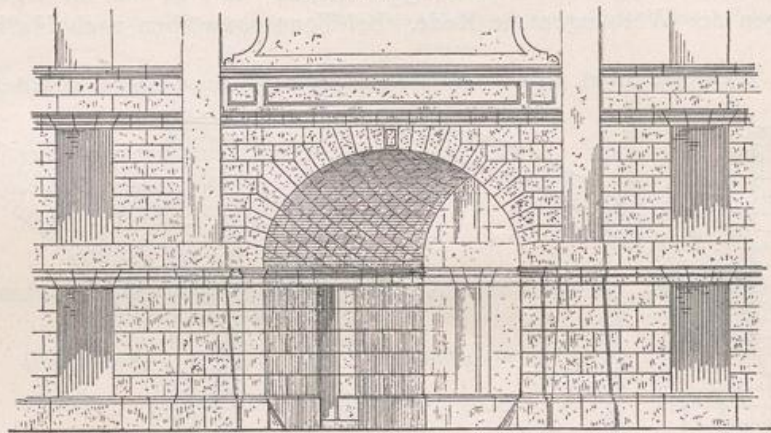
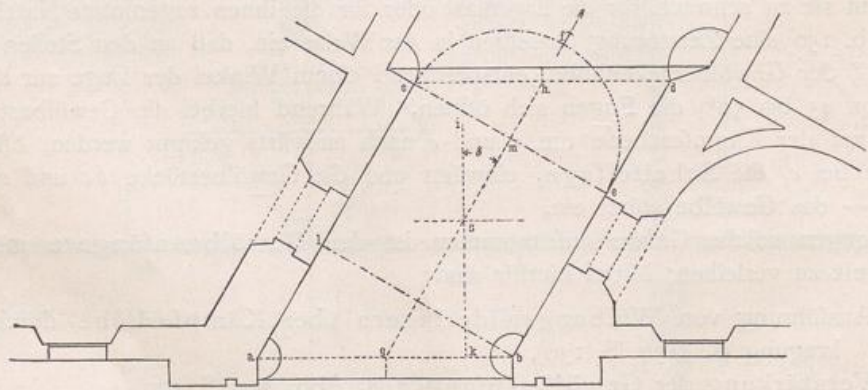


Abb. 306. Grundriß.



von Backsteinen meist $1\frac{1}{2}$ Steine breit sind, $\frac{1}{2}$ Stein über das Gewölbe nach oben oder nach unten oder nach beiden Richtungen gleichzeitig vorragen und bei sehr langen Tonnen in Abständen von etwa 2,5 m angeordnet werden.

Für Widerlager, die nicht starke Belastung erfahren oder deren Gewölbeschub nicht durch ein Gewölbe auf der anderen Seite des Widerlagers in senkrecht abwärts wirkenden Druck umgewandelt wird (s. Abb. 144 u. 145, S. 104), kommen folgende Verhältniszahlen in Betracht:

bei Rundbogen	$\frac{1}{4}$	der Spannweite
» überhöhten oder Spitzbogen	$\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$	»
» bis zu $\frac{1}{8}$ Pfeilhöhe gedrückten Bogen	$\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$	»
» bis zu $\frac{1}{12}$ Pfeilhöhe gedrückten Bogen	$\frac{1}{2}$	»

Wenn auf den Gewölbe-Widerlagsmauern sich Stockmauern befinden, so ergibt sich für Kellermauern in Bruchsteinmaterial bei einem dreistöckigen Gebäude unter den Fassaden eine Stärke von 85 oder 90 cm; die gegenüberliegende Gewölbe-Widerlagsmauer wird etwa 70 cm stark angenommen. Diese Maße genügen in den meisten Fällen auch vollständig als Gewölbewiderlager.

Sind die Gewölbestirnflächen normal zur Gewölbeachse gerichtet, so wird der Gewölbeabschluß bei Verwendung von Backsteinmaterial in einfachster Weise unter Verwendung von $\frac{3}{4}$ -Steinen hergestellt; sind die Stirnflächen um ein geringes zur Achse geneigt, so erhalten die Stirnsteine, ehe sie zur Vermauerung gelangen, entsprechenden Verhau. Ist die Schräge bedeutender (schiefe Tonne), so empfiehlt es sich, an den Stirnenden eine Verkleidung mit Hausteinen vorzunehmen, die entweder hakenförmig oder sonst nach Regeln des »Steinschnitts« auszuführen sind. Dergleichen Fälle treten jedoch beim Hochbau nur selten auf. Schiefe Haustein-Tonnengewölbe können auch in der Weise hergestellt werden, wie die Abb. 305 zeigt.

Sollen Tonnengewölbe an ihrer inneren Leibung Verzierungen durch »Kassetten«, vertiefte Deckenfelder, erhalten, so befestigt man auf der Gerüstschalung »Kästen«, die der Höhlung der Kassetten als Lehren zu dienen haben.

Kommt auf ein Tonnengewölbe ein Gebälk (Balken oder Ripphölzer) zu liegen, so entscheidet bezüglich der Richtung, in welcher dasselbe zu legen ist, die Frage wie die Tonne gemauert ist. Bei »Läuferverband« sind die Balken »quer« zur Tonnenachse und beim MOLLERSchen Verband »den langen Weg« auf dieselbe anzuordnen.

Abgesehen von den im Anschluß an die Abb. 299 bis 302 besprochenen Stichkappen, werden auch zur wirkungsvollen Unterbrechung langer Tonnengewölbelinien als Zierrat oder zur Abdeckung von Öffnungen, die sich in den Gewölbe-Widerlagsmauern befinden und über die Kämpferlinie emporreichen, Stichkappen (Lünetten) angeordnet. Dieselben können in allen möglichen Gewölbe- sowie Verband-Arten ausgeführt werden. Meistens legt man denselben Zylinder- oder Kegelform zugrunde (Abb. 307 bis 309 u. 261 bis 266, S. 125) und führt sie in Backstein, $\frac{1}{2}$ Stein stark, aus. Wie in § 55 erläutert, setzt man sie auf einen »Kranz« in der Haupttonne

Abb. 307 bis 309. Zylinderförmige Stichkappe.
Abb. 307. Ansicht. Abb. 308. Querschnitt.

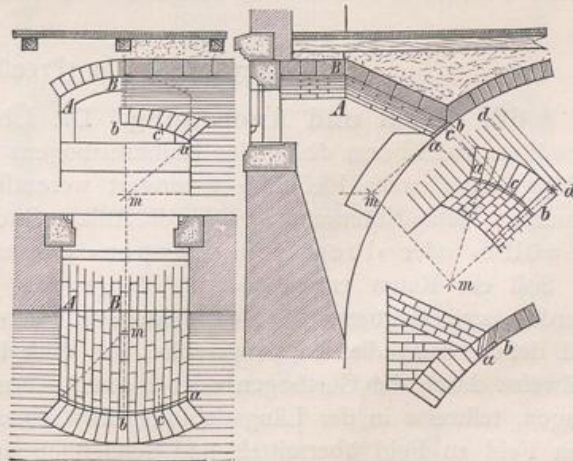


Abb. 309. Grundriß.

auf, wenn es sich um eine nennenswerte Belastung der letzteren handelt; ihr Seitenschub wird, wenn erforderlich, durch besondere kleine Mäuerchen aufgenommen.

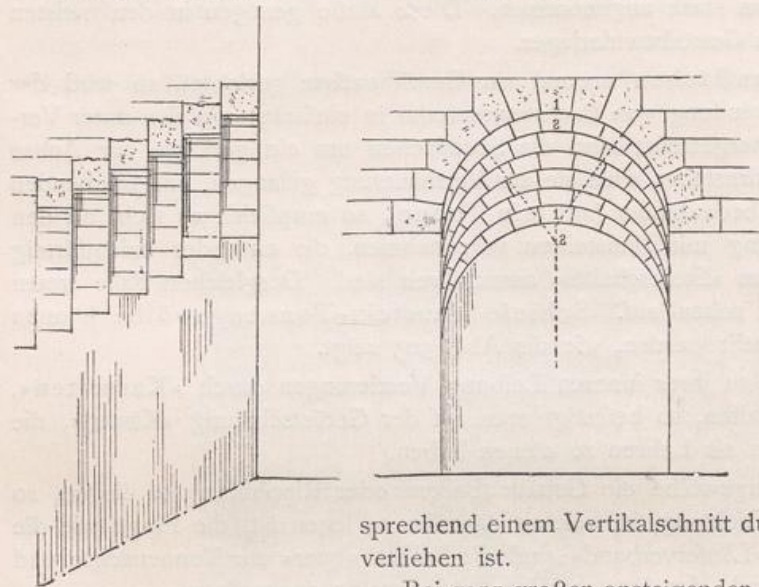
Die Scheitelrichtung dieser Stichkappen kann wagerecht oder schräg, steigend bzw. fallend, zur Haupttonne angenommen werden.

Weiteres über Stichkappen s. in § 79.

§ 61. Steigende Tonnengewölbe. Bei den gewöhnlichen im Hochbau vorkommenden steigenden Tonnen erhalten beim »Läuferverband« die Stoßfugen normale Lage gegen die steigende Achse des Tonnengewölbes.

Handelt es sich um kleine steigende Gewölbe, wie bei den in Abb. 307 bis 309 und 261 bis 266 dargestellten Stichkappen, so können die für die Ausführung des Läuferverbandes benötigten Lehrbogen eine Bogenform wie für die Tonnengewölbe mit wagerechter Achse erhalten; sie werden dann für die Rüstung geneigt, normal zur schrägen Tonnenachse, aufgestellt unter Anordnung entsprechender Versteifung. Sollen aber größere »steigende Tonnengewölbe« ausgeführt werden, so sind die Lehrbogen lotrecht aufzustellen, nachdem ihnen die notwendige »Wölbungslinie« —

Abb. 310 u. 311. Ausführung in einzelnen Ringschichten.
Abb. 310. Querschnitt. Abb. 311. Ansicht.



entsprechend einem Vertikalschnitt durch eine schräge Tonne — verliehen ist.

Bei ganz großen ansteigenden Tonnen, sowie bei solchen aus Hausteinmaterial, kann der abwärtswirkende Druck der Gewölbeschale gefährlich werden; in solchen Fällen empfiehlt es sich, die ganze Tonne nach Art des MOLLERschen Verbandes in einzelnen Ringschichten auszuführen (Abb. 310 u. 311).

2. Kappengewölbe (Preußische Kappen).

§ 62. Form und Anordnung. Die Überdeckung von Räumen mit Tonnengewölben nach Form des vollen Halbkreisbogens oder von Stichgewölben mit verhältnismäßig bedeutender Pfeilhöhe verringert wesentlich die lichte Weite des betreffenden Raumes. Mehr »Nutzraum« gewährt die Anlage flacher Tonnengewölbe, die »Kappengewölbe« oder »Preußische Kappen« benannt werden.

Soll ein Raum entsprechend Abb. 312 bis 316 mit solchen Gewölben überdeckt werden, so zerlegt man die Deckenfläche in Querstreifen durch Gurtbogen oder I-Träger, auf denen dann die Kappengewölbe ihr Widerlager finden. Der Gewölbeschub wird teilweise durch die Gurtbogen oder Eisenträger auf die Längsmauern des Raumes übertragen, teilweise in der Längsrichtung des Gebäuderaumes von der Mitte desselben aus von Feld zu Feld übermittelt und schließlich an die Quermauern abgegeben. Unter Umständen erhalten letztere durch Zugstangen Absteifung auf die nächstliegenden Eisenträger.

Ein weiterer Vorteil der Anlage von Kappengewölben gegenüber einer vollen Tonne wird bei Kellern dadurch geboten, daß bei ersteren die Türen und Fenster nicht wie es bei letzteren häufig der Fall ist, in die Gewölbekämpferlinien und Gewölbeanfänger einzugreifen brauchen, weil die mit Öffnungen zu versehenen Mauern, welche den

Tonnengewölben als Widerlager zu dienen hätten, nunmehr als Gewölbe-Stirnmauern (Schildmauern) erscheinen. Da nunmehr auch die Anlage von Stiekkappen über Fenster- und Türöffnung wegfällt, so gestaltet sich die Gesamtüberwölbung des Raumes einfacher als beim Tonnengewölbe.

§ 63. Ausführung.

Solche Kappengewölbe erhalten eine Spannweite von etwa 0,8 bis 3 m und eine Ausführungsstärke von $\frac{1}{2}$ Stein, selten von 1 Stein. Bei den genannten größeren Spannweiten ist das Gewölbe gegen die Widerlager hin zu verstärken (s. Abb. 253). Die Pfeilhöhe beträgt rund $\frac{1}{8}$ der Spannweite. Ist die Länge der Kappe bedeutend, so erhält das Gewölbe zur Verstärkung Gurten (s. Abb. 254), doch bleibt im Hinblick auf den ihnen zu Grunde liegenden Flachbogen ihre Tragfähigkeit gering, weshalb etwaige »Gebälkbalken« nicht auf diese Gewölbe selbst, sondern quer über die Gurtbogen oder Träger zu legen sind.

Wo Kappengewölbe auf Mauerwerk ruhen, pflegt man das Widerlager entweder nach Abb. 317 zu gestalten oder es wird »eingespitzt« (Abb. 318), doch soll letztere Widerlagsnute nicht nachträglich in eine Mauer — namentlich nicht nachträglich in Gurtbogen — gehauen werden, da sonst deren Steinverband gelockert würde, sondern es sind die in Frage kommenden Steine des Widerlagers vor

Abb. 312 bis 316. Kappengewölbe. Schwalbenschwanzverband. Ringverband. Läuferverband.

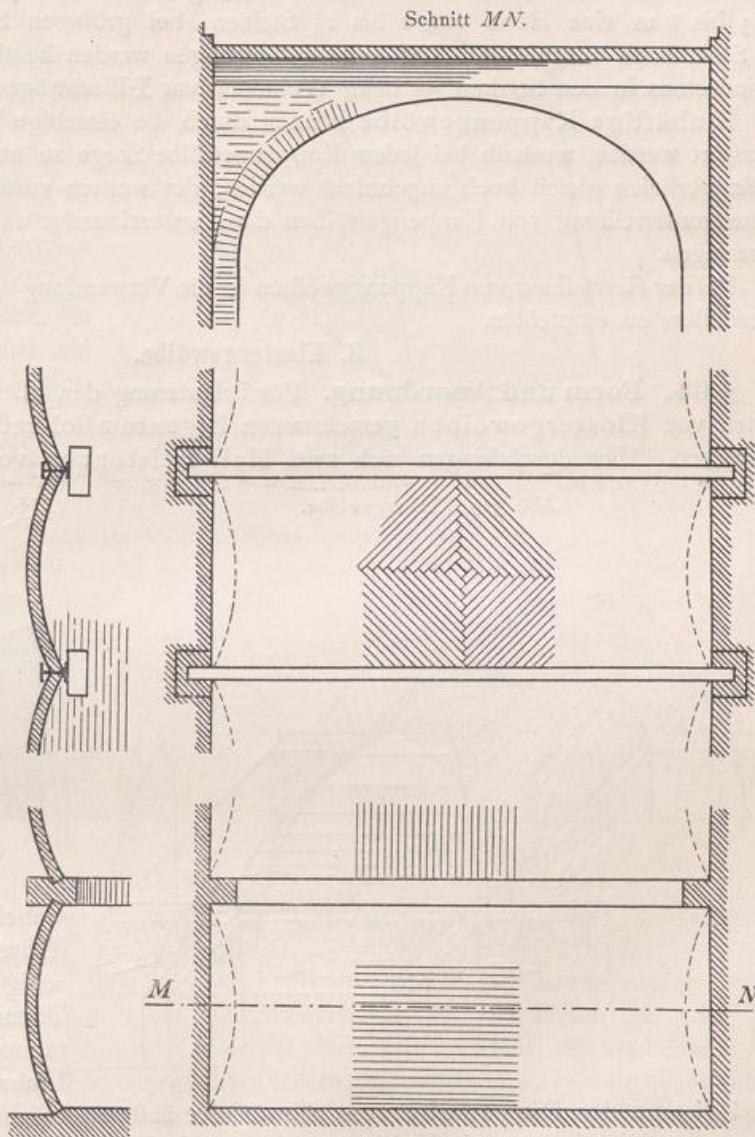
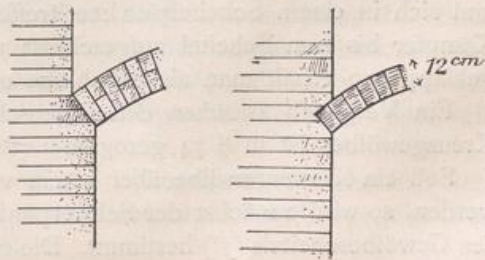


Abb. 317 u. 318. Widerlager der Kappengewölbe.



ihrer Vermauerung für diese Nute passend zu behauen. Gurtbogen müssen unterhalb der Widerlagsnute (s. Abb. 294, S. 130) noch eine Steinmasse von 10 cm, mindestens 8 cm, aufweisen. Besser als das »Einspitzen« ist, wie erwähnt, die Verwendung von Formsteinen.

Die Gurten selbst werden mit einer Pfeilhöhe von etwa $\frac{1}{4}$ ihrer Spannweite ausgeführt und erhalten bei Spannweiten von 2 bis 3,5 m eine Höhe von $1\frac{1}{2}$ bis 2 Steinen, bei 3,5 bis 6 m eine Höhe von 2 bis $2\frac{1}{2}$ Steinen, bei größeren Spannweiten werden sie 3 Stein hoch ausgeführt. Statt solcher Gurtbogen werden heutigen Tages meistens — mindestens in den Städten — beim Wohnhausbau I-Eisenträger angewendet.

Einhüftige Kappengewölbe können durch die einseitige Wirkung ihrer Eigenlast zerstört werden, weshalb bei jedem Kappengewölbe Sorge zu tragen ist, daß die beiden Kämpferlinien gleich hoch angeordnet werden; des weitern empfiehlt es sich, bei jeder Aneinanderreihung von Kappengewölben diese untereinander auf gleicher Kämpferhöhe anzulegen.

Bei der Herstellung von Kappengewölben ist die Verwendung von reinem Zementmörtel besonders zu empfehlen.

3. Klostergewölbe.

§ 64. Form und Anordnung. Für Erläuterung der, allen verschiedenen Sonderarten von Klostergewölben gemeinsamen Eigentümlichkeit sei auf Abb. 319 hingewiesen. Hier durchdringen sich zwei Halbkreistonnen von gleicher Spannweite,

Abb. 319. Klostergewölbe.

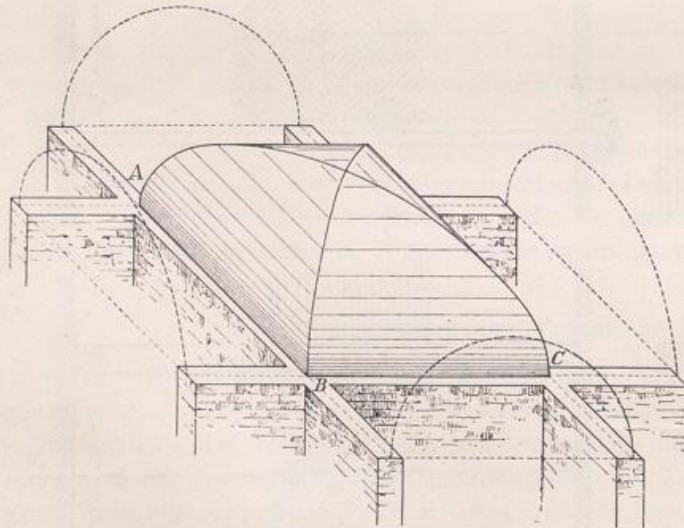
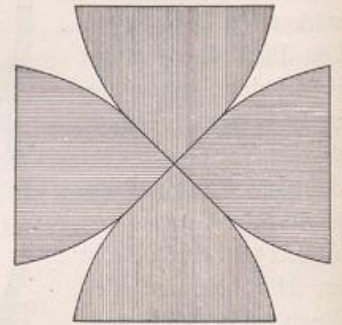


Abb. 320. Schablone der Klostergewölblflächen.



wobei zwei Diagonalkurven (Ellipsen) entstehen, die gleichzeitig in den Schalen beider Tonnen liegen; ihre Horizontalprojektionen sind gerade Linien.

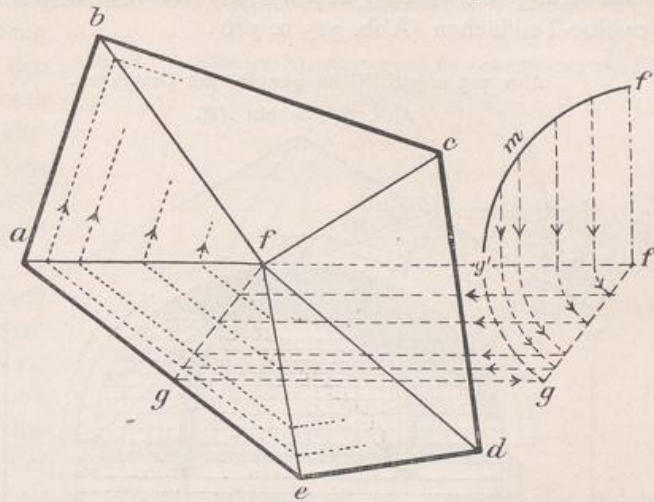
Zwischen den Diagonalkurven, die auf der äußeren Fläche der Gewölbeschale als Grate, auf der inneren als Kehlen erscheinen, befinden sich 4 Tonnenteile, aufsitzend auf den 4 Widerlagsmauern zwischen den Kämpfer-Durchdringungspunkten *A, B, C, D* und sich in einem Scheitelpunkte treffend. Denkt man sich die Diagonalkurven vom Kämpfer bis zum Scheitel aufgeschlitzt und die 4 Gewölbeflächen in eine Ebene umgeklappt, so erhält man als Schablone eine Figur entsprechend Abb. 320.

Ein Vergleich zwischen den Eigenschaften des Klostergewölbes und denjenigen des Kreuzgewölbes ist in § 74 gezogen.

Soll ein Klostergewölbe über einem vieleckigen Raum *abcde* (Abb. 321) ausgeführt werden, so wird zunächst der Schwerpunkt (*f*) der Grundrißfigur als Horizontalprojektion des Gewölbescheitels (*f'*) bestimmt. Die geradlinigen Verbindungen des Punktes *f* mit den

Eckpunkten der Grundrißfigur geben die Horizontalprojektionen der Gewölbegräte. Nunmehr wird die Wölbungskurve eines »Walmes«, auch »Haube«, »Wange«, sowie auch »Kappe« genannt, im Querschnitt angenommen ($f'mg'$). Teilt man diese in eine beliebige Anzahl von Teilen und überträgt deren Horizontalprojektion auf fg im Vielecksgrundriß und zieht durch die erhaltenen Teilungspunkte Parallele zur Kämpferlinie ae , so ergeben sich auf den nächsten Gratprojektionen entsprechende Punkte. Nach dem System der Vergatterung ist es nun ein Leichtes, die übrigen Walmkurven zu bestimmen.

Abb. 321. Klostergewölbe über vieleckigem Raum.



Einen besonderen Fall von Klostergewölben (auf einem Quadrat) zeigt die Abb. 324. Dasselbe baut sich nicht wie die gewöhnlichen Klostergewölbe auf Mauern, sondern

Abb. 322 bis 324. Offenes Klostergewölbe.

Abb. 322. Querschnitt.

Abb. 324. Ansicht.

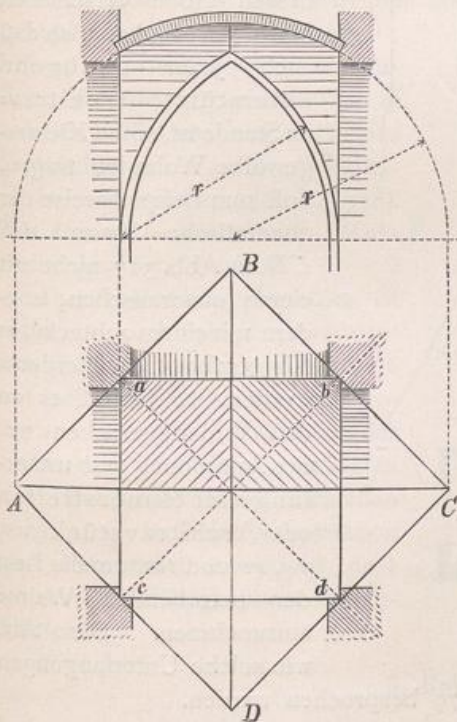
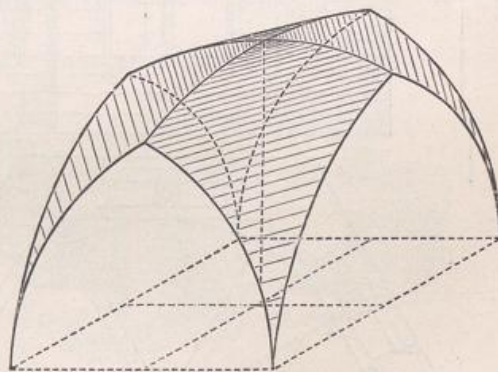


Abb. 323. Grundriß.



auf Pfeilern auf wie die Kreuzgewölbe; doch unterscheidet es sich von diesen dadurch, daß hier die dem Kreuzgewölbe eigentümlichen, auf den Pfeilern aufgesetzten Diagonalgurten nicht vorhanden sind. Dieses Klostergewölbe ist konstruktiv aus einer Abstumpfung des Normal-Klostergewölbes abzuleiten. Die Abb. 322 u. 323 zeigen eine solche Abstumpfung bei einem Klostergewölbe mit ebenfalls quadratischem Grundriß durch die Linien AB , BC , CD u. DA . Man nennt solche Klostergewölbe »offene« oder »abgestumpfte«.

Durch Vereinigung von geschlossenen und offenen Wölbungsteilen lassen sich noch weitere Arten von Klostergewölben bilden; doch kommen diese für die gegenwärtige Architektur wenig in Betracht.

Klostergewölbe machen den Eindruck schwerfälliger Konstruktionen, weshalb man bestrebt ist, ihre Wirkung gefälliger zu gestalten. Die einfachste Art hierfür ist die Einmauerung von »Gratgurten« in Werkstücken in den Kehlen zwischen den einzelnen Gewölbe-Teilflächen (Abb. 325 u. 326).

Abb. 325 u. 326. Klostergewölbe mit Gratgurten.

Abb. 325. Schnitt AB.

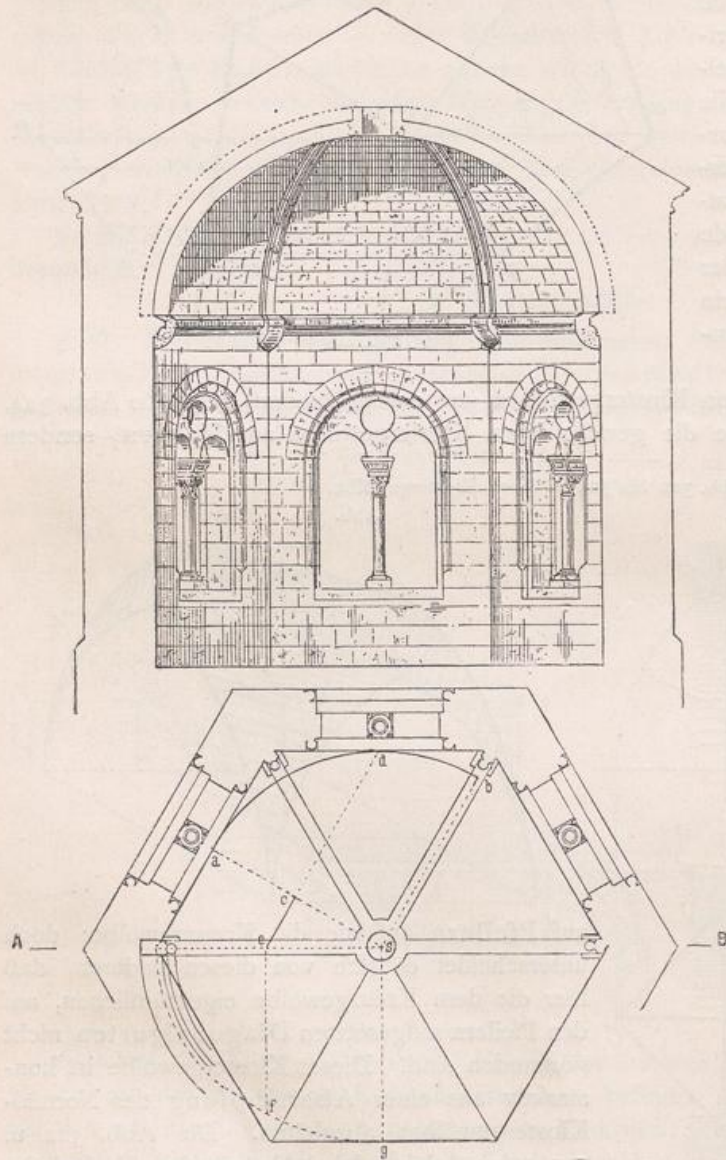


Abb. 326. Grundriß.

(Pendentifs) hergestellt werden können, soll in § 79 besprochen werden.

Eine andere Art der Belegung erfolgt durch Stichkappen; sie werden, wie in § 60 besprochen, auch hier als reiner Zierrat oder als Abdeckung von Öffnungen angewendet. Ferner kann die Raumwirkung interessanter gestaltet werden durch Einfügung von »Pendentifs« unterhalb der Klostergewölbe. Die Anlage derselben fußt auf dem Umstand, daß, wenn auch das »geschlossene« Klostergewölbe zu seinem Widerlager eines Mauerstreifens benötigt, doch dessen Höhe verschieden bemessen sein kann, so daß auch jeder genügend unterstützte Architrav im Stande ist, einen Klostergewölbe-Walm zu tragen. Soll nun beispielsweise der quadratische Raum $ABCD$ in Abb. 327 nicht mit einem quadratischen, sondern mit einem achteckigen Klostergewölbe überdeckt werden, so bedarf es an den Widerlagerecken nur der Anordnung gut unterfangener Mauerstreifen oder Architravstücke no , pq , rs und tm , um die Last der betreffenden Walme aufzunehmen. Die Art, wie solche Unterfangungen

§ 65. Ausführung. Bezüglich der Stärkemaße von Wölbungsschale und Widerlager gelten die bei Besprechung des Tonnengewölbes gemachten Angaben; desgleichen für Baumaterial und Verbandarten. Die besprochene Ausführung von Hausteingurten in den Kehlen bildet eine Ausnahme; meistens handelt es sich um Nähte, wofür Bruchsteine

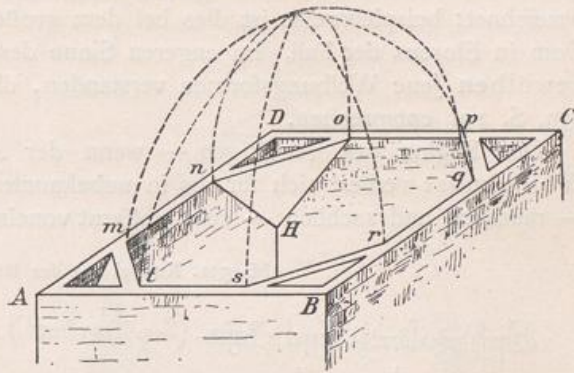
oder Backsteine an ihrem betreffenden Ende, auf die Tiefe ihrer Überbindung entsprechend zubeauen werden. Bei Verwendung von Hausteinen wendet man Winkelsteine an, die nach besonderen Schablonen vom Steinhauer zugerichtet werden.

Bei Schwalbenschwanz-Wölbung stehen die Schichten normal zu den Graten. Diese Wölbart bedarf auch in diesem Falle nur einzelner Lehrbogen, um die Richtung der Wölbung vorzuschreiben, aber nicht einer vollständigen Schalung auf einem Gerüst.

Für Einwölbung mit Lagerverband ist auch hier das vollständige Schalengerüst notwendig. Dieses (s. Abb. 153, S. 106) wird in der Weise aufgebaut, daß zunächst ein vollständiger Diagonalbogen Aufstellung findet, der

in seiner Mittelachse mit einem starken Pfosten versehen ist, an den sich alle anderen Lehrbogen anschließen, die jedoch nur als Halb- bzw. als Schiff-(Teil-)Bogen konstruiert sind.

Abb. 327. Achteckiges Klostergewölbe über quadratischem Raum.



4. Muldengewölbe.

§ 66. Anordnung, Form und Ausführung. Gemäß vorstehender Besprechung können Klostergewölbe auch über rechteckigem Grundriß errichtet werden. Je länger gezogen jedoch ein Rechteck ist, um so schwieriger wird die bauliche Ausführung, weshalb man in solchen Fällen vorzieht, statt eines Scheitelpunktes eine Scheitellinie anzunehmen (Abb. 328). Ein solches Gewölbe wird »Muldengewölbe« genannt.

Die Anwendung desselben ist nicht auf rechteckige Grundrisse beschränkt, sondern wird auch auf trapezförmige ausgedehnt, wobei die Horizontalprojektionen der Grate mit den Halbierungslinien der Eckwinkel zusammenfallen (Abb. 330). Bauliche Konstruktion und Lehrgerüst entspricht dem im vorigen Paragraphen Ausgeführten.

Abb. 328 bis 330. Muldengewölbe.

Abb. 328. Ansicht.

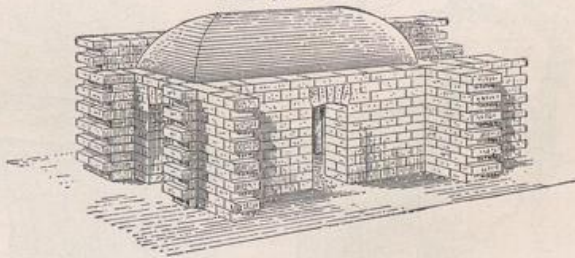


Abb. 329. Rechteckiger Grundriß.



Abb. 330. Trapezförmiger Grundriß.

5. Sphärische Gewölbe.

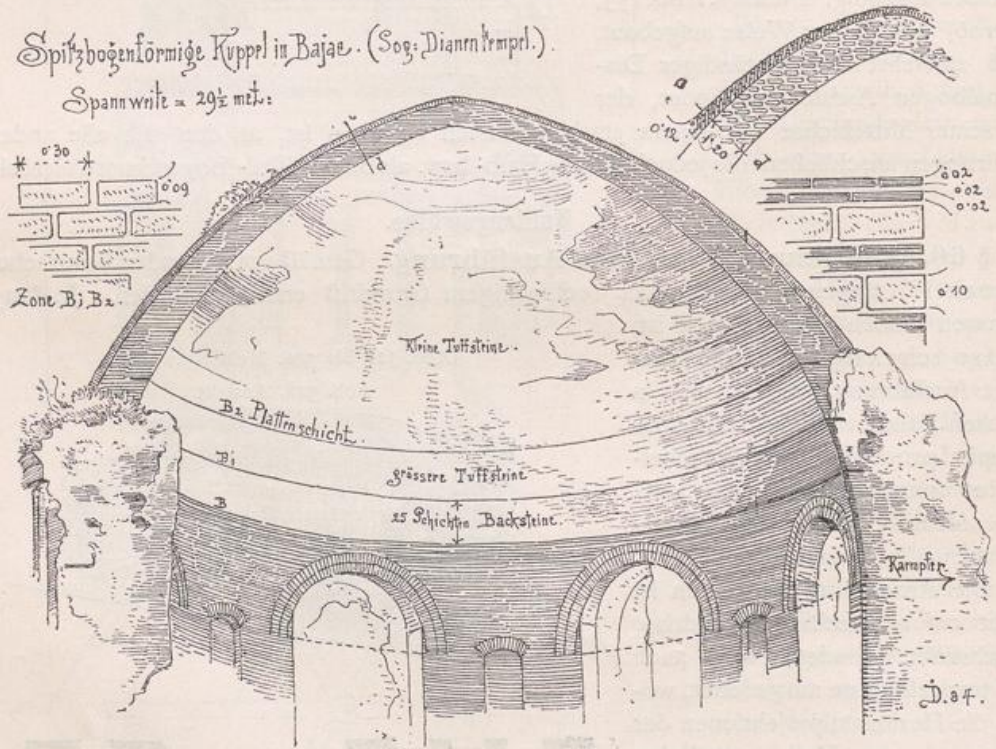
A. Überhöhte, volle und annähernd volle sphärische Gewölbe.

§ 67. Allgemeines. Sphärische Gewölbe werden im Hochbauwesen sowohl im Innern der Gebäude, wie auch als nach außen hin selbständig wirkende Gebäudeteile verwendet. In § 42, S. 102 wurde gesagt: »Die sphärischen Körper lassen sich als durch Umdrehung einer gebogenen Linie um eine Achse entstanden denken«. Eine andere

Erklärung derselben läßt sich aussprechen im Anschluß an die Auffassung eines Kreises als eines Vielecks von unendlich vielen Seiten. In diesem Sinne können die mit dem Ausdruck »Kuppeln« bezeichneten sphärischen Gewölbe auch als »Klosterwölbungen« aufgefaßt werden. Tatsächlich wird sogar schon ein achteckiges Klostergewölbe, wie solches in Abb. 327, S. 141 angedeutet ist, mit dem Ausdruck »Kuppel« bezeichnet; beispielsweise ist dies bei dem großen achtseitigen Klostergewölbe auf dem Dom in Florenz der Fall. Im engeren Sinne des Wortes jedoch werden unter Kuppelgewölben jene Wölbungsformen verstanden, die den Körperformen nach Abb. 138 u. 139, S. 101 entsprechen.

Der Beginn des gewaltigen — wenn der Ausdruck gestattet ist — Stromes der Wölbekunst verliert sich für uns in unbekannter Urvorzeit. Er hat sich vermutlich aus — räumlich und sachlich — sehr entfernt voneinander liegenden Quellgebieten gebildet,

Abb. 331. Kuppel aus der Römerzeit in Bajae.



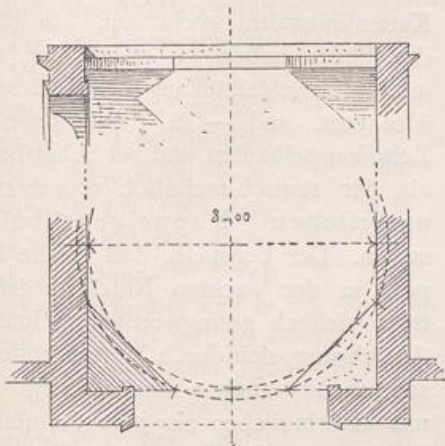
wobei die Verwendung von Lehm, Erdpech, Kalkmörtel, künstlichen Steinen, Kies, Bruchsteinen und Werksteinen mit ihren technischen Folgerungen ebenso eine Rolle spielte wie die konstruktiven Aufgaben: Umkleidung von Wand und Dächern (zugleich Raumdecken) schlichter Hütten aus Schilf oder Ästen mit Lehm, Ummantelung von Höhlen in der Erde (Schatzkammern, Grabkammern) mit natürlichen oder künstlichen Steinen als Schutz gegen Erddruck, Ausführung von Kanalwölbungen, Eingangstoren usw., usw.

Wie die in § 41 erwähnte »Überkragung« (s. Abb. 119) bei der Herstellung von Kanälen und Gängen als Vorläufer des Tonnengewölbes zu betrachten ist, so dürften wohl besagte uralte sphärische Lehmwölbungen über einfachsten »Einhäusern« (einträumige Hütten), mit und schließlich ohne Ästen u. dgl. in nachfolgender Verbindung mit der Kenntnis der Überkragungstechnik an Grabräumen und Schatzhäusern schon sehr frühe Veranlassung zur Anlage von Steinkuppeln geworden sein. Wenn auch aus

der Urzeit an Übergangskonstruktionen nichts mehr auf unsere Tage überkommen sein mag, so dürften doch im Anschluß an den durch die Geschichtswissenschaft nachgewiesenen Einfluß des Orients auf den Occident spätere Bauten, wie beispielsweise die Kuppel aus der Römerzeit in Bajae (Abb. 331) in Konstruktion und Form auf uralte

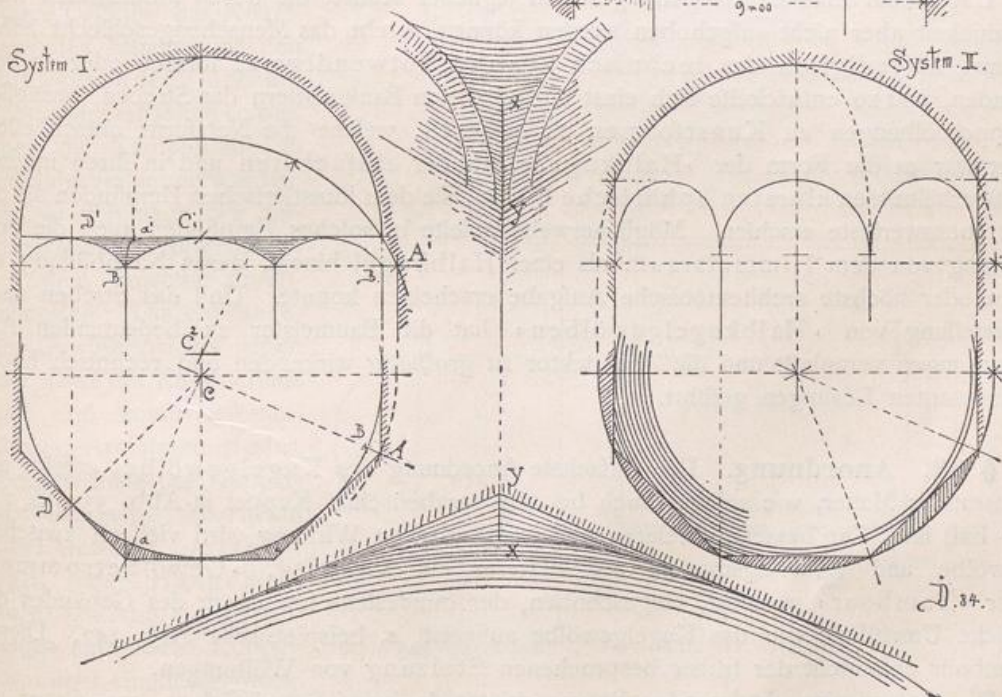
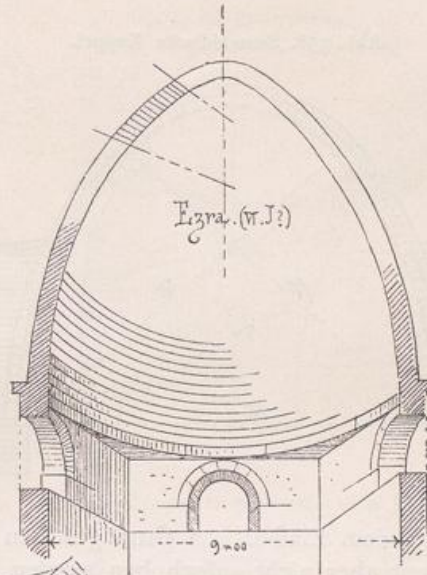
Abb. 332 bis 337. Kuppelgewölbe.

Abb. 332.



Chaqqa. (IIJr)

Abb. 333.

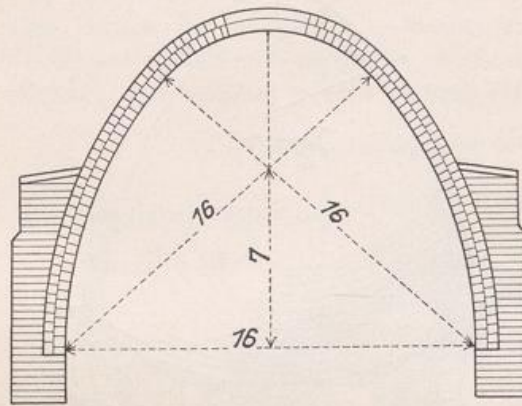


Bauweise zurückzuführen sein. Dieses Gewölbe ist in Backsteinen und Tuffsteinen hergestellt, die »nicht nach dem Zentrum der Wölbungslinie, sondern wagrecht geschichtet sind. Die ganze Oberfläche ist mit einem Mörtelguß, dem kleingeschlagene Backsteinbrocken beigemischt sind, 12 cm dick überzogen, und dieser, jetzt noch in vortrefflichem Zustande, bildet die schützende Schale des Gewölbes«.

Ein Beispiel für das tastende Anpassen der Kuppel-Ausführung an die richtigen Gesetze der Wölbung in Stein bezüglich Neigung der Lagerfugen nach den Kurvenmittelpunkten zeigt in Abb. 333 die Darstellung einer Kuppel in Ezra.

Sowohl bei diesen beiden Kuppeln als auch bei der in Abb. 338²⁵⁾ dargestellten aus Sassanidischer Zeit stammenden Kuppel sehen wir den Kuppelquerschnitt entsprechend der in § 44 erwähnten Kettenlinie (Parabel) gestaltet. Die bei Abb. 331

Abb. 338. Sassanidische Kuppel.



vorhandene Gewölbespitze hebt die Kettenlinienform nicht auf. In diesen drei Fällen haben wir es mit der, nach uralten Reliefdarstellungen zu schließen, ältesten, und — in Erfahrungen bei Lehmkuppelbauten und bei Schatzbauten als der statisch-technisch erprobten — natürlichen Kuppelgewölbeform zu tun. Der Umstand, daß solche Kuppeln in der nackten Nützlichkeitsform, trotz vielfach geringwertiger technischer Ausführung, sich durch Jahrtausende freischwebend erhalten haben, zeigt auch uns eindringlicher als jede theoretische Begründung die »Form« der Gewölbedrucklinie.

Unter dem Einfluß von Grundgesetzen jeglicher Kunst, die durch Modelaunen wohl verdunkelt aber nicht aufgehoben werden können, strebt das Menschengeschlecht höher hinaus, als lediglich das technisch absolut Notwendige zu formen oder zu verwenden, und so entwickelte sich einst auch bei den Baukünstlern das Streben, bezüglich Kuppelwölbungen zu Kunstformen zu gelangen, welche die Nutzform umschließen. Hier war es die Form der »Halbkugel«, als der einfachsten und in ihren inneren Maßverhältnissen klarsten sphärische Form, die dem künstlerischen Empfinden als die erstrebenswerteste erschien. Möglicherweise spielte in solches Empfinden auch die Vorstellung von dem Himmelsraum als einer Halbkugel hinein, deren Nachbildung als hohe oder höchste architektonische Aufgabe erscheinen konnte. Und das Streben nach Herstellung von »Halbkugelgewölben« hat die Baumeister zu bedeutenden Anstrengungen veranlaßt und die Architektur zu großartig wirkenden und technisch hochinteressanten Lösungen geführt.

§ 68. Anordnung. Die einfachste Anordnung des Kugelgewölbes erfolgt auf kreisrunder Mauer, wie solches auch bei der parabolischen Kuppel in Abb. 331, S. 14² der Fall ist. Zur besseren, freieren und künstlerischen Wirkung wird vielfach zwischen Gewölbe und Widerlagsmauer, auf letzterer ein Mauerring, »Gewölbetrommel« oder »Tambour« genannt, eingeschoben, der mindestens im Innern des Gebäudes die gleiche Umrißlinie wie das Kugelgewölbe aufweist, s. beispielsweise Abb. 347. Dieser Tambour entspricht der früher besprochenen Stelzung von Wölbungen.

Die Anlage eines kreisrunden Raumes bietet da keine Schwierigkeit, wo dieser als ganzes Gebäude erscheint; wo aber kreisrunde, ellipsenförmige u. dgl. Räume in einen vielräumigen Gebäudeorganismus einzuschalten sind, entstehen oft wesentliche Schwierig-

²⁵⁾ Abb. 338 ist hergestellt nach: dem »Handbuch der Architektur«, II. Teil, 3. Bd., 2. Hälfte, 1887: »Die Baukunst des Islam« von FRANZ-PASCHA.

keiten. Man hilft sich dann durch Ausbildung des mit einem Kuppelgewölbe zu überdeckenden Raumes als Vieleck unter Anwendung besonderer Konstruktionen als Übergänge zum reinen sphärischen Gewölbe. Hier kommen 3 Systeme in Betracht.

Bei System I nach Abb.

334, S. 143 schließt die Kuppel mit ihrer inneren Leibungsfläche bündig mit der Mitte der Achteckseiten ab. Für den Übergang aus den Vieleckkanten zur Unterkante des über denselben befindlichen Gewölbeteiles werden besondere Konstruktionen benötigt, Gewölbezwickel oder Pendentifs genannt (s. § 79). Dieselben befinden sich in diesem Falle, als selbständige Architekturglieder, unterhalb der Gewölbekämpferlinie, bzw. unter dem Gewölbetambour.

Bei System II geht die innere Leibung des Kugelgewölbes bündig mit den Eckkanten des Vielecks, dessen Mauerflächen so weit über die Kämpferlinie in die Höhe verlängert werden, bis sie sich nach den eingezeichneten Bogenlinien mit dem Gewölbe durchschneiden. Die entstandenen Gewölbezwickel liegen hier über der Kämpferlinie und sind keine selbständigen Architekturglieder, sondern Teile des Kuppelgewölbes selbst. Man nennt diese Gewölbe Stutzkuppeln (oder Hängekuppeln). Die Abb. 339 u. 340²⁶⁾ zeigen eine solche Kuppelform über einem Rechteck.

Das System III beruht auf der Vereinigung zweier Kuppeln, indem oberhalb der bei System II besprochenen Gewölbezwickeln eine zweite Kämpferlinie angenommen

Abb. 339 u. 340. Stutzkuppel.

Abb. 339. Ansicht.

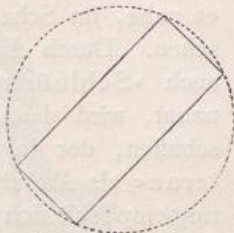
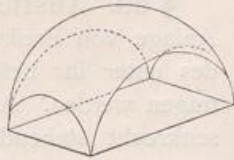


Abb. 340. Grundriß.

Abb. 341. Hängekuppel über quadratischem Raum.

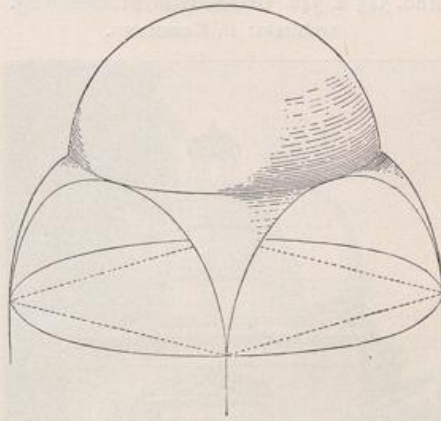


Abb. 342 bis 344. Hängekuppel über rechteckigem Raum.

Abb. 342. Längsschnitt.

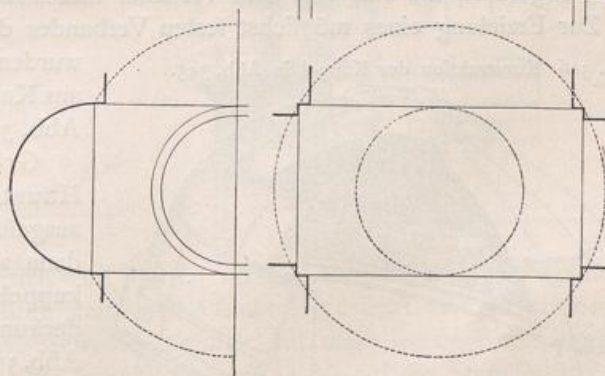


Abb. 343. Querschnitt.

Abb. 344. Grundriß.

²⁶⁾ Die Abb. 339 u. 340 sind entnommen: G. UNGEWITTER, »Lehrbuch der Gotischen Konstruktionen«, 3. Aufl., I. Bd., 1890.

Esselborn, Hochbau. I. Bd.

und auf diese die zweite Kugel gesetzt wird. Die Abb. 341 u. 342 bis 344 zeigen diese Hängekuppeln über quadratischem und über rechteckigem Grundriß.

Diese 3 Systeme finden bei allen sphärischen Gewölbeformen Verwendung und zwar sowohl bei frei in die Luft ragenden Kuppeln als bei deren Anlagen im Innern von Gebäuden, und bei allen 3 Systemen können die Kuppeln auf Schildmauern aufsitzen oder auf Schildbogen, die von Raum-Eckpfeilern getragen werden.

Abb. 345 u. 346. Grabhalle in Braunschweig.
Architekt: B. KOSSMANN.

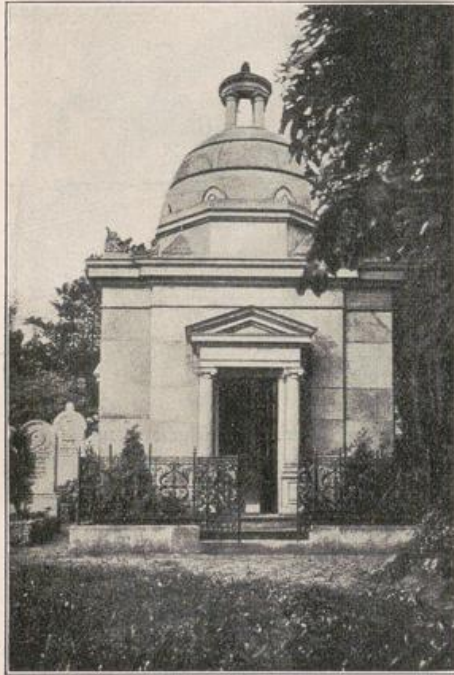
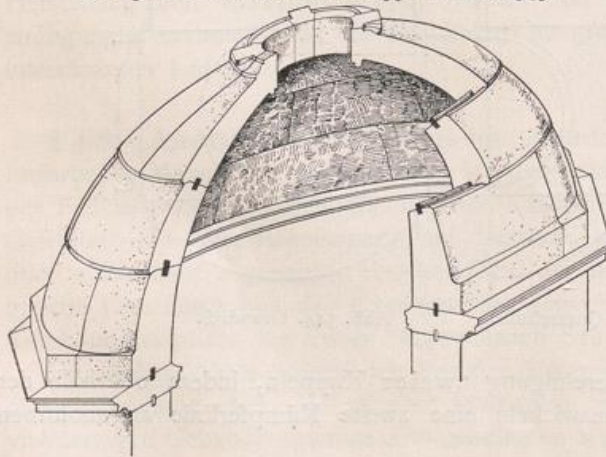


Abb. 345 ²⁷⁾ angeführt, die ein, von dem Verfasser dieses Kapitels errichtetes Mausoleum darstellt. Zur Erzielung eines möglichst festen Verbandes der einzelnen Wölbeschichten

Abb. 346. Konstruktion der Kuppel in Abb. 345.



²⁷⁾ Abb. 345 ist hergestellt nach: den »Neubauten«, herausgegeben von B. KOSSMANN (begründet von NEUMEISTER & HÄBERLE), VIII. Bd., 12. Heft, Leipzig 1902.

§ 69. Ausführung. a) **Freikuppeln.** Bei Anlage von Freikuppeln muß für Beleuchtung des unter ihr befindlichen Raumes Sorge getragen werden. Abgesehen von der Anordnung senkrecht stehender Fenster in der Gewölbetrommel, sofern eine solche vorhanden ist, liegt es nahe, im Scheitel eine Lichtöffnung vorzusehen. Durch Ausführung eines »Kranzes«, auch »Schlußring« oder »Lichtring« genannt, wird dann daselbst ein »Nabel« geschaffen, der in manchen Fällen eine »Lanterne« als Aufsatz erhält. Ein solcher Schlußring empfiehlt sich auch in konstruktiver Hinsicht für das sphärische Gewölbe, wie ein Schlußstein bei einem Bogen. Soll der Nabel nicht offen bleiben, so wird er durch mehr oder weniger flache Gewölbchen geschlossen.

Werden Fenster in der Gewölbeschale angeordnet, so veranlassen diese meistens die Ausführung von Stichkappen.

Bei dem heutigen Stand der Technik werden die Kuppeln nur selten in Hausteinen ausgeführt. Als Beispiel einer Werksteinkuppel sei wurden in deren Lagerfugen Reife aus Kupfer eingelegt (s. beistehende Abb. 346).

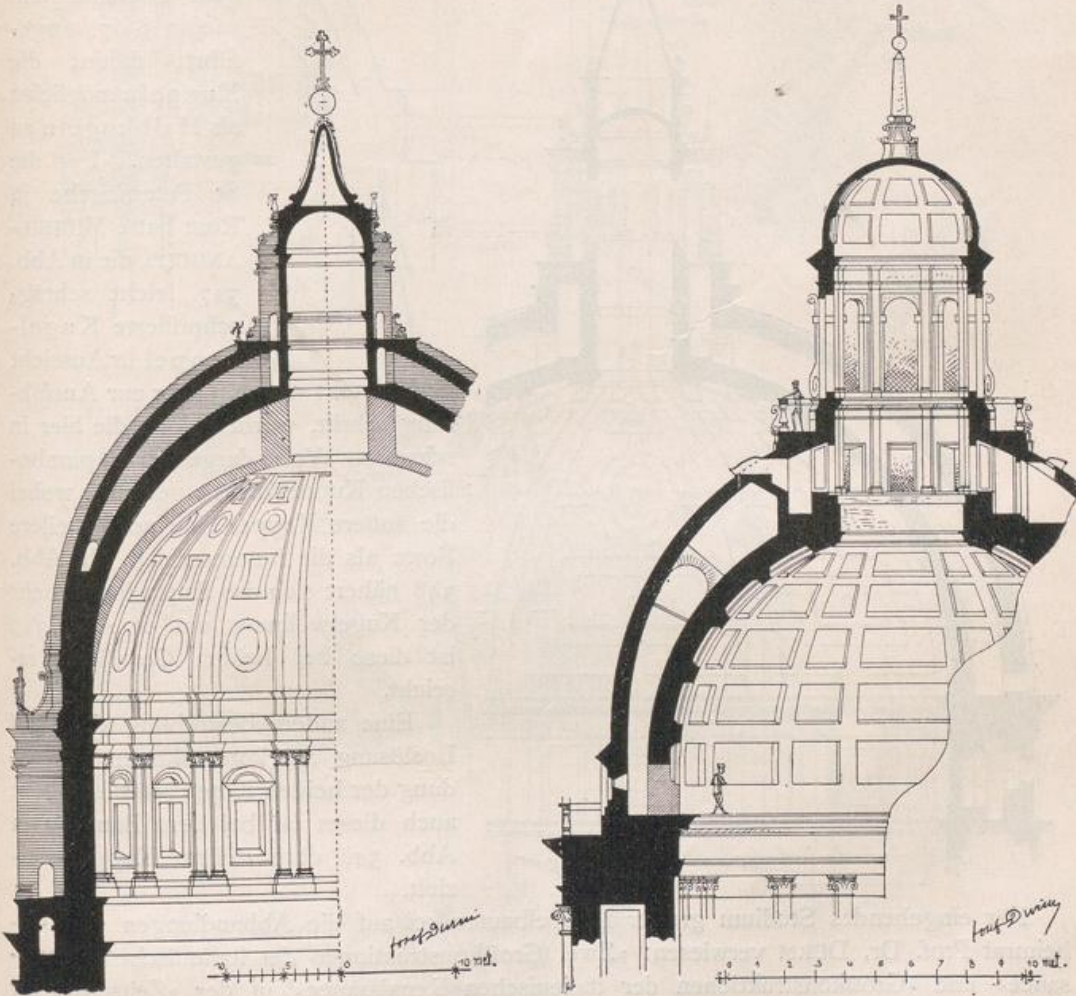
Große Kuppelgewölbe in Hausteinen sind in Frankreich ausgeführt worden, über denen dann als Schutzdächer große Holzkuppeln mit der nötigen Dachdeckung errichtet wurden (s. in den Abb. 351 bis 357 die beiden Figuren unten rechts und links). In Italien ist man schon früher bestrebt gewesen, gegen den Einfluß der atmosphärischen Niederschläge und gegen den oft starken Winddruck

nicht nur Dächer, sondern auch besondere Schutzkuppeln auszuführen; doch war es hier Gebrauch, beide Kuppeln in Backsteinmaterial herzustellen (Abb. 347 bis 349 u. 352).

Zunächst wurden die Anfänger beider Gewölbe zusammengedrückt wie in Abb. 347; hierdurch wurde der Vorteil erzielt, daß die Schubrichtung der schweren, gegliederten und geschmückten inneren Hauptkuppel mehr nach einwärts in das Gebäude verlegt

Abb. 347. Kuppel der St. Peterskirche zu Rom.

Abb. 348. Kuppel der Kirche Santa Maria di Carignano zu Genua.



wurde (Abb. 350), was natürlich von Vorteil für die Anlage der Widerlagsmauern war. Am Scheitel der Gewölbe wurde statt zweier Lichtringe jetzt eine Lichttrommel ausgeführt, gegen die sich beide Gewölbe lehnten; auf diese wurde eine Laterne gebaut, deren Last — entsprechend dem Schlußsatz in § 44 — auf die Standfestigkeit der Gewölbe günstig wirkt.

Durch eine Vereinigung der beiden Gewölbeschalen vermittelt gemauerter »Sporen« und verschiedener »Anker« wurde ein festes Gewölbeganzes erstrebt, das sich im Prinzip einem Sichelträger näherte. Bei dem Bau der »Superga« bei Turin (Abb. 351 bis 357)²⁸⁾ ist dieses System praktisch vorzüglich verwertet.

²⁸⁾ Die Abb. 351 bis 357 sind entnommen: Dr. JOSEF DURM, »Die Superga bei Turin«, Freiburg i. Br. 1906.

Weitere konstruktive Versuche in Italien beziehen sich auf Anordnung oder Weglassung von vorspringenden Gurten an den Gewölbeschalen, sowie auf die Ausbildung von Pfeilern und Bogen in letzteren (s. Abb. 270, S. 126). Daneben laufen noch andere Bestrebungen. Die eine geht, wie in § 67 ausgeführt, dahin, die Kuppeln möglichst als Halbkugeln zu gestalten. Für die St. Peterskirche in Rom hatte MICHELANGELO, die in Abb. 347 leicht schrägschraffierte Kugelpuppel in Aussicht

Abb. 349. Kuppel der Kirche Santa Maria dell' Umiltà zu Pistoja.

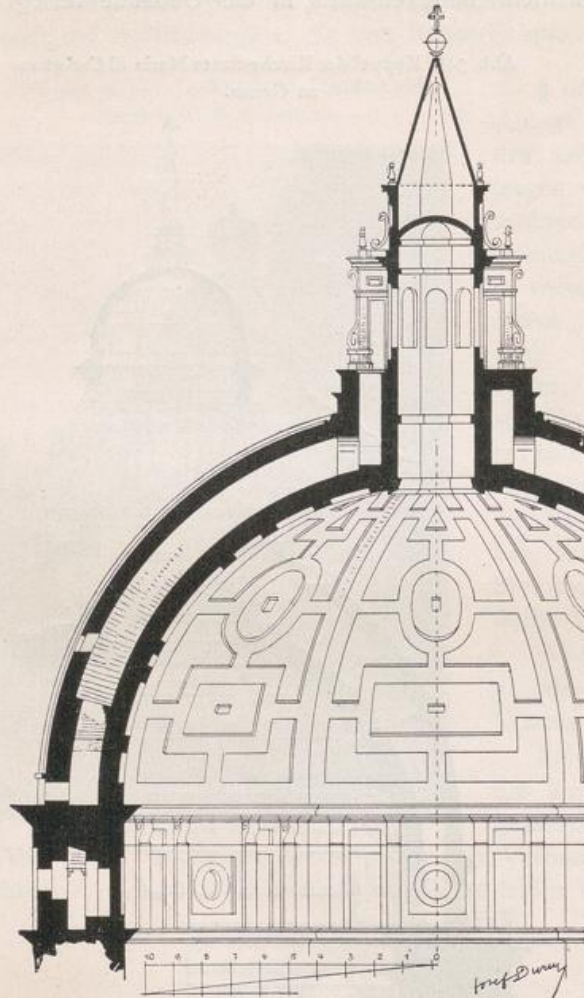
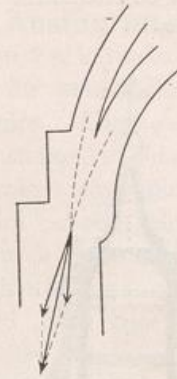


Abb. 350 Schubrichtung der Haupt-, sowie der Schutzkuppel.



genommen; als man aber zur Ausführung schritt, wurden doch die hier in schwarzer Weise dargestellten parabolischen Kuppelformen gewählt, wobei die äußere Kuppel eine noch steilere Form als die innere erhielt. In Abb. 348 nähert sich das Kuppelpaar mehr der Kugelwölbung und in Abb. 349 ist diese bei beiden Gewölben erreicht.

Eine andere Bestrebung zielte auf Loslösung der konstruktiven Verbindung der beiden Kuppelwölbeschalen; auch dieses ist bei dem Bau der in Abb. 349 dargestellten Kuppeln erzielt.

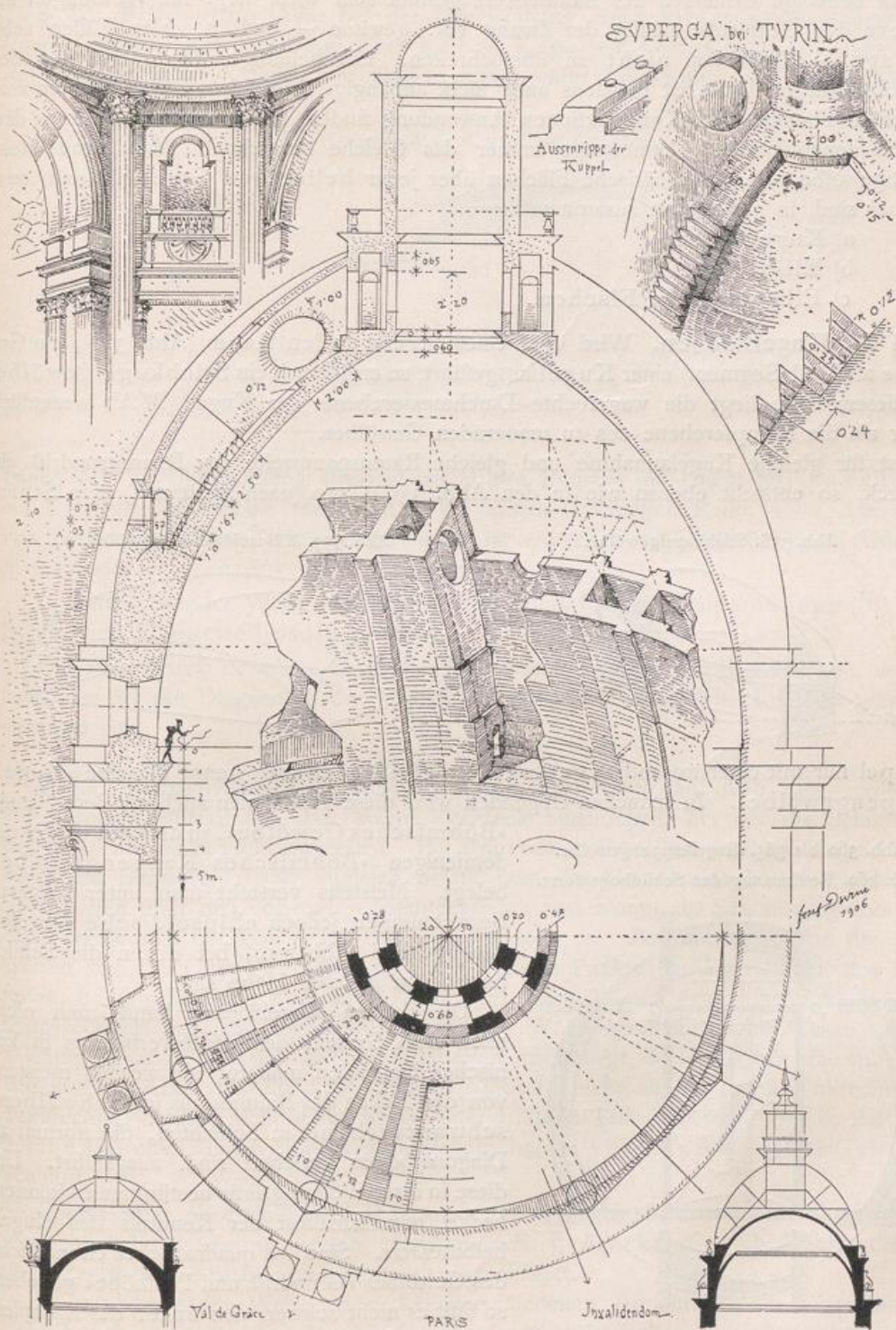
Für eingehendes Studium großer Kuppelbauten sei auf die Abhandlungen von Geheimrat Prof. Dr. DURM verwiesen: »Zwei Großkonstruktionen der italienischen Renaissance« und »Großkonstruktionen der italienischen Renaissance« in der »Zeitschrift für Bauwesen«, 1887 und 1902; ferner auf des gleichen Autors Abhandlung über die »Superga bei Turin«. Diese drei Abhandlungen sind auch als Sonderdrucke erschienen.

b) Kuppelgewölbe in Gebäuden werden gelegentlich noch in Bruchsteinen hergestellt, namentlich wenn leichtes Bruchsteinmaterial zur Verfügung steht; in diesem Falle ist eine vollständige Gerüsteinschalung erforderlich. Meistens benutzt man Backsteine und kommt dann mit einer »Leier«, bzw. mit einer Drehschablone aus. Allgemeine Erfahrungsmaße für Kuppelgewölbe in Gebäuden sind:

Spannweite bis	4	6	8	10 m,
Gewölbestärke am Scheitel	$\frac{1}{2}$	1	1	1 Backstein,
Gewölbestärke im Kämpfer	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$	2 »

Die Widerlagsmauer erhält etwa $\frac{1}{7}$ des Gewölbedurchmessers als Stärkemaß.

Abb. 351 bis 357. Die Superga bei Turin.



B. Flache sphärische Gewölbe.

§ 70. **Allgemeines.** Während bei freistehenden Kuppeln deren Scheitelhöhe in das beliebige Ermessen des Baumeisters gestellt sein wird, liegt für Wölbungen im Innern der Gebäude häufig der Zwang vor, gewisse — und in vielen Fällen sehr geringe — Pfeilhöhen nicht zu überschreiten. Ein beliebiges Herunterrücken der Gewölbe-Kämpferlinien ist meistens auch nicht angängig. In solchen Fällen können verschiedene Flachgewölbe-Konstruktionen Anwendung finden, deren Namen jedoch in den verschiedenen Ländern keineswegs immer das Gleiche bezeichnet. Man kann diese Flachgewölbe, die als sphärische Flächen über jeder beliebigen Grundrißform ausführbar sind, in 3 Gruppen zusammenfassen:

- a) Kugelflächen,
- b) Ellipsoide,
- c) Ellipsoidische Flächen.

§ 71. **Kugelflächen.** Wird über einem kreisrunden Raum (Abb. 358), ein Gewölbe als Teil (Segment) einer Kugel ausgeführt, so ergibt sich ein Stichelgewölbe. In diesem Falle liegt die wagerechte Durchmesserenebene der Kugel (MN) wesentlich tiefer als die Kämpferebene des zu mauernden Gewölbes.

Ist für gleiche Kugelannahme und gleiche Raumspannweite der Raumgrundriß ein Vieleck, so entsteht ebenso wie in den Abb. 339 u. 340 (nach System II) eine Stutz-

Abb. 358. Stichelgewölbe.

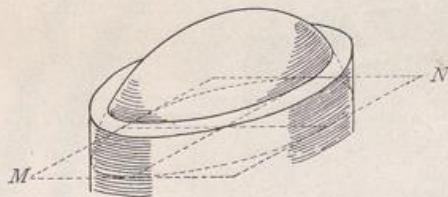
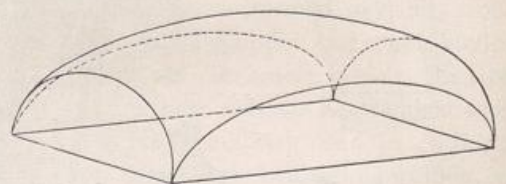


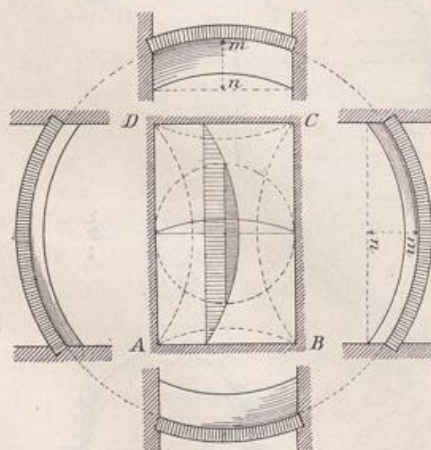
Abb. 359. Ellipsoidisches Gewölbe.



kuppel nur mit einer wesentlich geringeren Pfeilhöhe; man nennt dieselbe »Kugelkappengewölbe«. In manchen Gegenden wird diese Wölbform auch mit dem Namen

Abb. 360 bis 365. Kugelkappengewölbe.

Abb. 360. Bestimmung der Schildbogenform.



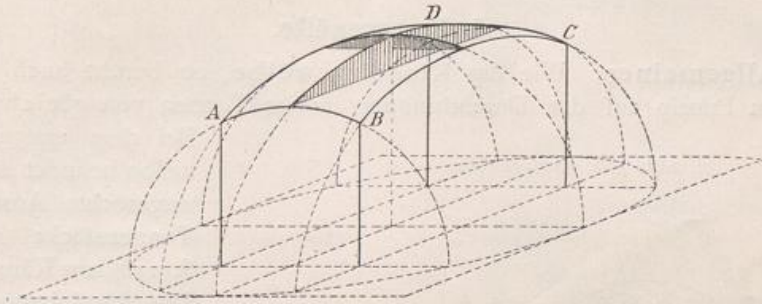
»Böhmisches Gewölbe«, in anderen wieder mit demjenigen »Böhmisches Kappengewölbe« belegt. Meistens versteht man unter letzteren Bezeichnungen jedoch ellipsoidische Gewölbe entsprechend Abb. 359, bei denen die Schildbogen von gleicher Höhe sind.

Die flachen Kugelflächen kann man nicht nach dem System des Läuferverbandes in konischen Schichten mauern; sie werden meistens von den Ecken des Raumes aus im Schwalbenschwanzverband in Schichten, die normal zu Diagonalbogen gerichtet sind, ausgeführt. Um diese in ihrer Wölbungslinie bestimmen zu können, bedarf man zunächst der Kenntnis des Kugelhalbmessers. Sind bei quadratischer Grundfläche des Gewölbes »Grundriß und Pfeilhöhe« gegeben, so fällt es nicht schwer, den unter der Kämpferhöhe liegenden Kugelmittelpunkt zu bestimmen; desgleichen können mit Leichtigkeit die Gewölbschildbogen über den 4 Quadratseiten konstruiert werden. Entsprechend wird

bei anderen Grundrißfiguren verfahren. Die Abb. 360 bis 364 zeigen die zeichnerische Bestimmung der Schildbogenform bei einem Rechteck.

§ 72. Ellipsoide. Wie bei der Überwölbung eines kreisrunden Raumes mit einem Gewölbe nach der Form einer halben Kugel ein volles Kugelgewölbe entsteht (desgleichen bei einem vieleckigem Raum unter Anwendung von Pendentifs), so

Abb. 365. Isometrische Darstellung der Abb. 360.



ergibt sich bei Überwölbung eines elliptischen Raumes mit einem halben Ellipsoid ein Ellipsoidgewölbe (desgleichen bei einem vieleckigen Raum unter Anordnung von Pendentifs). Das Ellipsoidgewölbe ist entweder ein überhöhtes (s. Abb. 158, S. 107) oder ein gedrücktes (s. Abb. 157).

In entsprechender Weise entstehen Stutz- und Hänge-Ellipsoidkuppeln sowie Stich- und Kappenellipsoidgewölbe.

Die Ausführung derselben in Backsteinen erfolgt wie bei den Kugelflächen, weshalb auch hier für die Diagonalen des Vielecks in entsprechender Weise Leitlehrbogen herzustellen sind.

§ 73. Ellipsoidische Flächen. Unter Verweisung auf Abb. 339 wurde eine kugelförmige Stutzkuppel über einem Rechteck besprochen, bei der die Schildbogen paarweise ungleiche Höhe aufweisen. Bei eingebauten Gewölben wird die Kugel vielfach durch ein Ellipsoid ersetzt; zugleich beläßt man die hier als Halbkreise gebildeten Schildbogen über den schmalen Rechteckseiten und nimmt aus Schönheitsgründen bei den Schildbogen der Langseiten die gleiche Höhe an. Bestimmt man von den Halbkreisen aus, nach der »Vergatterung«, die übrigen Punkte der Kurve über den Langseiten, so ergeben sich Ellipsen (s. Abb. 157). Behält man den Höhepunkt des Wölbungsscheitels bei und legt nun eine stetige Wölbungsschale durch diesen und die 4 Kämpferpunkte, die sich an die Schildbogen anschmiegt, so ergibt sich eine sphärische Wölbung, s. Abb. 359, die kein richtiges Ellipsoid mehr ist, da deren senkrechte und wagerechte Schnitte nicht mehr Kreis- oder Ellipsen-Teile ergeben. Solche ellipsoidische Gewölbe werden, wie in § 71 hervorgehoben, vielfach »Böhmische Gewölbe« genannt.

Nimmt man die Schild- und Diagonalbogen als Kreissegmente und die Gewölbe Pfeilhöhe beliebig niedrig an, so entstehen sehr gedrückte Gewölbeflächen, die man mancherorts als »Böhmische Kappen« bezeichnet.

In entsprechender Weise kann bei verschiedenen Annahmen von Diagonal- und Schildbogen eine große Anzahl verschiedener sphärischer Gewölbeflächen erzielt werden.

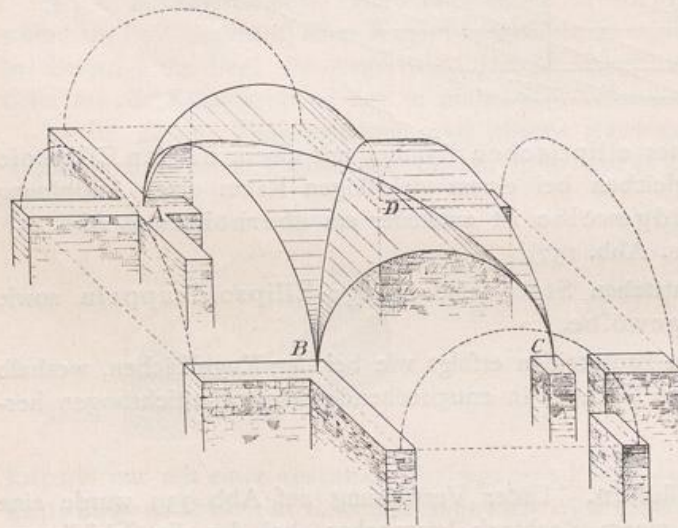
Die Pfeilhöhe derselben beträgt etwa $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{10}$ der Spannweite, die Gewölbstärke bis 3,5 m Spannweite $\frac{1}{2}$ Stein, von 3,5 bis 5 m im oberen Teil $\frac{1}{2}$ Stein und am Widerlager 1 Stein. Bei größeren Spannweiten sind Verstärkungsgurten in der Richtung der Raum-Diagonalen auf der Gewölbeschale auszuführen. Belasteten Widerlagern gibt man eine Stärke von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ der Gewölbespannweite, unbelasteten $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$.

Die Ausführung erfolgt freihändig wie oben angegeben. Da die Gewölbe sehr flach liegen und bei der Herstellung keine Schalung angewendet wird, so empfiehlt es sich, möglichst kurze Wölbeschichten anzuordnen.

6. Kreuzgewölbe.

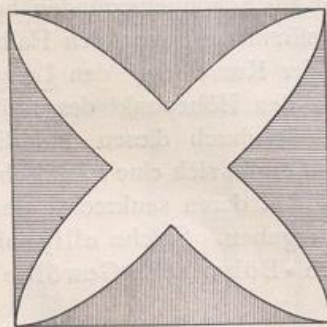
§ 74. Allgemeines. Wie das Klostergewölbe, so beruht auch das Kreuzgewölbe im Prinzip auf der Durchdringung zweier Tonnen von gleicher Pfeilhöhe.

Abb. 366. Kreuzgewölbe.



Bei dem erstgenannten Gewölbe befindet sich die größte wagerechte Ausdehnung der Tonnenstücke (s. Abb. 319, S. 138) am Kämpfer, und die Längsausdehnung derselben am Scheitel ist auf einen Punkt zusammengeschrumpft. Umgekehrt verhält es sich beim Kreuzgewölbe (Abb. 366). Hier befindet sich die größte wagerechte Länge der Tonnenstücke beim Scheitel, und am Kämpfer ist sie auf einen Punkt beschränkt. Im ersten Falle haben wir es somit gewissermaßen mit 4 Kämpferstücken, im zweiten mit 4 Scheitelstücken von Tonnen zu tun.

Abb. 367. Schablone der Kreuzgewölbflächen.



Beim Klostergewölbe werden alle 4 Widerlagsmauern, bzw. Architrave oder Bogen, belastet und zwar trifft die Hauptlast je die Widerlagsmauer in der Mitte ihrer Längsausdehnung; beim Kreuzgewölbe dagegen werden nur die Punkte A, B, C und D belastet, so daß dasselbe an diesen Stellen auch statt durch Mauern, wie bei A und B, durch Pfeiler, wie bei C, unterfangen werden kann. Führt man Seitenmauern an dem zu überwölbenden Raum aus, so erscheinen diese hier als Schildmauern. Selbstverständlich steht im Prinzip nichts entgegen, die Kreuzgewölbe-Schildbogen auf den Schildmauern vollständig ruhen zu lassen.

Die Diagonalkurven erscheinen beim Klostergewölbe am Äußern der Wölbungsschale als Grate, am Innern derselben als Kehlen; beim Kreuzgewölbe liegt der Fall umgekehrt.

Als Schablone für ein Halbkreis-Klostergewölbe über einem Quadrat ergab sich eine Figur nach Abb. 320, S. 138; bei entsprechendem Kreuzgewölbe erhalten wir eine solche nach Abb. 367.

Auch das Kreuzgewölbe läßt sich über jeder beliebigen Vielecksform anordnen (Abb. 368 bis 371). Es empfiehlt sich, den Zusammenstoßpunkt der Gewölbegratlinien lotrecht über dem Schwerpunkt des Raumgrundrisses anzunehmen, wie es beim Kloster-

Abb. 368. Kreuzgewölbe über einem dreieckigen Raum.

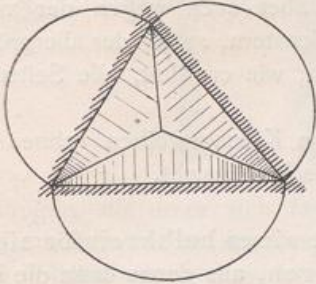


Abb. 369. Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Raum.

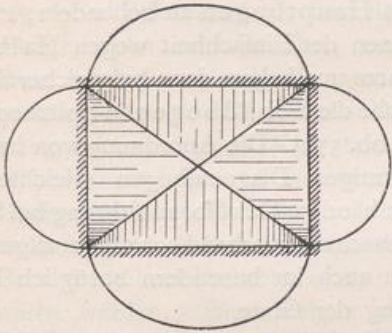


Abb. 370 u. 371. Kreuzgewölbe über einem vielseitigen Raum.

Abb. 370. Querschnitt.

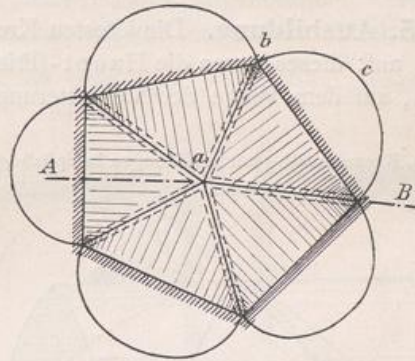
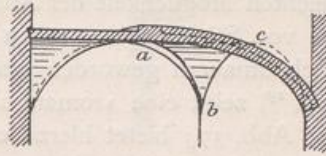
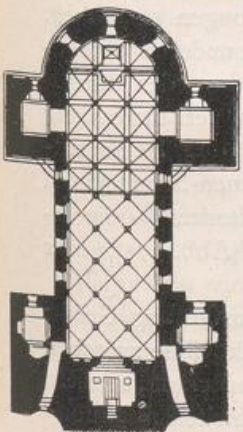


Abb. 371. Grundriß.

gewölbe, Abb. 321, S. 139 geschah, dann sind die Horizontalprojektionen der Grate die geraden Verbindungslinien des Schwerpunktes der Grundrißfigur mit den Ecken des Vielecks. Jeder Vielecksseite entspricht ein selbständiger Gewölbeteil, »Kappe« benannt.

Abb. 372 u. 373. Kreuzgewölbe in der Krypta der Sankt Gereonskirche in Köln.



Das Kreuzgewölbe besitzt verhältnismäßig bedeutende Festigkeit selbst bei großen Spannweiten. Aus dem gleichen Grunde, aus dem sich bei sphärischen Großkonstruk-

tionen eine konstruktive Ausbildung in Pfeilern, Bogen und getragenen Zwischengemäuer empfiehlt, hat das Kreuzgewölbe gegenüber dem Tonnen- und Kloostergewölbe den Vorzug der Verteilung der Last, wie in § 54 ausgeführt wurde, auf einzelne Mauerteile, oder auf freistehende Pfeiler.

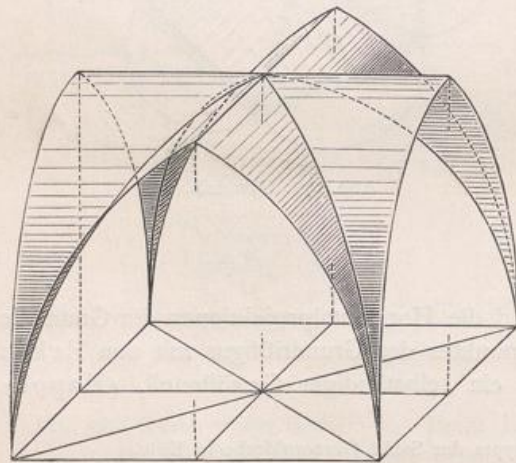
Was auf solcher Grundlage an großartiger Wirkung erzielt werden kann, hat im ersten Fall die Wölbekunst der Römer gezeigt, im zweiten Fall der gotische Baustil.

Die Anlage von Kreuzgewölben empfiehlt sich aber auch wegen der von ihr gewährten leichten Möglichkeit der Anordnung von Fenstern, selbst der allergrößten, ohne zur Anlage von Stichkappen greifen zu müssen, da, wie erwähnt, alle Seitenmauern zu Gewölbe-Schildmauern geworden sind.

Abb. 372²⁹⁾ zeigt eine »romanische« Anlage von Kreuzgewölben »ohne« und »mit« Gurtbogen; Abb. 373 bietet hierzu eine perspektivische Ansicht.

§ 75. Ausbildung. Die ältesten Kreuzgewölbe wiesen halbkreisförmige Schildbogen auf; dieses waren die Haupt-(Prinzipal-)Bogen, aus denen dann die Diagonalbogen, auf dem Wege der Vergatterung als halbe Ellipsen entwickelt wurden. Später

Abb. 374. Kreuzgewölbe mit Schildbogen in Spitzbogenform.



ging man dazu über, die Diagonalbogen als Hauptbogen zu behandeln; man gab ihnen der Einfachheit wegen Halbkreisform und bekam dann bei gleicher Scheitelhöhe die Schildbogen in Spitzbogenform (Abb. 374). Die Anordnung von halbkreisförmigen Diagonalbogen erleichterte die freihändige Gewölbeausführung bei Schwalbenschwanzverband sowohl im allgemeinen, als auch im besondern bezüglich Herstellung der Grate.

Ist ein unregelmäßiger Grundriß mit einem Kreuzgewölbe zu überdecken, so wird irgend einer der Gratbogen als Haupt-(Prinzipal-)Bogen angenommen und womöglich als Halbkreis gestaltet; dann werden aus diesem die übrigen Gratbogen, sowie die Schildbogen entwickelt.

Die Eigenart der Kreuzgewölbeform führte in der Praxis zu besonderen Ausgestaltungen. Im vorigen Paragraphen wurde erwähnt, daß die Hauptlast des Kreuzgewölbes sich in dessen oberen Teilen befindet. Dieser Umstand hat ein verhältnismäßig starkes Sichsetzen des Gewölbes zur Folge, das ein »Einschlagen« der Scheitellinien verursachen kann. Es empfiehlt sich deshalb, die einzelnen Tonnen-Scheitellinien von den Schildbogen nach dem Kreuzungspunkt hin ansteigen zu lassen — sie erhalten »Stich« (Stechung); dabei können diese Scheitellinien gerade (Abb. 375), oder gebogen (Abb. 377), angenommen sein.

Auch die einzelnen Gewölbekappen bieten in ihrer Wölbungsausführung Gefahr des Einschlagens. Um hiergegen aufzukommen ging man dazu über, dieselben zwischen den Gratbogen und Schildmauern (bzw. Schildgurtbogen) nicht nach Zylinderform, sondern je für sich sphärisch auszubilden — sie wurden »gebust«, sie erhielten »Busen«

²⁹⁾ Die Abb. 372, 373 u. 402 sind entnommen: FR. BOCK, »Rheinlands Baudenkmale des Mittelalters«, Bd. I u. III, Köln 1870.

(Abb. 378). Neben diesen Ausbildungen wurden auch Kreuzgewölbe ausgeführt, bei denen der Kreuzungspunkt der Diagonalgurten sich tiefer befindet als die Scheitelpunkte

Abb. 375. Gerade steigender Stich.

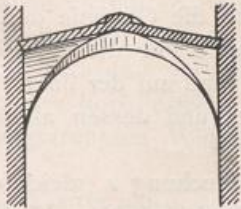


Abb. 376. Gerade fallender Stich.

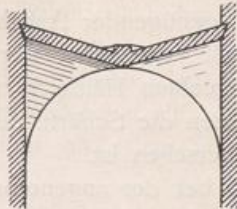
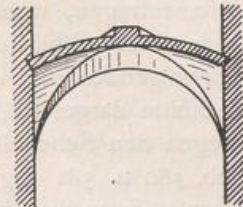


Abb. 377. Steigender Bogenstich.



der Schildbogen, die unter sich meistens in gleicher Höhe angenommen werden. In diesem Falle haben wir es mit Diagonalgraten zu tun, die nach dem Mittelpunkt des Raumes zu abfallen; auch diese können »gerade« (Abb. 376), oder »gebogen« (Abb. 379) gebildet sein.

Abb. 378. Wagerechter Busen.

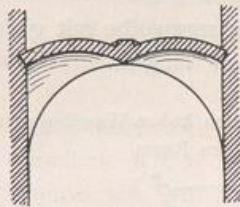
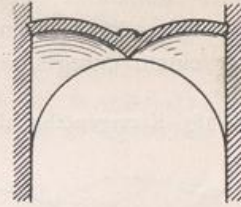


Abb. 379. Fallender Busen.



Steigende Scheitelanlage hat sich bei Kreuzgewölben sehr bewährt; man gibt ihrem »Stich« etwa $\frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{30}$ der Diagonalspannweite des Gewölbes. Die Darstellung der Stechungs-Konstruktion ist besonders kurz und klar in der ausführlichen Baukonstruktionslehre von BREYMANN-WARTH entwickelt, der die Abb. 380 u. 381 (s. auch Fußnote 19, S. 110) entnommen wurden. Diese zeigen ein Kreuzgewölbe über einem Quadrat mit Halbkreis-Wandbogen und gerade steigenden Scheiteln. Die Kappenflächen gehören steigenden Zylindern an und die Diagonalgrate bilden elliptische Spitzbogen.

Um diese auftragen zu können, ist zu beachten — wir folgen der Erläuterung zu diesen Abbildungen, — daß die Kappe ABS entsteht, indem die Bogenlinie $A'C'B'$ im Aufriß parallel zu sich selbst auf der steigenden Achse vorrückt und die steigende Zylinderfläche beschreibt; diese Steigung sei in Mb gegeben. Schlägt man die Steigungslinie im Grundriß nach CS um, so wird, wenn der Bogen z. B. bis D vorgerückt ist, der Mittelpunkt um die Strecke x in die Höhe gerückt sein; macht man deshalb $Mm = x$, oder was dasselbe oo , nachdem $A'b$ gezogen, schlägt mit dem Radius R des Wandbogens von m aus einen Kreis $D'z'$, und schneidet diesen

Abb. 380 u. 381. Die Konstruktion der Stechung.

Abb. 380. Ansicht.

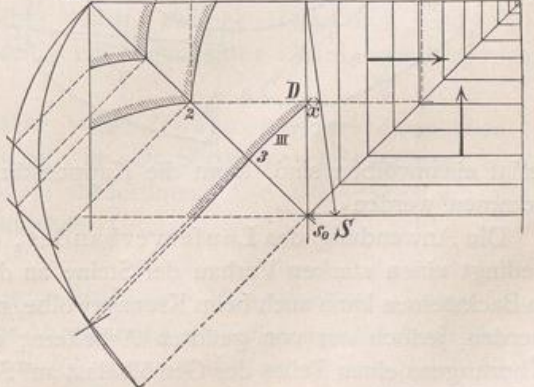
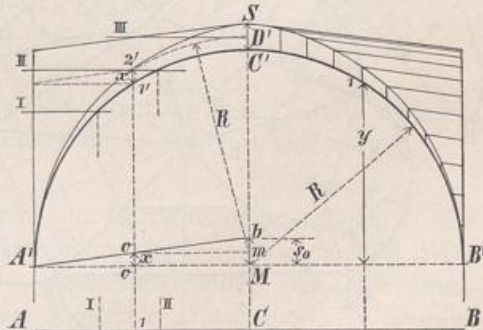


Abb. 381. Grundriß.

mit der durch den Gratpunkt 2 gehenden Vertikalen, so erhält man dadurch einen Punkt 2' des Gratbogens, den man hiernach in der Umklappung verzeichnen kann. Es ist $1'2' = oo = Mm = x$, denn Punkt 1 ist bis 2 um eben so viel gestiegen wie die Achse oder die Scheitellinie von C nach D, d. h. um x . Um somit im Aufriß die Projektion der diagonalen Bogenlinie zu erhalten, genügt es, die Steigungsmaße $x = oo$ nach 1'2' anzutragen, wonach bei genügender Anzahl Punkte die Gratlinie durch Umklappung in ihrer wirklichen Gestalt verzeichnet werden kann. In dieser Abbildung wie in den folgenden sind auf der rechten Hälfte lotrechte und auf der linken waagrechte Schnitte dargestellt, aus denen die Schärfe des Grates und dessen allmählicher Verlauf gegen den Scheitel hin zu ersehen ist.

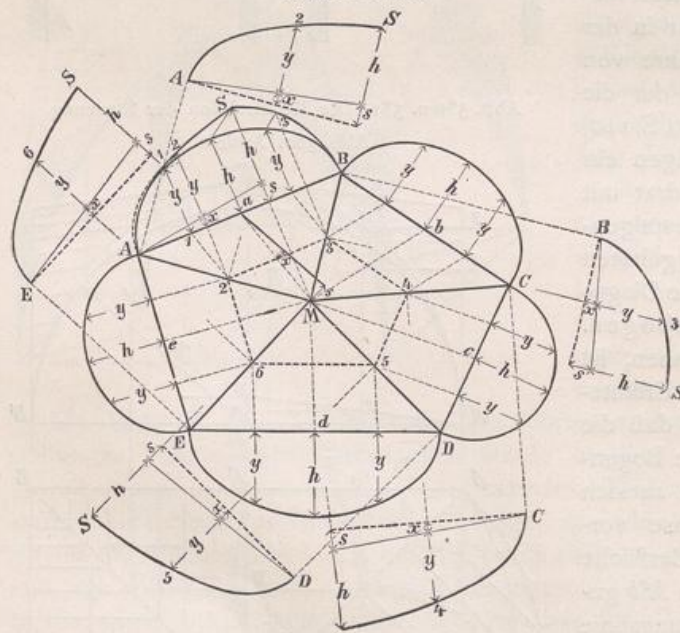
In Abb. 380 u. 381 ergibt sich bei der angenommenen Stechung s (gleich etwa $\frac{1}{20}$ der Diagonalen-Spannweite) beim Horizontalschnitt III bereits kein erhabener Grat mehr, sondern eine, wenn auch sehr geringe Einsenkung, eine »Kehle«, die bei zunehmender Stechung wächst und sich auf immer größere Längen der diagonalen Bogenlinie erstreckt. Diesem Übelstand wird durch Einschränkung der Stechung auf $\frac{1}{30}$ und durch »Herausputzen« der Grate gegen den Scheitel begegnet (Abb. 382).

Abb. 382. Herausputzen der Grate.



Abb. 383 zeigt ein Kreuzgewölbe mit gleich hohen Wandbogen und gerader Stechung über einem unregelmäßigen Vieleck.

Abb. 383. Kreuzgewölbe mit gleich hohen Wandbogen über einem vielseitigen Raum.



terial einzuwölben sind, kann die Kappenstärke ungefähr gleich $\frac{1}{25}$ ihrer Spannweite genommen werden.

Die Anwendung des Läuferverbandes, die auch hier volle Einrüstung beansprucht, bedingt einen starken Verhau der Steine an den Graten. Der Schwalbenschwanzverband in Backsteinen kann auch beim Kreuzgewölbe, normal zu den Graten freihändig ausgeführt werden, jedoch nur von geübten Arbeitern; derselbe bietet konstruktiv den Vorteil des Übertragens eines Teiles der Gewölbelaast auf Schildmauern oder Schildgurtbogen. Gebuste sphärische Kappen werden auch hier ohne Gerüst, entsprechend Abb. 161, S. 108 gemauert.

§ 76. Ausführung.

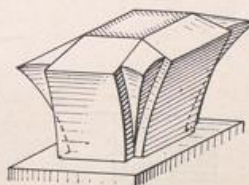
Bezüglich Wahl der Materialien und Verbandarten gibt das bisher über Wölbung von Tonnen- und sphärischen Gewölben Mitgeteilte die nötigen Aufschlüsse. Die Stärke der Gewölbeshalen pflegt man »bei einer Spannweite bis zu 6 m $\frac{1}{2}$ Stein, bei einer Weite bis zu 9 m $\frac{1}{2}$ Stein im Scheitel und 1 Stein am Widerlager anzunehmen. Geht die Spannweite über 9 m hinaus, so gibt man den Kappen zweckmäßig durchweg 1 Stein Stärke. Bei Kreuzgewölben, deren Kappen aus hinreichend festen und lagerhaften Bruchsteinen oder aus gutem Quaderma-

Besondere Aufmerksamkeit erfordert die Gestaltung der Widerlager, da diese auf verhältnismäßig kleiner Fläche eine große Last aufzunehmen haben. Bei Kreuzgewölben im gewöhnlichen Häuserbau nimmt man für die Widerlagstärke etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{6}$ der Diagonalspannweite an. Da der Druck des Gewölbes, wie wiederholt besprochen, nach der Kettenlinie wirkt, so ergibt sich namentlich bei Pfeilern die Notwendigkeit, dieselben nach unten zu um so breiter zu halten, je höher die Kämpferlinie der Gewölbe über der Fußfläche der Widerlager liegt, bzw. sind die Pfeiler durch besondere Aufsätze, in der Gotik »Fialen« genannt, beschwert. Aus den konstruktiven Folgerungen des Gewölbedruckes hochgestellter Kreuzgewölbe hat sich der Gotische Kirchenbaustil mit seinen abgetreppten Widerlagspfeilern und den Strebebogen (Schwippbogen) entwickelt.

Wenn bei Wohnhausverhältnissen die Höhe der Widerlager mehr als 2,50 m beträgt, so sind die eben mitgeteilten Stärken etwa um $\frac{1}{10}$ zu vergrößern. In vielen Fällen werden Verschlauderungen zur Verstärkung der Widerlager angeordnet.

Auch die Gewölbeanfänger bedürfen besonders sorgfältiger Ausführung. Ihre Herstellung ist bei Wölbung in Backsteinen sehr schwierig, weshalb man diese Teile auch für Backsteingewölbe gern in Hausteinen ausführt. Unter Annahme eines Kreuzgewölbes über quadratischem Grundriß mit diagonalen Rundbogen zeigt die Abb. 384 einen Werksteinanfänger für Backsteinwölbung im Schwalbenschwanzverband.

Abb. 384. Werksteinanfänger eines Kreuzgewölbes.



Die Herstellung der Grate ist in § 55 besprochen. Bei Gewölben bis zu 3 m Spannweite werden dieselben in einfachster Weise ausgeführt; bei größeren Spannweiten gibt man denselben »Verstärkung« entsprechend Abb. 280 bis 287.

Sowohl bezüglich der Ausführungsart als hinsichtlich ihrer Gesamtgestaltung erfuhr die Kreuzgewölbe-Anlage besondere Ausbildung durch Schaffung der Rippen-Kreuzgewölbe, der Mehrteiligen- sowie der Stern- und der Netz-Kreuzgewölbe usw.

Alle Kreuzgewölbearten können, da sie auf der Durchkreuzung von Tonnen beruhen, auch wie die Tonnen selbst, beliebige Bogenformen im Querschnitt aufweisen.

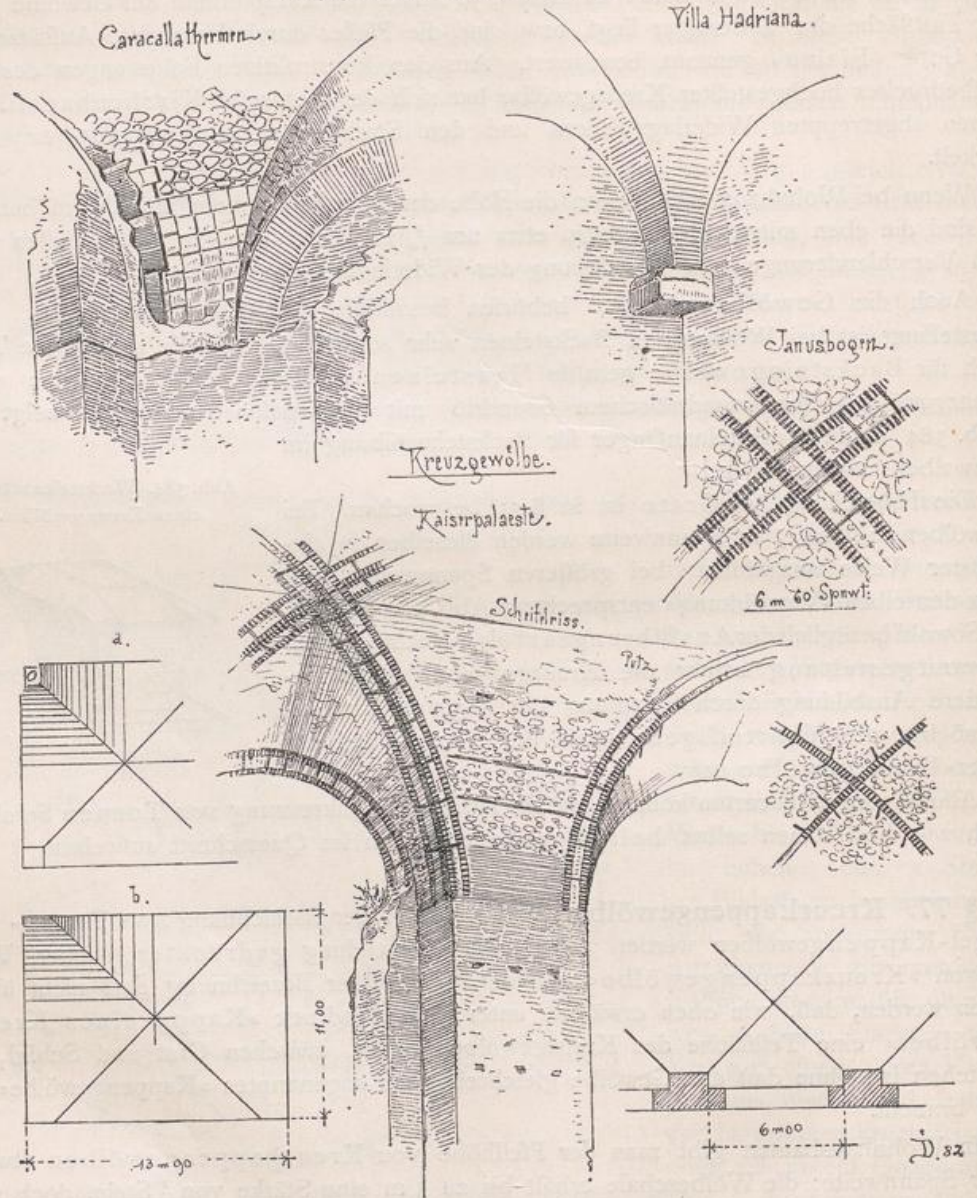
§ 77. Kreuzkappengewölbe. Entsprechend der Bezeichnung von Tonnen- und Kugel-Kappengewölben werden auch unter Anwendung gedrückter (flacher) Wölbungen »Kreuzkappengewölbe« gebildet. Bei dieser Bezeichnung darf nicht übersehen werden, daß, wie oben erwähnt, unter dem Ausdruck »Kappe eines Kreuzgewölbes« eine Teilfläche des Kreuzgewölbes selbst, zwischen Grat und Schild, zu verstehen ist, ohne daß das Gewölbe gleichzeitig ein sogenanntes »Kappengewölbe« zu sein braucht.

In Wohnhausbauten gibt man der Pfeilhöhe von Kreuzkappengewölben etwa $\frac{1}{7}$ ihrer Spannweite; die Wölbeschale erhält bis zu 5 m eine Stärke von $\frac{1}{2}$ Stein, doch sind bei Spannweiten über $2\frac{1}{2}$ m Gratverstärkungen anzuordnen. Die Widerlager erhalten eine Stärke von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ der diagonalen Spannweite.

§ 78. Besondere Arten von Kreuzgewölben. Kreuzgewölbe aus der römischen Kaiserzeit zeigen entsprechend den Abbildungen 385 bis 392 die Ausbildung der Diagonalgrate in Guß- oder Backsteinausführung; in der ersten Zeit des Mittelalters würden dieselben wie soeben in § 76 besprochen ausgeführt.

a) **Rippen-Kreuzgewölbe.** In der zweiten Hälfte des Mittelalters ging man dazu über, die Grate sowohl für Ausführung der Gewölbe in Bruchstein als in Backstein in selbständiger Weise in Hausteinen herzustellen, so daß dieselben zu Gratgurtbogen wurden, die dem Wölbungsmäuer der Kappen als Widerlager dienten

Abb. 385 bis 392. Römische Kreuzgewölbe.



(s. Abb. 288 bis 291 u. 402). Hierdurch erhielt das Kreuzgewölbe in konstruktiver und formaler Beziehung jene Bewegungsfreiheit, die zur Vielseitigkeit des »Gotischen Baustiles« geführt hat. Die Abb. 393 zeigt eine gotische Rippen-Kreuzgewölbe-Anlage.

b) **Mehrteilige Kreuzgewölbe.** Unter Einfügung von weiteren Rippen (Nebenrippen) werden des öftern die Kappen vom Scheitel aus geteilt, wodurch die Zahl der Kappenfelder auf sechs, acht usw. erhöht wird; für jedes weitere Kappenfeld ist dann

Abb. 393. Rippen-Kreuzgewölbe-Anlage.

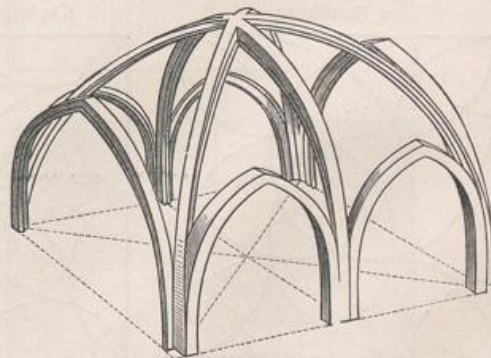


auch ein weiterer Schildbogen über der Kämpferhöhe anzuordnen. Solche Gliederung spielte im gotischen Baustil eine große Rolle und führte zu wirkungsvollen Gewölbeformen, bei denen die Nebenrippen schwächer gehalten waren als die Hauptrippen.

In Abb. 394 ist ein Sechsteiliges Kreuzgewölbe im Schema dargestellt.

c) Stern- und Netz-Gewölbe. Erhalten die Kreuzgewölbe außer den genannten Haupt- und Nebenrippen auch noch Querrippen, die normal oder schräg zu jenen liegen, so entsteht irgend ein Sterngewölbe; Abb. 395³⁰⁾ zeigt ein Beispiel hierfür. In der Folge ging man dazu über, sämtliche

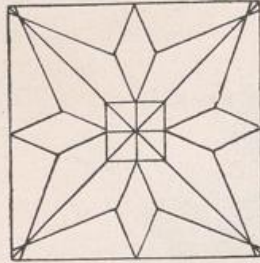
Abb. 394. Sechsteiliges Kreuzgewölbe.



³⁰⁾ Die Abb. 395 bis 401 sind entnommen: G. DEHIO und G. VON BEZOLD, »Die kirchliche Baukunst des Abendlandes«, II. Bd., Stuttgart 1901.

Rippen gleich stark zu halten und nachdem man sich an diesen Zustand gewöhnt hatte, ließ man die Diagonalrippen überhaupt fallen und gestaltete das Gewölbe etwa nach Beispiel Abb. 396 u. 397. In späterer Zeit verzichtete man

Abb. 395. Sterngewölbe.



auch auf die Gurtruppen und erhielt Gewölbe nach Abb. 398 u. 399, und schließlich wurden die Rippen in doppelter Krümmung ausgeführt (Abb. 400 u. 401). Die drei letztgenannten Abbildungen sind Beispiele von Netzgewölben.

Zunächst wurden die einzelnen Kappenfelder je besonders mit Busung ausgeführt, wie aus der Abb. 398 hervorgeht; nachmals aber wurde diese Ausführungsart aufgegeben. Man legte dann die einzelnen Kappenfelder in eine gemeinsame Wölbungsfläche und kehrte damit zum uralten Tonnengewölbe zurück, dem nunmehr ein Rippenwerk eingegliedert war, das die Last der Tonne auf einzelne Punkte verteilte.

Abb. 396 u. 397. Sterngewölbe der St. Kastorkirche in Koblenz.

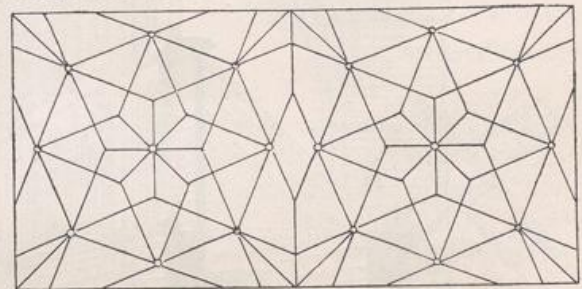
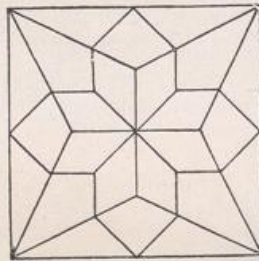


Abb. 398. Querschnitt.

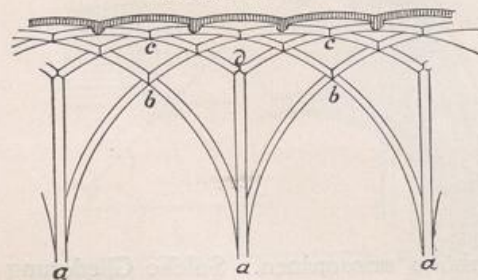


Abb. 398 u. 399. Netzgewölbe.

Abb. 399. Grundriß.

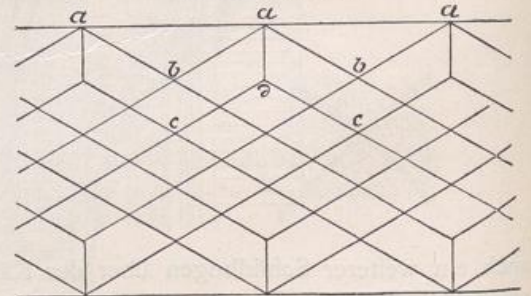


Abb. 400. Netzgewölbe im Münster zu Straßburg.

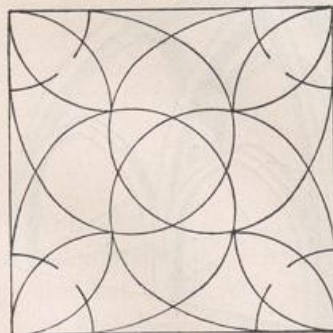
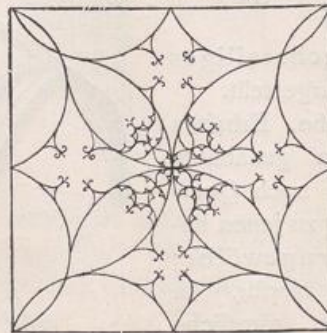


Abb. 401. Netzgewölbe in der Kapitalkirche in Köln.



Die Abb. 402 zeigt ein Netzgewölbe aus spätgotischer Zeit; in den Abb. 403 bis 406³²⁾ ist die Verbandart des Mauerwerks der einzelnen Gewölbekappen ersichtlich.

d) Fächer- oder Trichter-Gewölbe und hängende Gewölbe. Von weiteren betreffenden besonderen Gewölbearten seien hier noch

³²⁾ Die Abb. 403 bis 406 sind hergestellt nach: VIOLETT-LE-DUC, »Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI. au XVI. siècle«, Paris 1889.

Abb. 402. Fahrensaal der Burg Eltz.

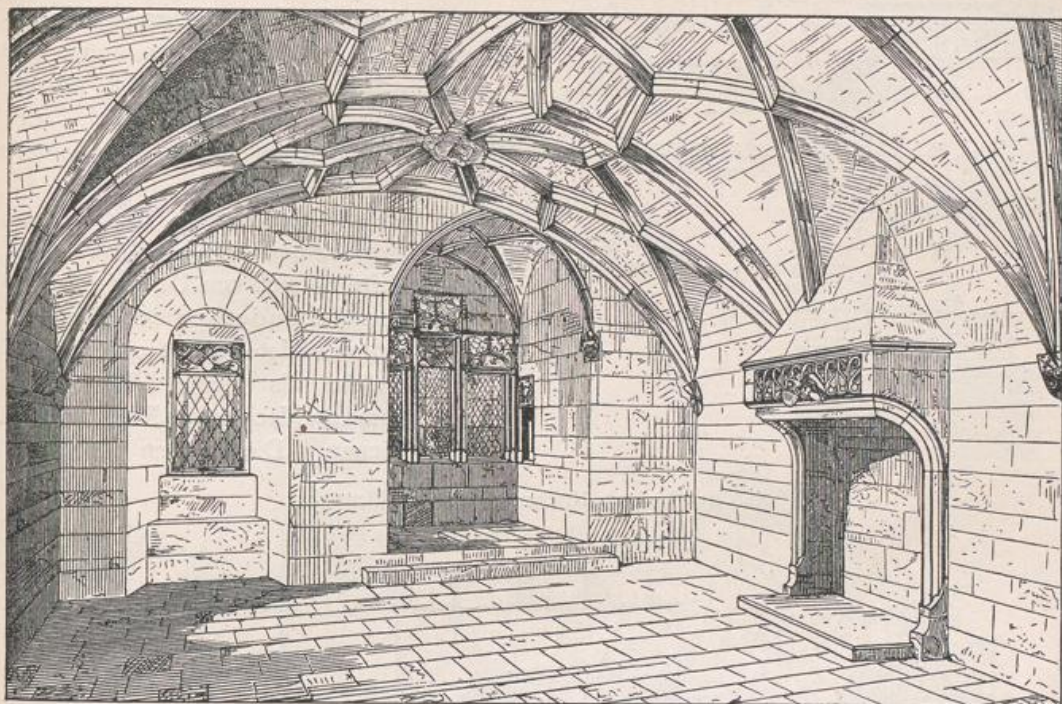
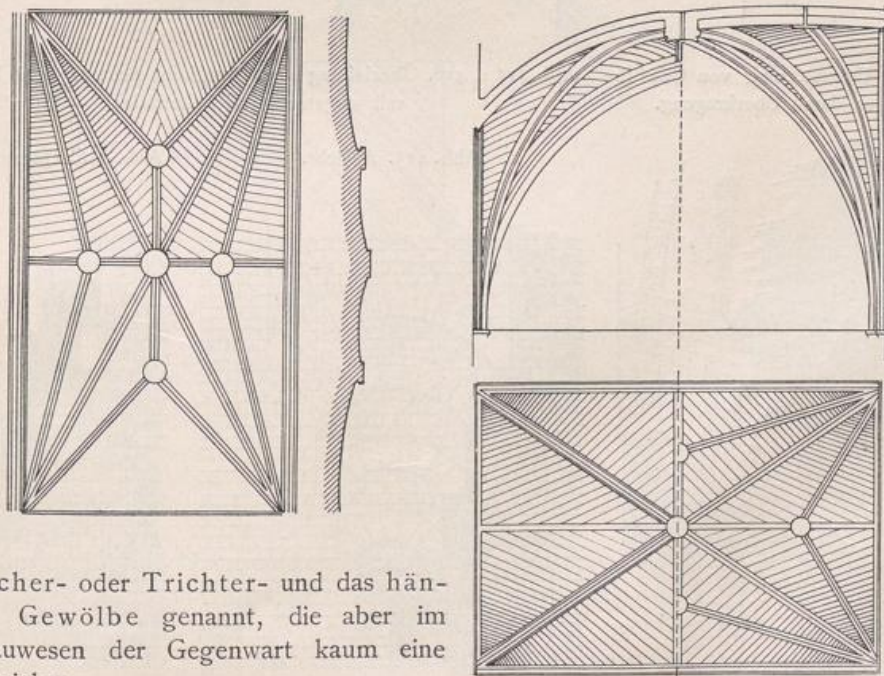


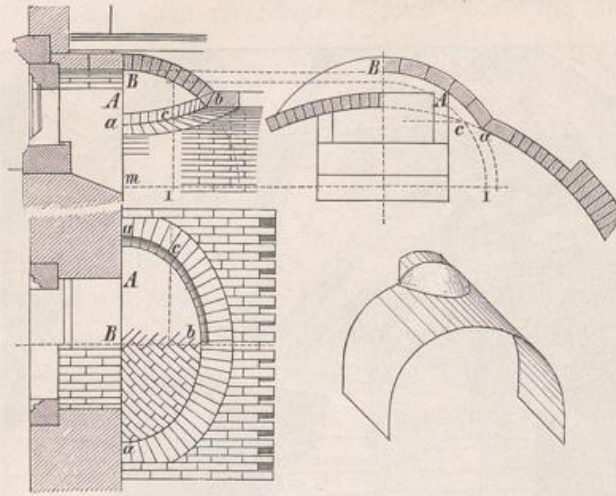
Abb. 403 bis 406. Verbandart des Mauerwerks der Gewölbekappen von Netzgewölben.



das Fächer- oder Trichter- und das hängende Gewölbe genannt, die aber im Hochbauwesen der Gegenwart kaum eine Rolle spielen.

Esselborn, Hochbau. I. Bd.

Abb. 407 bis 410. Kugelstichkappen.



7. Teilgewölbe.

§ 79. Verschiedene Arten von Teilgewölben. Zu den Teilgewölben gehören außer den schon in den §§ 59 u. 60 erwähnten Stichkappen, auch Chor- und Nischengewölbe, Pendentifs, sowie Trompen.

a) **Stichkappen.** Bei den bisher betrachteten Gewölben handelte es sich um Überdeckung von Gebäuderäumen; eine Ausnahme bildeten die Stichkappen, welche als kleine Hilfsgewölbe zum Überdecken von Raumteilen dienen. Die in den Abb. 307

Abb. 411 bis 413. Nischengewölbe aus Haustein.

Nischengewölbe in Gerasa.

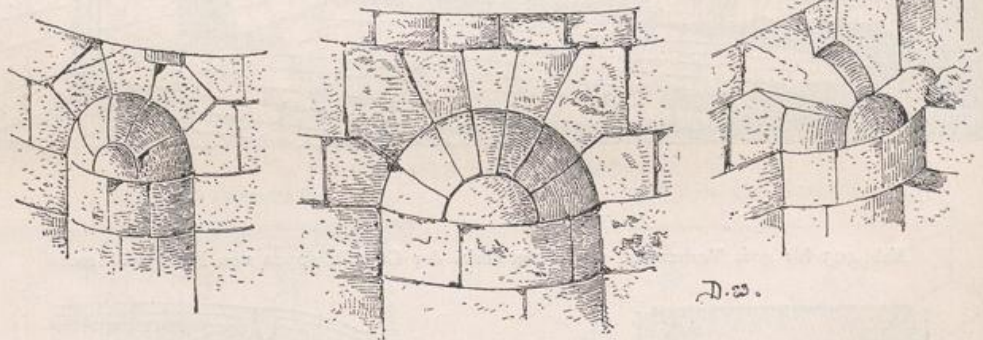


Abb. 414. Unterstützung von Gewölbewangen durch Überkragung.

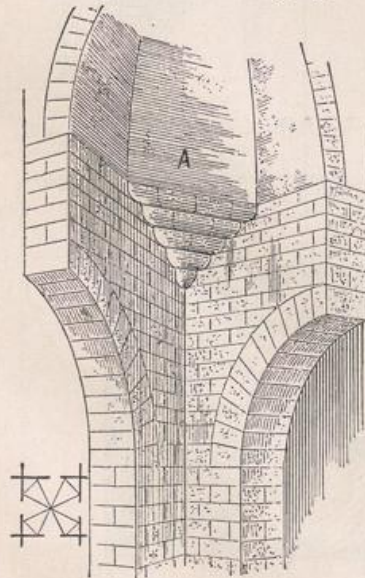
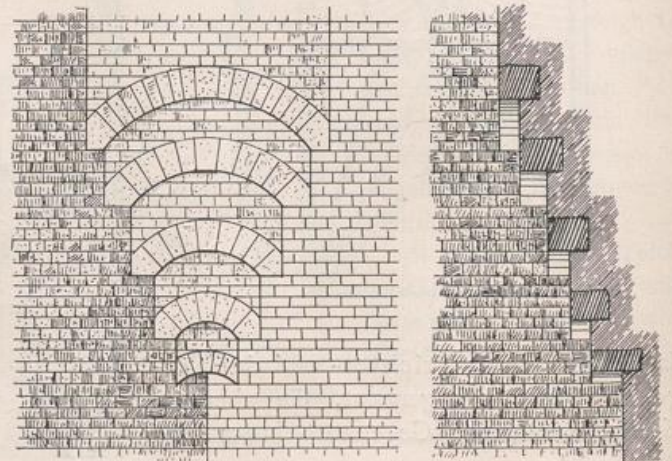


Abb. 415 u. 416. Überleitung vom Viereck ins Achteck durch Bogen mit wagerechter Scheitellinie.

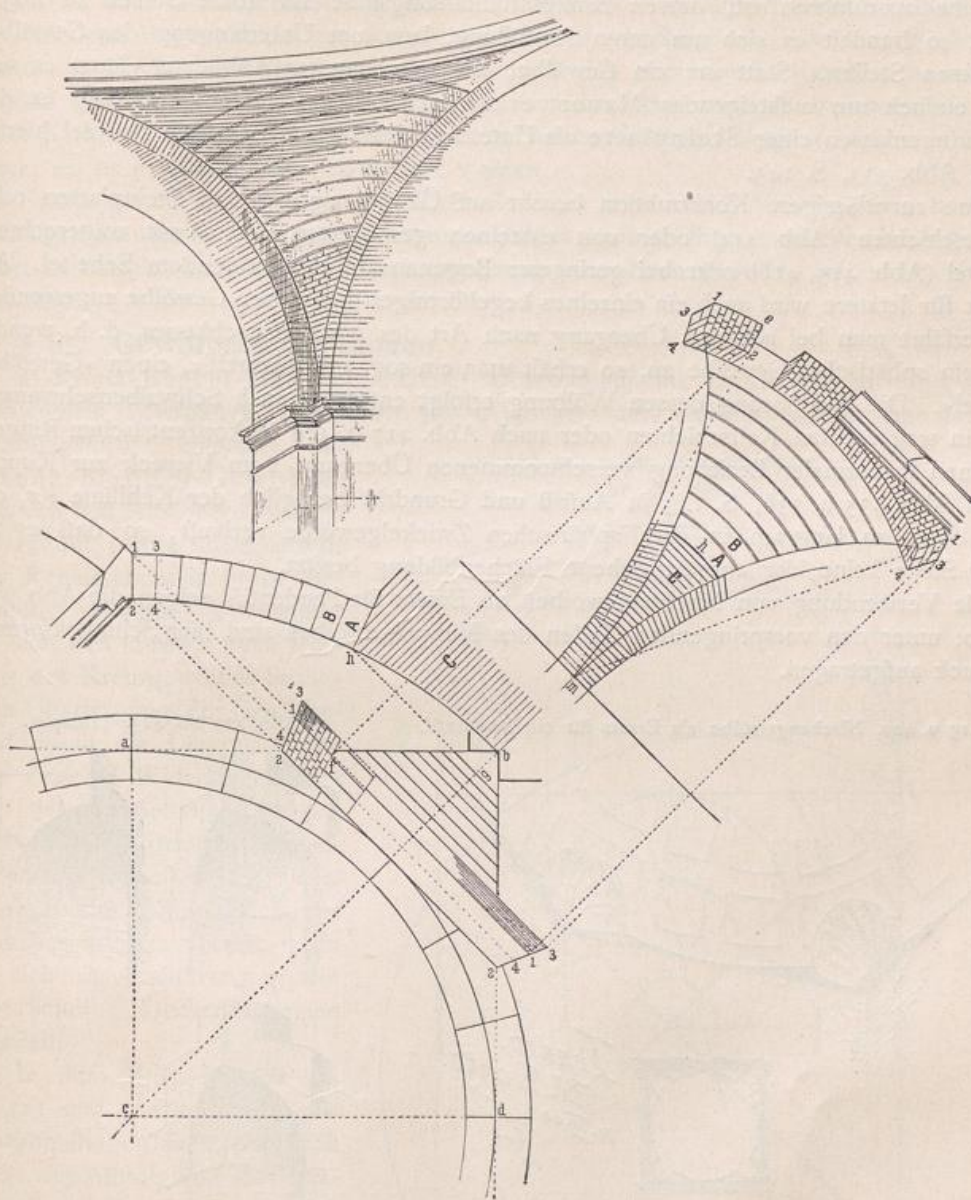
Abb. 415. Ansicht.

Abb. 416. Querschnitt.



bis 309, S. 135, und 261 bis 265, S. 125, dargestellten Stüchappen sind mit Zylinder- und mit Kegelflächen gewölbt; wie die Abb. 407 bis 410 zeigen, läßt sich in solchem Fall ebensowohl die Kugelwölbung anwenden. Da auch diese »Kugelstüchappen« oder allgemein »sphärische Stüchappen« auf anderen Gewölben aufsitzen und diese belasten, so ist es naheliegend, sie so leicht wie möglich herzustellen.

Abb. 417 u. 418. Gewölbezwickel aus konzentrischen Ringen.



b) Die Chor- und Nischengewölbe gehören ebenfalls der Klasse der sphärischen Gewölbe an und stellen im allgemeinen den vierten Teil der Schale eines geschlossenen sphärischen Körpers dar. Die Chorgewölbe werden über Räumen, die Nischengewölbe dagegen als oberer Abschluß von Mauernischen ausgeführt. Ihre Herstellung erfolgt nach den Gesetzen der sphärischen Wölbung.

Bei Nischengewölben wird es sich besonders oft um Verwendung von Haustein als Baumaterial handeln; hier kann der Steinschnitt beispielsweise nach den Abb. 411 bis 413 erfolgen. Überdeckt man Nischen mit Kegel- oder Tonnenwölbungen, so erhält man zwar auch »Gewölbe über Nischen« nicht aber, was man mit dem Ausdrucke »Nischengewölbe« bezeichnet.

c) **Pendentif.** Wenn, wie bei Abb. 327, S. 141 besprochen, über einen Raum ein Gewölbe auszuführen ist, dessen Kämpferumfassungslinie auf hohle Stellen zu liegen käme, so handelt es sich um deren Ausfüllung, bzw. um Unterfangung des Gewölbes an diesen Stellen. Statt um ein Gewölbe, wie in genannter Abbildung, kann es sich auch einfach um aufsteigendes Mauerwerk handeln. Die einfachste Lösung ist das Vorspringenlassen einer Steinplatte als Unterlage der oberen Last; ein Beispiel hierfür bietet Abb. 333, S. 143.

Eine zuverlässigere Konstruktion beruht auf Überkragung von Steinplatten oder Mauerschichten (Abb. 414) oder von einzelnen gemauerten Bogen mit wagerechtem Scheitel (Abb. 415, 416) oder bei geringerer Bogenanzahl mit steigendem Scheitel. Als Ersatz für letztere wird auch ein einzelnes kegelförmiges (konisches) Gewölbe angewendet.

Verfährt man bei solchem Übergang nach Art des Nischenabschlusses, d. h. wendet man ein sphärisches Gewölbe an, so erhält man ein sog. »Pendentif«, einen »Gewölbezwickel«. Die Ausführung dessen Wölbung erfolgt entweder nach Schwalbenschwanzart oder in wagerechten Keilschichten oder nach Abb. 417 u. 418 in konzentrischen Ringen.

Einen in formaler Beziehung verschwommenen Übergang vom Viereck zur Kuppel zeigen Abb. 335 u. 336, S. 143 in Aufriß und Grundriß bezüglich der Kehllinie yx , die nach oben zu langsam in dem sphärischen Zwickelgewölbe verläuft, so daß es an dieser Stelle keine klar ausgesprochene Flächenbildung besitzt.

Die Verwendung von Nischengewölben als Ersatz für Pendentifs zeigen die Abb. 419 u. 420; unter den vorspringenden Teilen des Kuppelgewölbes sind hier Schmuckformen in Stuck aufgetragen.

Abb. 419 u. 420. Nischengewölbe als Ersatz für ein Pendentif.

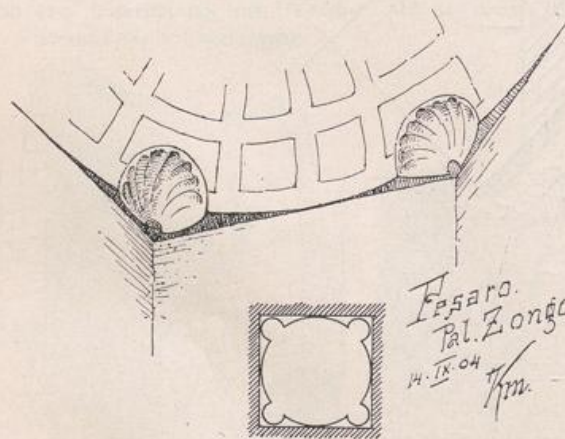
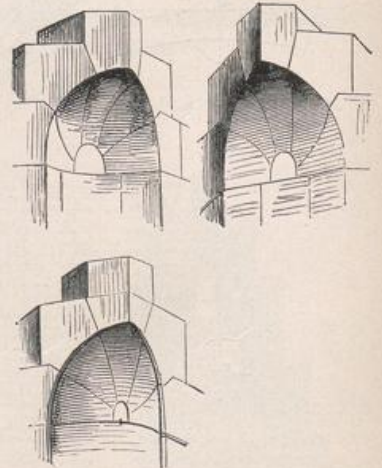


Abb. 421 bis 423. Trompen.



d) **Trompe.** Handelt es sich um einen Übergang von unten nach oben zu in ein Vieleck von geringerer Seitenzahl, also um Unterfangung einer vorspringenden Ecke, so kann in einfacher Weise hier abermals eine Platte, ohne oder mit Unterstützung durch eine Konsole, oder Überkragung angewendet werden; man kann aber auch hier ein Teilgewölbe anwenden, das man dann mit dem Ausdrucke »Trompe«

(»vorgekragte Wölbung«) bezeichnet. Die abgeschrägte Ecke kann in ihrer Schräge eine gerade oder beliebig gebogene Linie aufweisen (Abb. 421 bis 423).

8. Zusammengesetzte Gewölbe.

§ 80. Allgemeines. Gewölbeteile finden nicht nur für selbständige Architekturglieder Verwendung, sondern sie werden auch vielfach mit anderen Gewölbeteilen verbunden, um nach solcher »Zusammensetzung« dann vollständige Deckengewölbe über Gebäuderäumen zu bilden. Diese lassen bezüglich ihrer Formgestaltung verschiedene Möglichkeiten zu; auch ist auf ihre Ausbildung und Erscheinung der Umstand von Einfluß, ob dieselben beim Anschluß der einzelnen Teilgewölbe aneinander, direkte Übergänge unter Anwendung von, in ihrem Mauerwerk ausgeführten Graten, bzw. Kehlen, aufweisen oder ob an diesen Stellen Gurten (Rippen), sei es in Mauerwerk, sei es in Hausteinen, angeordnet werden.

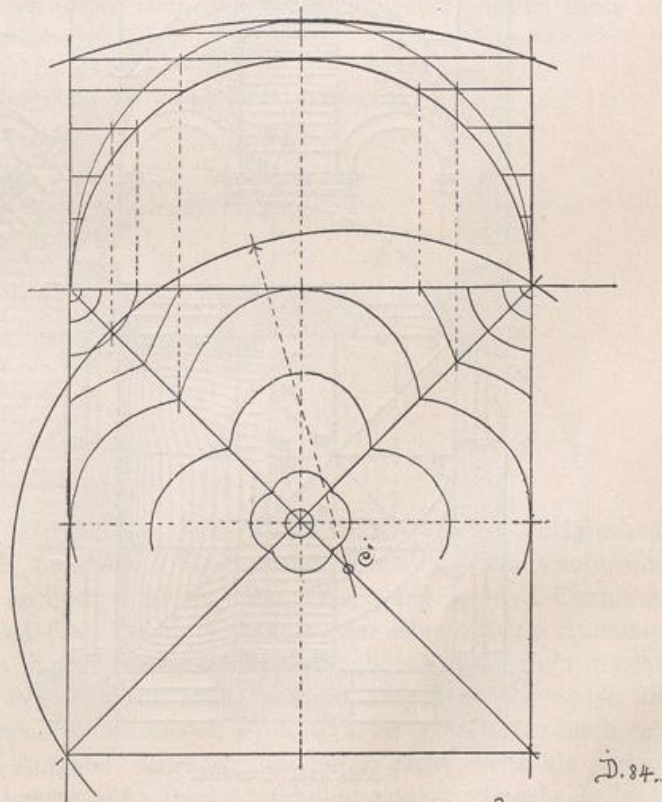
Ferner lassen sich zusammengesetzte Gewölbe auch durch Vereinigung von vollständigen Raumbdeckungs wölbungen bilden. Ein solches gemischtes Raumgewölbe entsteht beispielsweise durch die Verschmelzung eines Kreuzgewölbes mit einem Kuppelgewölbe.

§ 81. Gewölbeverbindungen.

a) **Kreuz-Kuppel-Gewölbe.** Durch Übertragung ins Große des in § 79, c besprochenen Übergangs yx in Abb. 335 u. 336 von der Vieleckskehle in eine Kuppelwölbungsform entsteht das Kreuz-Kuppel-Gewölbe, das von den Altrömern vielfach ausgeführt wurde und später in der Renaissancezeit große Bedeutung erlangte. Es vereinigt in sich den konstruktiven Vorzug des Kreuzgewölbes bezüglich Übertragung der Gewölbelast durch die Diagonalbogen auf einzelne Widerlagerpunkte mit der Darbietung einer ungebrochenen großen, stetigen Fläche in ihrem oberen Teile. Eine solche ruhige Fläche ist von besonderem Nutzen, wenn es sich um Ausführung großer figürlicher Deckenmalereien handelt.

In dem Beispiel Abb. 424 u. 425 sind sowohl Schild- als Diagonalbogen Halbkreise, doch liegt der Mittelpunkt des Diagonalbogens unterhalb der Kämpferfläche (Punkt C' in Abb. 425). »Die Horizontalschnitte zeigen deutlich das Verlaufen der anfangs scharfen Gratecken nach dem Scheitel zu.«

Abb. 424 u. 425. Kreuz-Kuppel-Gewölbe.
Abb. 424. Querschnitt.

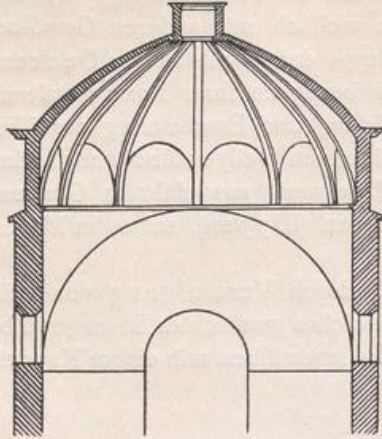


Kreuzgewölbe dessen Diagonalbogen der Teil einer Kreislinie.

Abb. 425. Grundriß.

b) **Schirmgewölbe.** Wird die Schale eines sphärischen Raumgewölbes vom Scheitel aus strahlenförmig in einzelne Kappen zerlegt, deren Zusammenstöße (Grate oder Rippen) wohl in der inneren Gewölbe-Leibungsfläche liegen, deren eigene Wölbung aber je für sich mit »Busung« erfolgt, so entsteht ein Schirmgewölbe.

Abb. 426. Schirmgewölbe.



Die Abb. 426 zeigt eine solche Ausführung bei einem Gewölbe über quadratischen Grundriß nach Schema III (Hängekuppel). Die Busung der einzelnen Schirmgewölbchen ist hier rundbogig, doch kann dieselbe auch nach anderen Bogenformen erfolgen.

c) **Beliebige Gewölbe-Zusammenstellungen.** Eine weitere Art von Gestaltung zusammengesetzter Gewölbe beruht auf Teilung eines Raumes durch gemauerte oder in Werksteinen hergestellten Gurtbogen (Rippen) in völlig freier Weise, nebst Ausfüllung des Raumes zwischen diesen mit Gewölben in Tonnen-, Kegel- oder sphärischen Formen. Wo die Raum-Höhenabmessung die Anlage auch vollerer

Abb. 427 bis 429. Vereinigung von Teilen eines Klostergewölbes mit Kugelkappen.

Abb. 427. Querschnitt.

Abb. 429. Diagonalschnitt.

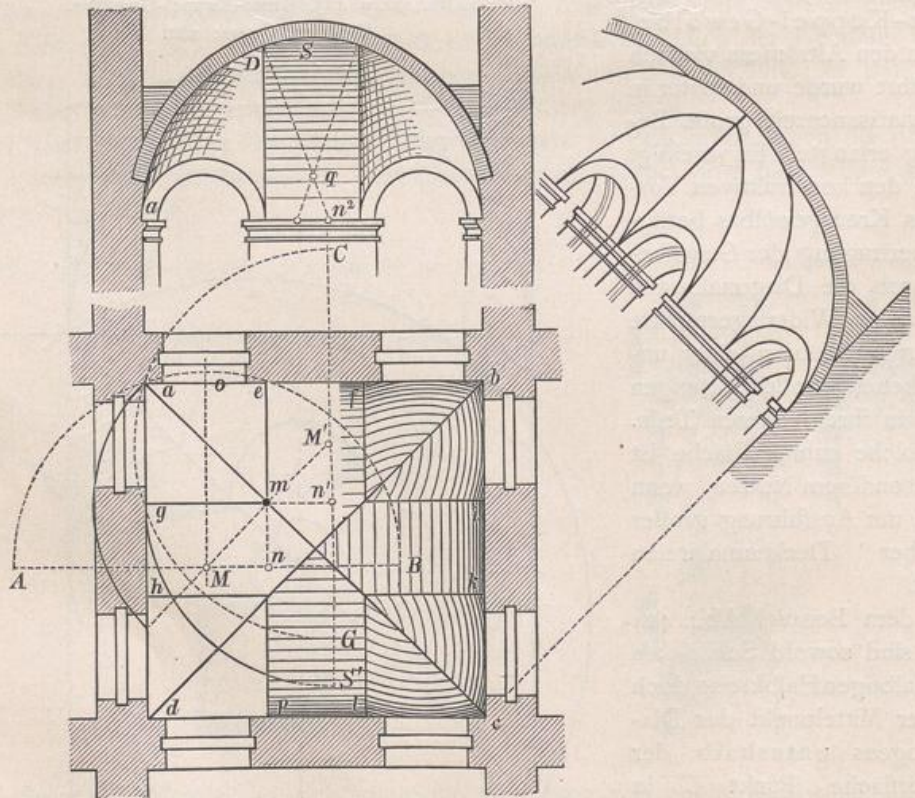


Abb. 428. Grundriß.

Teilgewölbe gestattet, wird die Mannigfaltigkeit der verschiedenen Wölbungsweisen und -Formen eine größere sein. Es ist ohne weitere Ausführung einleuchtend, daß auf

solcher Grundlage eine sehr große Anzahl von »zusammengesetzten Gewölben« ausgedacht werden kann, wie beispielsweise die Vereinigung von Teilen eines Klostergewölbes mit Kugelkappen (Abb. 427 bis 429).

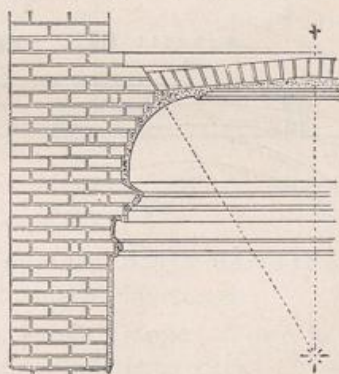
d) **Spiegelgewölbe.** Wir setzen die Betrachtung dieser Deckenform an den Schluß unserer Gewölbeabhandlung, weil sie in ihrer modernen Ausgestaltung den Übergang zu den Flachdecken bildet, die im III. Kapitel: »Holzkonstruktionen« besonders behandelt sind.

Das Spiegelgewölbe ist zusammengesetzt aus Klostergewölbe-Teilen, den »Vouten«, ohne oder mit Stichkappen, und, darüber, einem scheinrechten Gewölbe oder einem überaus flachen Kappengewölbe, dem »Spiegel«. Es ist besonders geeignet für Anlage von Stuckschmuck und Malereien und deshalb sowohl im Profanbau wie im Kirchenbau überaus oft verwendet worden.

Die Vouten, die zur Verstärkung »Gurtbogen« erhalten können, ruhen auf vorgekragten Widerlagsmauern; sie sind in dicker Wölbeschale und mit starker Hintermauerung herzustellen. Bei einfacher Ausführung geht das Voutengewölbe direkt in das Spiegelgewölbe über; empfehlenswerter aber ist es, an der Übergangsstelle einen besonderen »Kranz« herzustellen. Dieser wurde früher gemauert, neuerdings pflegt man ihn in eisernen I-Trägern herzustellen. Sobald der Kranz die Voutenanlagen, von der er getragen wird, vollständig verspannt, kann er auch als Lichtkranz zur Aufnahme einer Oberlichtkonstruktion statt eines Gewölbes dienen.

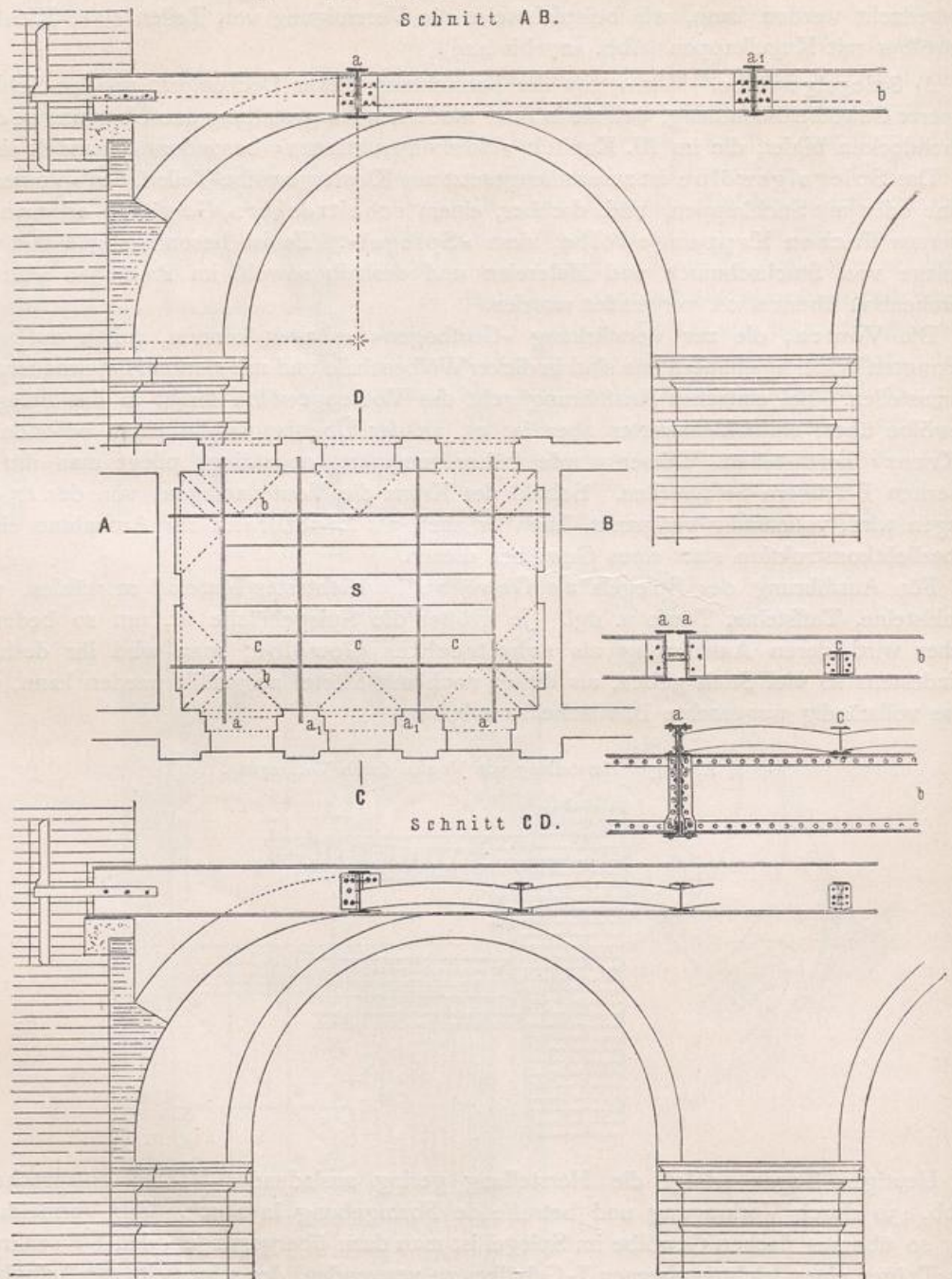
Für Ausführung des Spiegels als Gewölbe ist leichtestes Material zu wählen, wie Hohlsteine, Tuffsteine, Töpfe u. dgl. Je größer die Spiegelfläche ist, um so bedenklicher wird deren Ausführung als scheinrechtes Gewölbe; man wird ihr deshalb mindestens so viel Stich geben, als dieser noch mit Mörtel ausgefüllt werden kann, um eine vollständig wagerechte Bildfläche zu erhalten.

Abb. 430. Herstellung von Vouten durch Vorkragung.



Heutigen Tages erfolgt die Herstellung gering ausladender Vouten entsprechend Abb. 430 durch Vorkragung und betreffende Formgebung in Stuck. Zur Vermeidung der so überaus flachen Gewölbe im Spiegel ist man dazu übergegangen, den I-Eisenkranz als Träger eines leichten eisernen I-Gebälkes zu verwenden, der seinerseits zur Aufnahme von flachen Wölbungen in den Zwischenfeldern dient. Nachdem dieser Schritt getan war, ging man dazu über, für den I-Kranz etwas längere Träger zu verwenden und diese unmittelbar auf die Raummauern aufzulegen (Abb. 431 bis 435). Hierdurch sind die Vouten ihrer konstruktiven Aufgabe entledigt; sie treten nicht mehr als Träger, sondern nur noch als Deckenschmuck auf. Ihre Ausführung erfolgt nunmehr in leichtester Weise in Monier-, Rabitz- oder dergleichen Konstruktionen, die ebenso anwendbar sind, wenn die Vouten den wirkungsvollen Schmuck der Stichkappen erhalten.

Abb. 431 bis 435. Spiegelgewölbe mit Stützwerk aus Eisen.



V. Treppen in Haustein.

§ 82. Allgemeines. Dem Menschen gestattet sein Körper ein bequemes Fortbewegen auf wagerechter Fläche, wobei die Wirbelsäule möglichst in lotrechter Lage verbleibt, während das Oberbein, das Unterbein und der Fuß, je in einem Gelenke an ihrem oberen Ende, bewegt werden. Handelt es sich um Begehung schräg-