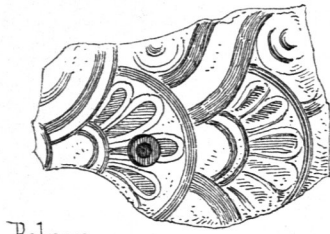
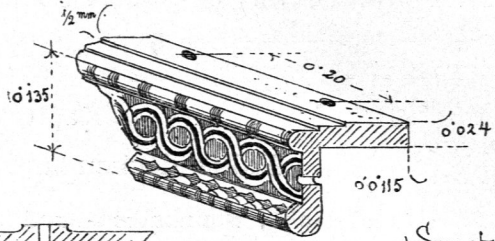


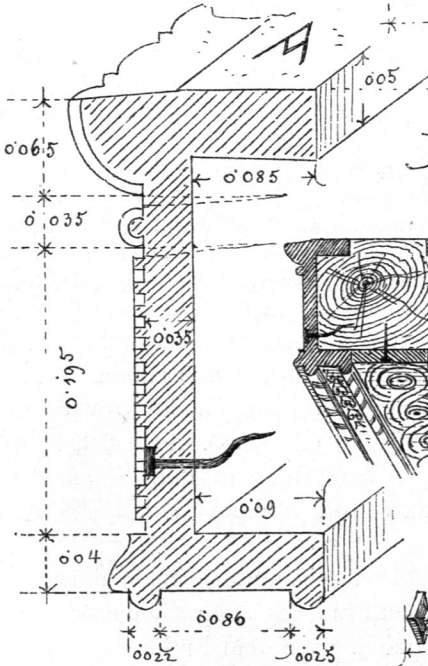
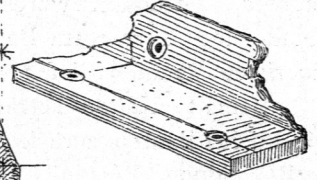
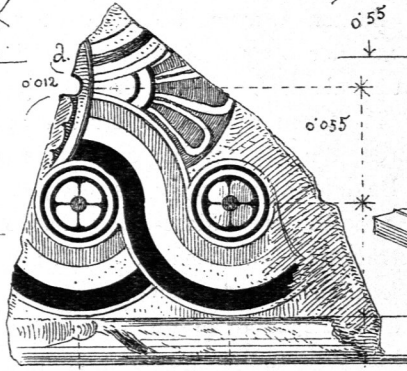
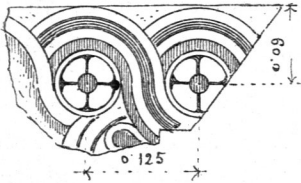
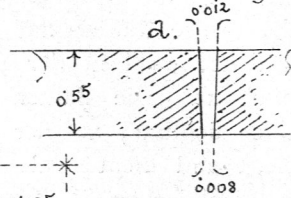
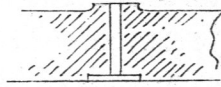
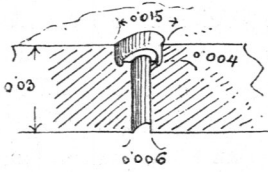
Fig. 133.



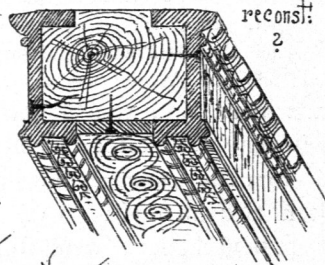
Palermo.



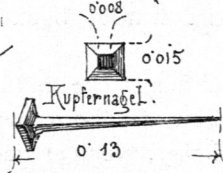
Syracus.



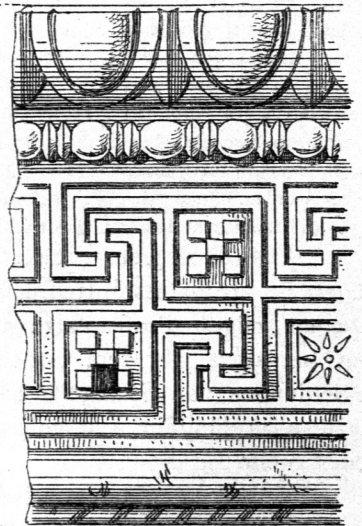
Metapont.



reconst. 2



Kupfernagel.



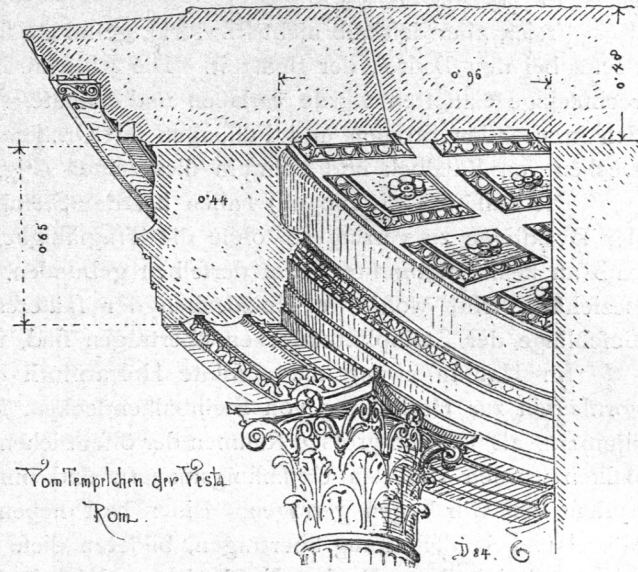
D. 34.

Bruchstücke von bemalten Terracotten mit Befestigungsvorrichtungen

Fig. 134.

Derartig caffettirte Platten bedecken heute noch den Umgang am sog. Vesta-Tempel in Tivoli; sie wurden auch beim kleinen Tempelchen der Vestalinnen am Fusse des Palatin in Rom gefunden.

Während in Tivoli in besserer Weise die Caffetten-Platten aus schmalen Stücken bestehen, die einerseits auf der Cella-Mauer, andererseits auf dem Säulengebälke ihr Auflager haben und radial, ohne Rücksicht auf die Caffetten-Eintheilung, gestossen sind, waren sie am Tempelchen in Rom, bei dem allerdings nur 96 cm breiten Umgang, kreisförmig in schräger Fläche sich berührend, gestossen, d. h. sie bestanden der Tiefe nach aus zwei Stücken, von denen das eine auf dem Gebälke, das andere auf der Cella-Mauer ruhte (Fig. 134).

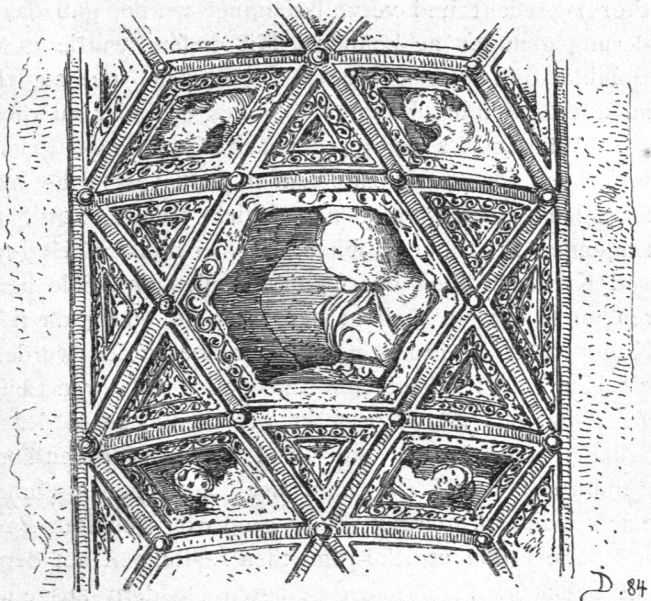


In beiden Beispielen ist die ursprüngliche Holz-Caffettendecke im Steine noch durchklingend. Die Zerlegung der Fläche in tragende Rippen und Verspannungsfüllungen ist übrigens auch bei Steinplatten eine constructiv rationelle Mafsnahme,

die an schweren, weit ausladenden Gefimshängeplatten und Balconplatten bis auf unsere Zeit als richtig anerkannt und geübt wird. Das Bestreben, tragende und füllende oder verspannende Theile bei jeder raumbegrenzenden Fläche, sei sie Decke oder Wand, zu schaffen, ist heute bei jedem Material, aus technischen und ökonomischen Gründen, zum System geworden.

Beim gestemmtten Wandgetäfel, bei der gestemmtten Thür, der horizontalen Holzdecke, der mit Strebepfeilern verstärkten Steinwand, bei Gewölben und Metallgüssen — überall treffen wir dasselbe Princip, das sich formal ähnlich äußern kann, ohne

Fig. 135.



Cassettirte Steinplattendecke des Pristyls am Tempel in Ba'albek

dafs wir deshalb directe Uebertragungen der Formen von in der Technik zeitlich früher verwendeten Stoffen auf jüngere anzunehmen haben.

Freier, aber deshalb nicht stilwidrig, gestaltete sich die formale Seite der Platten- decke bei den Bauten der Spätzeit. Die schlichte Eintheilung in quadratische oder rechteckige Cassetten wurde verlassen und machte einem bewegten Linienpiel von sich kreuzenden Streifen und Füllungen mit Ornamenten und Figuren Platz, wie die Decken von Ba'albek und Palmyra dies zeigen (Fig. 135).

Die Cassetten (Füllungen) haben bei den Steinplatten den Zweck, das Gewicht der Decksteine zu verringern, ohne die Tragfähigkeit zu schwächen; man ist deshalb an keine bestimmte Form derselben gebunden. Ein Vorwurf in stiltechnischer Beziehung trifft wohl die Holzdecken der späteren Jahrhunderte, auf welche die Geschlinge der Steinplattendecken übertragen sind, nicht aber diese selbst.

Im Haurân zwang die absolute Holzarmuth des Landes die Bauenden von vornherein zur Herstellung von Steinbalkendecken, sowohl bei den einfachen Wohnzimmern, als bei den großen Räumen der öffentlichen Bauten. Die nicht sehr langen Balken wurden von den Umfassungsmauern und innerhalb der Räume von einem System von Gurtbogen getragen. Einer hart neben den anderen gelegt und mit Mörtel und Sandfüllung übertragen, bildeten diese einfachen, im Querschnitt rechteckigen Steinbalken: Decke, Fußboden und Dach des Hauses.

b) Gewölbe.

Steinbalken und Steinplatten ermöglichten wohl eine absolut monumentale Decke; zur Ueberspannung größerer Räume, namentlich wenn Freistützen thunlichst vermieden werden sollten, reichten sie aber nicht aus. Das in Asien und Aegypten schon früh in Uebung gewesene Wölben, das auch in Griechenland bei einigen Grabkammern, Thoren und Gängen oder an Nützlichkeitsbauten in Alexandrinischer Zeit auftritt und von den Etruskern im Utilitäts- und Schönbau (Canäle und Stadthore) gepflegt und vervollkommenet wurde, gab das Mittel ab, auch dieser Anforderung genügen zu können. Mit diesem wurde es möglich, Decken von gleicher Solidität und Monumentalität herzustellen und zugleich die Umfassungsmauern des zu überdeckenden Raumes weit aus einander zu rücken.

Während es der griechischen Kunst kaum gelang, einen geschlossenen, groß wirkenden Innenraum zu schaffen (man vergleiche nur alle Tempelinneren mit den schmalen Schiffen und den ängstlich, stockwerkartig auf einander gestellten, decken- tragenden Freistützen), sehen wir hier mit der Zeit gewaltige, mit Kuppeln, Tonnen- und Kreuzgewölben überspannte Hallen und Säle herausreifen, die in ihrer imponierenden Großräumigkeit in der Baukunst einzig da stehen und an Großartigkeit und Kühnheit der Leistung noch nicht übertroffen wurden; nur die byzantinische und die Kunst der italienischen Renaissance mit ihren Leistungen von *Agia Sofia*, *Maria dei Fiori* und *St. Peter* steht der römischen in der Technik des Wölbens und im Schaffen mächtig und ergreifend wirkender Innenräume ebenbürtig zur Seite. Die Einführung des Mörtels und der künstlichen, gebrannten Steine in die Baukunst machte die Ausführung dieser großartig gefassten Baugedanken möglich.

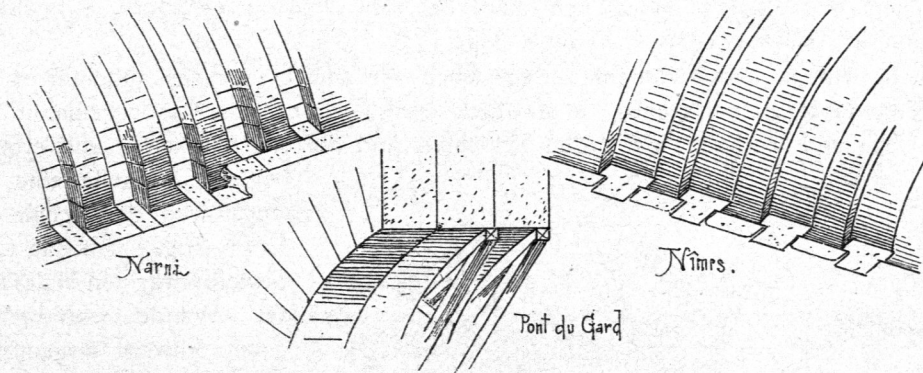
Die ersten etrusko-römischen Leistungen auf dem Gebiete des Wölbens wurden mit behauenen, mörtellos gefügten Quadern ausgeführt, die sich in bescheidenen Spannweiten bewegten. Diese Technik wurde nie ganz verlassen und bei gewissen Gattungen von Bauten bis in die späteste Zeit beibehalten. Die Art des Wölbens

hing vom gerade zu Gebote stehenden Baumaterialie der einen oder anderen Provinz, von dessen Qualität und mehr oder minder kostspieligen Beschaffung, ferner vom Holzreichtum des Ortes, wo das Bauwerk errichtet werden sollte, ab. War letzterer vorhanden oder konnte Gerütholz billig beschafft werden, so war das Wölben auf Schalung das leichtere und empfehlenswerthere und dann das mit Backsteinen und Mörtel oder Gufsmauerwerk das rascheste und billigste.

Gewölbe-Constructions in Nîmes, Narni, Palmyra, der *Pont du Gard* etc. verathen in ihrer Ausführung oder verdanken ihre eigenthümliche Art wohl dem Umfande, das man mit möglichst wenig Gerüst-Material auszukommen gezwungen war. Beim *Pont du Gard*, der auf seinen Bogen Trinkwasser nach Nîmes leitete und aus Augusteischer Zeit stammen soll, ist sicher aus genanntem Grunde die verbandmäßige Fügung der Bogensteine nach der Tiefe unterlassen worden. Seine Gewölbe bestehen aus an einander gereihten, unabhängig von einander aufgeführten Quaderbogen. Es brauchte jeweilig nur einer dieser Bogen eingerüstet zu werden und nicht das ganze Tonnengewölbe. War ein Bogen hergestellt, so wurde er ausgefacht und der zweite auf dem gleichen, nun vorgerückten Gerüst-Material begonnen u. f. f.

Von den aus Quadern hergestellten Tonnengewölben in Nîmes und Narni ist das eine in tragende Bogenrippen und zwischengespannte Füllplatten zerlegt; das andere zeigt eine verbandmäßige Schichtung der Rippensteine mit den Füllquadern. In einer Schicht binden die Rippenquader durch die ganze Dicke des Gewölbes; in der darüber liegenden sind sie nur vor die eigentliche Gewölbefchale vorgefetzt (Fig. 136), und die Füllungsquader gehen als Schicht ununterbrochen durch. Das

Fig. 136.



Quadergewölbe in Nîmes konnte mit einem einzigen Lehrbogen hergestellt werden, indem jeder Gewölbebogen unabhängig vom anderen ausgeführt ist und die Füllquader ohne besondere Rüstung in die Falze der Rippenquadern eingestreift werden konnten.

Beim Gewölbe in Narni war die Einschalung von 2 Rippenbogen nöthig, und es konnte dann der der ersten Rippe beim 3., 5., 7. etc. Bogen wieder verwendet werden, der der zweiten beim 4., 6., 8. etc.

Große Quadergewölbe bei Hochbauten sind vornehmlich in Syrien zur An-

wendung gekommen, während auf italienischem Boden dem Backstein- und Gufsgewölbe der Vorzug gegeben wurde. Beinahe alle bekannten Gewölbearten wurden mit den genannten Materialien hergestellt.

1) Tonnengewölbe.

Das einfache Tonnengewölbe finden wir in Grabkammern, über Tempel-Cellen, bei Triumphbögen, Thermen, Amphitheatern, Basiliken etc. ausgeführt.

α) Aus Quadern hergestellt, ist es entweder, wie gezeigt wurde, verbandmäsig nach der Tiefe geschichtet, oder es besteht aus an einander gereihten Bogen.

Meist kamen gleich große Schichtensteine, ohne Mörtel gefügt, in einzelnen Fällen durch Steinhaken oder Eisenklammern gegen Gleiten gesichert, zur Anwendung.

Kleine Tonnengewölbe sind in der Regel an der unteren sichtbaren Fläche glatt gelassen und gleichmäßig stark

durchgeführt; Ausnahmen sind Verdickungen der Gewölbeschale gegen die Widerlager und Verdickungen gegen den Scheitel. Auf letztere ist bei den Bogen hingewiesen worden; sie finden sich auch bei den Tonnengewölben am mehrfach genannten Triumphbogen in Orange (Fig. 137).

In Rippen und Füllungen zerlegt sehen wir dasselbe bei den angeführten Beispielen von Narni und Nîmes. In Ba'albek treffen wir es 22,5 m weit gespannt über der Cella und Vorhalle; die ersten Schichten sind dort noch erhalten und ergaben

bei der Vorhalle eine Anfangstärke der Schale von 1,67 m (Fig. 138); das Cella-Gewölbe war den Halbfäulen der Wände entsprechend durch schwere Bogenrippen gegliedert. Horizontale Verpannungsrippen in der Stärke der letzteren, also eine cassettenartige Gliederung der Tonne findet sich bei diesen großen Quadergewölben nicht; die angebliche Uebertragung einer Holz-Cassettendecke auf die halbrunde Wölbungsfläche ist hier nicht

163.
Tonnengewölbe:
Aus
Quadern.

Fig. 137.

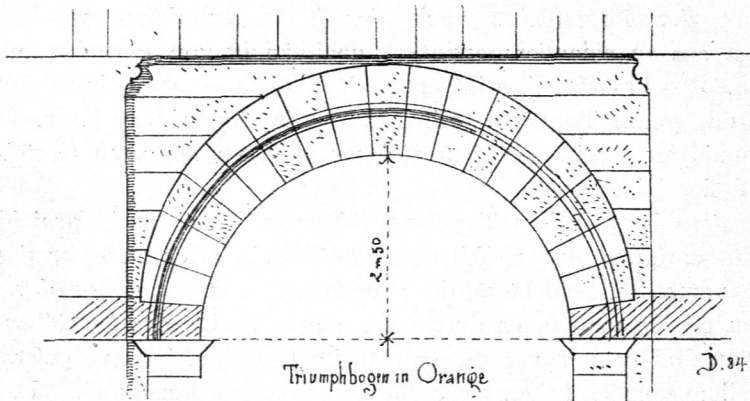
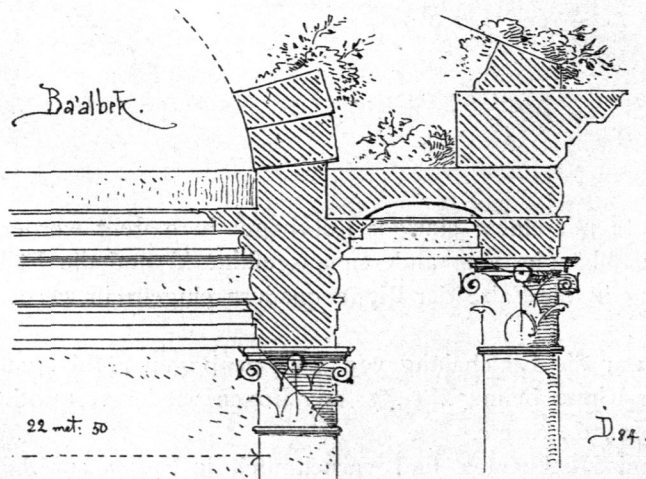


Fig. 138.



zu constatiren; eher erinnern sie in formaler Beziehung an die halbkreisförmigen, gerippten Decken der alt-indischen Tempelgrotten (Karli-Grotte, 150 v. Chr.). Die kleinen Tonnen der Triumphbogen machen hiervon eine Ausnahme; sie sind beinahe durchweg caffettirt (Fig. 139).

β) Aus Backsteinen hergestellt, bediente man sich entweder der gewöhnlichen Mauerziegel oder besonderer Formsteine. Letztere wurden nur bei Gewölben von geringer Spannweite verwendet, bei welchen man die Schalung vermeiden wollte oder mußte. Dasselbe Princip der an einander gereihten Bogen ist dann, wie bei den Quadrigewölben, durchgeführt.

Das Vorbild für diese Art zu wölben ist wohl in Assyrien zu suchen. Die Canalgewölbe von Khorabad bestehen aus an einander gereihten Ringen, die aus 7 plattenförmigen Formsteinen mit radialen Fugen zusammengesetzt sind. Die Ringe sind geneigt; das Gewölbe bildet deshalb weder auf der Innen- noch Außenseite eine ebene Fläche. Durch diese Neigung konnte die Schalung erspart werden. Ein Ring wurde auf den anderen in nicht zu dünnem Mörtel aufgelegt. Wurden die Formsteine größer und blieb die Spannweite des Gewölbes klein, so konnte dasselbe ohne Schalung auch bei gerader Stellung der Ringe ausgeführt werden, wie dies ein Canalgewölbe in Eleufis zeigt (Fig. 140).

164.
Aus
Backsteinen.

Fig. 139.

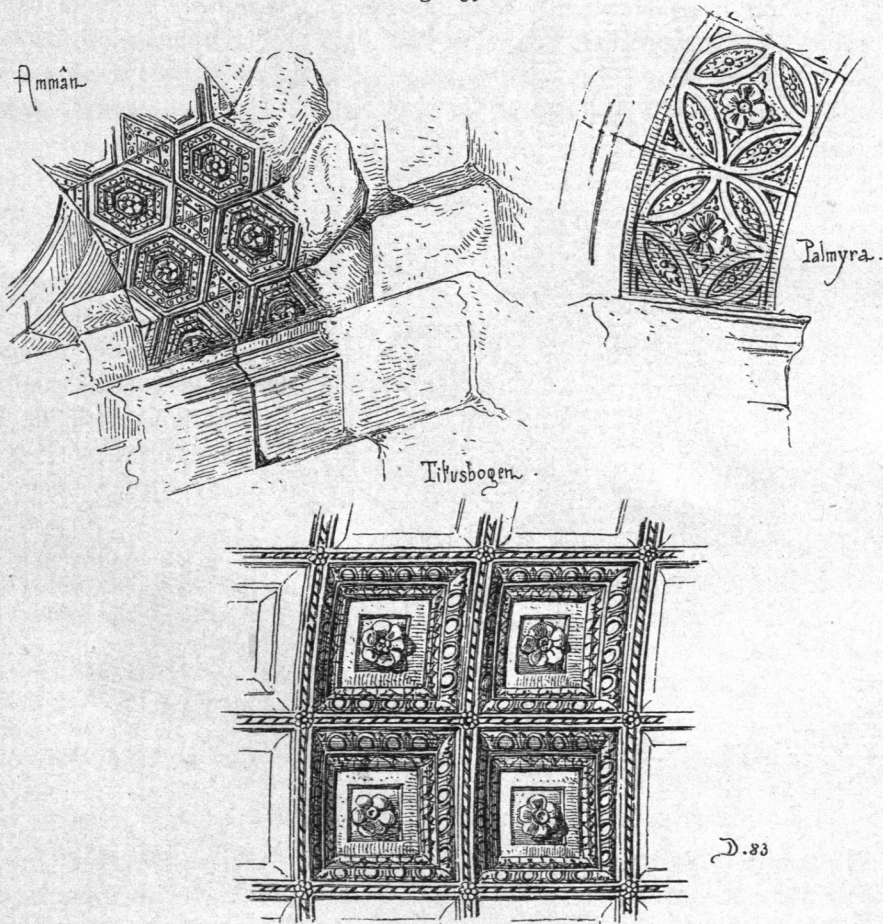


Fig. 140.

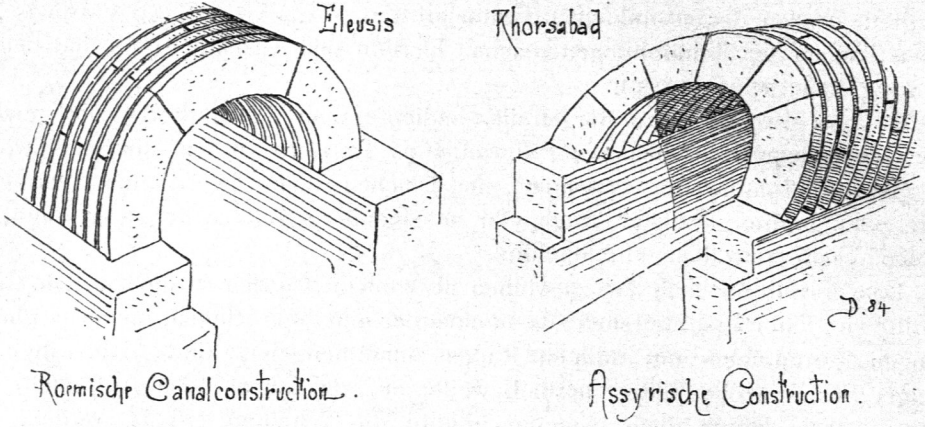
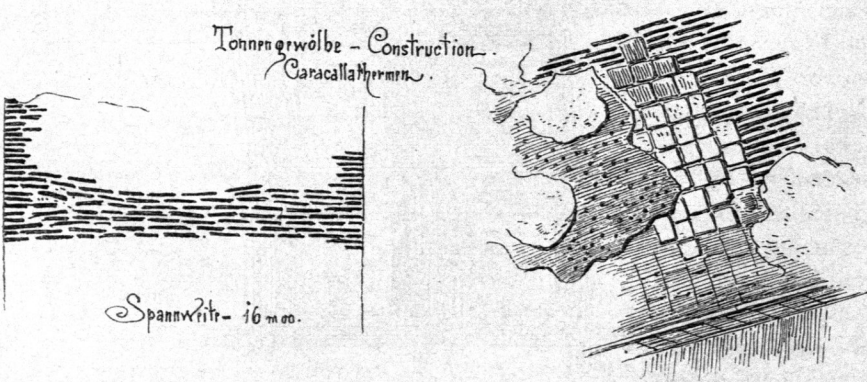
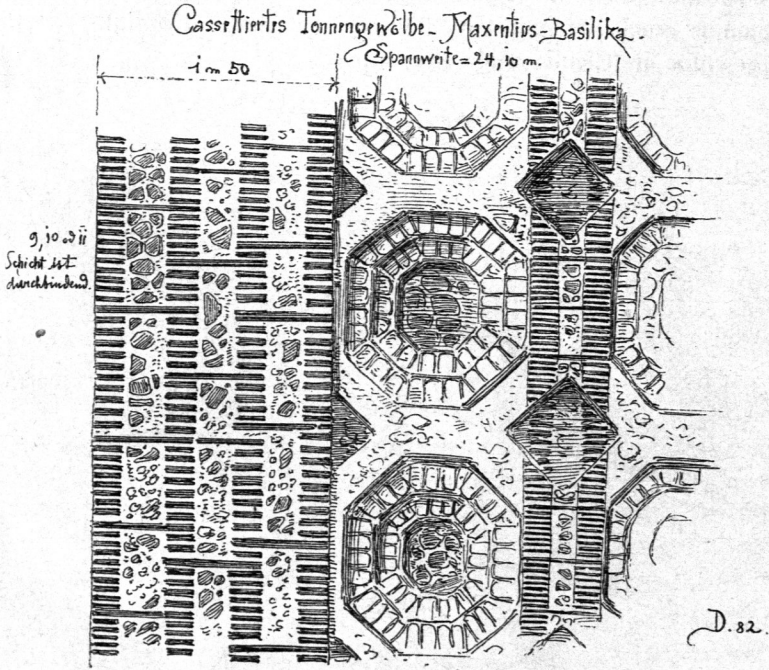


Fig. 141.



Das Tonnengewölbe einer Cisterne von $5\frac{1}{2}$ m Spannweite aus plattenartigen Backsteinringen, bei dem gewöhnliche, rechteckige Ziegel von 37×27 cm Breite und Länge und 3 cm Dicke verwendet wurden, ist am südlichen Abhange des Akropolis-Hügels in Athen vor einigen Jahren aufgedeckt worden. Bei dieser nach der sog. *Moller'schen* Methode gewölbten Tonne sind die Ringe durch 4 cm dicke, grobfländige Mörtelbänder von einander getrennt. Die großen, glatten Tonnengewölbe der späteren Zeit zeigen die heute noch gewöhnlichste Art der Wölbung mit Mauerziegeln, die verbandmäsig nach dem Centrum mit starken Mörtelbändern geschichtet sind; dabei ist die Schichtung nicht immer sehr sorgfältig, wie dies beispielsweise ein Tonnengewölbe von 16 m Spannweite in den *Caracalla-Thermen* zu Rom zeigt (Fig. 141).

Die Wölbsteine wurden in vielen Fällen nicht unmittelbar auf die Bretterschalung aufgesetzt, sondern auf eine auf ihr ruhende Lage von kleinen, gut vermauerten Backsteinplättchen, die nach dem Ausschalen des Gewölbes von unten mit einem groben Mörtel abgeputzt und mit einem feinen Stucküberzug versehen wurden (Fig. 141).

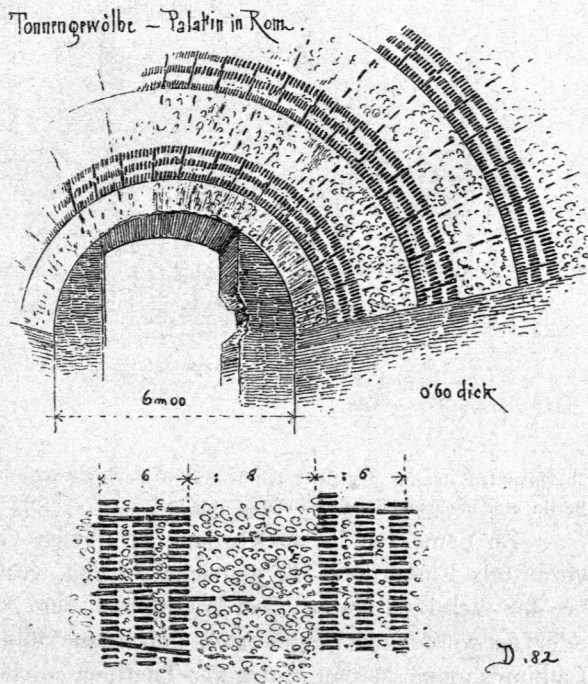
Sollten vollständige Holzschalungen unterbleiben und nur Lehrbogen oder letztere und schmale, weit aus einander liegende Schalbretter bei der Ausführung der Gewölbe verwendet werden, so legte man auf jene zuerst große, 60 cm lange und breite Plattenziegel, dann kleinere quadratische Plättchen und setzte auf diese erst die Wölbsteine. Diese doppelte Plattenunterlage wurde aber meist nur dann angewendet, wenn das Gewölbe aus Gufsgemäuer hergestellt werden sollte.

γ) Aus Gufsgemäuer und Backsteinen gemischt hergestellte, glatte Tonnengewölbe mußten ganz auf Schalung ausgeführt werden und bis zu einem bestimmten Grade der Erhärtung des Mörtels auf dieser liegen bleiben. Bei solchen Gewölben wurde in Bezug auf das Material besonders rationell und ökonomisch verfahren. Sie bestanden aus einem System von Backstein-Gurtbogen, die unter sich und in sich durch größere Plattenziegel, in gewissen Abständen von einander, verbunden oder verspannt waren.

Die 6 m weit gespannten Tonnengewölbe der Bauten am westlichen Abhange des Palatin bestehen aus einer Reihe von Backsteinbogen, die sich aus 3 von Platten durchschossenen Ringen zusammensetzen und die in Entfernungen von einander stehen, welche etwas größer als die Backsteinbogen breit sind. Letztere sind wieder durch Plattenziegel verbunden, welche alle 9 bis 11 Schichten von einem Bogen zum anderen übergreifen (Fig. 142). Dieses Gerippe ist keineswegs sehr sorgfältig und genau regelmäßig ausgeführt (*Choisy* macht in seinem ausgezeichneten Werke die Constructionen

165.
Aus
Gufsmauer-
werk.

Fig. 142.



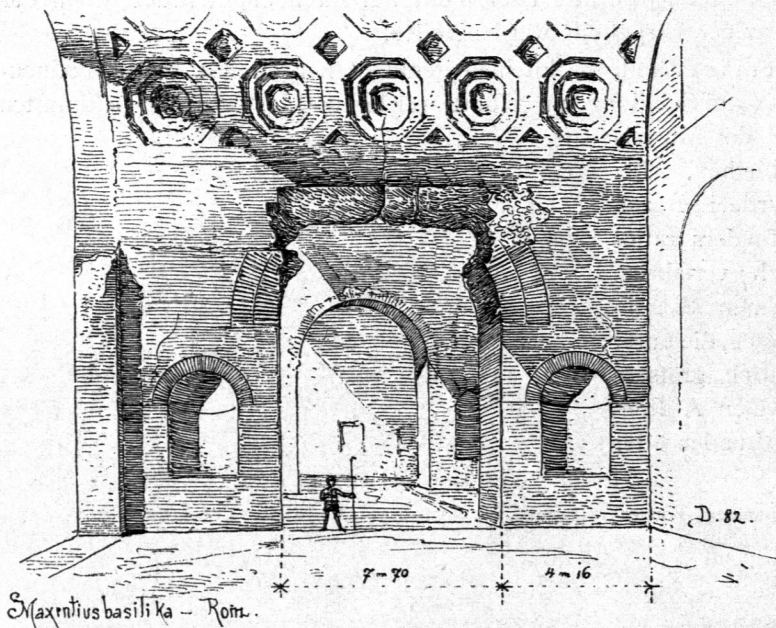
durchweg in der Zeichnung schöner, als sie in Wirklichkeit sind); aber ein gutes Backstein-Material und ein noch besserer Mörtel ließen über den Fehler — den Mangel an Genauigkeit — hinwegsehen.

Die Zwischenräume, welche dieses Gewölbegerippe frei ließen, wurden mit einem Gemisch von kleinen Tuff- oder Backsteinbrocken und Mörtel ausgefüllt, und es bildete das Ganze zusammen eine gleichmäßig starke Schale von 60 cm Dicke. Rippen und Füllmauerwerk verbanden sich und erstarrten beim Erhärten zu einer Masse, deren Zusammensetzung unter der schmückenden Putzfläche dem Auge wieder entzogen wurde; die ursprünglich thätigen Theile wurden bei der Gewölbe-Decoration nicht ausgezeichnet, oder sie wurden nicht besonders sichtbar hervorgehoben.

Die Flächen der Gewölbe wurden aber auch belebt und das Gewicht derselben erleichtert durch Anordnung von Cassetten, die in Gestalt von regelmäßigen Vielecken, Quadraten, Rechtecken, Rauten, Drei- und Achtecken etc. in wechselfollem Muster sich ausbreiteten. Das Princip der unter sich verbundenen, aus Ringen construirten Bogen wurde aber auch hierbei nicht verlassen, wie die grandiosen, 24 m weit gesprengten Tonnen der *Maxentius-Basilika* in Rom beweisen (Fig. 141).

Man kann nicht fagen, daß die in der Stärke von 2 Thonplatten ausgeführten Stirnbogen derselben besonders schön ausgeführt wären; die Steinmugen gehen nach allen möglichen Centren, nur nicht nach

Fig. 143.



dem der Bogenform, und doch haben die noch stehenden, über 1 1/2 Jahrtausend alten Tonnen keinen Scheitelriß aufzuweisen. Wie hoch die Bindekraft eines guten Mörtels mit der Zeit zu veranschlagen ist, davon giebt das den Bestand des Bauwerkes nicht alterierende Ausbrechen eines beinahe 8 m weiten Bogens einer Zwischenwand, auf welcher die beiden mächtigen Tonnen zusammentreffen, ein Beispiel (Fig. 143).

Der Vergleich mit anderen gewölbten Bauwerken späterer Zeiten läßt die Größe dieser frühen Leistung noch mehr bewundern. In die mit Tonnengewölben

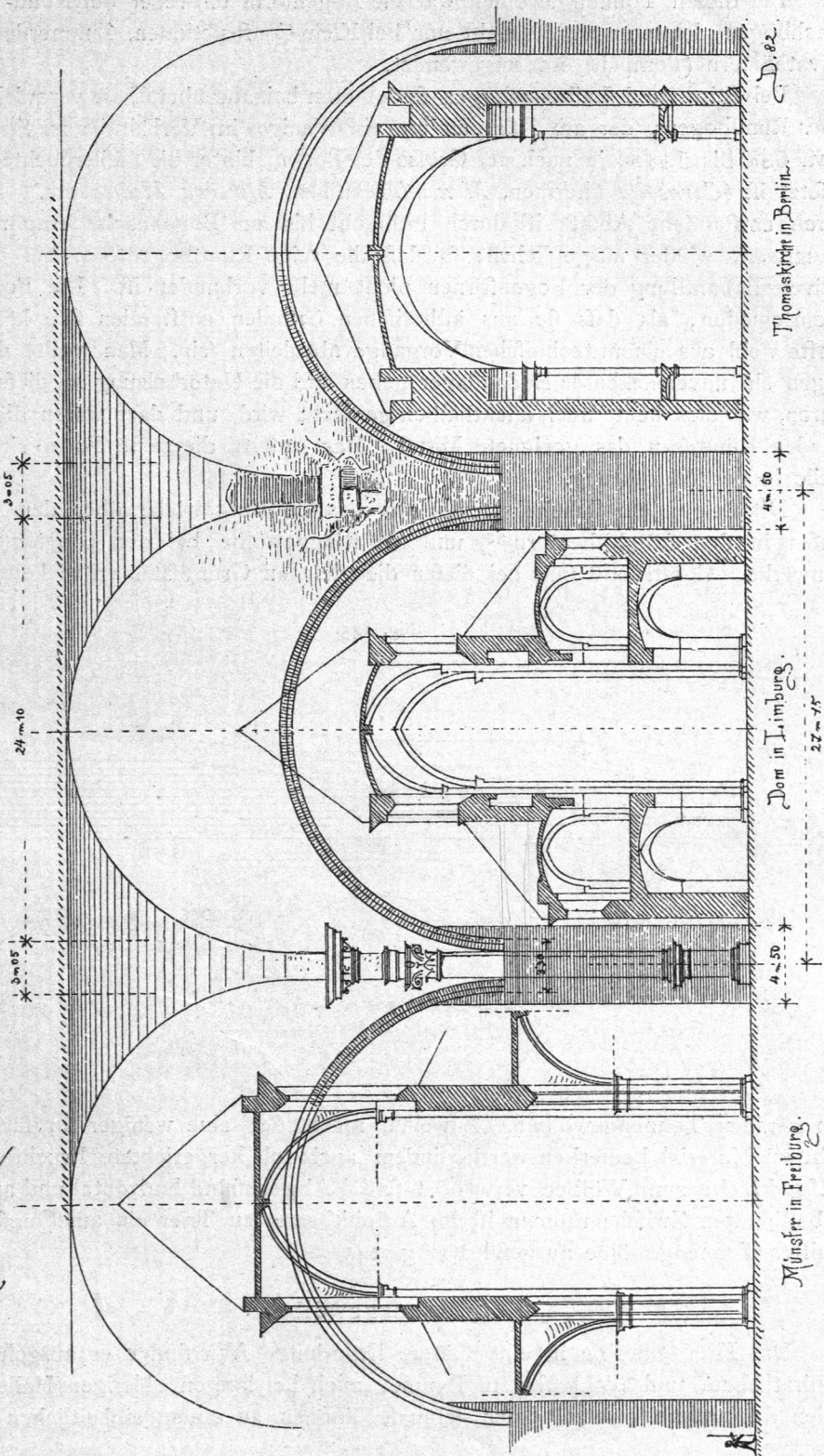
überspannten Räume der Seitenschiffe wären beispielsweise der Dom in Limburg, die Thomas-Kirche in Berlin etc. bequem einzustellen (Fig. 144).

Zu bemerken ist noch, daß bei diesen Gewölben schwere Stuckverzierungen mittels Eisenstiften fest gemacht wurden, von welchen sich zahlreiche Exemplare an den herabgestürzten Gewölbestücken der *Maxentius-Basilika* nachweisen lassen, oder sie wurden an eingefetzten hölzernen Dübeln befestigt, von welchen einzelne Laibungsbogen in den *Caracalla-Thermen* noch Reste zeigen.

Fig. 144.

Basilika des Maximilian in Rom.

Tönnen- u. Kreuzgewölbe.



166.
Bogenform.

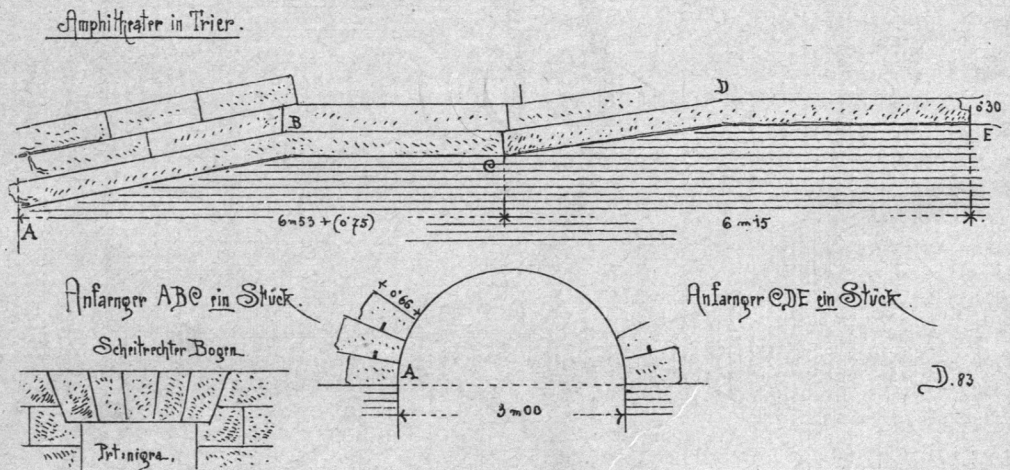
Bei diesen Tonnengewölben war die Bogenform entweder der Rund- oder der Flachbogen; letzterer wurde meist nur bei Klein-Constructionen, Zimmerdecken von Privathäusern (Pompeji) etc. angewendet.

Bei Stirn- und Laibungsbogen findet man beinahe überall die verquickte Form eines Rundbogens, der am Kämpfer um ein Weniges im Verhältniß zur Spannweite, etwa 0,30 bis 1,20 m, je nach der GröÙe der Bogen, hinter die Pfeilerfluchten zurückgesetzt ist (*Caracalla-Thermen, Maxentius-Basilika, Minerva Medica* etc.). Der hierdurch entstandene Absatz ist durch lothrecht bis zur Bogenfläche emporgeführtes Mauerwerk wieder ausgeglichen, so daß die reine Rundbogenform bei der decorativen Behandlung der Bogenstirnen nicht mehr vorhanden ist. Die Form ist zu unentschieden, als daß sie aus ästhetischen Gründen entstanden sein könnte; sie dürfte wohl aus einem technischen Vorgange abzuleiten sein. Man wollte den Lehrbogen ein unverrückbares Endauflager geben und die Unterbolzung an diesen Stellen sparen, wie dies heute noch allenthalben gemacht wird, und dazu waren die Abätze an den Kämpfern das geeignete Mittel. Man opferte die reine Form einem Vortheile in der Ausführung.

167.
Aufsergewöhnliche
Ausführungen.

Mit steigendem Scheitel treffen wir das Tonnengewölbe über den Treppenhäufen in den Amphitheatern⁹³⁾ und als Ringgewölbe bei den Umgängen dieser Bauwerke. Constructiv sind bei diesen die gleichen Grundätze entwickelt, wie bei

Fig. 145.



den geraden Tonnengewölben. Zuweilen macht sich eine weniger sorgfältige Auswahl im Material bemerkenswerth, indem auch roh hergerichtete Bruchsteine oder Flußgeschiebe zum Wölben verwendet sind. Abwechselnd horizontal und ansteigend in bestimmten Zwischenräumen ist im Amphitheater zu Trier ein aus Quadern construirtes Tonnengewölbe ausgeführt (Fig. 145).

2) Kreuzgewölbe.

168.
Gestaltung.

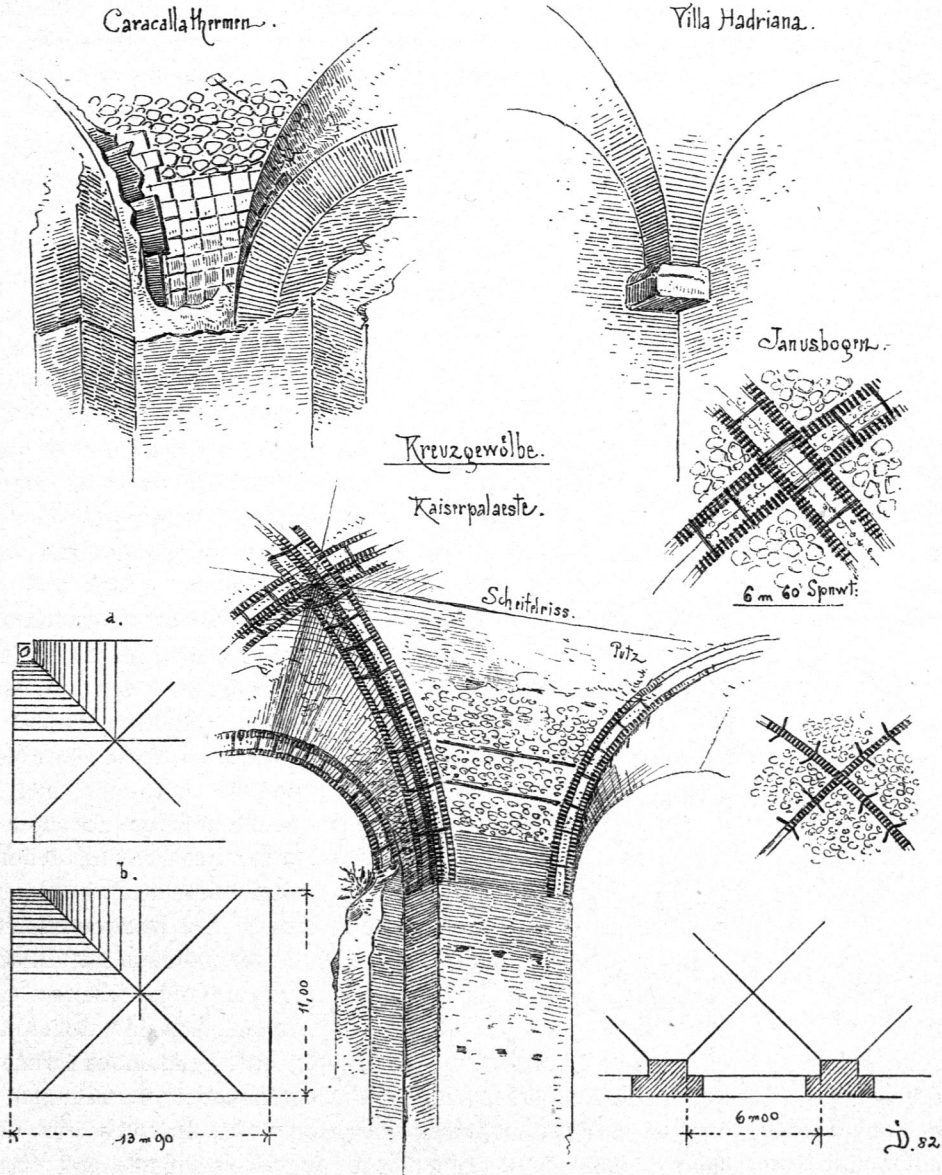
Das Kreuzgewölbe ist eine spätere Erfindung. Wir finden es ausgeführt über quadratischem und rechteckigem Raume, auch bei langen oblongen Hallen, eines neben das andere gesetzt, durch schmale Tonnen zu einem einheitlichen Decken-

⁹³⁾ Im großen Theater in Gerafa sind die steigenden Gewölbe aus staffelförmig gestellten Bogen construiert.

system verbunden, bei geschlossenen und stark durchbrochenen Umfassungsmauern, die oft zu vier Begrenzungspfählern mit nach vier Seiten offenen Bogen zusammen-schrumpfen.

Bei quadratischen Räumen wachsen die Diagonalbogen unmittelbar aus den Pfeilerecken heraus (Kaiserpaläste, Janus-Bogen etc.), oder in die Ecken gestellte Säulen mit einer tief einbindenden Kämpfergesimsplatte nehmen die Gewölbeanfänger auf, oder bei Wiederholungen tragen vorgestellte Wandfäulen auf vollständig entwickelten Gebälken die Gewölbe. Architrav, Fries und Gesimse ruhen dann nicht einzig und allein auf den Wandfäulen; sondern sie sind noch tief in das Wandmauerwerk eingepannt (vergl. *Villa Hadriana*, *Maxentius-Basilika*, *Diocletians-Thermen* etc.).

Fig. 146.

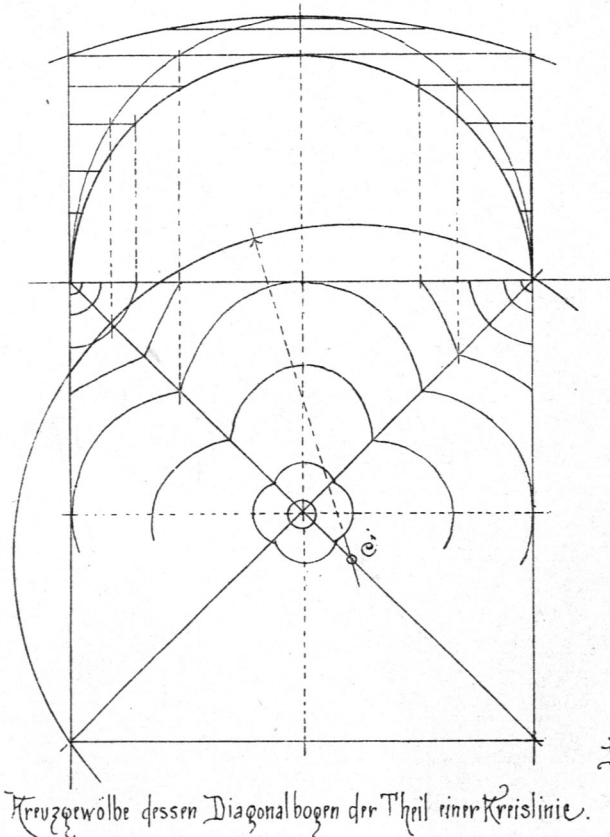


Bei rechteckigen Räumen ist das Kreuzgewölbe eine Durchdringung von zwei ungleich langen Tonnen, die den gleichen Durchmesser haben. Der Scheitelpunkt des Gewölbes fällt im Grundriss mit dem Schwerpunkte der Figur zusammen. Die Anfallpunkte der Diagonalbögen sind daher nicht in den Mauerecken; sondern ein jeder ist halb so weit von diesen entfernt, als die Länge die Breite des Raumes überragt, und alle vier Wandbögen haben die gleiche Form und Größe. Diese Anordnung hat den Vortheil, dass sie die Stücke der Querwände, welche von den Tonnen getroffen werden, als Strebepfeiler für das Kreuzgewölbe erscheinen lassen und eine Durchführung der Langwände in geringerer Dicke gestatten (vergl. *Caracalla-Thermen* in Fig. 146).

Technische und formale (decorative) Gründe führten wohl mit der Zeit zu einer Erhöhung des Gewölbescheitels über den höchsten Punkt der Wandbögen und ließen eine weniger scharfe Betonung, d. h. Abflachung der Grate wünschenswerth erscheinen. Sie führten zu einer bestimmten Art von Kreuzgewölben, die in den Grabkammern vielfach wiederkehrt und bei der die Grate in der Nähe des

Kämpfers noch lebhaft vortreten, sich aber von da gegen den Scheitel immer mehr verflachen, um sich schließlich in der Höhlung einer kugelförmigen Fläche ganz zu verlieren. Sie wurde in der Folge besonders von den byzantinischen Architekten cultivirt und blieb auch in der neueren Kunst in Italien sogar bis heute in Übung. (Vergl. Stenzen *Raffael's* in Rom, *Loggia des Pal. Doria* in Genua u. a.) Um die genannten Anforderungen zu erfüllen, durfte der Diagonalbogen des Gewölbes keine Ellipse, sondern er musste ein Theil eines Kreisbogens sein, und das Gewölbe war um so fester, je höher der Scheitel desselben angenommen wurde (Fig. 147). Die Horizontalschnitte zeigen deutlich das Verlaufen der Anfangs scharfen Gratecken nach dem Scheitel zu.

Fig. 147.



D. 84.

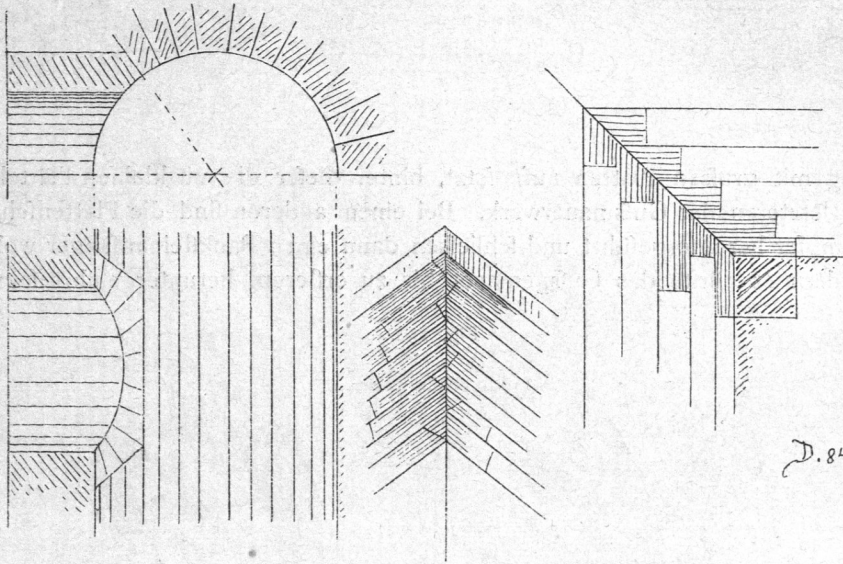
Kreuzgewölbe dessen Diagonalbogen der Theil einer Kreislinie.

169.
Kreuzgewölbe:
Aus
Quadern.

α) Kreuzgewölbe aus Quadern. Die Römer des Abendlandes vermieden bei Quadergewölben gern die Durchdringungen; sie legten lieber die Kämpfer der sich schneidenden Gewölbe verschieden hoch. Die Römer des Orientes, die Kleinasiaten und Syrer nahmen dagegen die interessante Steinschnittaufgabe auf. In den

Substructionen von Ba'albek begegnet man aus Quadern construirten Kreuzgewölben, die genau denselben Steinschnitt mit hakenförmigen Gratsteinen zeigen, wie wir ihn heute im gleichen Falle zu machen gewohnt sind. In Gerasa (Djerasch) und Pergamon treffen wir bei der Construction des Grates statt der Hakenquadern ein verbandmäßiges Uebergreifen der Schichtenquadern des einen Gewölbes über die des anderen, wie wir es heute noch bei Backsteingewölben ausführen (Fig. 148).

Fig. 148.



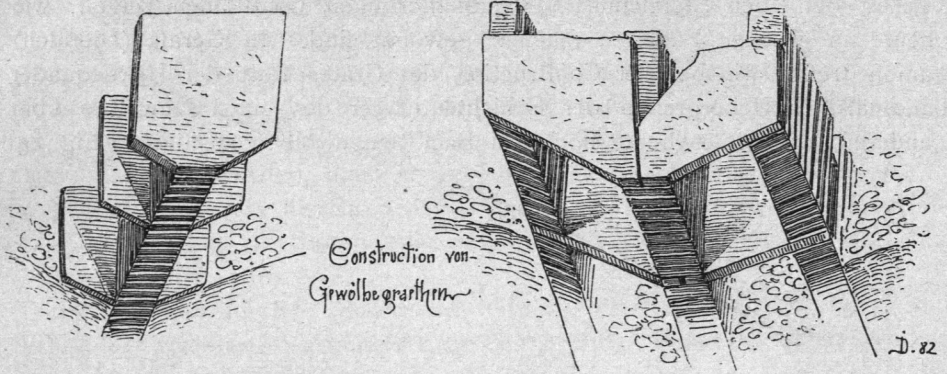
Hatten die sich schneidenden Gewölbe bei gleicher Kämpferhöhe nicht den gleichen Durchmesser, so entstanden die Stichkappen. Sie wurden in Pergamon (nach Curtius II. Jahrh. vor Chr.) für sich tragend ausgeführt, dabei die Wölbsteine nach der Fläche des geschnittenen Gewölbes so abgerichtet, daß die Steine des letzteren leicht angepaßt werden konnten (Fig. 148). Mörtel wurde bei diesen Quader-Constructionen nicht angewendet.

β) Kreuzgewölbe aus Backsteinen und Gufsgemäuer wurden bis zu einer Spannweite von 24,5 m (*Maxentius*-Basilika) ausgeführt. Stirnbogen und Grate wurden aus Backsteinringen mit Plattenziegeln durchschossen, ähnlich wie dies bei den Tonnengewölben erläutert worden, hergestellt. Je nach der Spannweite der Gewölbe sind diese Ringe einfach, doppelt (Janus-Bogen) oder dreifach (Kaiserpaläste) ausgeführt; die Plattenziegel sind in allen Fällen nach der Wölbungsfläche abgekantet; andere durchziehen radial gestellt die Gewölbefflächen. Die Zellen zwischen diesem Ziegelgerippe sind, wie gezeigt worden, mit Gufsgemäuer ausgefüllt, das so dick, als jenes geschichtet wurde. Diagonalrippen und Stirnbogen verschwanden auch hier wieder unter dem in gleicher Weise das Füllgemäuer deckenden Putz (Fig. 149). Neben den glatten Gewölbefflächen waren auch hier, wie bei den Tonnen, Caffettirungen in Uebung.

Bei einem Kreuzgewölbe über rechteckigem Raum in den *Caracalla*-Thermen sehen wir die Anfänger (Fig. 150, Strecke von *b* bis *a*) massiv aus Backsteinen herausgemauert und in der gleichen Ebene mit diesen, von *a* bis zum Scheitel, die

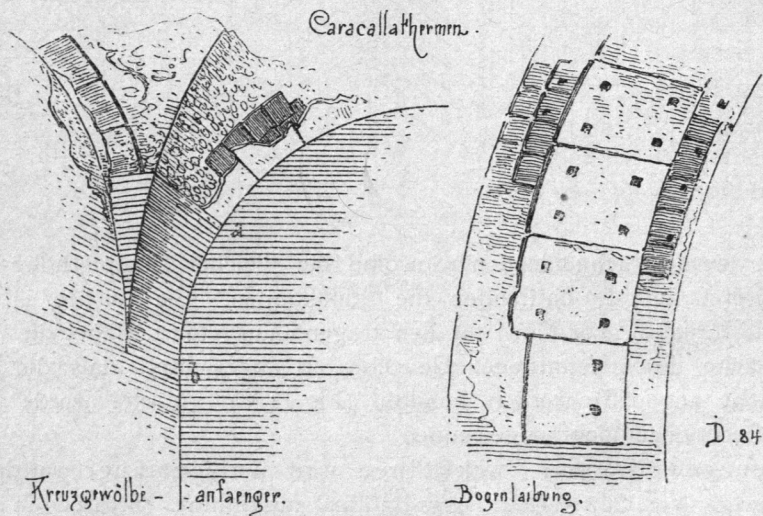
170.
Aus
Backsteinen
und Gufs-
mauerwerk.

Fig. 149.



Schalung mit großen Platten aufgesetzt, hinter dieser die mit kleinen Plättchen und auf den letzteren das Gufsmauerwerk. Bei einem anderen sind die Plattenschalen bis zum Kämpfer heruntergeführt und schliessen dann einen Backsteinanfänger wohl nicht ein; sondern es dürfte das Gufsgemäuer bis zu ersterem heruntergeführt sein.

Fig. 150.



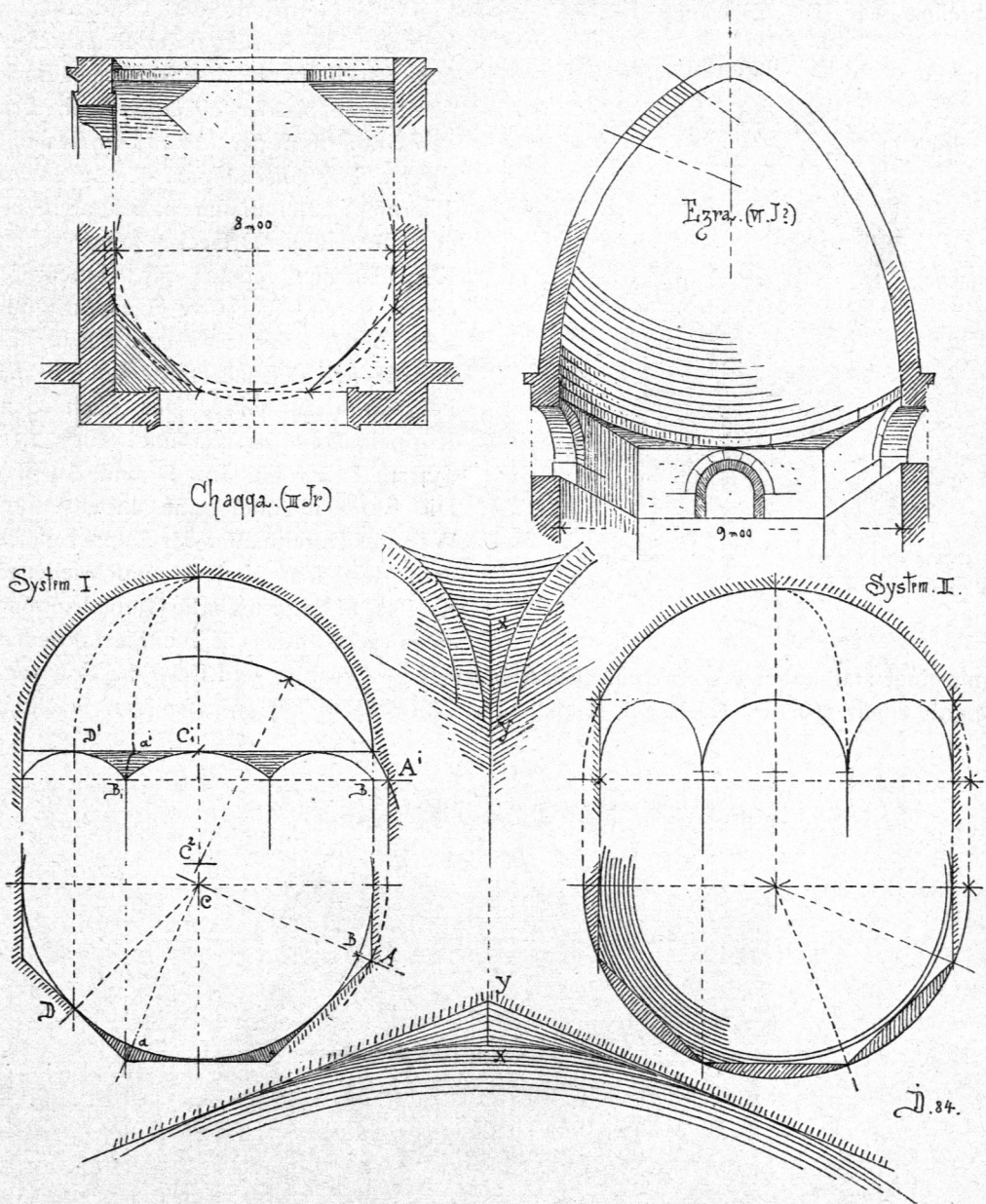
3) Kuppelgewölbe.

171.
Entwicklung.

Das Kuppel- oder Kugelgewölbe in seiner einfachsten Form, ohne Durchbrechung, Gliederung und Lichtring, ist, nach Relief-Darstellungen zu schließen, wohl schon früh in Assyrien und wahrscheinlich noch früher in Chaldaea ausgeführt worden und fand erst verhältnismässig spät seinen Weg nach Rom. Die ersten Kuppeln wurden durch horizontale Ueberkrägung (vergl. die Schatzhäuser) oder durch schwach nach dem Horizonte geneigte Ringschichtungen hergestellt; dabei war die älteste Form mehr conisch gestreckt, als genau halbkugelförmig. Zuerst über kreisrundem Raume errichtet, reihen sich später die Versuche über zehneckiger, achteckiger und quadratischer Grundform an.

Während bei runden Räumen das Aufsetzen der Kuppel ohne Weiteres erfolgen konnte, waren bei den polygonalen besondere Vorrichtungen nöthig, um den

Fig. 151.



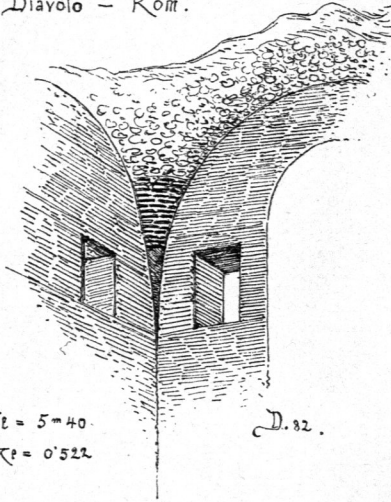
Uebergang von den Polygonecken nach der Halbkugel zu ermöglichen. Die römischen Baumeister im Haurán stellten Anfangs den Uebergang durch Steinplatten her (Fig. 151), eine Constructionsweise, die übrigens nur bei kleinen Räumen angewendet werden konnte. Im Abendlande erleichterten die polygonalen Räume den Uebergang, und diesen um so mehr, je mehr Seiten das Polygon hatte. War der Durchmesser der Kuppel gleich dem des dem Vieleck eingeschriebenen Kreises, so faß das Kuppelgemäuer in der Nähe der Mitten der Polygonseiten auf eine Strecke weit auf der Umfassungsmauer (vergl. D in System I) und trug sich nur über die einspringenden Winkel frei hinaus (B_1, D_1, α^1, C^1).

172.
Pendentifs.

Die natürlichste Form für die Unterstützungen oder Uebergänge an diesen Stellen war das sphärische Dreieck; in ihm ist der Ursprung der Pendentifs zu

Fig. 152.

Kuppelgewölbe über quadrat. Raum.
Sedia del Diavolo - Rom.



Spannweite = 5-40.
Mauerstärke = 0-522

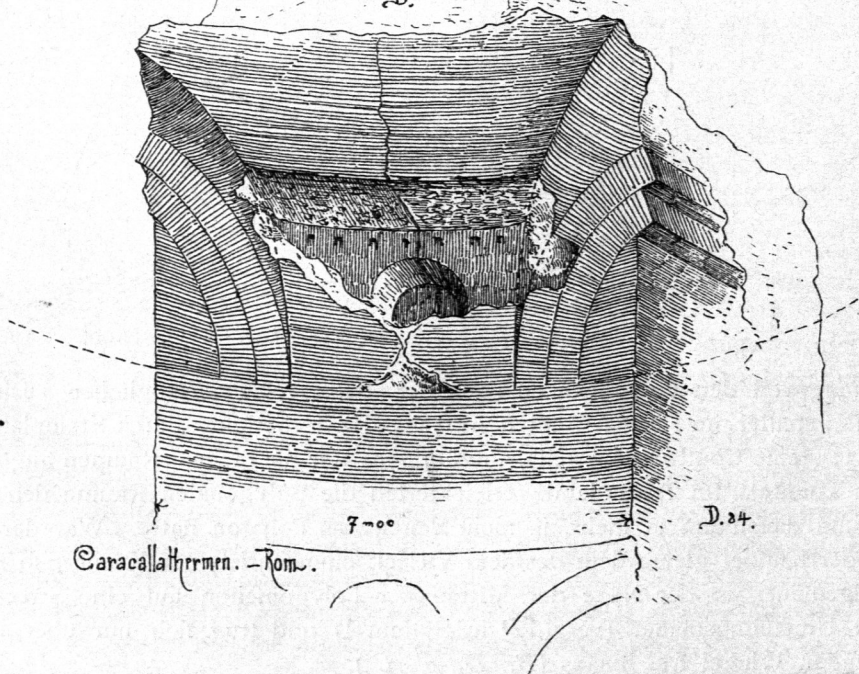
suchen. Die Anfänge derselben zeigen sich schüchtern an den römischen Backsteinbauten, bei der sog. *Minerva Medica*, den Gräbern an der *Via Praenestina* und einigen Polygon-Räumen der *Caracalla-Thermen*. Bei diesen haben aber die unterstützenden Dreiecke keine reinen Kugelflächen, indem der Uebergang noch durch successive Ueberkragung horizontaler Schichten hergestellt ist. Es ergibt sich deshalb mitten durch das Pendentif ein Grat, der nach dem Kuppelanfang zu verläuft (Fig. 151, System I, xy im Grund- und Aufriss). Die Form ist noch eine unbestimmte. War der Durchmesser der Kuppel gleich dem des dem Vieleck umschriebenen Kreises, so hatte man die Durchdringung eines acht- oder zehnfelligen Prismas

mit einer Halbkugel auszuführen. Ein Schnitt durch Centrum und Ecke des Polygons ergab einen grössten Kreis der Kugel. Die Dreieckszwickel zwischen den Scheitel-

Fig. 153.

Grosse Rotunde. Kuppel mit Bogen u. Stichkappen.

D.



Caracallathermen. - Rom.

punkten und dem Anfallspunkte zweier Wandbogen waren dann Bestandtheile der Kuppel (Fig. 151, System II). Ueber einem quadratischen Raume von $5,40\text{ m}$ Seite finden wir das Kuppelgewölbe aus Backsteinen ausgeführt in einem Grabe an der *Via Nomentana* bei Rom, in der sog. *Sedia del Diavolo* (Fig. 152).

Wieder waren es die Römer des Ostens, die aus dem Rahmen des schüchternen Versuches heraustraten und uns in Quadern und in Backsteinen construirte Kuppeln auf Pendentifs über quadratischen Räumen schufen. Sie wurden in den Ruinen von Gerafa (Djerasch) und in Kleinasien im Mäander- und Hermus-Thale gefunden, und zwar sind es nicht sporadische Vorkömmlinge; sondern ganze Gebäude sind auf diese Art eingewölbt. Diese Quadrigewölbe sind ohne Mörtel gefügt und zeigen den unten stehenden Steinschnitt (Fig. 154), die Backsteingewölbe eine eben so vortreffliche Fügung durch das Einschieben von Formsteinen (*B, B*) anstatt der einen schlechteren Anschluß gebenden gewöhnlichen Wölbsteine (*C, C*). In Gerafa gehören

Fig. 154.

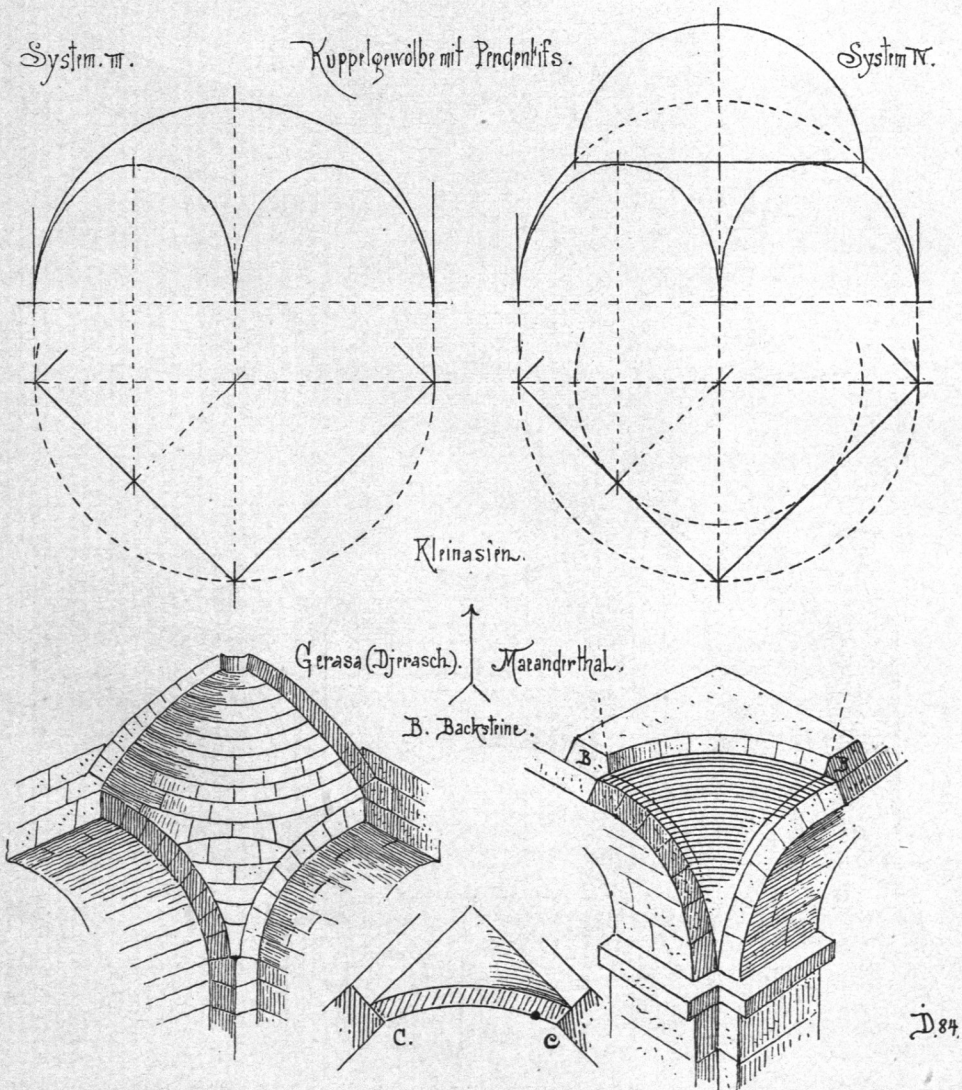
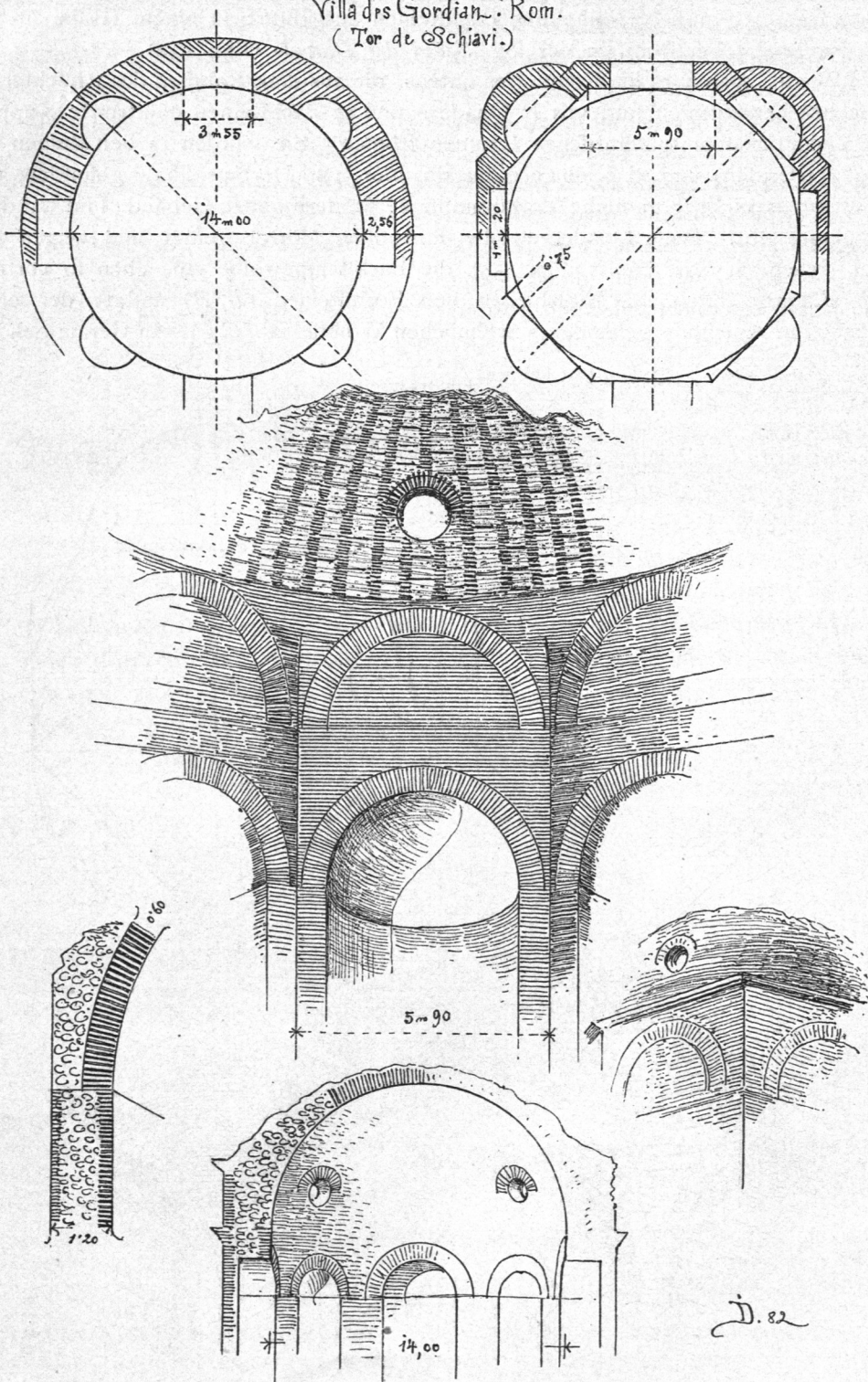


Fig. 155.

Villa des Gordians. Rom.
(Tor de Schiavi.)



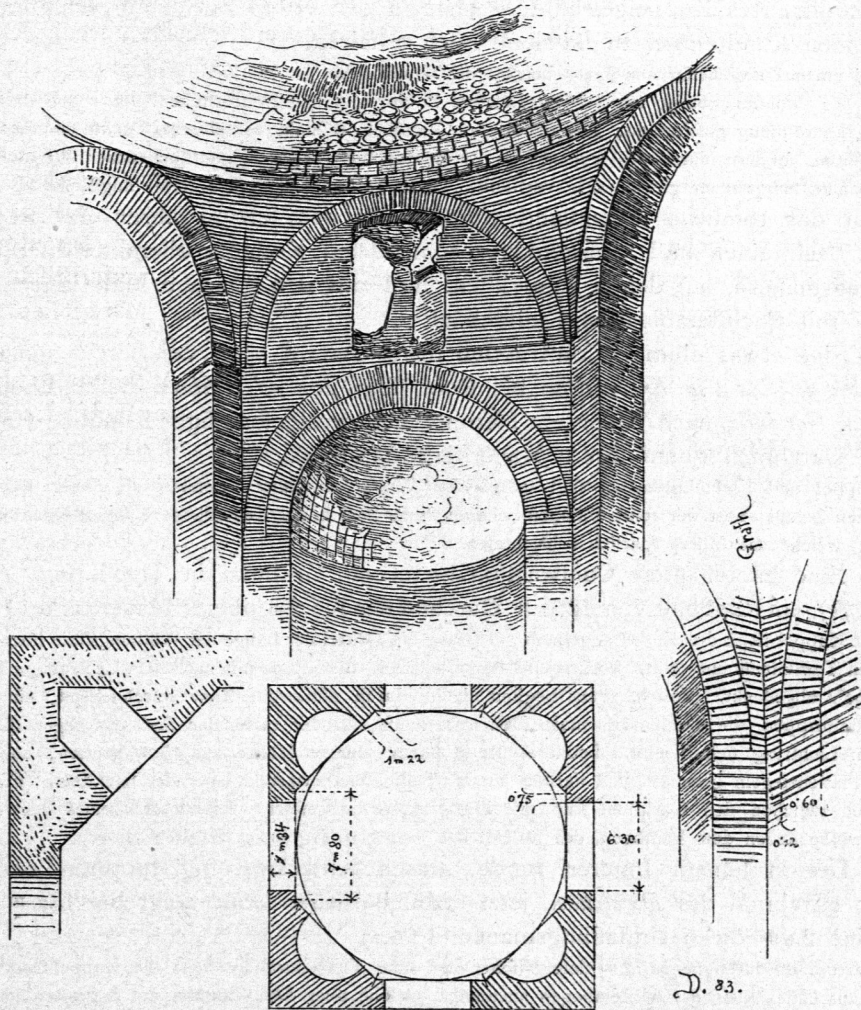
Calotte und Pendentifs der gleichen Kugelfläche an (Fig. 154, System III); im Mäander-Thal wurden zum Theile Calotte und Pendentifs aus verschiedenen Kugelflächen (Fig. 154, System IV) hergestellt.

Es sind noch keine Leistungen grossen Stils; aber wir dürfen in ihnen die Vorstufen von *Agia Sofia* und *St. Peter* begrüßen. Die byzantinische Kunst wurzelt in der römischen des Orients.

*Viollet-le-Duc*⁹⁴⁾ läßt noch die *Agia Sofia* als erste Kuppel auf Pendentifs gelten, glaubt aber die Frage unentschieden lassen zu müssen, ob sie eine specifisch byzantinische Leistung oder ob sie heute nicht mehr vorhandenen oder bekannten, orientalischen Bauten entlehnt sei.

*Isabelle*⁹⁵⁾ hält die Dreieckszwickel der *Minerva Medica* für vollendete Pendentifs. Er zieht *Agincourt* eines Irrthumes, weil er bei den Pendentifs den *Tor de' Schiavi* (Grab an der *Via Praenestina*) und

Fig. 156.



Kuppelgewölbe über achteckigen Raum.

Caracallathermen - Rom

⁹⁴⁾ In: *Dictionnaire raisonné de l'architecture etc.* Bd. 4. (Paris 1875). S. 347: Artikel »coupoles«.

⁹⁵⁾ In: *Les édifices circulaires et les dômes classés par ordre chronologique etc.* Paris 1843-45. S. 69-71.

Räume der *Caracalla*-Thermen anführt; denn er und *Blouet* wollen nichts davon gefehen haben, und *Tor de' Schiavi* sei vollkommen rund. Nun liegt aber etwas über *Tor de' Schiavi* hinaus ein Achtecksbau (Fig. 155), der die verlangten Eigenschaften hat, und eben so sind in den *Caracalla*-Thermen Achtecksräume, die das Gleiche zeigen (Fig. 156); somit ist *Agincourt* wohl in seinem Rechte. *Blouet* hat, nach seinem Werke zu urtheilen, auch die Stichkappen im großen Kuppelraum der *Caracalla*-Thermen nicht gefehen, und sie sind doch vorhanden (Fig. 153).

Das kleine Grab mit viereckiger Kammer an der *Via Nomentana* gilt ihm als authentisches Zeugnis für die Anwendung der Pendentifs bei den Römern. Der beglaubigten Beispiele sind es heute mehr durch die Entdeckungen in Syrien. Man vergleiche darüber *Choisy's* Werk: *L'art de bâtir chez les Byzantins* (Paris 1883), eine eben so klare als zuverlässige Abhandlung, wie sein erstes Werk: *L'art de bâtir chez les Romains* (Paris 1876), dessen Inhalt ich mit dem Thatbestand an Ort und Stelle mehrfach verglichen und den ich stets als correct in den Angaben gefunden. Seine Folgerungen sind eben so geistreich, durchsichtig, einfach und zwingend, wie seine Darstellungen und Zeichnungen, letztere meist nur zu schön.

α) Kuppelgewölbe über kreisrunden Räumen. Ein aus Quadern ohne Mörtel construirtes Kuppelgewölbe ist uns, in den ersten Schichten wenigstens, in dem kleinen Rundtempel zu Ba'albek noch erhalten.

Bei einem Durchmesser von 9,70 m beträgt die Mauerstärke $\frac{1}{10}$ desselben, und die Dicke verhält sich zur Höhe der Umfassungsmauer wie 1 : 12. Letztere ist durch 5 halbkreisförmige Nischen und durch eine 4 m breite Thüröffnung geschwächt. Der Schub des Gewölbes ist nicht auf einzelne Punkte der Umfassungsmauer geleitet, sondern durch die regelmäßige Ringschichtung der innen glatt behauenen Wölbsteine auf die ganze Umfassungsmauer gleichmäßig vertheilt. Diese Leistung ist gerade keine ängstliche zu nennen.

Für das römische Abendland werden mit den letzten Jahren der Republik die aus Backsteinen und Gufsgemäuer construirten Kuppeln charakteristisch. Die Umfassungsmauern, auf denen jene ruhen, sind aus den gleichen Materialien (Gufsgemäuer mit Backsteinblendung) aufgebaut.

α) Eine etwas plumpe Construction dieser Art ist eines der bereits genannten Grabmäler an der *Via Praenestina* bei Rom (sog. *Tor de' Schiavi*, Bestandtheile der *Villa* des *Gordian*, nach *Nibby* ein Heroum), ein zweigeschossiger Rundbau von 14 m innerem Durchmesser und 2,56 m Mauerstärke (1 : 5,08).

Kuppel und Umfassungsmauer sind in gleicher Weise ausgeführt. Letztere ist durch Rund- und Flachnischen belebt; statt der sonst üblichen Scheitelöffnung sind in der Kugelfläche 4 kleine Rundöffnungen ausgepart, welche das Innere spärlich erleuchteten.

β) Eine interessantere Construction bietet ein Grabmal in Tivoli (sog. *Tempio della Toffe*), ein Rundbau von 12,45 m Durchmesser bei 2 m oberer Mauerstärke (1 : 6,2).

Die Kuppel ist in drei Zonen abgetheilt; die erste, ein Drittel der Länge der Wölbungslinie hoch, wurde aus kleinen Tuffsteinen und Mörtel vorkragend hergestellt und diese Zone mit nach dem Centrum gerichteten Plattenziegeln abgedeckt. Von hier aus beginnt dann, durch die zweite Zone durchgehend, ein System von Backsteinrippen, die durch horizontale Plattenringe mit einander verbunden sind, das gegen die dritte Zone, den Lichtring sich stemmt. Letzterer ist in seiner unteren Hälfte aus 45 cm großen, hochkantig gestellten Plattenziegeln gemauert und darüber aus 13 Schichten horizontal lagernder Backsteine (Fig. 157). Die Felder zwischen den Gerippen sind mit Gufsgemäuer ausgefetzt. Es ist dies eines der wenigen Kuppelgewölbe neben dem Pantheon, das bis auf den heutigen Tag intact erhalten blieb.

γ) Der in seinem Inneren runde, außen achteckige, sog. Juppiter-Tempel in Spalatro (Grabmal des *Diocletian*, jetzt erzbischoflicher Dom) zeigt bei 13,5 m Lichtweite eine 2,9 m dicke Umfassungsmauer (1 : 4,7).

Letztere ist durch sieben, 2 m tiefe Nischen und eine Thür durchbrochen; die Kuppel-Construction setzt sich aus lauter kleinen Backsteinbogen zusammen, welche über dem Kämpfer auf 8 großen halbkreisförmigen Bogen beginnen, eine constructive Spielerei, auf die bei den ähnlichen Bogen-Constructionen in Trier schon hingewiesen wurde. *Choisy* giebt⁹⁶⁾ die Anordnung dieser Zwickelbogen anders, als *Adam* (Fig. 158). Das Bauwerk wird gegenwärtig von *Hauser* restaurirt, und es sind von diesem jedenfalls f. Z. genauere Aufschlüsse über den interessanten Bau zu erwarten⁹⁷⁾.

⁹⁶⁾ In: *L'art de bâtir chez les Byzantins*. Paris 1883.

⁹⁷⁾ Vergl.: HAUSER, A. Spalatro und die römischen Monumente Dalmatiens etc. Wien 1883.

Fig. 157.

Sog. Tempio della Tosse in Tivoli.

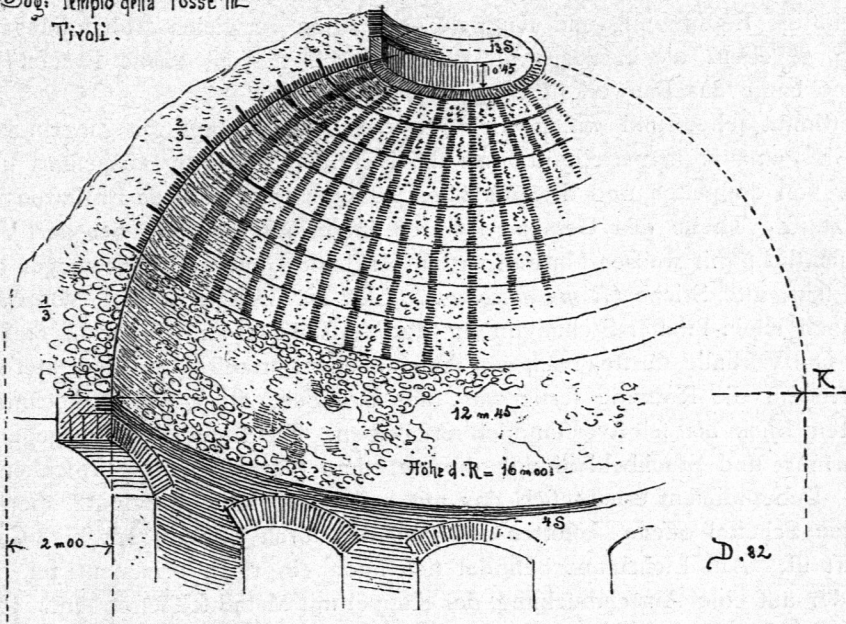
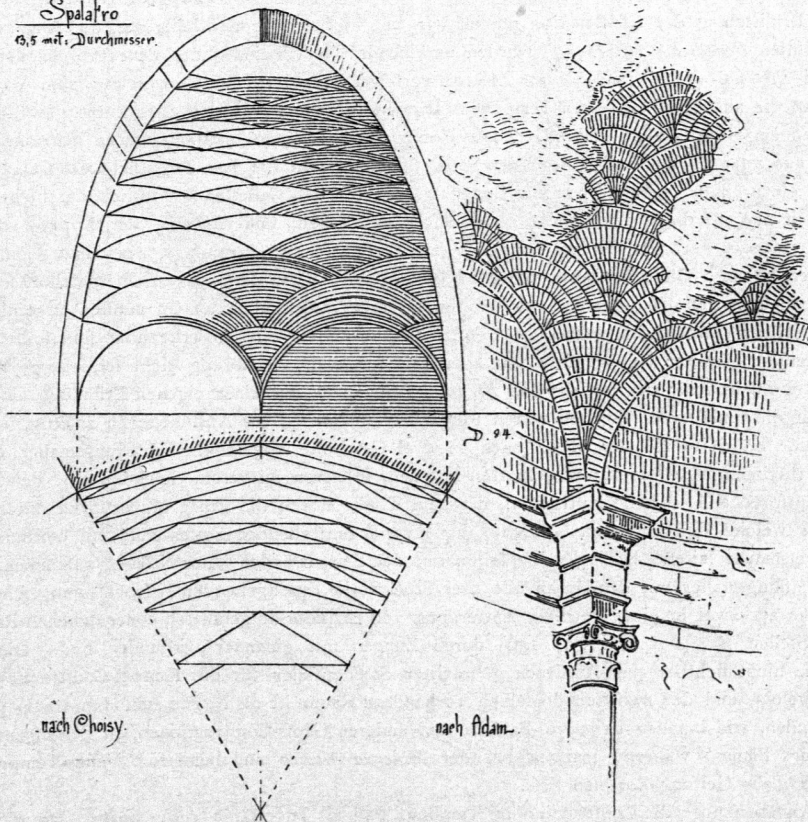


Fig. 158.

Spalatro
6,5 mit. Durchmesser.



b) Als Beispiel einer Grofs-Construction ersten Ranges, einer Kuppel über kreisrundem Raume von 43,5^m Lichtweite, sei das Pantheon in Rom angeführt, dessen einstige Bestimmung und Kuppel-Construction zu vielen Abhandlungen Veranlassung gegeben, die in Bezug auf den technischen Theil offene Fragen bleiben müssen, so lange das Bauwerk unverfehrt stehen bleibt.

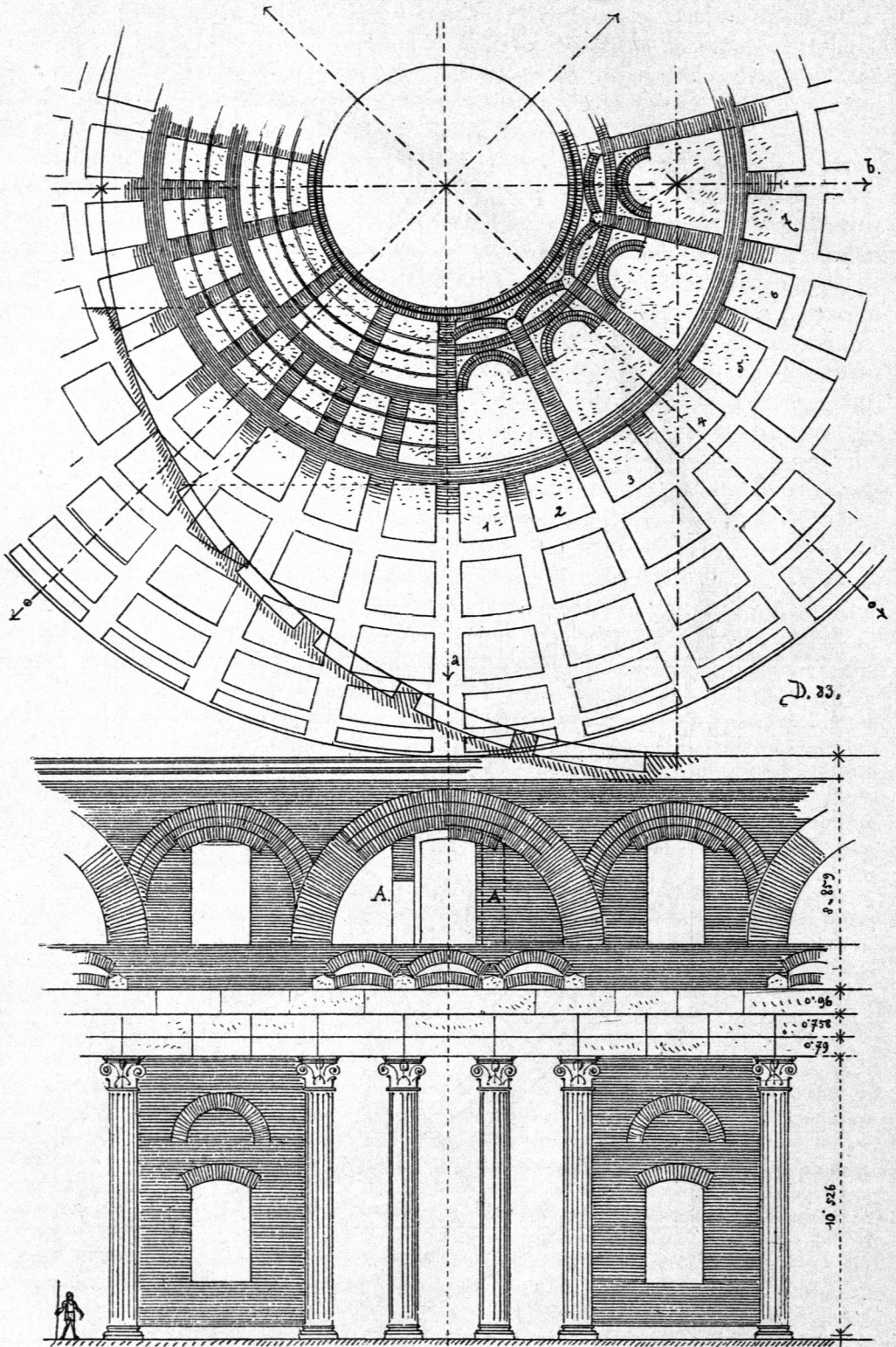
Bestimmt sehen und wissen wir, dafs der Unterbau aus mit Ziegeln verblendetem Gufsgemäuer hergestellt ist, dafs die Blendung sorgfältig ausgeführt und das Gemäuer von doppelten und dreifach über einander weggeführten Entlastungsbogen durchsetzt ist. Theile des Gemäuers waren im Aeuferen, wie bei der Vorhalle noch ersichtlich, mit weissen Marmorplatten verkleidet; andere Theile mögen geputzt gewesen sein; alte Stiche (*Roma antiqua* . . . CIO. IO. LXVIII, Taf. 38, von *Lafrerio*) geben noch Klein-Pilaster-Stellungen an der Aussenseite an, die wohl nie existirt haben. Die Vorhalle dürfte, nach den Anschlüssen zu urtheilen, erst errichtet worden sein, nachdem die Rotunde fertig war, aus Gründen, die jedem Bautechniker auf den ersten Blick als selbstverständlich erscheinen. Im Inneren deckt gegenwärtig eine Marmor- und Stuckbekleidung, die mit dem Kämpfergesimse abschliesst, die Wände. Ueber diesem erhebt sich das mit hell graugelbem Rauhputz überzogene, gegen den Scheitel offene Cassetten-Gewölbe, das durch 5 Zonen mit je 28 Cassetten gegliedert ist. Am Lichtkranz befindet sich noch ein reich ornamentirter Bronze-Reifen, der auf eine Ausschmückung der Kuppel mit Metall schliesen lässt. Letztere ist aufsen mit Bleiplatten abgedeckt. Der Anfang derselben verbirgt sich im Aeuferen durch die höher geführte Umfassungsmauer, durch eine glatte Attika und eine Anzahl von Stufenringen, welche bis zur halben Höhe der Kuppel hinaufgeführt sind.

Zur Ermittlung der Construction müssen wir uns hiernach grosentheils auf die Angaben Anderer verlassen. Unter *Benedict XIV.* (1747) wurden umfassende Restaurationen des Baues vorgenommen; dabei soll die bei *Piranesi* (1756) und *Canina* (1840) veröffentlichte Art der Einwölbung zum Vorschein gekommen sein, die aus 8 durch Bogen verpannte Rippen, welche gegen den Lichtkranz gewölbt sind, und zwischengefetztem Gufsgemäuer bestand. Diese Construction erscheint möglich, wenn man annimmt, dafs die Kuppel aus zwei über einander liegenden Schalen besteht. In die von innen sichtbare Cassetten-Kuppel ist sie nicht einzureihen; denn Rippen und Bogen würden von den Cassetten willkürlich durchschnitten, oder sie müsste sich nur auf die oberste glatte Zone beschränkt haben, und dafür ist der Apparat doch etwas zu weit aus einander gerückt. Nimmt man eine zweite Schale an, so muss die genannte Construction in dieser gelegen haben. Diese versteckt sich aber hinter dem Aufbau des äufseren Obergeschosses und hinter dem Stufenbau über dem Hauptgesimse vollständig. Obergeschofs und Stufenbau mussten an einigen Stellen vollständig zerstört gewesen sein, wenn die Construction in allen Theilen erkennbar sein sollte. Der Zustand der Umfassungsmauer und Gesimse lässt aber auf eine solche Zerstörung nicht schliesen. Man könnte daher leicht versucht sein, zu glauben, dafs *Piranesi* seine Leser mit einer eigenen Erfindung abpeist. Mit Rücksicht auf die unsicheren Angaben wären folgende Annahmen oder Ausführungen zulässig.

Für alle Fälle ist die der Höhe nach in drei Geschosse abgetheilte Umfassungsmauer eine Hohlkörper-Construction mit zellenartig ausgesparten Räumen, in deren mittlerem Geschosse eine den Nischen im Grundrisse entsprechende Bogen-Construction, die zum Theile durch die ganze Mauerstärke durchgreift, angebracht ist, welche den aus dem Gewichte der Kuppel entstehenden Seitenschub auf bestimmte Punkte der Umfassungsmauer leitet. Diese Punkte fallen mit den Seitenwänden jener Nischen zusammen. Es kann also die Umfassungsmauer mit den durch alle drei Stockwerke durchgehenden Nischen so angesehen werden, als bestehe sie aus zwei in einer gewissen Entfernung von einander aufgeführten concentrischen Ringmauern, die an den Stellen S, S_1, S_2, S_3 (Fig. 159) durch Zungen mit einander verbunden sind. Diese Zungen sind dann die nicht sichtbar zum Ausdruck gebrachten Strebepfeiler für die Kuppel-Construction; sie sind nach innen gelegt, und der zwischen denselben vorhandene Raum ist als Nische zum Hauptraum geschlagen. Sie verschwinden, wie bei der *Maxentius*-Basilika und anderen Grofs-Constructionen, in der eigenthümlichen Disposition des Planes, während man sie bei der *Minerva Medica* und beim fog. Venus-Tempel in Bajae auch äufserlich zur Geltung kommen liess.

Die Angaben über die Construction im Tambour sind als zuverlässig anzunehmen. Die alte Marmor-

Fig. 160.



Construction des Mauereylinders und muthmassliche Construction der cassetirten Kuppel des Pantheon in Rom.

Incrustation des zweiten Gefchoffes war schadhaf geworden, wurde 1747 durch den päpstlichen Architekten *P. Pofi* entfernt und durch die jetzige Stuckbekleidung ersetzt. Bei diesem Geschäfte mußte die Mauer bloßgelegt werden, und es konnte also kaum ein Irrthum unterlaufen sein. Zwischen den durchsetzenden dreifachen Bogen *AA* spannen sich kleinere Doppelbogen, welche die Last des darüber stehenden Kuppelmauerwerkes aufnehmen und auf erstere, welche sich auf die Nischenwandungen aufsetzen, übertragen (Fig. 160).

Nach dem Vorgange der Kuppel des Toffia-Grabes bei Tivoli kann nun die Pantheon-Kuppel aus einer einzigen Schale bestehen, und die Caffetten-Rippen sind eine über die andere durchgehend bis zum Lichtring durchgeführt und durch breite horizontale Gurtbänder versteift. In der oberen glatten Zone können noch einzelne Plattenringe eingeschoben sein. Die Füllungen, welche dieses Rippenwerk aus Backsteinen umschließt, wurden mit Gufsmauerwerk ausgefetzt, das in der oberen Zone mit den Rippen die gleiche Dicke hatte, in den 5 unteren Felderreiben aber auf staffelförmige Lehrkasten aufgeschüttet wurde, um so in einfacher Weise die Caffetten zu erhalten. Um beim Nachlassen oder Wegnehmen der Lehrbogen diese hölzernen Lehrkasten für die Caffetten leicht loslösen zu können, wurden die horizontalen Caffetten-Wände nicht winkelrecht zur Wöblungslinie hergestellt; sondern sie scheinen im Grundplane nach dem Mittelpunkt zu laufen. Mit einem optischen Experiment hat diese Anordnung um so weniger etwas zu thun, als sie nicht die fertige Form giebt. Außerdem wirkt sie jetzt unchön (die unteren Flächen erscheinen zu breit und die oberen verkümmert, wenn man nicht gerade in der Mitte des Raumes steht); sie ist nur von einem Punkte, vom Centrum des Grundplanes aus, für einen einzigen Beschauer genießbar.

Möglich ist es auch, daß der Gang und die Verpannung der Rippen und Gurten nach dem Lichtkranz in der von *Piranesi* angegebenen Weise statt hatte, mit dem Unterschiede, daß die Hälfte (14) der aufsteigenden Gurten gegen den Scheitel geführt und der glatte Theil nach der im Grundplane in Fig. 160 rechts angegebenen Weise ausgespannt war. Dabei ist unterstellt, daß das Gewölbe aus einer einzigen Schale besteht.

Verwerthen wir die Angaben *Piranesi's* so voll als möglich, so bleibt nichts übrig, als eine doppelchalige Kuppel anzunehmen und den Römern die Priorität der Erfindung von Doppelkuppeln zu überlassen. Vortrefflich im Gedanken und praktisch ausführbar ist, was Fig. 159 im Schnitt und Grundplan zeigt. Nach der Erhärtung der inneren Caffetten-Kuppel auf dem Lehrgerüste konnte diese als Gerüst für die äußere Schutzkuppel dienen; man konnte so mit geringem und leichtem Holze für die Rüstung auskommen. Durch die Uebermauerung erhielt das Gewölbe stärkeren Halt und vermehrte Stabilität und durch die Abdeckung mit Bronze-Ziegeln Schutz gegen die Witterung. Der bald zweitausendjährige Bestand ist ein Zeugniß für die Qualität der Construction und der Ausführung⁹⁸⁾.

Der Vorwurf eines schwerfälligen Unterbaues oder einer zu maffigen Widerlager-Construction wird doch etwas niedergehalten, wenn man erwägt, daß wir es eigentlich nur mit einer 1,80 m dicken Umfassungsmauer aus Gufsgemäuer zu thun haben, aus der 8 gekuppelte oder im Ganzen 16 Strebepfeiler 4,5 m weit hervorragen, welche die ganze grofsartige Kuppel-Construction aufnehmen. Die aus Quadern construirten Strebepfeiler des Cölner Domes ragen nicht viel weniger weit aus der Umfassungsmauer vor; diese nach außen, jene am Pantheon nach innen.

Für die statische Beurtheilung von Gewölbe, Widerlager und Auspannung der concentrischen Ringmauer geben die Schnitte in Fig. 161 wohl den besten Aufschluß. Durchmesser und Höhe des Raumes sind einander gleich; sie verhalten sich wie 1 : 1, gleich wie am Dome in Cöln; auch die wirklichen Masse dieser beiden Bauten (im Querschnitt genommen) decken sich nahezu, wie das Diagramm zeigt. Der Vorsprung der Strebepfeiler vor der Umfassungsmauer beträgt $\frac{1}{11}$ der Spannweite, die Stärke der Strebepfeiler einschl. Umfassungsmauer ist $\frac{1}{7,5}$ derselben und die Dicke der Umfassungsmauer beträgt $\frac{1}{24}$.

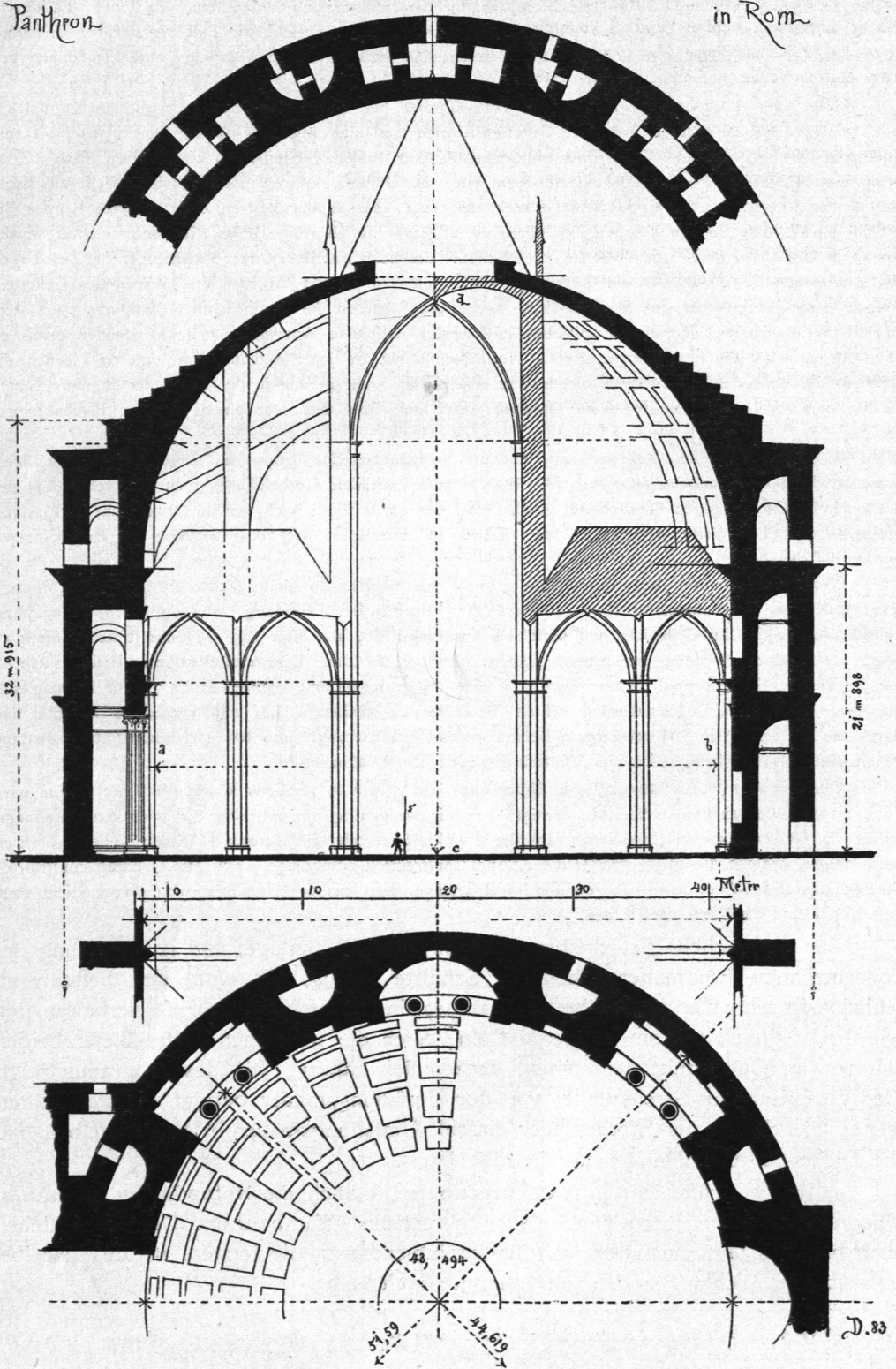
e) In die Classe der Grofs-Constructionen ist auch die Rotunde der *Caracalla*-Thermen mit 35 m lichtem Durchmesser zu rechnen. Tambour und Gewölbe bestehen auch hier aus Gufsmauerwerk mit Backsteinblendung; die letztere ist am Gewölbe, so weit dies noch vorhanden, im Inneren durchgeführt.

⁹⁸⁾ Vergl. hierüber auch: VIOLLET-LE-DUC. *Dictionnaire raisonné de l'architecture etc.* Band 4. (Paris 1875). S. 347: Artikel »coupole«.

Fig. 161.

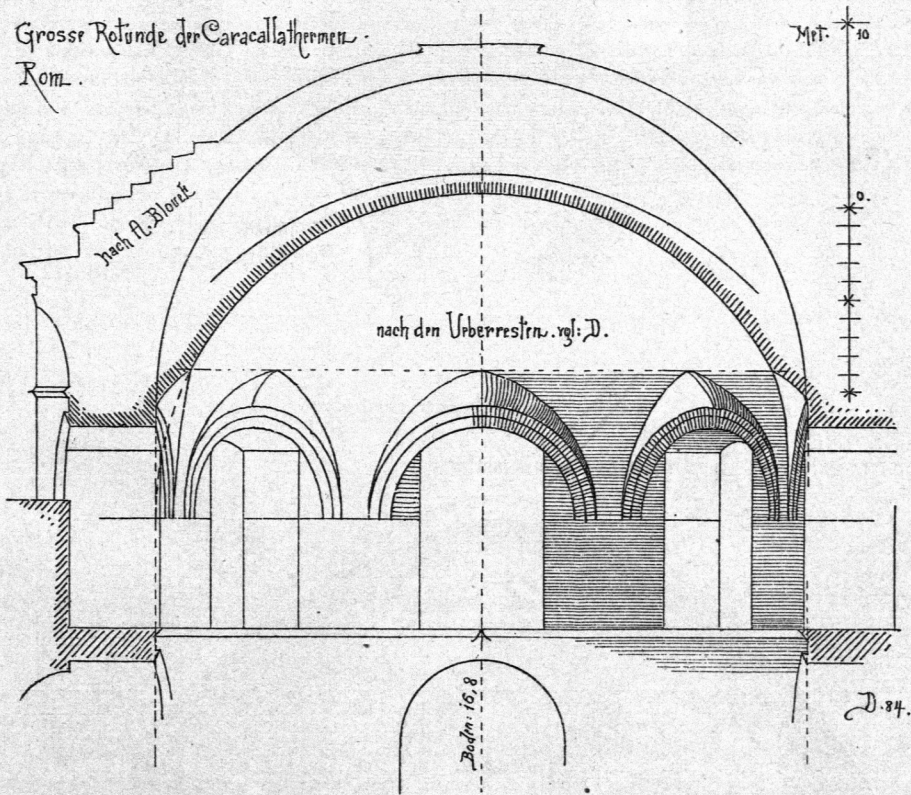
Pantheon

in Rome



16,8 m über dem Fußboden erhob sich ein Lichtgaden von 8 großen, flachbogig überspannten Fenstern, und es war somit wohl der Scheitel des Gewölbes geschlossen. Die Flachbogen der Fenster sind Theile von durchgehenden doppelten Rundbogen, die in der Rundung des Baues, aber lothrecht emporsteigend gewölbt sind. Die Kämpfer dieser Bogen fallen mit dem Kämpfer der Kuppel zusammen. Die Verbindung dieser lothrechten Bogen mit der überhängenden Fläche des Kuppelgewölbes mußte zur Anlage von Stichkappen führen. Fig. 153, D zeigt den jetzigen Zustand eines Pfeilers mit den Bogen- und Stichkappen-Anfängern; letztere sind äußerst sorgfältig und schön gemauert und in der Fugenführung mustergiltig. Nach diesem Thatbestand läßt sich un schwer die einstige Form der Kuppel wiederherstellen und auch der Beweis liefern, daß die von *Blouet* versuchte, sonst sehr verdienstvolle Reconstruction der Thermen speciel in diesem Theile nicht zutreffend und daß das Kuppelgewölbe mit Stichkappen (Lunetten) eine römische Leistung ist. Die Kuppel geräth bei *Blouet* um 6 m zu hoch. Von der Construction oberhalb der Lunetten läßt sich jetzt nichts mehr fest stellen (Fig. 162).

Fig. 162.



f) Die Kuppeln bei Bajae, wohl Bestandtheile ehemaliger Thermen-Anlagen, zeichnen sich ebenfalls durch bedeutende Spannweiten aus, indem sie Lichtweiten von 28 bis 30 m zeigen. Sie gehören aber, streng genommen, nicht in die Classe der Gewölbe; denn Form und Schichtung der Steine haben nichts mit dem Keilschnitt zu thun. Ihre Existenz und Festigkeit beruht lediglich auf der Bindekraft des Mörtels aus der Erde von Puteoli (Pozzuoli).

Der sog. Venus-Tempel, eine Rotunde von 28,6 m Lichtweite mit 4 halbkreisförmigen Nischen und 4 Durchgängen im unteren Theile des Tambours und 8 Fensteröffnungen im oberen Theile, ist aus Gufsgemäuer mit Blendungen von Backsteinen und *Opus reticulatum* aus Tuffsteinen hergestellt.

Fig. 163.

Rotundrin Bajae. (sog. Yrnustempel.)

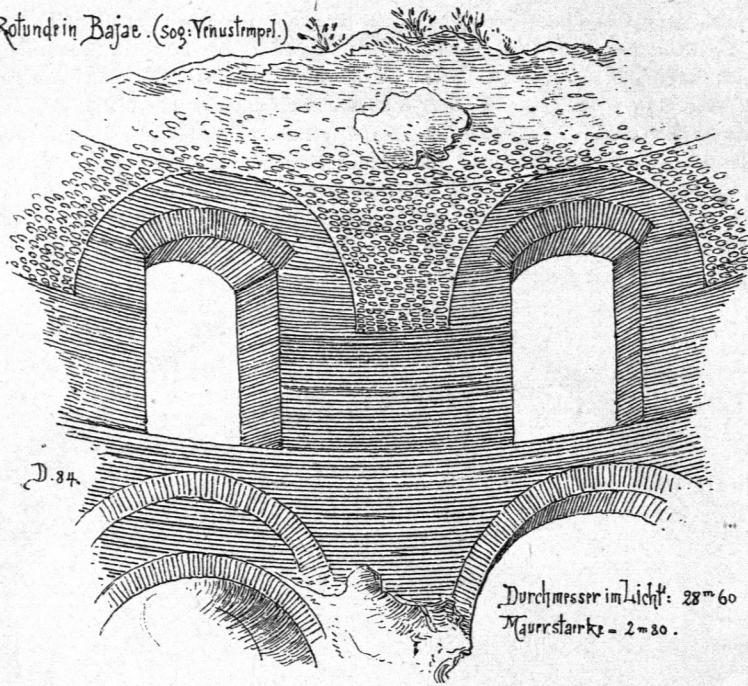
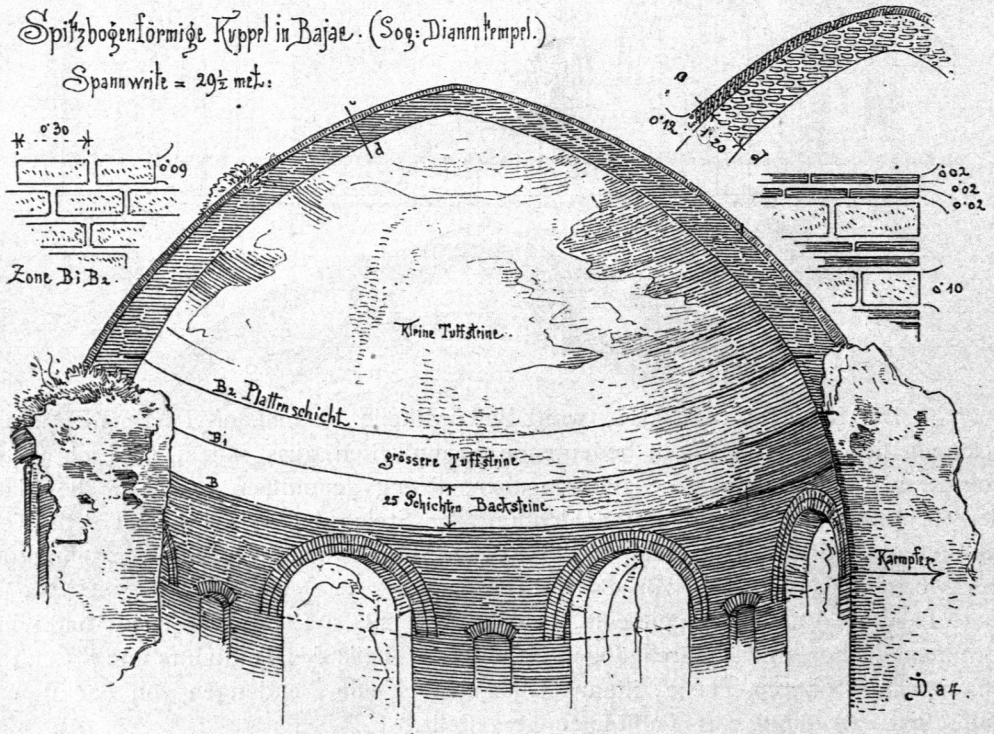


Fig. 164.

Spitzbogenförmige Kuppel in Bajae. (Sog. Dianntempel.)

Spannweite = 29½ met.

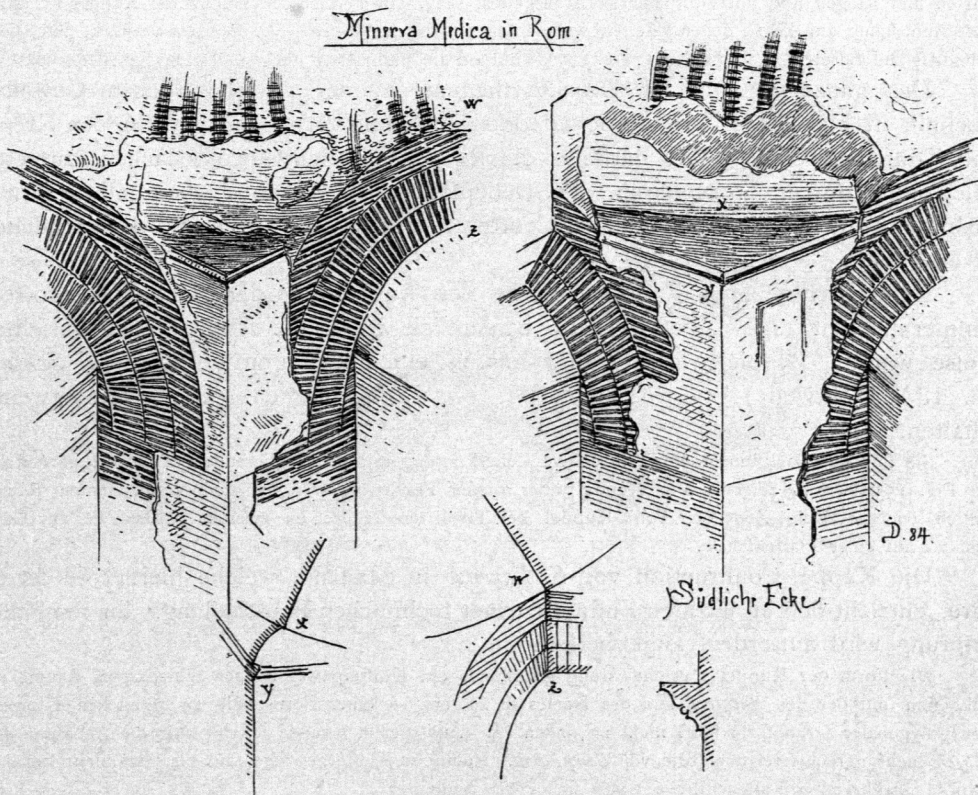


Die Umfassungsmauer ist durch Strebepfeiler verstärkt (Fig. 176); die Dicke der ersteren verhält sich zur Spannweite durchschnittlich genommen wie 1:10. Die Backsteinblendung im Inneren des Raumes ist horizontal geschichtet und über den Stichbogenfenstern halbkreisförmig emporgeführt (Fig. 163). In die sphärischen Zwickel zwischen diesen Bogen ist gerade geschichtetes Mauerwerk aus kleinen, ziemlich regelmäßig gerichteten Tuffsteinen eingefügt, welches sich wohl bis zum Scheitel der Wölbung fortsetzte. Die ähnlichen, halb runden Führungen der horizontalen Backsteinverblendschichten kehren bei der *Minerva Medica* wieder; ein besonderer constructiver Sinn kann denselben nicht beigemessen werden (Fig. 165).

Besser erhalten, indem die Hälfte der Kuppel bis zum Scheitel noch steht, ist die des sog. Dianen-Tempels. Die Wölbungslinie ist hier schon eine Besonderheit, indem sie die Form des gedrückten Spitzbogens zeigt.

Der Tambour der 29,5 m weiten Rotunde ist aus Gussgemäuer, das mit Backsteinen und Tuffsteinen in den Schichten abwechselnd verblendet ist. Diese Art Mauerwerk ist bis über den oberen Lichtgaden, über die Scheitel der 8 großen Fenster hinausgeführt. Von dort beginnt eine Zone von 25 Backstein-schichten, welche durch Plattenziegel B und B_1 (Fig. 164) abgebunden sind, darüber eine zweite Zone, welche aus regelmäßig bearbeiteten, 30 cm langen und 9 cm hohen Tuffsteinen besteht, die mit der Platten-schicht B_2 abgebunden ist; das darauf folgende Mauerwerk ist bis zum Scheitel aus regelmäßigen, kleineren Tuffsteinen hergestellt. Diese Steine aller Zonen sind aber bis zum Scheitel nicht nach dem Centrum der Wölbungslinie, sondern horizontal geschichtet. Die Dicke des Gewölbes, welche nach dem Scheitel zu abnimmt, beträgt, in der Nähe des letzteren gemessen, noch 1,20 m. Die ganze Oberfläche ist mit einem Mörtelgufs, dem klein geschlagene Backsteinbrocken beigemischt sind, 12 cm dick überzogen, und dieser, jetzt noch in vortrefflichem Zustande, bildet die schützende Schale des Gewölbes (Fig. 164). Die Leichtigkeit der Steine, die steigende Wölbungslinie, die Güte und Bindekraft des Mörtels liefen die Horizontal-schichtung bei der großen Spannweite zu.

Fig. 165.



Die verschiedenen principiellen Unterschiede in der technischen Herstellung dieser gewaltigen Kuppelgewölbe mögen in den unter α bis f vorgeführten Beispielen zur Genüge erkannt werden.

174.
Kuppel-
gewölbe über
polygonalen
Räumen.

β) Kuppelgewölbe über polygonalen Räumen. Ueber polygonalen Räumen konnten die Kuppeln nicht so unmittelbar auf die Tambours gesetzt werden, wie bei den kreisrunden; es bedurfte, wie in Art. 172 gezeigt wurde, besonderer Vorrichtungen, der Pendentifs. Letztere wurden durch Ueberkrragung oder Wölbung hergestellt.

Je mehr sich das Vieleck dem Kreise näherte, um so gefahrloser war die Ausführung. So konnte bei zehneckiger Grundform das Experiment auch für grössere Spannweiten gewagt werden, z. B. beim sog. Tempel der Minerva Medica in Rom bis zu 25,0 m. Die Construction der Pendentifs ist nicht genau fest zu stellen, da der Putz die fraglichen Flächen deckt (Fig. 165); sie scheint aber, nach anderen Ausführungen zu schliessen, aus einer Ueberkrragung von Backsteinen zu bestehen.

Interessant bleibt die Construction der Kuppel, weil in ihr das am Pantheon durch *Piranesi* unsicher angegebene System der Wölbung offen zu Tage liegt. Die Umfassungsmauern bestehen aus Gufsgemäuer mit Backsteinblendung, die Gewölbe aus Backsteinrippen und Gufsmauerwerk.

Aus den einspringenden Ecken erheben sich breite, aus 5 mit Platten durchschossenen Backsteinschichten construirte Gurten, welche wohl bis zu einem Scheitelringe geführt waren. Ueber den Scheiteln der doppelten, durch die ganze Mauer durchsetzenden Fensterbogen erhebt sich mitten auf jeder Seite des Zehneckes ein zweites System von je 2 Gurten, die nur bis zur halben Höhe der Kuppel geführt und durch kleine Halbkreisbogen mit einander verbunden sind. Alle diese Gurten sind durch eine Reihe von Horizontalringen aus Platten verpannt und bilden zusammen das Gerippe der Kuppel. Die Räume zwischen Gurten und Ringen sind mit Gufsmauerwerk ausgefüllt (Fig. 166). Der Seitenschub der Kuppel ist durch diese Anordnung auf die 10 Ecken geleitet, welche dem entsprechend durch Strebebögen verstärkt sind (siehe Grundriss und äussere Ansicht in Fig. 174 u. 177), während die Füllmauern nur $\frac{1}{16}$ des Durchmessers dick sind.

Das ganze System der Druckvertheilung in der mittelalterlichen Gewölbe-Technik ist hier wieder ausgesprochen oder im Keime vorhanden, wie bei den Kreuz- und Tonnengewölben. Man darf nur die Rippen aus den Gewölbeflächen vortreten lassen, sie entsprechend profiliren, die Strebebögen mehr sprechen lassen und sie formal ausbilden, um aus diesen römischen Constructionen das fertige Princip der gothischen zu erhalten.

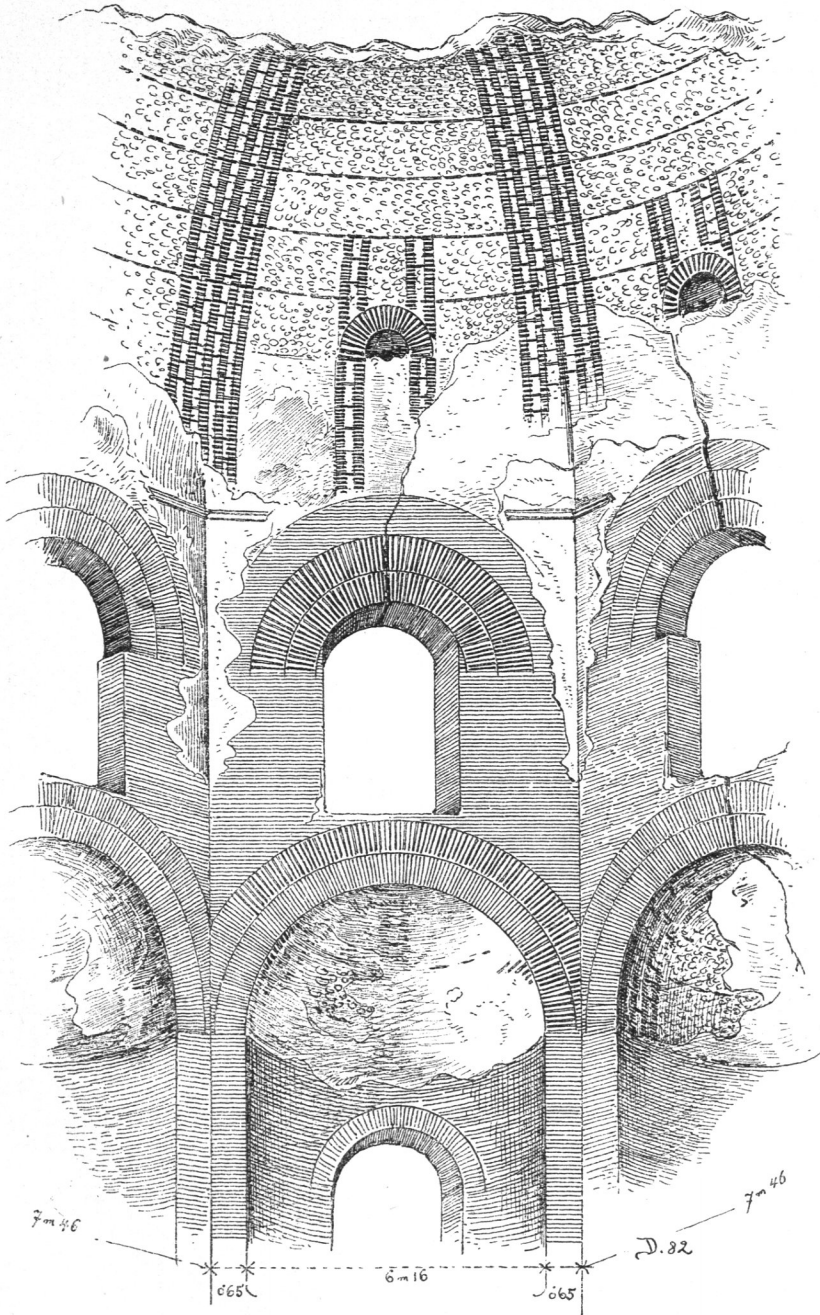
Ueber achteckigen Räumen musste der Ausführung der Pendentifs grössere Aufmerksamkeit zugewendet werden, namentlich wenn die Abmessungen derselben grosse waren. Beispiele solcher sind uns in einem Octogon bei *Tor de' Schiavi* (ca. 13 m Lichtweite) und in einem der *Caracalla-Thermen* (ca. 20 m Lichtweite) erhalten.

Sie sind aus Backsteinen durch successive Ueberkrragung mit sich verlierendem Theilgrat hergestellt, wie Fig. 155 u. 156 zeigen. Die Kuppel über diesen Pendentifs war bei dem erstgenannten Raume ähnlich, wie die zweite Zone der Toffia-Kuppel bei Tivoli construiert; im zweiten bestand sie aus Gufsgemäuer auf einer Plattenfchale.

Die Kuppel-Construction von *S. Lorenzo* in Mailand, welche hierher zu setzen wäre, entzieht sich im jetzigen Zustande einer technischen Beurtheilung. Ihr römischer Ursprung wird ausserdem angezweifelt.

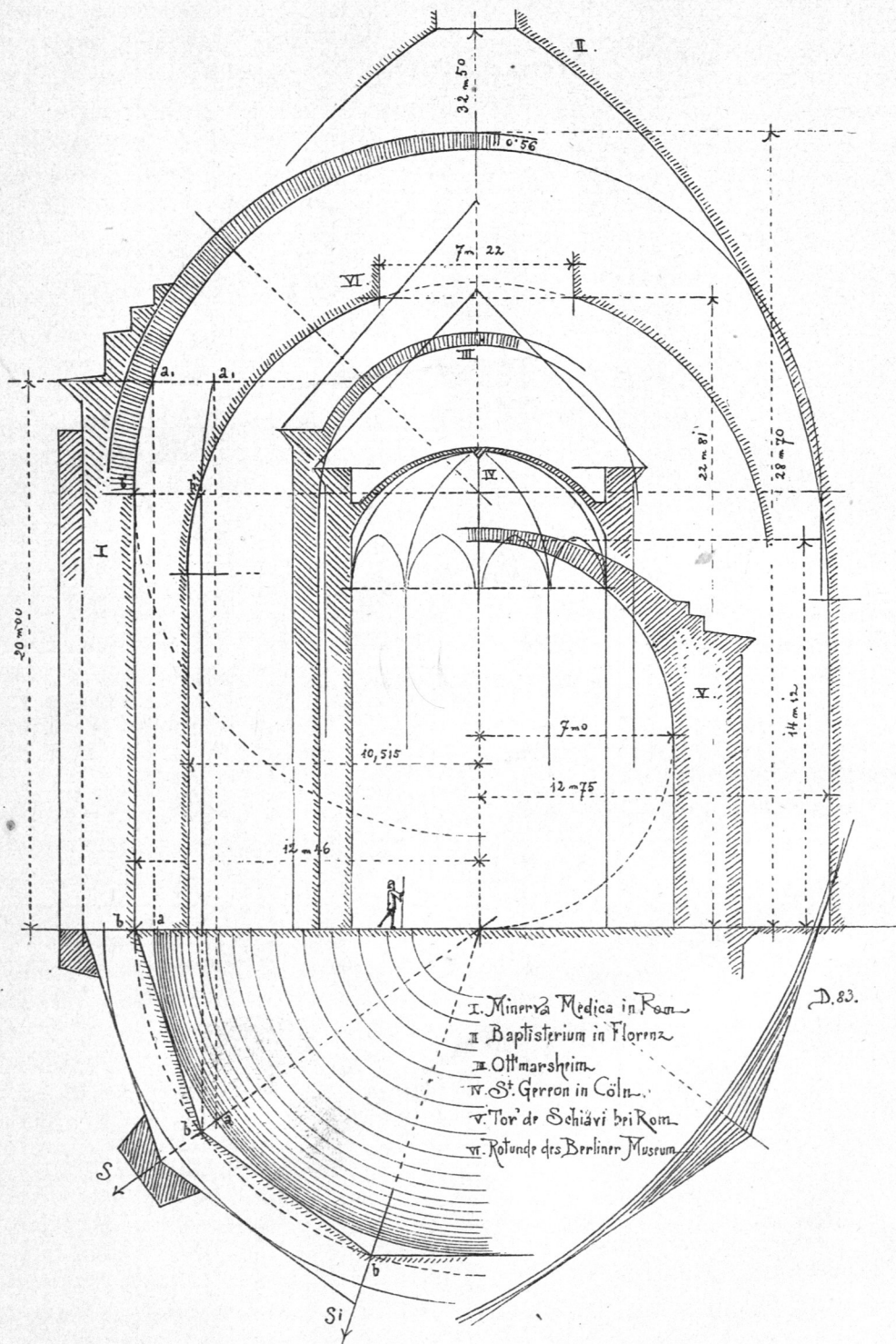
Die Form der Kuppel, welche streng genommen ein Klostergewölbe über achteckigem Raume ist, deckt sich mit der des *Batistero* und des *Domes* in Florenz — einer Form, die an römischen Kuppeln über polygonaler Grundform sonst nicht zu finden ist. Aus diesem Grunde scheint mir die Annahme von *Hübisch* mehr gerechtfertigt, als die von *Burkhardt*. Römische Klostergewölbe sind bis jetzt nicht bekannt geworden, während die altchristliche Kunst sich deren bediente.

Fig. 166.



Kuppelgewölbe über schneckigem Raum. — Minerva Medica in Rom.

Fig. 167.



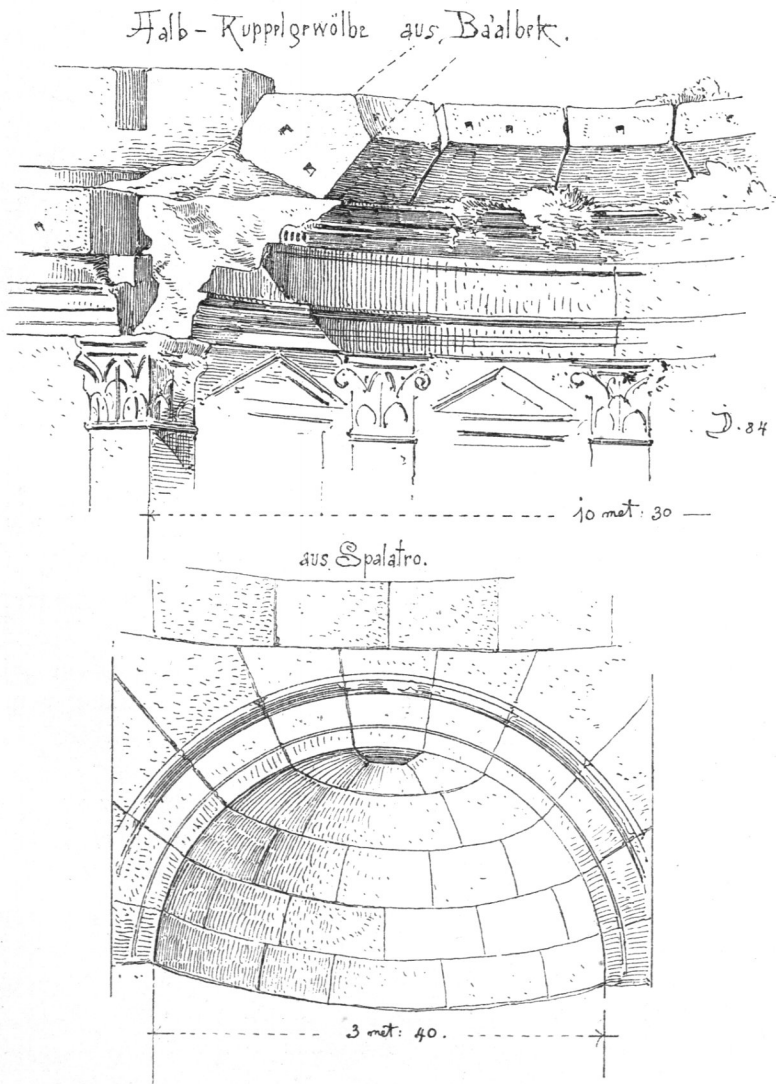
- I. Minerva Medica in Rom
- II. Baptisterium in Florenz
- III. Offmarshim
- IV. St. Geron in Coln.
- V. Tor' de Schiavi bei Rom
- VI. Rotunde des Berliner Museum

D. 83.

Fig. 167 giebt eine vergleichende Zusammenstellung der Raumgrößen und eine Uebersicht der Verhältnisse von mittelgroßen Polygon- und Rundräumen hervorragender Bauten alter und neuer Zeit. An Ebenmaß der Verhältnisse, bei interessanter und gediegener Construction, dürfte die *Minerva Medica* immerhin alle anderen angeführten Beispiele übertreffen.*

Ueber quadratischen Räumen haben wir im römischen Abendlande nur bei den kleinen Gräbern und im Osten an den fyrischen Bauten Kuppeln aufzuweisen, von welchen die am Tetrapylon von Lataquieh⁹⁹⁾ eine Spannweite von 9,70 m erreicht. An einer Kalybe in Chaqqa und am genannten Tetrapylon, Bauten aus dem III. Jahrhundert unferer Zeitrechnung, sind in interessanter Weise die Pendentifs durch Uebertragung von Quadersteinen hergestellt. (Vergl. das über die Kuppelgewölbe von Djerafch und im Mäander-Thal in Art. 172, S. 178 Gefagte.)

Fig. 168.



⁹⁹⁾ Vergl. DE VOGÜÉ a. a. O.

4) Nischengewölbe.

175.
Nischen-
gewölbe:

Das Nischen- oder Chorgewölbe ist bei den großen Exedren der Tempel-Stoen und Thermen, in Basiliken, Heroen, als Abschluss in Tempel-Cellen und als Ueberdeckung halbkreisförmiger Wandnischen zu finden. Dem entsprechend treffen wir das Gewölbe in allen Dimensionen ausgeführt, von der kleinen, 1^m weiten Nische bis zur 24,6^m weiten Exedra (*Caracalla-Thermen*).

176.
Aus
Quadern.

α) Aus Quadern construiert, ist es uns in der Exedra des großen Vorhofes des großen Tempels in Ba'albek (Durchmesser 10,3^m), in den Nischen des *Diocletian-Grabmales* zu Spalatro (3,4^m im Durchmesser) und in den Wandnischen von Gerasa erhalten. Je nach den Spannweiten ist der Steinschnitt bei der Construction verschieden. Am letztgenannten Orte setzen sich die keilförmigen Bogensteine auf ein halbrundes Mittelstück auf; in Ba'albek und Spalatro sind die Wölbsteine ringförmig gefchichtet (Fig. 168 u. 169).

Fig. 169.

Nischengewölbe in Gerasa.



D. 33.

177.
Aus
Backsteinen
oder
Gufsmauer-
werk.

β) Bei einer Ausführung aus Backsteinen oder Gufsmäuer ist gewöhnlich nur die Gewölbefirn aus mehrfachen, durch Platten verbundenen Backsteinringen und das Halbrund aus Gufsmauerwerk hergestellt, welches auf eine gut in Mörtel gefügte Plattenschalung gesetzt und vielfach mit winkelrecht zur Wölbungslinie gestellten Plattenziegeln durchschossen ist.

Bei der großen Exedra in den *Caracalla-Thermen* kam ein doppelter, 1,20^m hoher Backsteinbogen an die Stirn; alsdann kamen in der Rundung vom Kämpfer aufwärts 54 Backsteinschichten und über diesen bis zum Scheitel Gufsmäuer auf einer Plattenschale zur Ausführung. Die kleinen Nischengewölbe der *Minerva Medica*, von 6,16^m Durchmesser, wurden, da sie zum Theile Stockgemäuer zu tragen haben und sich aus einer Viertelkugel und einer Tonne zusammensetzen, besonders sorgfältig construiert, indem sie an der Stirn der Tiefe nach aus vierfachen und der Höhe nach aus doppelten Backsteinbogen bestehen, auf welche rechtwinkelig eine Doppelgurte, durch die Rundung geführt, trifft. Letztere ist mit horizontalen Plattenringen durchschossen und das Rippenwerk mit Gufsmäuer dann ausgesetzt (Fig. 170).

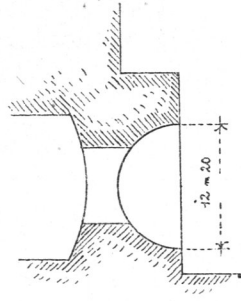
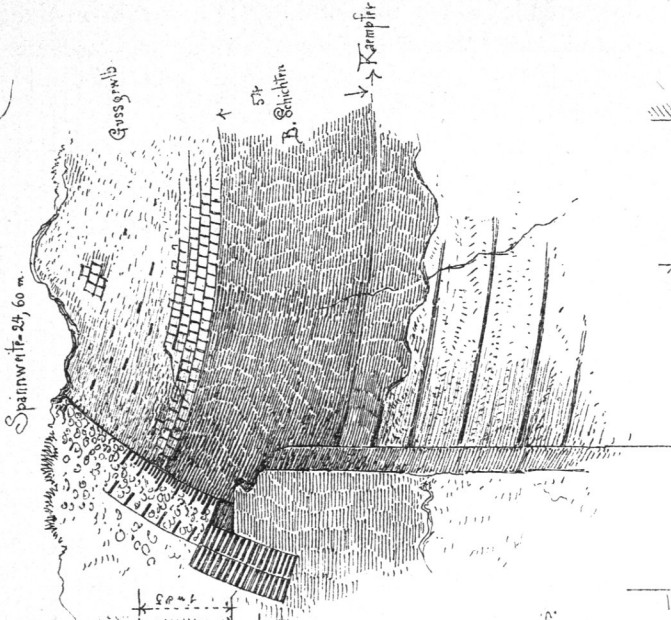
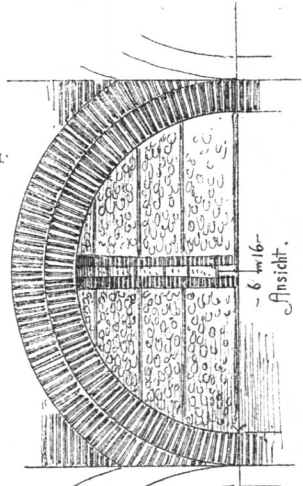
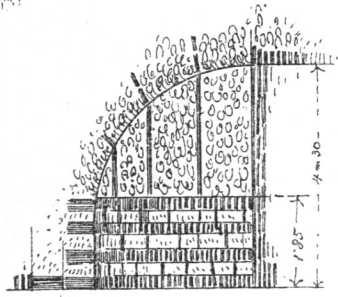
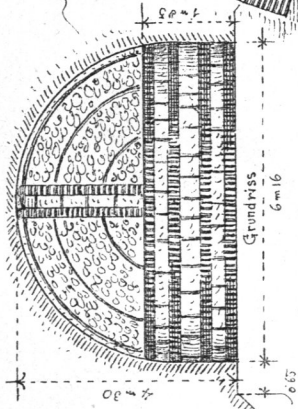
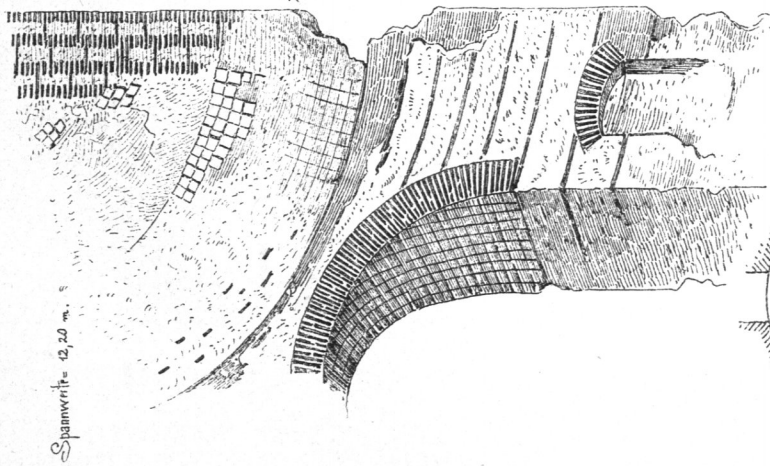
178.
Stichkappen.

γ) Durch Anordnung von Lunetten oder durch ein Einschneiden von lothrecht geführten Fenstern in Kämpferhöhe wurden bei der großen Rotunde der *Caracalla-Thermen* die Stichkappen hervorgerufen; diese gezogen und bis zum Gewölbefcheitel fortgeführt, ergaben eine fächerartige Theilung oder Belebung der

Fig. 170.

Munira Medica (Rom.)

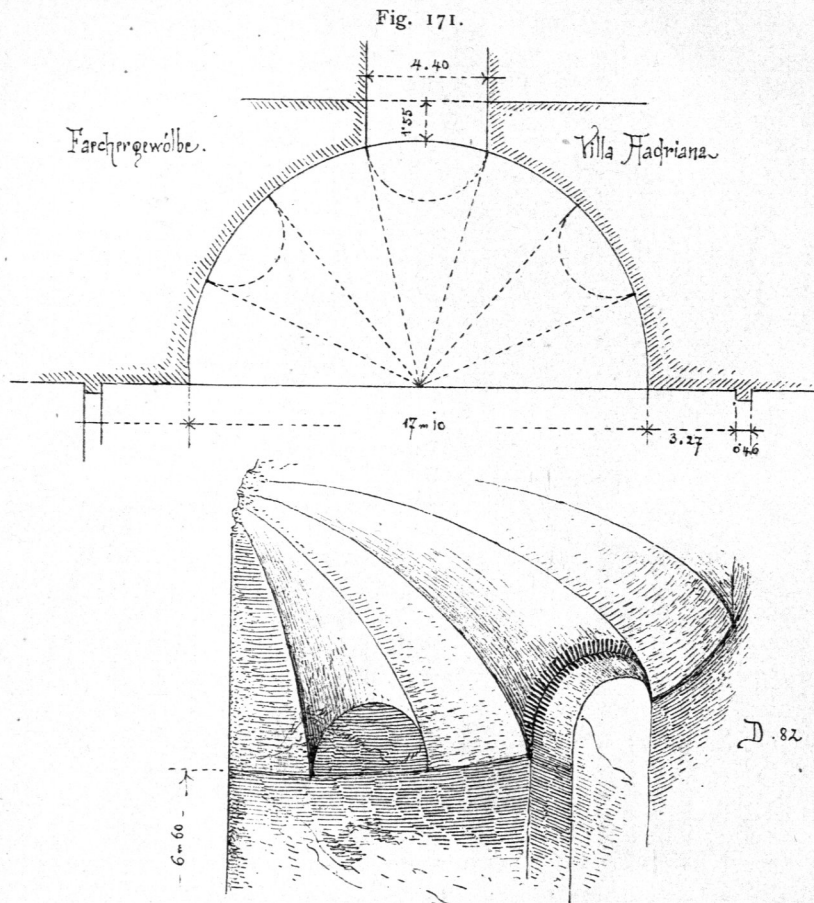
Mischringwölbe (Halbkuppel)



D. 32

Viertelkugel. Die Exedra in der *Villa Hadriana* bei Tivoli (von 17,1 m Durchmesser) kann als Beispiel dieser Behandlung gelten (Fig. 171).

Das Gewölbe ist im Grundriss in 7 Sektoren zerlegt, wovon 4 in der Kugel­fläche liegen bleiben, während 3 als steigende Tonnen mit kleiner werdendem Durch-



messer ausgebildet sind. Da Putz das Gewölbe deckt, so ist seine Construction im Einzelnen nicht fest zu stellen.

179.
Cassettirungen.

δ) Cassettenartig gegliedert, wie das Tonnen- und Kuppelgewölbe, finden wir das Nischengewölbe im Hadrianischen Tempel der Roma und Venus in Rom. Zierliche Rauten beleben die Gewölbefläche in schönster Weise.

180.
Topfgewölbe.

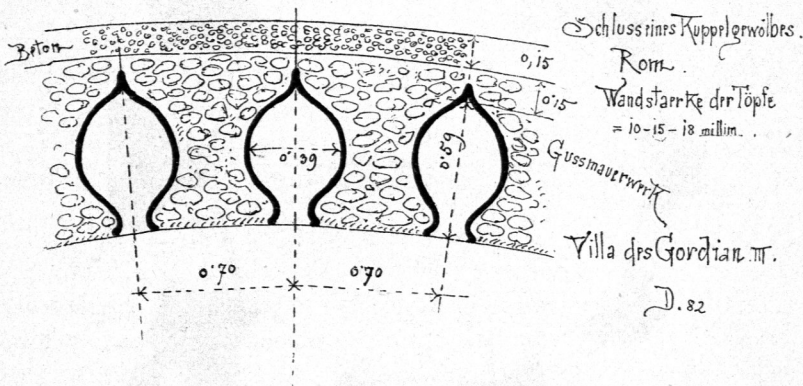
Bei den angeführten Beispielen wurden für die Wölbungen Kalk- und Backsteine, Kalkmörtel und Puzzolane als Material genannt. Bei den großen Gewölben bevorzugte man namentlich Materialien von sehr geringem Gewichte, vulkanische Tuffe von außerordentlicher Porosität.

In Pompeji (Stabianer Thermen und Töpferofen vor dem Herculaner Thor) und in Rom (*Tor de' Schiavi* [Achtecksbau], *Torre Pignattara* an der *Via Labicana* [Grab der heil. Helena], Circus des *Maxentius*, *Minerva Medica*, *Fanus Quadrifrons*) finden sich in den Gewölben vielfach vermauerte Töpfe¹⁰⁰⁾. Dieser Gebrauch mag,

¹⁰⁰⁾ Vergl. NISSEN a. a. O., S. 64 — ferner: OVERBECK, J. Pompeji in seinen Gebäuden etc. 2. Aufl. Leipzig 1884. S. 380 — endlich: CHOISY, A. *L'art de bâtir chez les Romains*. Paris 1876. S. 96.

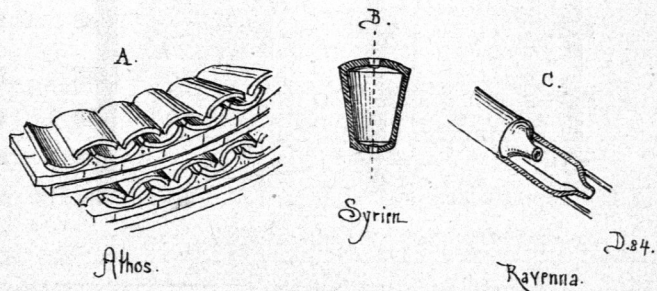
wie gefagt, bis zum Ende der Republik zurückreichen. Uebrigens waren es nach der Sachlage keineswegs statische Gründe, welche die Römer jener Zeit veranlassten, dieses Material zu verwenden; man machte einfach schadhast gewordene Amphoren, die aus vortrefflichem Thone hergestellt waren, auf diese Weise für bauliche Zwecke nutzbar. Sie sind über die ganze Gewölbefläche zerstreut, sitzen oft in Gruppen beisammen oder vereinzelt und kommen eben so gut in den Widerlagern, als im Scheitel des Gewölbes vor.

Fig. 172.



Das eingestürzte Kuppelgewölbe bei *Tor de' Schiavi* (Villa des Gordian) zeigt in den auf dem Boden liegenden Stücken die in Fig. 172 gezeichnete Anordnung und Form der Töpfe. Erst die byzantinischen Architekten zogen aus diesem Material Nutzen für ihren Gewölbekonstruktion durch eine systematische Anordnung und statisch rationelle Vertheilung desselben. In Ravenna bildeten in einander gesteckte Töpfe (C in Fig. 173) durch eine spiralförmige Schichtung eine Reihe unverschieblicher Ringe, ein Gedanke, der in den Kuppeln der Bauten auf dem Berge Athos wiederkehrt, indem dort zwischen die gewöhnlichen Wölbsteine Ringe von sich deckenden Hohlziegeln vermauert sind (A in Fig. 173). Der Gebrauch von Töpfen zu Wölbungen hat sich in Syrien bis heute erhalten, und Fig. 173 giebt bei B die Form eines solchen Topfes wieder.

Fig. 173.



Das Vorkommen versteckt oder offen liegender Strebepfeiler wurde in der Einleitung und bei den verschiedenen Gewölben schon erwähnt. Construiert sind sie als schlichte Mauerklötze — aus sichtbar vortretenden Quadern im Haurân (Chaqqa, II. oder III. Jahrhundert), aus Gufsgemäuer mit Backsteinblendung in Italien (*Minerva Medica* in Fig. 174 u. 177, *Maxentius-Basilika*, Bajae in Fig. 176). Der Raum zwischen denselben ist ganz oder theilweise zum Inneren geschlagen (Chaqqa in Fig. 175), und im letzteren Falle beleben die Pfeiler die Außenfläche der Umfassungsmauern