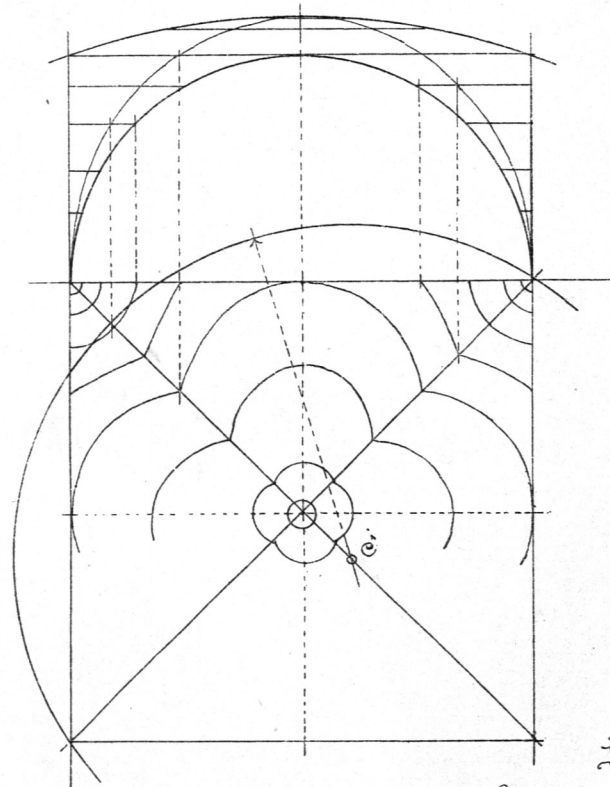


Bei rechteckigen Räumen ist das Kreuzgewölbe eine Durchdringung von zwei ungleich langen Tonnen, die den gleichen Durchmesser haben. Der Scheitelpunkt des Gewölbes fällt im Grundriss mit dem Schwerpunkte der Figur zusammen. Die Anfallpunkte der Diagonalbögen sind daher nicht in den Mauerecken; sondern 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.



Kreuzgewölbe dessen Diagonalbogen der Theil einer Kreislinie.

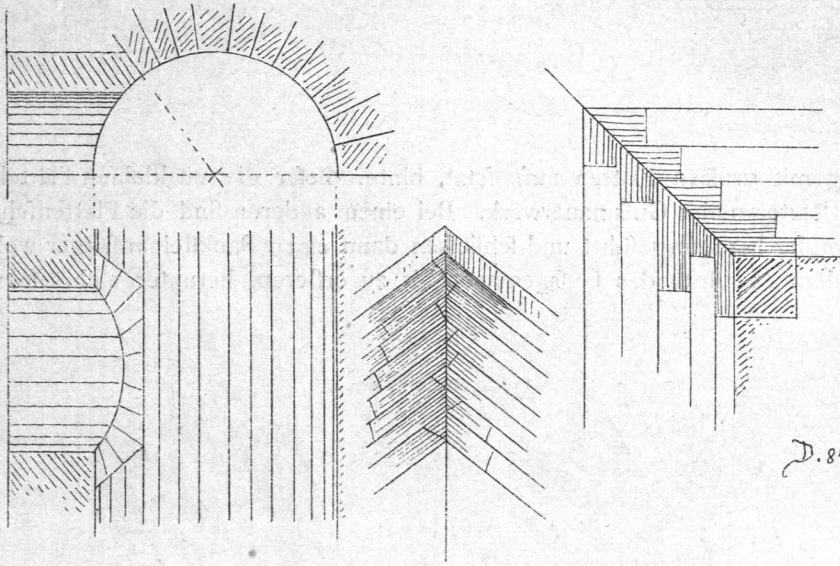
D. 84.

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 Hakenquader ein verbandmäßiges Uebergreifen der Schichtenquader des einen Gewölbes über die des anderen, wie wir es heute noch bei Backsteingewölben ausführen (Fig. 148).

Fig. 148.



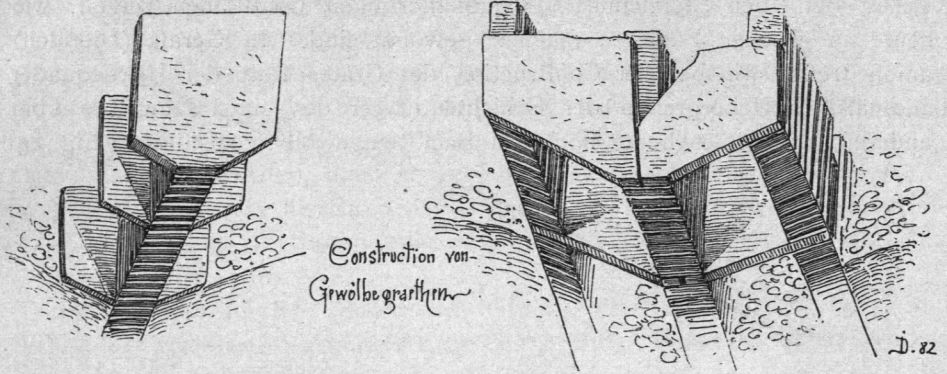
Hatten die sich schneidenden Gewölbe bei gleicher Kämpferhöhe nicht den gleichen Durchmesser, so entstanden die Stichkappen. Sie wurden in Pergamon (nach Curtius II. Jahrh. vor Chr.) für sich tragend ausgeführt, dabei die Wölbsteine nach der Fläche des geschnittenen Gewölbes so abgerichtet, daß die Steine 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

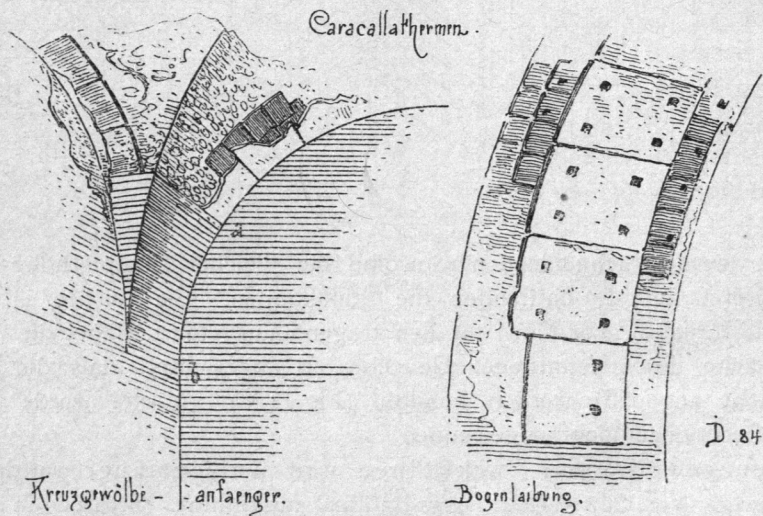
170.  
Aus  
Backsteinen  
und Gufs-  
mauerwerk.

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.



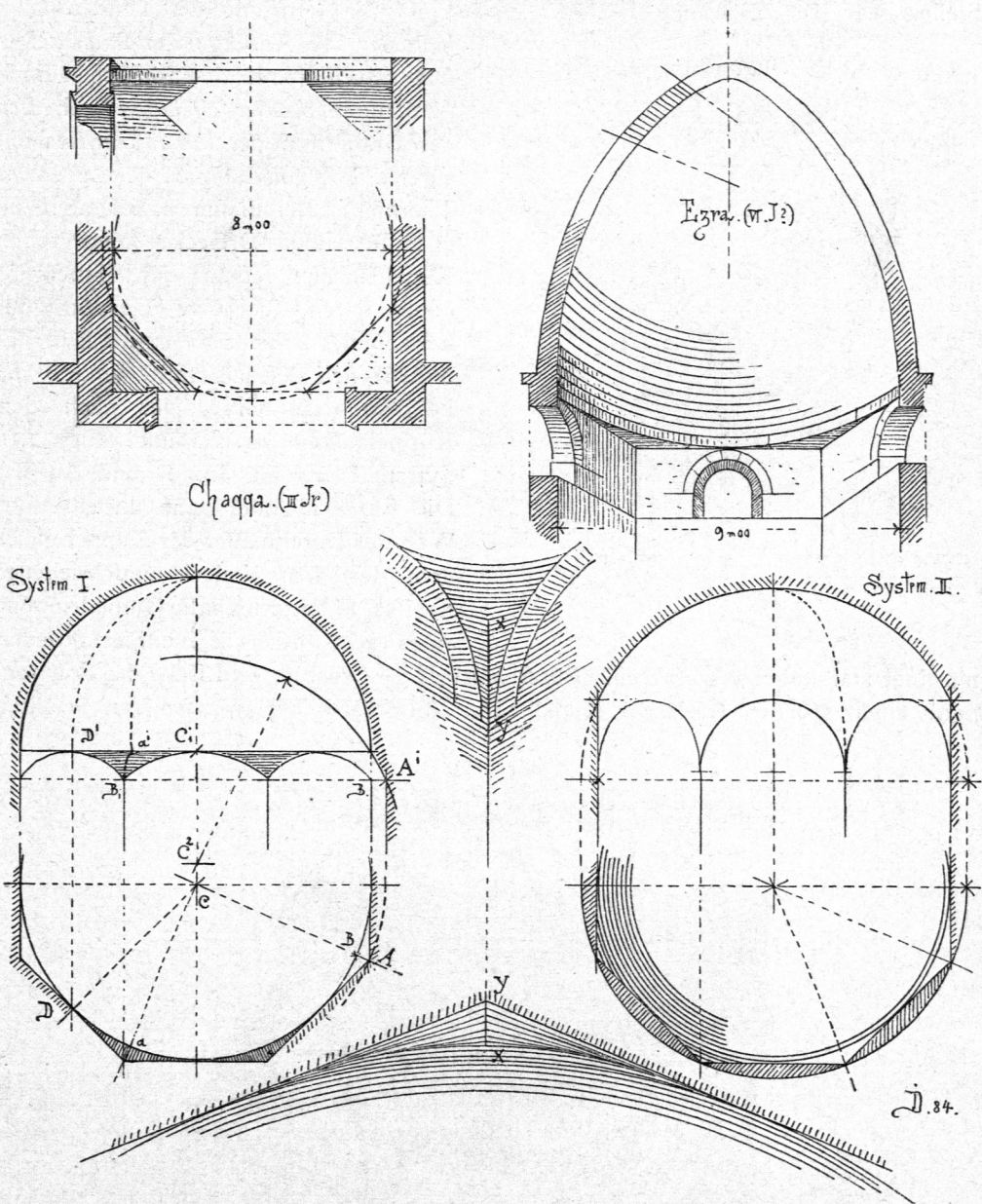
### 3) Kuppelgewölbe.

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.



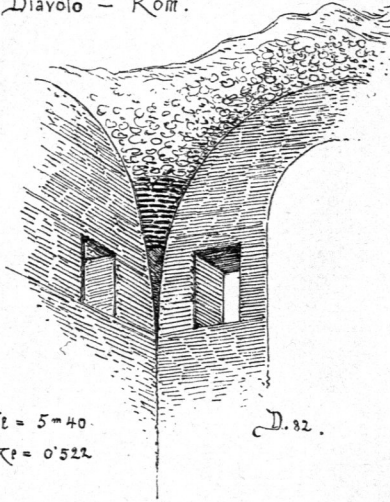
Uebergang von den Polygonecken nach der Halbkugel zu ermöglichen. Die römischen Baumeister im Haurán stellten Anfangs den Uebergang durch Steinplatten her (Fig. 151), eine Constructionsweise, die übrigens nur bei kleinen Räumen angewendet werden konnte. Im Abendlande erleichterten die polygonalen Räume 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 ( $B_1, D_1, \alpha^1, C^1$ ).

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

D. 32.

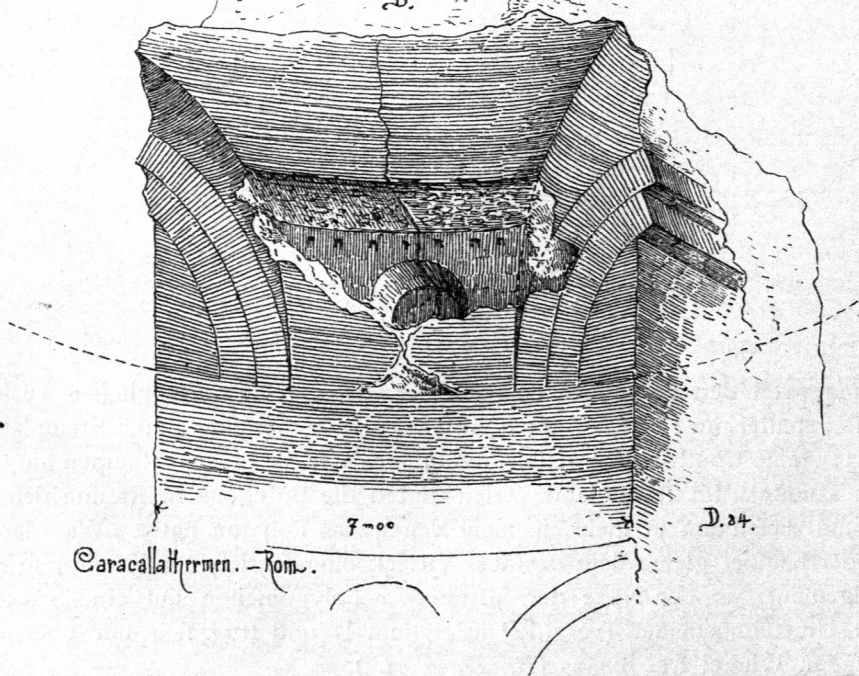
suchen. Die Anfänge derselben zeigen sich schüchtern an den römischen Backsteinbauten, bei der sog. *Minerva Medica*, den Gräbern an der *Via Praenestina* und einigen Polygon-Räumen der *Caracalla-Thermen*. Bei diesen haben aber die unterstützenden Dreiecke keine reinen Kugelflächen, indem der Uebergang 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.



7-00

D. 34.

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 Quadergewölbe 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.

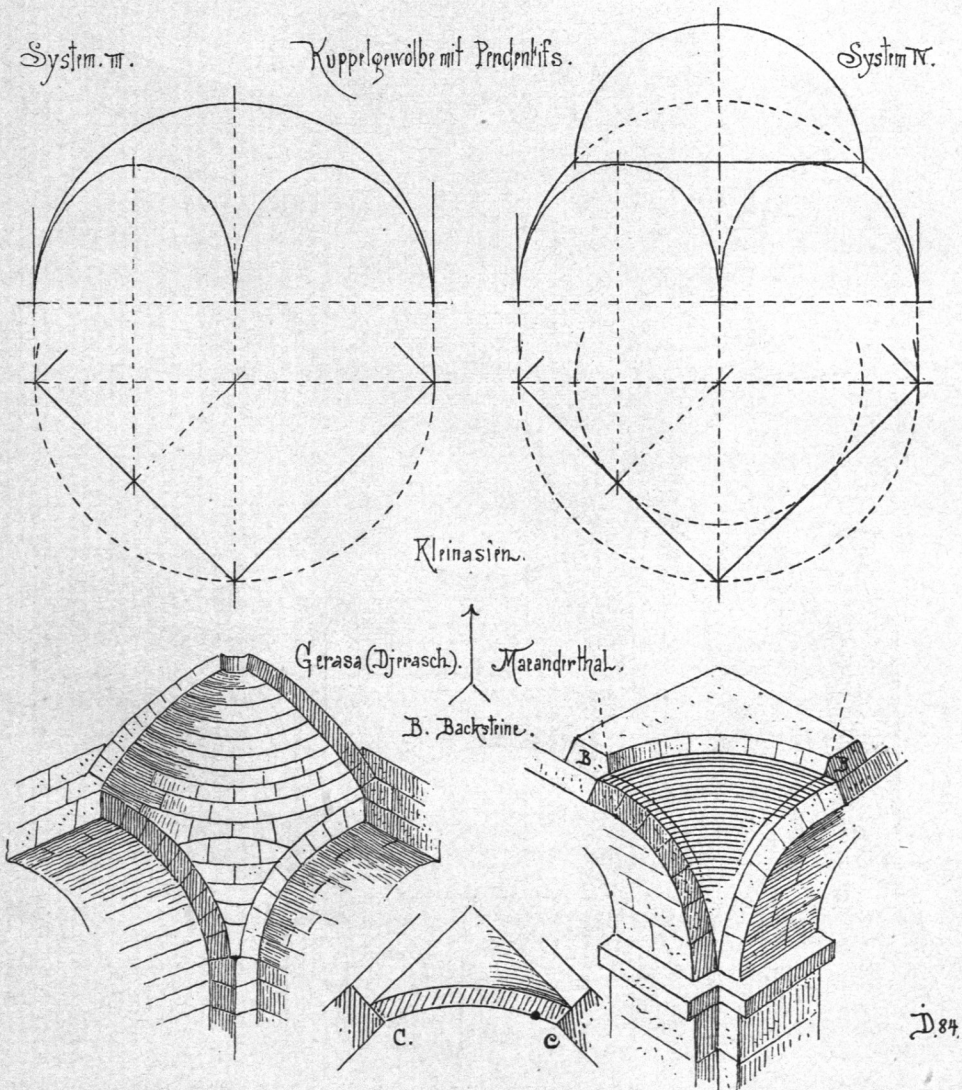
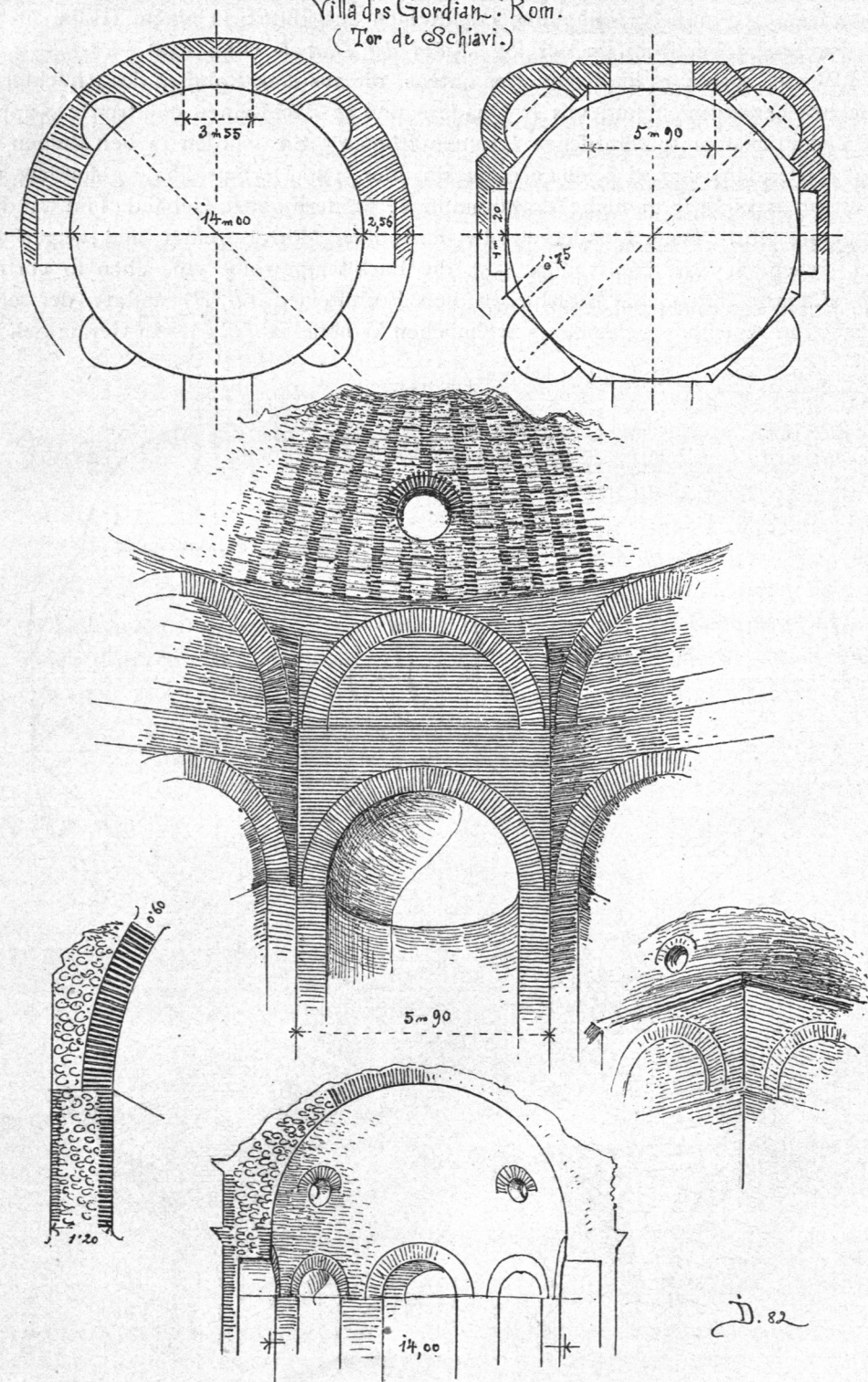


Fig. 155.

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



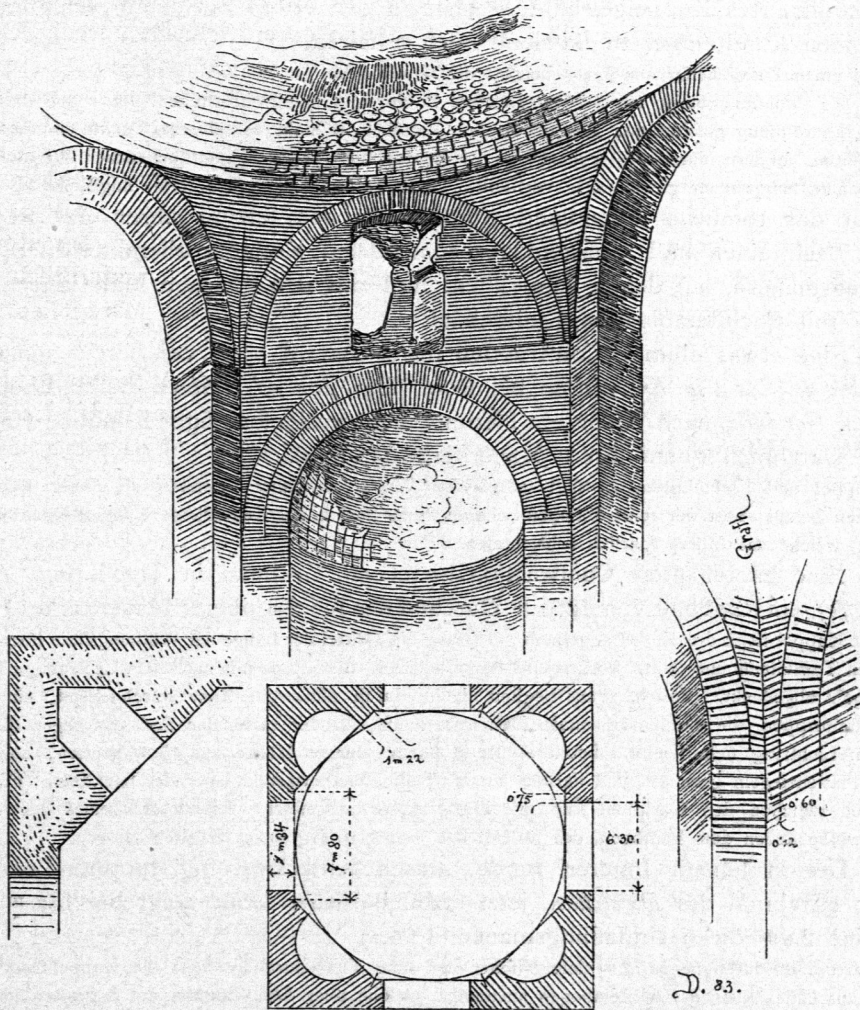
Calotte und Pendentifs der gleichen Kugelfläche an (Fig. 154, System III); im Mäander-Thal wurden zum Theile Calotte und Pendentifs aus verschiedenen Kugelflächen (Fig. 154, System IV) hergestellt.

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*<sup>94)</sup> 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*<sup>95)</sup> 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

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

<sup>95)</sup> 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* giebt<sup>96)</sup> 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 erwarten<sup>97)</sup>.

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

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

Fig. 157.

Sog. Tempio della Tosse in Tivoli.

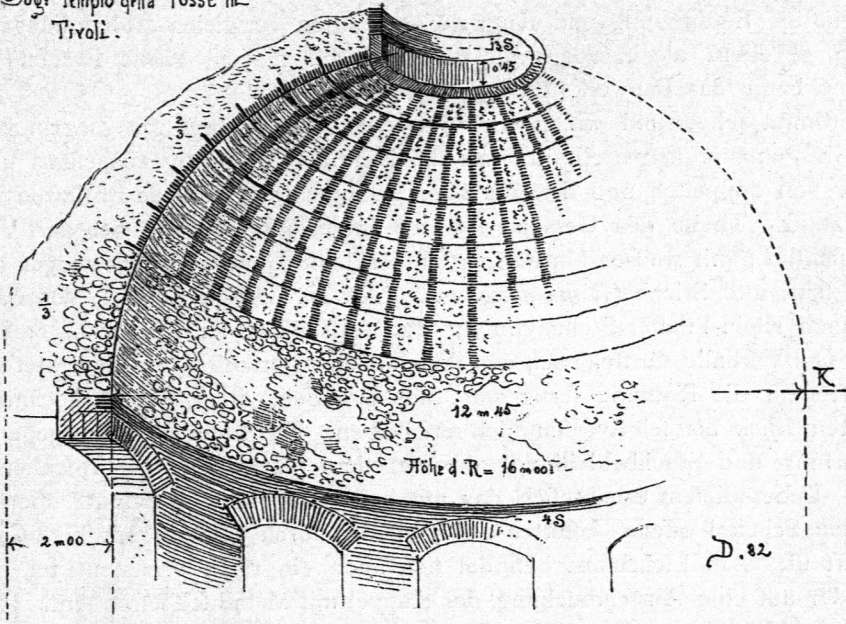
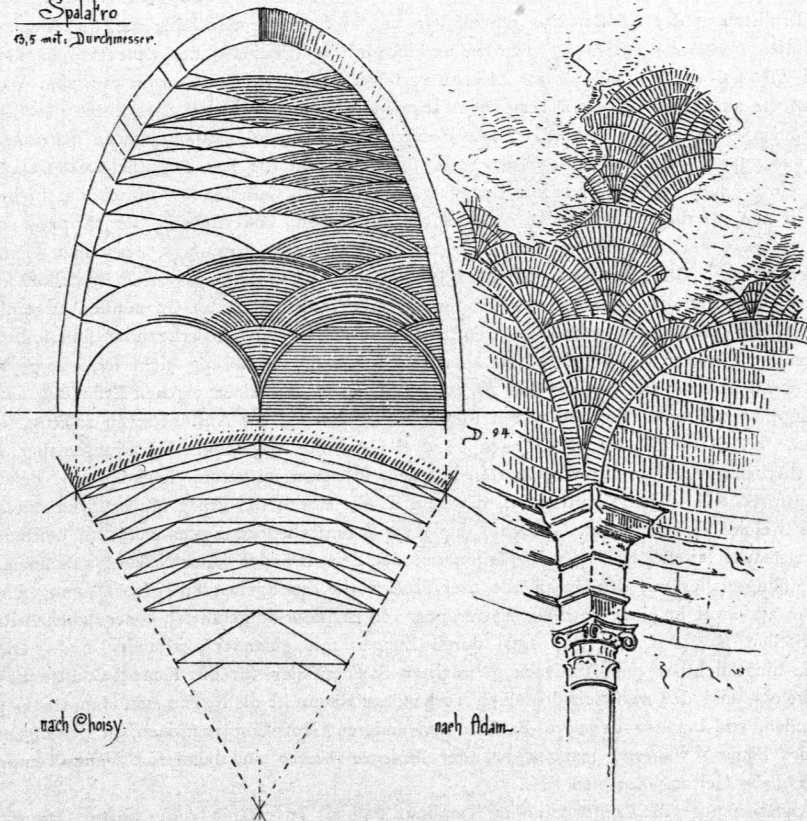


Fig. 158.

Spalatro  
6,5 mit. Durchmesser.



b) Als Beispiel einer Grofs-Construction ersten Ranges, einer Kuppel über kreisrundem Raume von 43,5<sup>m</sup> 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.

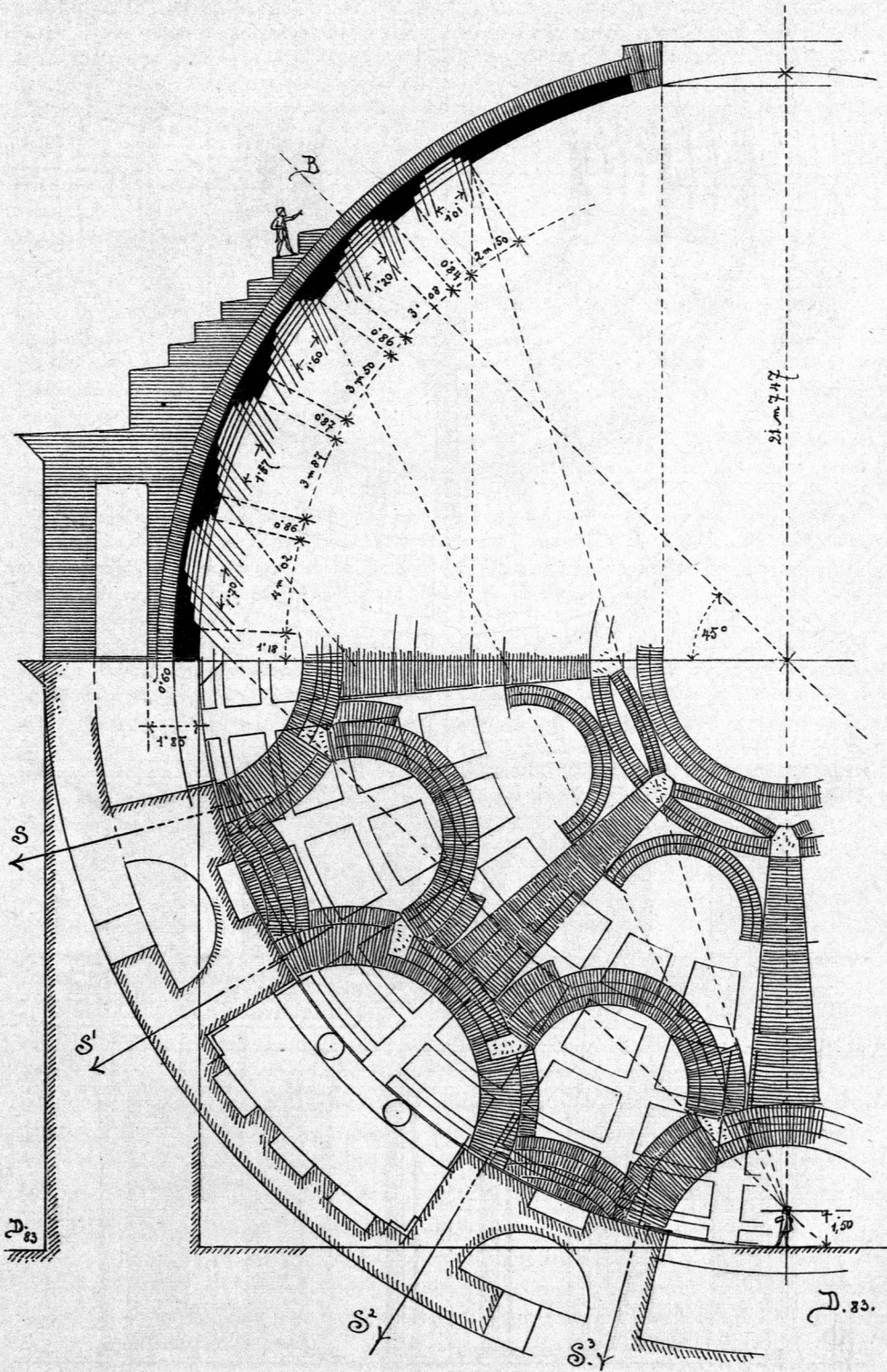
Bestimmt sehen und wissen wir, dafs der Unterbau aus mit Ziegeln verblendetem Gufsgemäuer hergestellt ist, dafs die Blendung sorgfältig ausgeführt und das Gemäuer von doppelten und dreifach über einander weggeführten Entlastungsbogen durchsetzt ist. Theile des Gemäuers waren im Aeuferen, wie bei der Vorhalle noch ersichtlich, mit weifsen 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 äußeren 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 äußerlich zur Geltung kommen liefs.

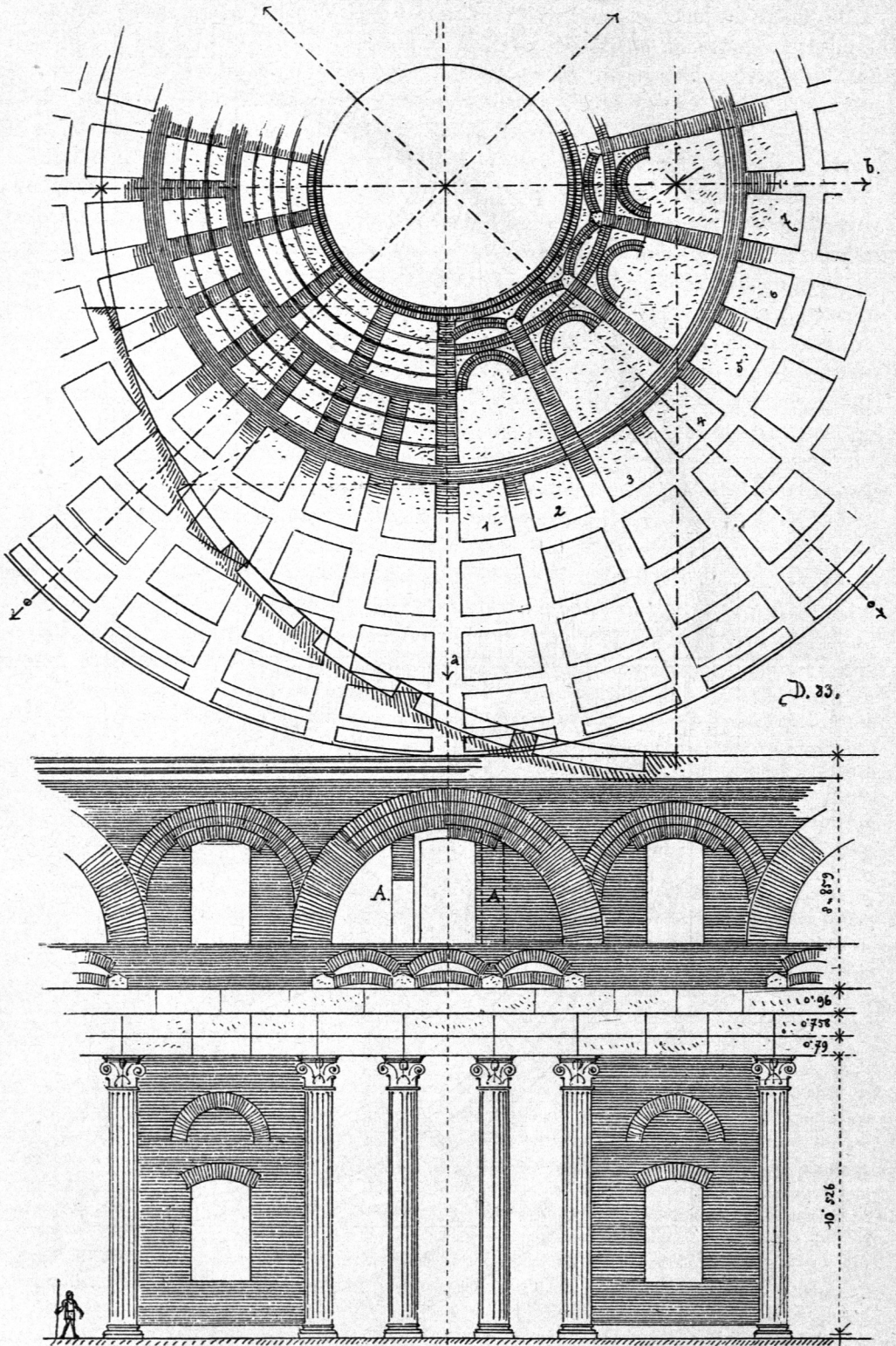
Die Angaben über die Construction im Tambour sind als zuverlässig anzunehmen. Die alte Marmor-

Fig. 159.



Muthmassliche Kuppel-Construction des Pantheon in Rom.

Fig. 160.



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

Incrustation des zweiten Gefchoffes war schadhafft 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 verkeift. 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 Ausführung<sup>98)</sup>.

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 Strebepeiler 4,5 m weit hervorragen, welche die ganze grofsartige Kuppel-Construction aufnehmen. Die aus Quadern construirten Strebepeiler 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 Strebepeiler vor der Umfassungsmauer beträgt  $\frac{1}{11}$  der Spannweite, die Stärke der Strebepeiler einschl. Umfassungsmauer ist  $\frac{1}{7,5}$  derselben und die Dicke der Umfassungsmauer beträgt  $\frac{1}{24}$ .

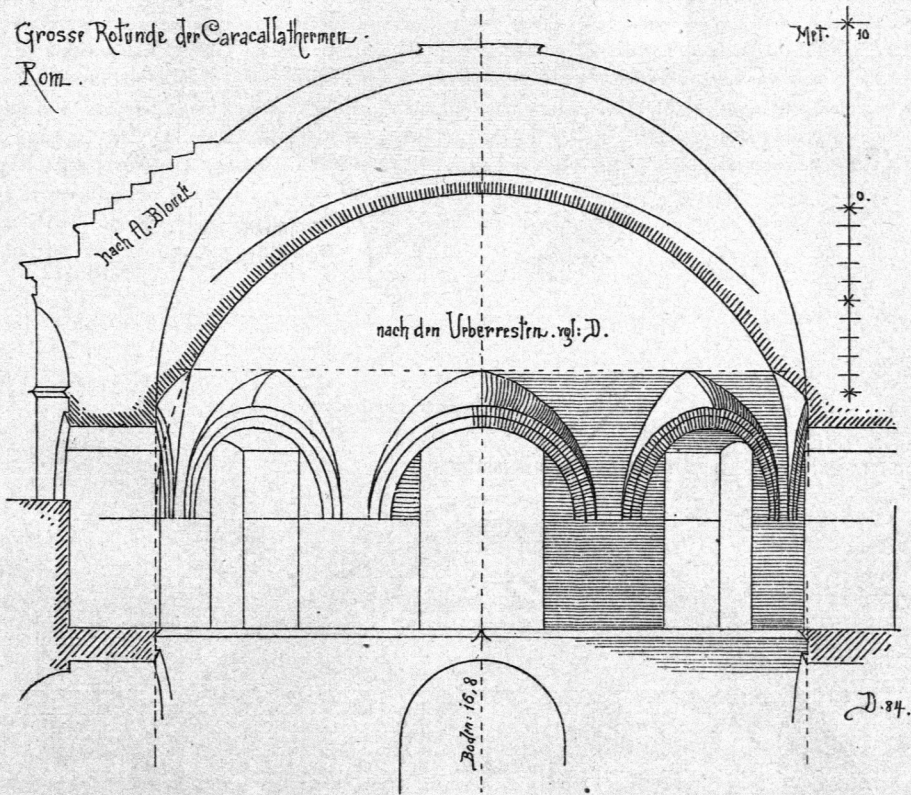
e) In die Classe der Grofs-Constructionen ist auch die Rotunde der *Caracalla*-Thermen mit 35 m lichtem Durchmesser zu rechnen. Tambour und Gewölbe bestehen auch hier aus Gufsmauerwerk mit Backsteinblendung; die letztere ist am Gewölbe, so weit dies noch vorhanden, im Inneren durchgeführt.

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



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. Yrnustrmpel.)

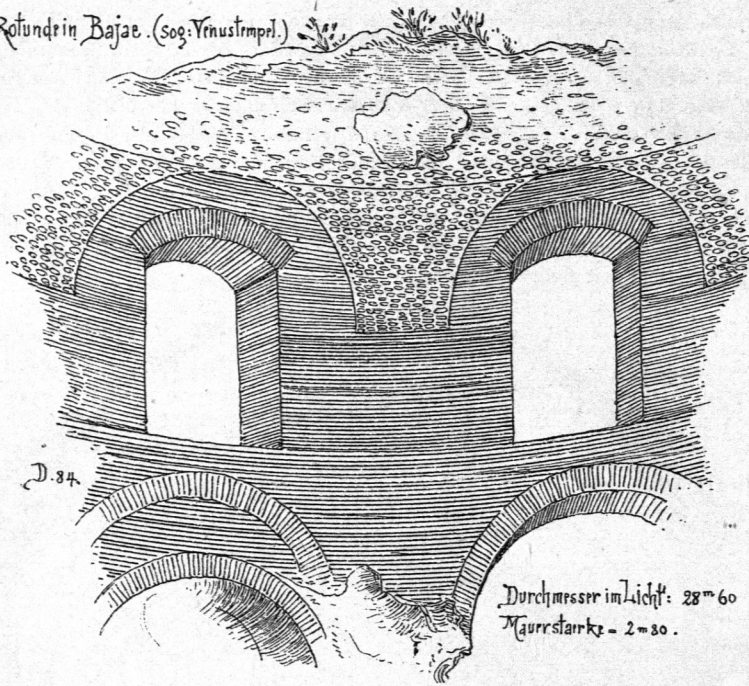
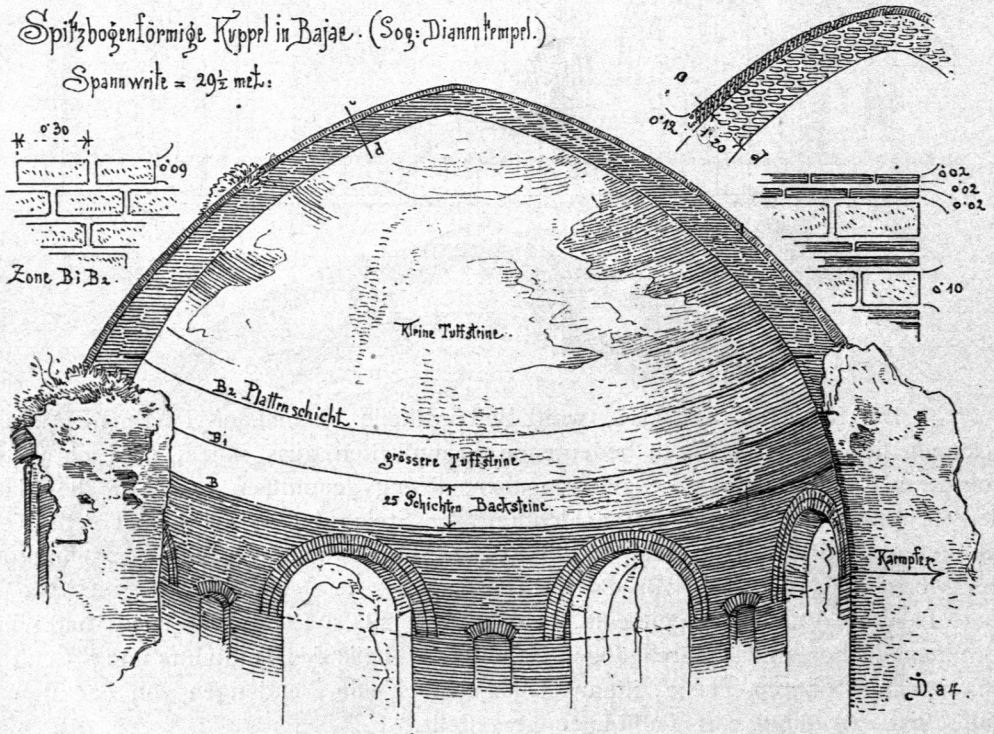


Fig. 164.

Spitzbogenförmige Kuppel in Bajae. (Sog. Dianntempel.)

Spannweite = 29½ metz.



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 Gufsgemäuer, 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 Backsteinschichten, 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 Plattenficht  $B_2$  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 Horizontalschichtung bei der großen Spannweite zu.

Fig. 165.

