

erhalten zur Aufnahme der Wölbflächen die in Fig. 450, II (S. 387) bereits angegebene Verzahnung.

Die Laibungsflächen dieser Gewölbe werden geputzt, häufig cannelirt, auch entsprechend mit Stuck oder Malerei geschmückt. Die in Folge der Richtung der Stofsugen bestehenden Mängel ihrer Construction werden hierdurch wohl verschleiert, aber nicht beseitigt.

## 16. Kapitel.

### Kuppelgewölbe.

#### a) Gestaltung der Kuppelgewölbe.

352.  
Form.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes ist eine Umdrehungsfläche. Dieselbe kann in ihrer einfachsten Form durch Drehung einer gefetzmäßig gebildeten ebenen Curve um eine ihrer Ebene angehörende, feste, lothrecht stehende Axe erzeugt werden, welcher sie bei der Drehung stets ihre concave Seite zuwendet. Jeder Punkt der erzeugenden Curve beschreibt nach vollendeter Drehung einen in wagrechter Ebene liegenden Kreis. Der Grundriß der hiernach gestalteten Laibungsfläche des Kuppelgewölbes ist also gleichfalls ein Kreis.

Diese einfachste Entwicklung der Form einer Kuppelgewölbfläche ist in Fig. 547 mit der erzeugenden Curve  $C$ , der festen lothrechten Axe  $A$ , dem Grundrißkreise  $K$  und einer beliebigen fog. Ringlinie  $R$  zur Anschauung gebracht. In der Regel besitzt die als Erzeugende gewählte Curve in ihrem Fußpunkte eine lothrechte Tangente.

Ist diese Curve ein Viertelkreis, so entsteht für die Laibung des Kuppelgewölbes eine Halbkugelfläche. Als dann heißt das Kuppelgewölbe auch Kugelgewölbe.

Die erzeugende Curve, schlank oder weniger schlank aufsteigend, kann ein Kreisbogen, eine Viertelellipse, ein Korbbogen, eine Parabel u. f. f. sein. Je nach der Wahl derartiger Erzeugenden ist die mehr oder weniger zum kräftigen Ausdruck zu bringende Form der Laibungsfläche der Kuppelgewölbe zu gestalten.

Bedingt die angegebene Weise der Erzeugung der Kuppelgewölbfläche einen Kreis als Grundriß, so läßt sich doch selbst bei elliptischem Grundriße die Laibung des fog. elliptischen Kuppelgewölbes nach Fig. 548

durch Drehung der halben Ellipse  $abc$  um die große, in wagrechter Ebene liegende

Fig. 547.

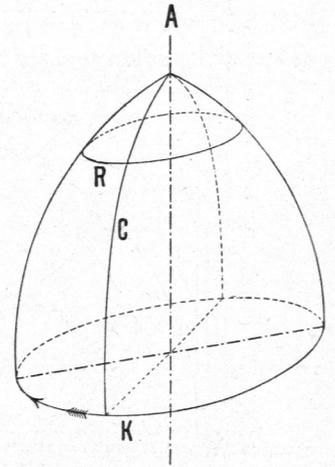
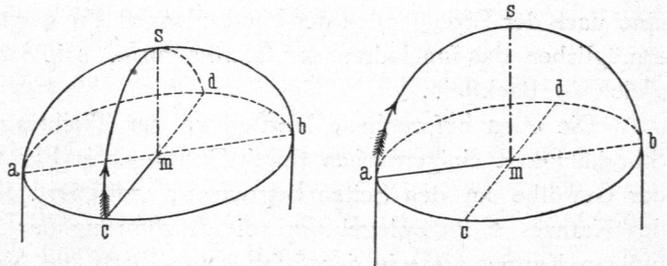


Fig. 548.

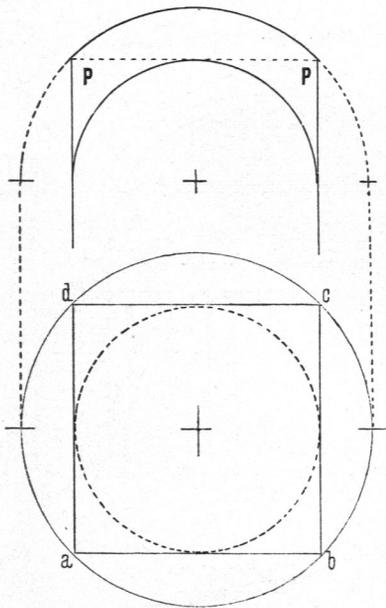


Axe  $ab$  oder auch durch Drehung der halben Ellipse  $cda$  um die zugehörige kleine Axe  $cd$  ebenfalls leicht erzeugen. In ersterem Falle giebt jede rechtwinkelig zu  $ab$  stehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt, während jede lothrechte, parallel zu  $ab$  stehende Ebene die Laibungsfläche nach halben Ellipsen schneidet. Entsprechend würden derartige Schnitte von Ebenen bei der zweiten angegebenen Erzeugungsart der Gewölbfläche zu bestimmen sein. Hier giebt jede rechtwinkelig zu  $cd$  stehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt.

Durch die beschriebenen Gestaltungen der Kuppelgewölbflächen ist jedoch die Ausbildung der Kuppelgewölbe über kreisrunden oder elliptischen Grundrissen allein keineswegs beschränkt.

Mögen die Kuppelgewölbe in frühester Zeit, abgesehen jedoch von der Ausführung in der Deckenbildung selbst, vorwiegend über Räumen mit reinem Kreisgrundriss hergestellt sein, weil diese Anordnung naturgemäfs am nächsten lag, so zeigt sich beim Verfolgen des Weges, welchen die Entwicklung des Gewölbebaues eingeschlagen hat, sehr bald die Spur, welche darauf hinweist, Kuppelgewölbe über zehneckigen, achteckigen, also vieleckigen, und weiter über quadratischen Grundrissen in Anwendung zu bringen.

Fig. 549.



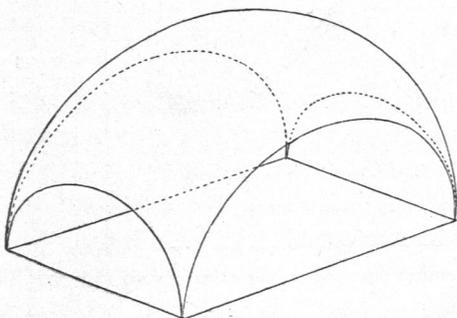
Baugeschichtliche Anhaltspunkte hierfür sind in Theil II, Band 2 dieses »Handbuches« geboten.

Befondere, nach verschiedenen Seiten sich geltend machende Systeme in der Gestaltung der Kuppelgewölbe werden im Allgemeinen durch die quadratische Grundriffsform veranlaßt.

Bleibt zuerst die Umdrehungsfläche als Laibungsfläche des Kuppelgewölbes bestehen, wie solches einem Kreisgrundriss angehören würde, so geht der Grundkreis dieser Kuppelfläche (Fig. 549) durch die Ecken  $a, b, c, d$  des quadratischen Grundrisses. In den Seiten  $ab, bc$  u. f. f. aufgestellte lothrechte Ebenen schneiden von der Gewölbfläche genau bestimmbare Stücke ab, so daß die Fußpunkte  $a, b, c, d$  der Kuppel die Anfänge von Kuppelwickeln  $P$ ,

Pendentifs genannt, sind, welche seitlich durch die Schnittlinien der Ebenen  $ab, bc$  u. f. f. begrenzt werden. Diese Schnittlinien bilden die Stirnbogen der Kuppelgewölbfläche. Hierdurch entsteht das System

Fig. 550.



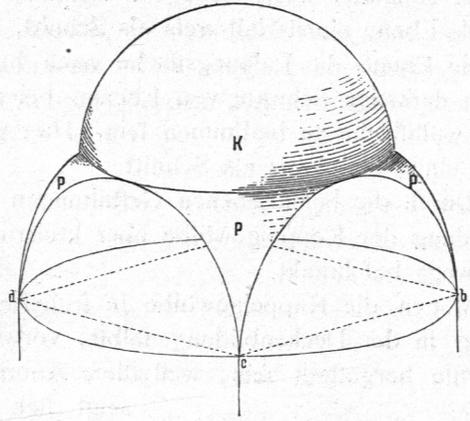
der sog. einfachen Stutzkuppel oder Hängekuppel. Im Besonderen kann die Gestaltung derartiger Stutzkuppeln auch über rechteckigen Grundrissen (Fig. 550) oder über vieleckigen Grundrissen, deren Ecken dann aber zweckmäfsig, zur Vermeidung ungleicher Höhenlage der Fußpunkte der Kuppelwickel, im Grundkreise der Kuppelflächen liegen, Platz greifen.

Müssen die Fußpunkte der Kuppelwickel

353.  
Stutz- oder  
Hängekuppel:  
Erstes  
System.

in besonderen, von der Grundrifsbildung der zu überdeckenden Räume abhängigen Fällen eine ungleiche Höhenlage erhalten, so ist die Gestaltung der Kuppelgewölbfläche mit Pendentifs füglich doch bei jedem beliebig begrenzten Grundrifs möglich, wenn nur der in der Ebene der Grundrifsfigur liegende Grundkreis der Kuppelfläche im Allgemeinen die Grundrifsfläche des Raumes umzieht.

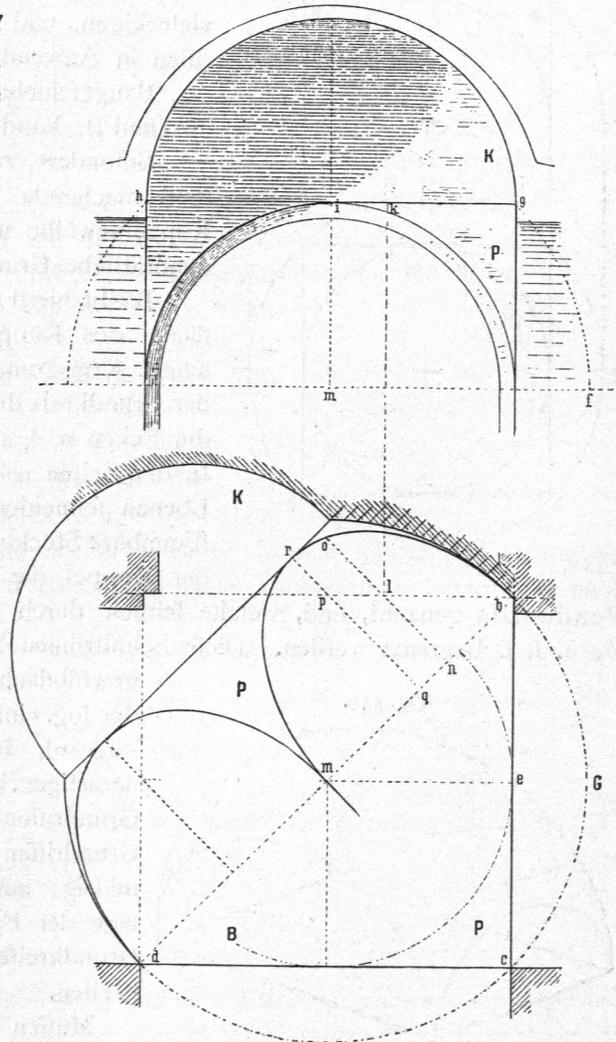
Fig. 551.



354.  
Zweites  
System.

Geht man wiederum von einem quadratischen Grundrifs aus, so erfolgt ein zweites System der Gestaltung der Hängekuppel, sobald über einer Kuppelfläche *P* (Fig. 551), deren Grundkreis *bcd* dem Quadrat umschrieben ist und welche dabei in ihrer Laibung die Kuppelzwickel *P* allein liefert, noch eine zweite Kuppelfläche *K* gebildet wird, deren Grundkreis den eingeschriebenen Kreis des Quadrats als wagrechte Projection besitzt.

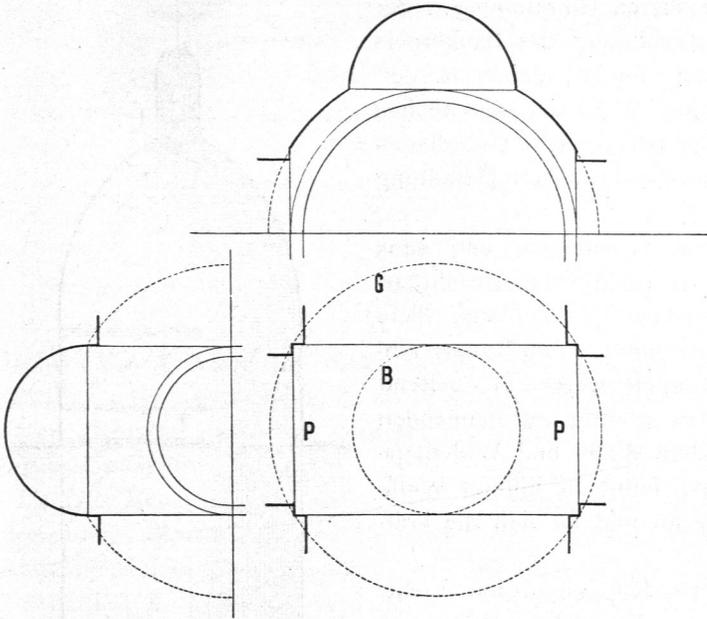
Fig. 552.



Bei der Annahme der Kuppelflächen als Kugelflächen ist in Fig. 552 die zeichnerische Durchbildung dieses zweiten Systems der Gestaltung der Hängekuppel über einem quadratischen Grundrifs näher angegeben. Das Kreisstück *G* kennzeichnet den umschriebenen, für die Gestaltung der Pendentifs *P* der unteren Kuppelfläche maßgebenden Grundkreis, während das Kreisstück *B*, dem eingeschriebenen Kreise angehörig, die wagrechte Projection des Grundkreises der aufgesetzten Kuppelfläche bedingt.

Will man statt der Kugelflächen *P* und *K* andere, gesetzmäßig gestaltete und in günstiger Form auftretende Umdrehungsflächen als Kuppelgewölbflächen anwenden, so bleiben die Grund-

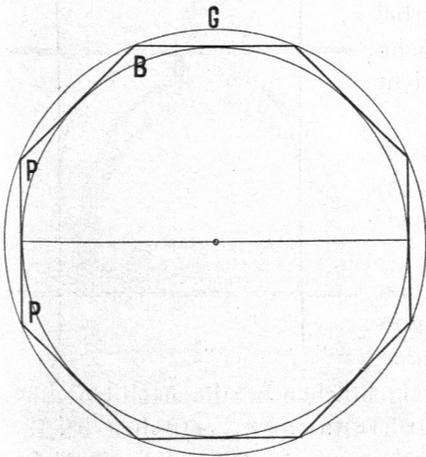
Fig. 553.



beiden langen Seiten der Grundrissbegrenzung durch Verkleinerung seines Halbmessers Abstand genommen werden.

Wird zwischen dem unteren, die Pendentifs enthaltenden Theile der Hängekuppel und der oberen aufgesetzten Kuppelfläche noch eine lothrechte cylindrische Gewölbfläche *T*, Trommel oder Tambour genannt (Fig. 555), eingefügt, welcher der Grundkreis *B* als Leitlinie zugewiesen wird, so entsteht das System der fog. Hängekuppel mit Tambour.

Fig. 554.



Abchluss des Kuppelgewölbes. Die Ringschicht, welche diese Oeffnung begrenzt, heisst Lichtkranz, Lichtring, auch Schlufsring. Die Oeffnung selbst, in irgend einer Weise als Deckenlicht verwerthet, gestattet die Beleuchtung der Kuppel durch Tageslicht in nicht zu unterschätzender Weise.

Benutzt man den Lichtkranz als Träger eines besonderen, in einfacher oder reicher Art ausgeführten, mit Lichtöffnungen versehenen Kuppelaufsatzes *L*, Laterne genannt, so entsteht das Kuppelgewölbe mit Laterne (Fig. 555).

kreife *G* und *B* unverändert bestehen.

Dieses zweite System der Gestaltung der Hängekuppel kann unter entsprechender Beachtung und Einfügung der Grundkreife *G* und *B* auch über rechteckigen Grundrissen (Fig. 553) oder mehrseitigen regelmäßigen Grundrissen (Fig. 554) zur Durchführung gelangen. Zahl und Form der hierbei auftretenden Pendentifs *P* sind sofort zu erkennen. Beim Festlegen des Grundkreises *B* kann auch selbst von feiner Berührung mit den

355.  
Drittes  
System.

In der Regel werden in dem Tambour, dessen Höhe, der architektonischen Durchbildung der gefamnten Kuppelanlage gemäß, sehr verschieden ausfallen kann, Lichtöffnungen zur Erhellung der Kuppel durch Tageslicht angebracht.

Die bei den Kuppelgewölben ganz besonders beachtenswerthe Einwölbungsart nach concentrischen Ringschichten, worauf bereits in Art. 315 (S. 460) näher hingewiesen ist, gestattet die Schaffung einer freien Oeffnung als

356.  
Lichtring.

Die Krönungen der Kuppeln, mögen dieselben in der Formgebung der äußeren Umrahmungen der Lichtkränze oder in der Ausbildung des Baukörpers der Laternen ihren Ausklang finden, geben in Verbindung mit einer glücklichen Wahl der eigentlichen Bogenlinie der Kuppelfläche belangreiche Grundlagen für die würdige und hervorragende äußere Gestaltung bedeutungsvoller Bauwerke.

Die Erkenntnis dieser Grundlagen und ganz besonders die Einfachheit der praktischen Ausführbarkeit der Kuppelgewölbe gaben Veranlassung, diese Gewölbe als »Groß-Constructions« ersten Ranges einzuführen. Durch die bei Kuppelgewölben sich geltend machenden, im Allgemeinen günstig zu nennenden statischen Verhältnisse zwischen Wölb- und Widerlagkörper fand das Bestreben, selbst in kühner Weise Kuppelbauten zu errichten, an und für sich die kräftigste Unterstützung.

357.  
Stichkappen.

Sollen im eigentlichen Kuppelgewölbe Lichtöffnungen angebracht werden oder reichen die oberen Abschlussbögen von Fenster- bzw. Thüröffnungen über den Fuß des Kuppelgewölbes hinauf, so werden für diese Anlagen wieder die sog. Stichkappen erforderlich. In den meisten Fällen gehören die Laibungen der Stichkappen Kegelflächen an, deren Axen nach dem Mittelpunkte des Grundkreises der mit Stichkappen zu versehenen Kuppelflächen gehen. Hierbei ist jedoch die Wahl einer Cylinder- oder Kugelfläche für die Laibungen der Stichkappen durchaus nicht ausgeschlossen.

Das über die Ausmittlung der Stichkappen beim Tonnengewölbe in Art. 164 bis 167 (S. 235 bis 243) Gesagte bleibt im Wesentlichen auch beim Kuppelgewölbe geltend.

Eben so bleiben auch hier die sämtlichen Gesichtspunkte, welche beim Kloftergewölbe in Art. 206 (S. 306), bzw. in Art. 207 (S. 307) für die Bildung der Stichkappen oder Lunetten aufgestellt sind, ihrem eigentlichen Inhalte nach bestehen.

Vollständig ringförmige Stichkappen, sog. Ochsenaugen, entstehen bei der Durchdringung von Kegelflächen, bzw. Cylinderflächen mit der Kuppelgewölbfäche. Meistens werden Kegelflächen gewählt. Die Leitlinie der Kegelflächen kann ein Kreis oder eine Ellipse sein. Die Kegelaxen sind wiederum zweckmäßig nach dem Mittelpunkte der zu durchdringenden Kuppelfläche gerichtet. Die Spitzen der Kegelflächen der runden Stichkappen liegen in entsprechender Entfernung oberhalb der Rückenfläche des Kuppelgewölbes.

Die Ausmittlung dieser ringförmigen Stichkappen erfolgt durch die an und für sich einfache Bestimmung der Schnittlinien der Kegelflächen mit der Kuppel-

Fig. 555.

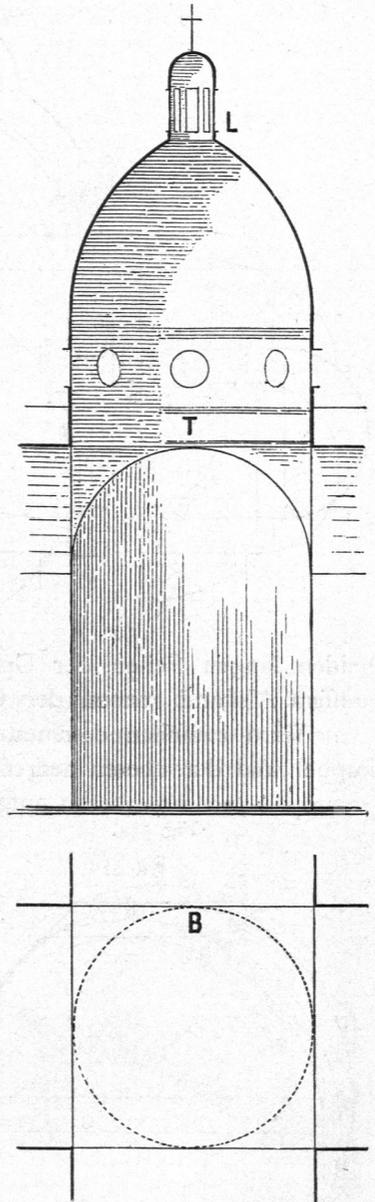
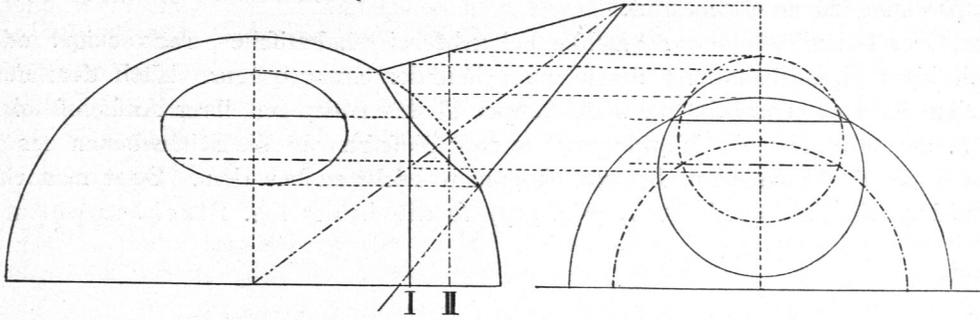


Fig. 556.



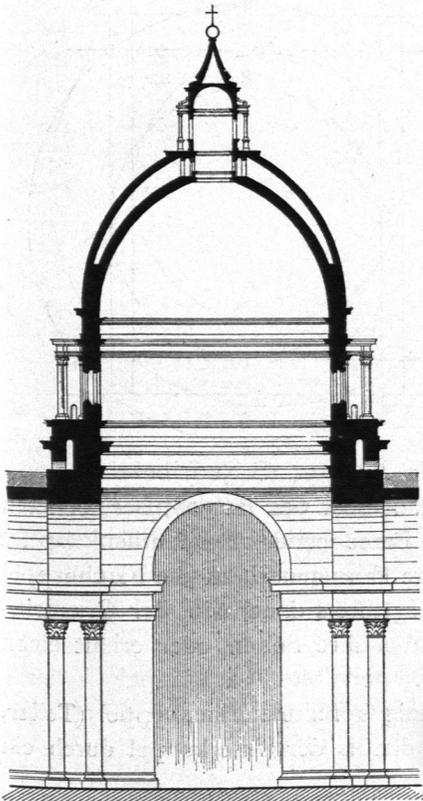
fläche. Die Anleitung zu dieser Bestimmung giebt Fig. 556, wobei für das Hauptgewölbe eine Kugelfläche, für die Laibung der runden Stichkappe eine Kegelfläche, deren Schnitte durch die lothrechten Ebenen *I*, *II* u. f. f. Kreise werden sollen, angenommen ist.

Die Ermittlungen der inneren Begrenzungen und die damit in Verbindung stehenden allgemeinen Gestaltungen des Ochfenauges bieten auch bei anderen Laibungsflächen des Gewölbes und der Stichkappen keine Schwierigkeiten. Die geschaffene Lichtöffnung wird durch einen im Kuppelgewölbe liegenden Wölbkranz umrahmt.

Erheben sich über einem gemeinschaftlichen Grundrisse zwei in geringerer oder größerer Entfernung über einander liegende selbständige Kuppelgewölbe mit von

358.  
Doppel-  
kuppel.

Fig. 557.



einander verschiedenen Umdrehungsflächen, so entstehen die sog. Doppelkuppeln. Ihre Bestandtheile sind das gemeinschaftliche Widerlager, die innere Kuppel und die äußere Kuppel oder die Schutzkuppel. Letztere bildet gleichsam das Dach, um schädliche Witterungseinflüsse vom inneren Kuppelgewölbe fern zu halten. In der Regel treten beide Kuppelgewölbe in geringer Höhe über ihrem Widerlager zu einem gemeinschaftlichen Gewölbstücke zusammen und zweigen sich erst von diesem Fuskörper aus nach oben hin von einander ab.

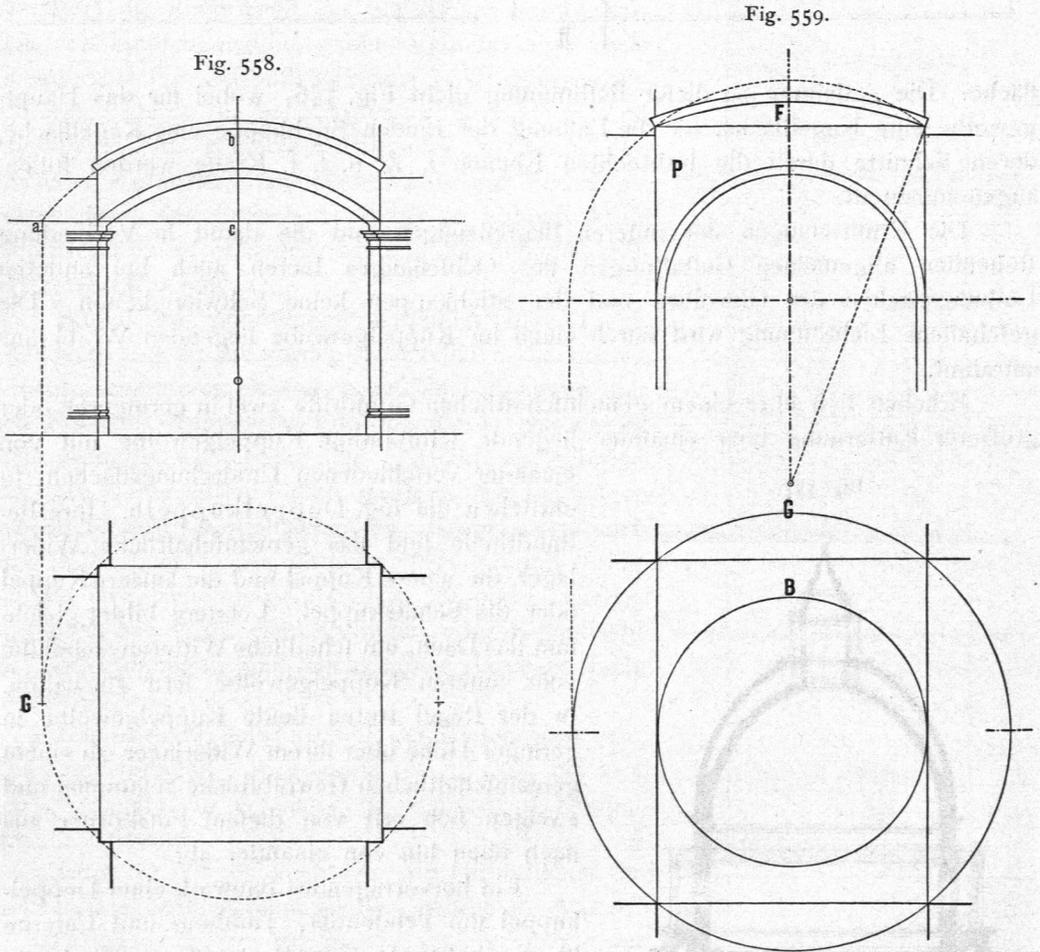
Ein hervorragendes Bauwerk einer Doppelkuppel mit Pendentifs, Tambour und Laterne ist die bekannte Kuppel der *Peters-Kirche* in Rom (Fig. 557). Die gleichfalls berühmte Doppelkuppel des Domes zu Florenz ist ihrer Gestaltung nach, wie aus dem in Art. 204 (S. 302) Gefagten näher gefolgert werden kann, als eine dem Kloftergewölbe angehörende Haubenkuppel oder Walmkuppel mit Tambour und Laterne anzusehen.

Ist die Erzeugende der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes irgend ein Flachbogen *ab* (Fig. 558), so entsteht die einfache Flach-

359.  
Flachkuppel.

kuppel, welche später als fog. böhmisches Kappengewölbe noch einer näheren Befprechung zu unterziehen ist.

Der Grundkreis  $G$  der Flachkuppel geht bei quadratischer, rechteckiger oder vieleckiger Grundrißsbildung durch die Ecken der Grundrißfigur. Nach dem Feststellen der Laibungsfläche der Flachkuppel ist das Austragen ihrer Anschlußlinien, d. h. der Stirnlinien der Flachkuppel, so weit dieselben für die Seitenebenen des zu überdeckenden Raumes in Betracht kommen, leicht zu bewirken. Setzt man eine Flachkuppel  $F$  auf Pendentifs  $P$  (Fig. 559), so tritt in der fog. Flachkuppel mit



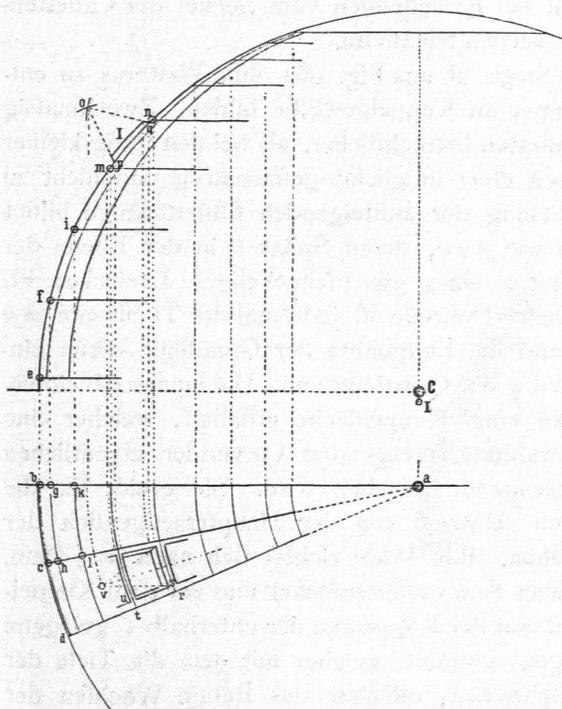
Pendentifs nur eine geringe Umgestaltung des in Art. 354 (S. 506) bezeichneten zweiten Systems der Hängkuppel ein. Die Kuppelfläche mit den Pendentifs  $P$  besitzt neben ihrem besonderen Grundkreise  $G$  eine andere Erzeugende, als die Flachkuppel mit dem selbständigen Grundkreise  $B$ . Dieser liegt stets innerhalb der Grundrißfläche des zu überwölbenden Raumes, berührt dabei ihre Seiten oder erhält einen größeren oder geringeren Abstand von denselben.

Die häufig sehr niedrig gehaltene, tellerförmig gestaltete Flachkuppel (Teller, Nabel, Calotte) wird oft vortheilhaft von den Pendentifs der Unterkuppel durch ein ringförmig geführtes Gefims getrennt.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes kann in mannigfaltigster Weise durch Malerei, Stuck, vortretende Rippen u. f. w. verziert werden. Vielfach erfolgen Ausstattung und Gliederung der Laibung der Kuppelgewölbe durch die schon beim Tonnengewölbe in Art. 163 (S. 234) erwähnten Caffetten. Dieselben können mit ihren Stegen die wechselfullsten Formen annehmen, dabei besonders geordnete, neben einander liegende oder mit einander verchlungene Felder bilden und in mancherlei Weise mit Gliederungen, Rosetten, Arabesken, figürlichen Darstellungen in einfacher oder reicher Ausstattung versehen werden. In der Nähe des Scheitels des Kuppelgewölbes läßt man zur Vermeidung der hier zu klein erscheinenden Caffetten den fog. Spiegel oder Nabel der Kuppel meistens ohne Caffettentheilung. Je nachdem

360.  
Caffettirte  
Kuppel-  
gewölbe.

Fig. 560.



der Scheitel des Gewölbes mit einem Deckenlicht versehen wird oder seine ursprüngliche Gewölbebildung behält, ist eine entsprechende Ausschmückung des Gewölbspiegels vorzunehmen.

Für die Anordnung der Caffetten sollen einige Grundlagen mitgeteilt werden, welche im Allgemeinen die möglichste Einfachheit bewahren.

361.  
Caffetten-  
Anordnung:  
I.  
Verfahren.

Das zeichnerische Ausmitteln der Caffetten mit den trennenden Stegen kann nach Fig. 560 auf folgendem, sehr einfachem Wege vorgenommen werden.

Auf dem Grundkreise oder der Kämpferlinie  $bd$  der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes bestimmt man gleiche Theilweiten  $bc, cd$  u. f. f. und setzt die nach den Theilpunkten  $b, c, d$  u. f. f. gezogenen Halbmesser  $ab, ac, ad$  u. f. f. als wagrechte Projectionen der Mittellinien der nach dem Scheitel der Kuppel aufsteigenden Stege fest. Soll den Caffetten eine nahezu quadratische Form gegeben werden, so trägt man auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um  $C$  beschriebener Viertelkreis

mit dem Halbmesser  $ab$  gewählt, zugleich die lothrechte Projection der Mittellinie des Stegs  $ab$  ist, unter Beachtung einer passenden Entfernung über die Kämpferebene des Gewölbes, z. B. von  $e$  aus, die Theilweite  $bc$  des Grundkreises  $bd$  als  $ef$  ab. Hierauf ermittelt man die Grundrifs-Projection des Punktes  $f$  auf  $ab$  in  $g$  und beschreibe um  $a$  mit dem Halbmesser  $ag$  einen Kreis. Derselbe giebt die Grundrifs-Projection der Mittellinie des ersten, concentrisch mit der Kämpferlinie der Kuppel ziehenden Caffettensteiges. Seine Schnitte  $g, h$  mit den Steglinien  $ab, ac$  u. f. f. sind die oberen Eckpunkte der Theilrisse der ersten Caffettenreihe. Die unteren Eckpunkte der Theilrisse dieser Reihe erhält man nach Ermitteln der Grundrifs-Projection des Punktes  $e$  auf  $ab$ . Die Schnitte des Kreises, welcher durch diese Grundrifs-Projection bestimmt und in der Zeichnung punkirt dargestellt ist, mit den Geraden  $ab, ac$  u. f. f., sind die gefuchten Endpunkte.

Liegt bei einer fog. Ueberhöhung der Kuppel die Kämpferebene unter  $C$ , so erhält die Caffettenanlage in Folge der günstigen Annahme des Punktes  $e$  in zweckmäßiger Weise einen entsprechend hohen Sockel. Hierdurch ist selbst bei einem kräftig ausladenden Kämpfergefims die untere Caffettenreihe noch deutlich und vollständig vom Fußboden des überwölbten Raumes aus zu erkennen.

Für die Theillinien der zweiten Caffettenreihe wird die Weite  $gh = fi$  auf der Erzeugenden abgetragen und nunmehr wiederum ganz im Sinne des für das Ausmitteln des ersten Caffettenzuges Gefagten verfahren. Auf dem beschriebenen Wege erhält man nach und nach die sämtlichen Netzlinien für die Caffetten.

Sollen über Ecke gestellte oder vieleckig begrenzte Cassetten angewendet werden, so kann das oben besprochene Netz als Hauptnetz für das Einzeichnen der Theillinien beliebig geformter Cassetten leicht benutzt werden.

Die Stege zwischen den aufsteigenden Cassettenreihen treten vom Cassettensockel bis zum Kuppel Spiegel mit stetig verjüngter Breite auf. Ihre Grenzlinien sind Meridianbogen der Kuppelfläche. Setzt man die gewünschte Breite dieser Stege unter Beachtung der Mittellinien des Hauptnetzes im Grundrisse am Sockel der Cassettenreihen fest, so ergeben sich durch Ziehen der zugehörigen Halbmesser die wagrechten Projectionen der Seitenlinien, wie z. B.  $su$ , der aufsteigenden Stege.

Die Breite der sämtlichen Querstege der Cassetten wird in der Grundriss-Projection meistens gleich groß genommen. In der Aufriss-Projection zeigen sich diese Querstege dann in Abschnitten auf der Erzeugenden vom Sockel der Cassettenanlage bis zum Spiegel der Kuppel in verjüngter Breite.

Die zeichnerische Darstellung der Stege ist aus Fig. 560 ohne Weiteres zu entnehmen. Die Cassetten sollen Vertiefungen im Kuppelgewölbe bilden. Zweckmäßig ist die Vertiefung bei den größeren Cassetten beträchtlicher, als bei den stetig kleiner werdenden Cassetten. Zum Herbeiführen einer möglichst gefetzmäßig und nicht zu scharf erfolgenden Abnahme der Vertiefung der aufsteigenden Cassettenzüge bildet man die Vertiefungen nach Pyramiden wie  $p q o$ , deren Spitze  $o$  in der Ebene der Erzeugenden der Kuppelfläche die Spitze eines gleichschenkeligen Dreieckes ist. Die Länge der Schenkel  $p o$  und  $q o$  solcher Dreiecke ist jedesmal der Theilweite  $mn$  der zugehörigen Cassette gleich, während die Endpunkte der Grundlinie dieser einzelnen Dreiecke die inneren Punkte  $p$  und  $q$  der Querstege sind. Die innere Abschlussfläche der Cassetten wird durch Stücke einer Kuppelfläche erhalten, welcher eine besondere, in der Form von der gewählten erzeugenden Curve der eigentlichen Laibungsfläche etwas abweichende Erzeugende gegeben wird. Sie erhält für die unteren Cassettenreihen einen größeren Abstand von der Haupterzeugenden der Kuppel, als für die oberen Cassettenreihen. Ihre Wahl richtet sich nach der Tiefe, welche man den Cassetten unmittelbar über dem Cassettensockel und vor dem Kuppel Spiegel geben will. In der Zeichnung ist auf der Kuppelaxe der unterhalb  $C$  gelegene Punkt  $I$  als Mittelpunkt eines Kreisbogens gewählt, welcher mit dem die Tiefe der Cassetten fest legenden Halbmesser beschrieben, offenbar das stetige Wachsen der Vertiefungen der Cassetten vom Kuppel Spiegel bis zum Cassettensockel bedingt. Für eine Cassette über  $p q$  ist ein Stück  $I$  dieses Bogens gezeichnet.

Ist für eine aufsteigende Cassettenreihe die Spitze  $o$  der zugehörigen Pyramide, ist außerdem die Abschlusslinie  $I$  der einzelnen Cassetten durch die Aufriss-Projection in einer Meridianebene bestimmt, so lassen sich die wagrechten Projectionen der einzelnen Cassetten finden. Für die Cassette über  $p q$  ist  $v$  die wagrechte Projection der Pyramiden spitze  $o$ . Mit Benutzung des Punktes  $v$  und der Aufriss-Projectionen der Cassette  $p q$  wird, wie aus der Zeichnung unmittelbar zu erkennen ist, die Darstellung des Grundrisses der Cassetten leicht ermöglicht.

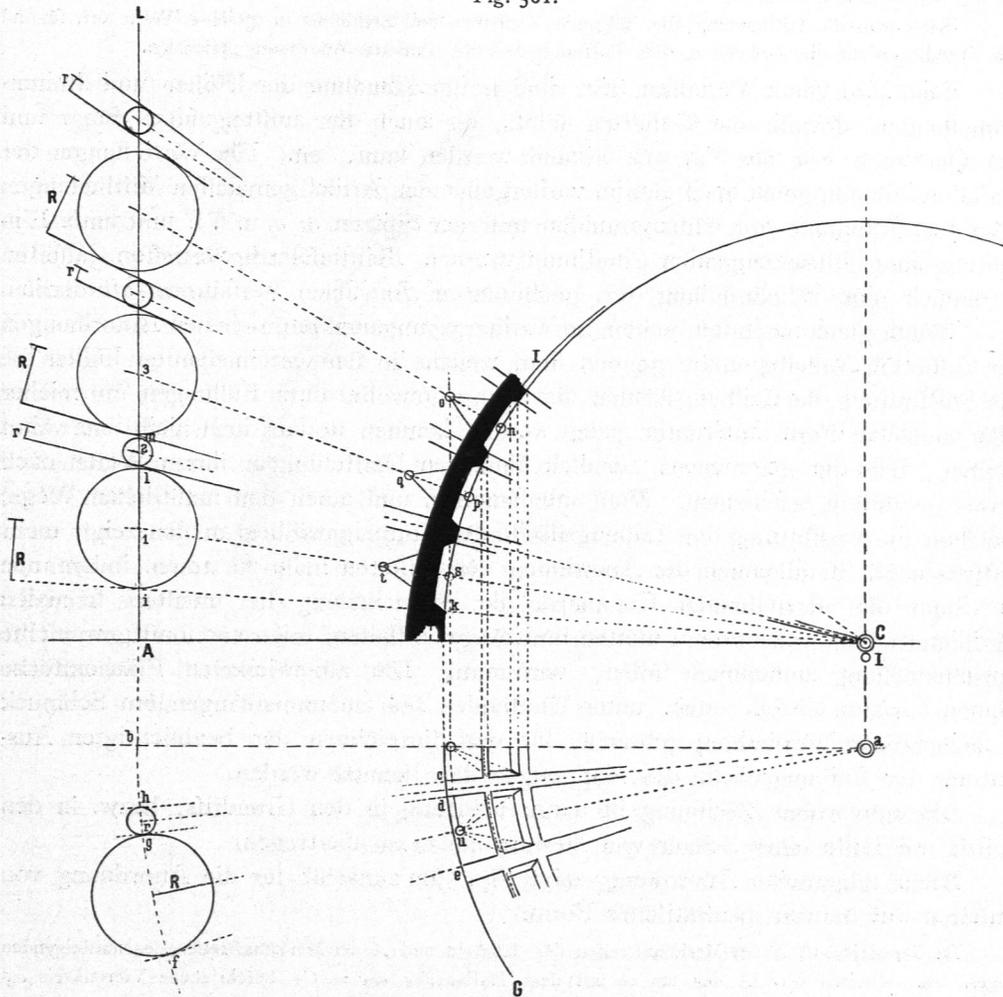
Sollen die Cassetten staffelartig angelegte Umrahmungen erhalten, so ist das für die Ausmittlung der Cassetten angegebene Verfahren nur der Zahl der Staffeln entsprechend oft zu wiederholen.

Ein zweites Verfahren für die Gestaltung der Cassetten mit ihren Stegen ist unter der Bezeichnung »Emy'sches Verfahren« bekannt. Hierbei wird nach Fig. 561 der Kreis  $G$  der oberen Kante  $k$  des Cassettensockels als Theilkreis für die Weiten  $ed$

der unteren Caffettenreihe und der Breiten  $cd$  des Fusses der Stege zu Grunde gelegt. Die Meridianschnitte  $ac$ ,  $ad$ ,  $ae$  u. f. f. bestimmen die Begrenzungen der Caffettenreihen.

Für die Aufriffe der Caffetten und Stege auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein  $C$  beschriebener Viertelkreis angenommen ist, werden Hilfskreife mit dem Halbmesser  $R$  für die Caffetten und dem Halbmesser  $r$  für die Stege benutzt, welche mit den Theilbreiten  $de$  und  $cd$  des Theilkreifes  $G$  in Abhängigkeit gebracht werden. Hierzu beschreibt man im Grundriffe mit dem beliebigen, entsprechend groß gewählten Halbmesser  $ab$  um  $a$  den Kreisbogen  $bf$  und erweitert die Strahlen  $ac$ ,  $ad$ ,  $ae$  bis zu ihren Schnitten  $h$ ,  $g$ ,  $f$  mit dem Kreisbogen  $bf$ . Die Linien  $ah$  und  $ag$  folgen Tangenten des kleinen Kreifes mit den Berührungspunkten  $h$  und  $g$  werden.

Fig. 561.



Der Schnitt der hier nicht gezeichneten Lothe in  $h$  auf  $ah$  und in  $g$  auf  $ag$  bestimmt den Mittelpunkt dieses Kreifes und die Größe seines Halbmessers  $r$ . Außerdem sollen die Linien  $ag$  und  $af$  Tangenten des großen Kreifes mit den Berührungspunkten  $g$  und  $f$  werden. Lothe in  $g$  auf  $ag$  und in  $f$  auf  $af$  schneiden sich im Mittelpunkte des gefuchten Kreifes, wonach alsdann die Größe des Halbmessers  $R$  zu bestimmen ist.

Für den Aufriss wird in der Meridianebene  $CA$  der Kuppel die Länge  $CA = ab$  abgetragen und in  $A$  auf  $CA$  das Loth  $AL$  errichtet. Durch den gegebenen, in der oberen Sockelkante der Caffettenreihen liegenden Punkt  $h$  wird die entsprechend verlängerte Gerade  $ci$  gezogen. Das auf  $ci$  an beliebiger Stelle errichtete Loth  $R$  erhält die Länge des Halbmessers  $R$  des für die Caffettenbreite festgestellten Hilfskreifes  $gf$ . Zieht man durch den Endpunkt des Lothes  $R$  die Parallele zu  $ci$ , so trifft

dieselbe die Gerade  $AL$  im Punkte  $r$ . Der um  $r$  mit dem Halbmesser  $R$  beschriebene Kreis wird für die Höhe der ersten Caffettenreihe maßgebend. Die verlängerte Gerade  $Ck$  ist aus Gründen, welche, wie leicht ersichtlich, durch die Zeichnung an und für sich bedingt sind, eine Tangente des Kreises. Zieht man von  $C$  aus eine zweite Tangente  $Cl$  dieses Kreises, so wird die Höhe der ersten Caffettenreihe auf der Kuppelerzeugenden erhalten.

Zum Festlegen der nun folgenden Steghöhe wird wiederum in einem beliebigen Punkte der Tangente  $Cl$  das Loth  $r$  von der Länge des Halbmessers  $r$  des für die Stege ermittelten Hilfskreises  $hg$  errichtet und durch den Endpunkt dieses Lothes eine Parallele zu  $Cl$  gezogen, um im Schnitte  $a$  dieser Parallelen mit  $AL$  den Mittelpunkt des für die Steghöhe maßgebenden Kreises mit dem Halbmesser  $r$  zu erhalten. Eine von  $C$  aus an diesen Kreis gezogene Tangente  $Cm$  schneidet die gefuchte Steghöhe auf der Kuppelerzeugenden ab.

Setzt man die Bestimmung aller folgenden Caffetten- und Steghöhen in gleicher Weise fort, so sind alle Grundlagen für die Vollendung des Gesamtnetzes der Caffetten-Anordnung geschaffen.

Beim Emy'schen Verfahren tritt eine stetige Abnahme der Höhen- und Breitenabmessungen, sowohl der Caffetten selbst, als auch der aufsteigenden Stege und der Querstege, wie aus Fig. 561 erkannt werden kann, ein. Die Vertiefungen der Caffetten können genau nach den im vorhergehenden Artikel gemachten Mittheilungen unter der Annahme von Hilfspyramiden mit den Spitzen  $o, q$  u. f. f. und unter Einführung einer Hilfs erzeugenden  $I$  bestimmt werden. Bei stoffelartig vertieften Caffetten ist einfach eine Wiederholung des geschilderten Emy'schen Verfahrens erforderlich.

363.  
III.  
Verfahren.

Wenn gleich nach den beiden, im Vorhergegangenen besprochenen Anordnungen der Caffetten Anhaltspunkte geboten sind, welche in den verschiedensten Fällen bei der Ausstattung der Laibungsflächen der Kuppelgewölbe durch Füllungen mit reicher oder einfacher Form zu Grunde gelegt werden können, so darf doch nicht unerwähnt bleiben, daß die gegebenen, ziemlich einfachen Darstellungen ihrem Wesen nach etwas gekünstelt erscheinen. Weit unbefangener und auch dem natürlichen Wege, welchen die Ausstattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes an sich zeigt, mehr entsprechend, ist allgemein der Anordnung der Caffetten nahe zu treten, indem man im Sinne der darstellenden Geometrie die Abwicklung der meistens schmalen Meridianstreifen, welche die Caffetten und Stege enthalten, oder eine sonst gewünschte Ausschmückung aufnehmen sollen, vornimmt. Die abgewickelten Flächenstücke können alsdann einzeln oder, unter Umständen bei zusammenhängendem Schmuck in fachgemäße Verbindung gebracht, für das Einzeichnen der beabsichtigten Ausstattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes benutzt werden.

Die entworfene Zeichnung ist dann rückläufig in den Grundrifs, bezw. in den Aufrifs mit Hilfe einer Schaar von Meridianlinien zu übertragen.

Diese allgemeine Anordnung zeigt Fig. 562 zunächst für die Anordnung von Caffetten mit nahezu quadratischer Form.

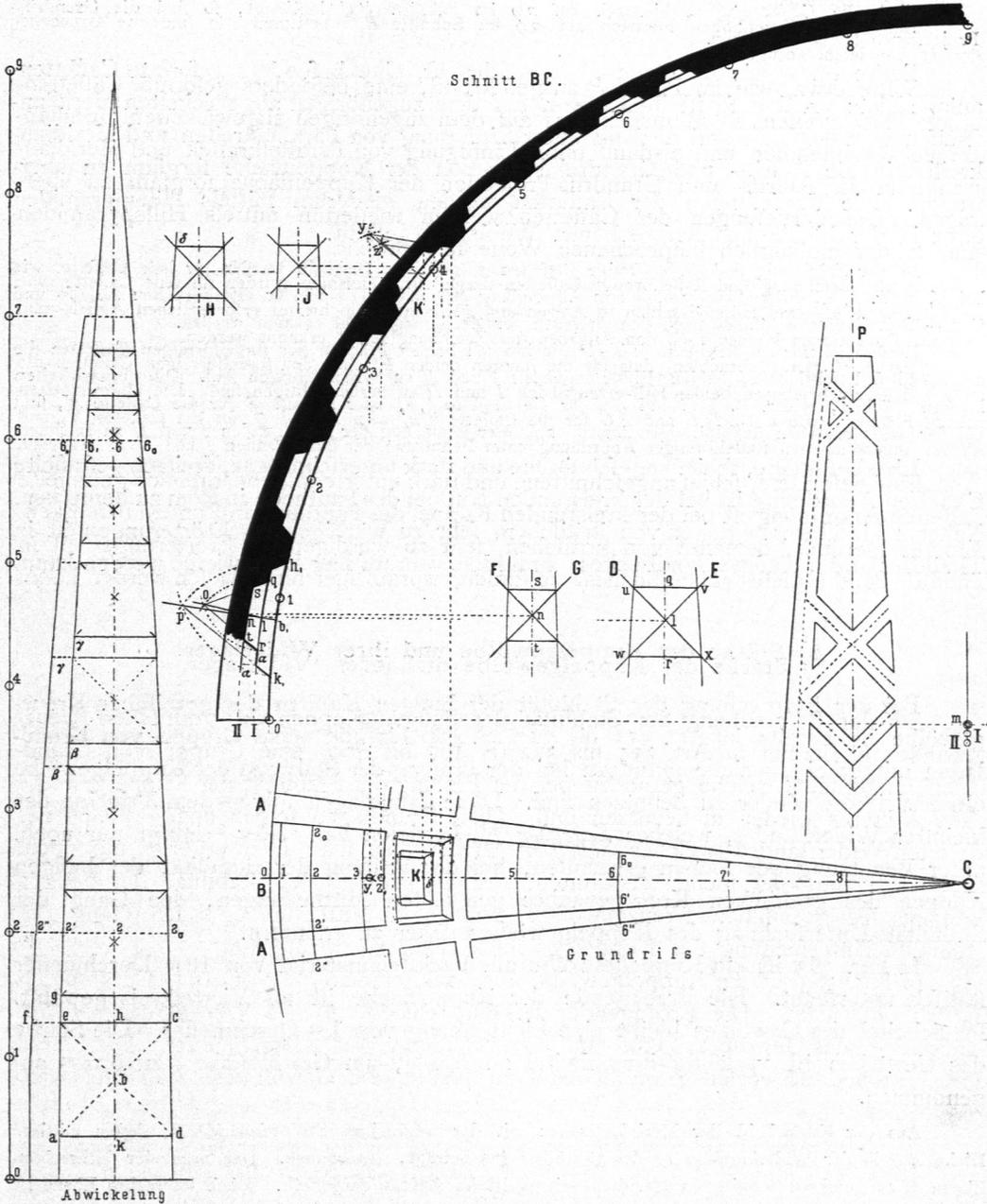
Im Grundrifs ist  $B$  der Meridianstreifen der Caffetten und  $A$  der Meridianstreifen des aufsteigenden Steges. Im Schnitte  $BC$  ist der um  $m$  mit dem Halbmesser  $mo = Co$  beschriebene Viertelkreis  $og$  die Erzeugende des Kuppelgewölbes.

Der Viertelkreis  $og$  ist in 9 gleiche Theile getheilt. Im Plane der Abwicklung sind die Erstreckungen  $o1, 12$  u. f. f. gleich den Bogenlängen  $o1, 12$  u. f. f. auf der lothrechten Linie  $og$  abgetragen.

Durch die Punkte  $o, 1, 2$  u. f. f. gezogene Wagrechte müssen bei der durch  $k$  lothrecht gelegten Erstreckung der Meridianlinie über  $Co$  des Grundrisses die erstreckten Bogenlängen der durch  $o, 1, 2$  u. f. f. um  $C$  im Grundrifs beschriebenen Bogen der Parallelkreise der Kuppelfläche je zur Hälfte nach links und rechts von der Linie  $k$  aus, so weit dabei die Meridianstreifen  $A$  und  $B$  in Betracht kommen, aufnehmen. So ist z. B. bei der durch  $2$  angenommenen wagrechten Linie  $22_0 = 22$ , gleich der Erstreckung der Bogenlänge  $22_0 = 22$ , im Grundrifs für den Meridianstreifen  $B$ . Eben so ist hier für den Meridianstreifen  $A$  die Länge  $2, 2_1$ , gleich der erstreckten Bogenlänge  $2, 2_1$ , im Grundrifs. In gleicher Weise ist noch bei der wagrechten Linie  $66_0$  in der Abwicklung und dem Bogen  $6_0 6_1$ , im Grundrifs verfahren.

Ist die Abwicklung der Meridianstreifen *B* und *A* vollständig gezeichnet, so kann das Eintragen der unteren und oberen Seitenlinien der Caffetten in folgender Weise geschehen. In der Höhe *k* der Abwicklung über dem Fusse *o* des Kuppelgewölbes ist *ad* als erste untere Caffettenlinie fest gelegt. Von *a* und *d* aus sind unter einem Winkel von 45 Grad zu *ad* die Linien *ac* und *de* gezogen. Die Wagrechte *ec* bestimmt die obere Linie der nahezu quadratisch geformten Caffette.

Fig. 562.



Um die Breite des nun folgenden Querrieges zu erhalten, ist die Gerade *ec* bis zur Abwicklungslinie des Meridianstreifens für den aufsteigenden Steg nach *f* zu führen und in *f* eine Linie *fg* unter 45 Grad zu *cf* zu ziehen. Die durch *g* gelegte Wagrechte giebt die untere Seite der zweiten Caffettenreihe. Auf diesem Wege schreitet man nach und nach vor, um, wie aus dem Plane der Abwicklung

genau zu verfolgen ist, die Caffetten- und Steganlage vollständig in der Abwicklung zur Darstellung zu bringen.

Das Zurückführen der unteren und oberen Seitenlinien der Caffetten auf die Gewölbfläche wird mittels der Erzeugenden  $og$  im Schnitte  $BC$  vorgenommen. Hier ist z. B. die Bogenlänge  $k, b$ , durch Benutzung kleiner Theilstrecken der Länge  $k\bar{b}$  gleich der Erstreckung  $k\bar{b}$  der Abwicklung abzutragen. Eben so ist die Bogenlänge  $b, h$ , so abzumessen, das dieselbe der Erstreckung  $b\bar{h}$  gleich wird. Gleiches gilt für die Stegbreiten.

Sind alle Caffettenhöhen hiernach auf  $og$  im Schnitte  $BC$  bestimmt, so sind die Grundrifs-Projectionen leicht anzugeben.

Sollte etwa, wie im Plane  $P$  ausgeführt ist, eine besonders geformte Caffettenanlage Platz greifen, so ist ihr Entwurf auf dem zugehörigen abgewickelten Meridianstreifen vorzunehmen und alsdann unter Einfügung von Parallelkreisen und Meridiankreisen in die Aufrifs- und Grundrifs-Projection der Kuppelfläche sorgsam zu übertragen. Die Vertiefungen der Caffetten werden wiederum mittels Hilfspyramiden ganz in der hinlänglich besprochenen Weise fest gestellt.

In der Zeichnung sind staffelförmige Caffetten dargestellt. Deshalb wurden für jede Caffette, wie bei  $K$ , bezw.  $k, h$ , zwei Hilfspyramiden in Anwendung gebracht. Die hierfür erforderlichen Aufrifs- und Grundrifs-Projectionen können nach den Angaben der Zeichnung leicht erkannt werden.

Hierbei ist nur zu beachten, das für die inneren beiden Flächen der staffelförmigen Caffetten die um  $I$  und  $II$  beschriebenen Helferzeugenden  $I$  und  $II$  zu berücksichtigen sind. Die abgewickelten inneren Flächen, wie z. B.  $DE$  und  $FG$  für die Caffette  $k, h$ , oder  $H$  und  $\text{Y}$  für die Caffette  $K$ , sind bei der angenommenen staffelförmigen Anordnung unter Benutzung der Erzeugenden  $I$  und  $II$  zu zeichnen.

Eine besondere, schief ange schnittene und stark unterschnittene, dreifach gestaffelte Caffetten-Anordnung ist bei der kreisrunden Kuppel des Pantheon in Rom zu bemerken. Näheres hierüber, begleitet von kritischen, sehr zu würdigenden Erörterungen ist in Theil II, Band 2 dieses »Handbuches« zu finden, worauf hier hingewiesen werden kann.

### b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager.

Bei der Befprechung der Stabilität der busigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe ist bereits in Art. 315 bis 322 (S. 460 bis 469) eine Gruppe von Grundlagen mitgetheilt, welche geradezu bei der Prüfung der Stabilität der Kuppelgewölbe ohne Weiteres wieder zu benutzen sind. Diese Grundlagen folgen dem Principe des kleinsten Widerstandes, welches *Scheffler*<sup>188)</sup> bewiesen hat. Hier erübrigt nur noch, unter Benutzung der foeben erwähnten, bei der Prüfung der Stabilität der busigen Kappen des gothischen Kreuzgewölbes gemachten Mittheilungen, den Gang der Stabilitäts-Untersuchung des Kuppelgewölbes näher zu erläutern.

In Fig. 563 ist ein Kuppelgewölbe aus Backsteinmaterial von 10 m Durchmesser statisch untersucht. Die Erzeugende der Kuppelfläche ist als Viertelkreis gewählt. Im Scheitel des Gewölbes bleibt eine Lichtöffnung von 1 m Durchmesser. Die Stärke des Gewölbes ist vorläufig im Scheitel zu 0,25 m, am Gewölbefuse  $l$  zu 0,38 m angenommen.

Aus der Kuppel ist der Meridianstreifen mit der wagrechten Projection  $MAB$ , dessen mittlere Dicke  $AB$  in der Widerlagsfuge  $ro$  des Gewölbes 1 m beträgt, entnommen. Der nach der lothrechten Ebene  $Mro$  geführte Schnitt des Meridianstreifens ist im Aufrifs dargestellt. Diese lothrechte Ebene ist Kräfteebene. Die Bogenfläche  $o$  bis  $ro$  des Gewölbkörpers ist in 10 Theilstreifen zerlegt und für jede Theillinie nach den in Art. 143 (S. 200) gegebenen Ausführungen die zugehörige, nach  $m$  gerichtete Wölbefuge eingezeichnet.

<sup>188)</sup> Siehe: SCHEFFLER, H. Die Hydraulik auf neuen Grundlagen. Leipzig 1891.