Die centrale Lagerfuge $u_2 f_2 d_2 x_2$ Fig. 249 wird von der vertikalen Stossfuge $x_2 y_2 z_2 d_2$ in der Linie $x_2 d_2$ geschnitten und von der vertikalen Stossfuge $u_2 v_2 w_2 f_2$ in der Linie $u_2 f_2$. Diese Durchschnittslinien sind Hyperbeln, denn die centrale Lagerfuge ist ein Theil eines normalen abgekürzten Kegelmantels, dessen lothrecht stehende Achse durch den Punkt m geht, mit welcher die schneidenden Ebenen $x_2 y_2 z_2 d_2$ und $u_2 v_2 w_2 f_2$ parallel laufen. Die Richtungen dieser Hyperbeln gehen durch die Punkte F und G, welche erhalten werden, wenn man die Längen KF und HG mit $z' d_2'$ oder z, f_2' Fig. 247 gleich gross macht.

Die Richtung der Stossfuge $i_2 t_2$ geht durch die Achse des Kugelgewölbes, daher geht die gerade Linie $t_2 e_2$ durch den Mittelpunkt m und die Linie $t_2 i_2$ durch den Eckpunkt l_2. Damit aber in l_2 keine spitze Kante gebildet werde, haben wir diese Stossfuge im Punkte i_2 nach der auf $l_2 v_2$ normal stehenden Richtung $i_2 k_2$ gebrochen.

Von der dritten Steinschicht einen Stein noch zu zeichnen, hielten wir für überflüssig. Die Ecke wird in dieser Schicht durch die drei Steine gebildet, deren erste Projektionen die Fig. $b_2' b_3' b_4' b_7' b_8'$, $b_4' b_5' b_6' b_7'$ und $l' b_6' b_8' b_9'$ Fig. 247 sind. Der durch $b_2' b_3' b_4' b_7' b_8'$ bezeichnete Kugelstein vermittelt hier die Verbindung der Kugel mit den geraden Mauern und die beiden anderen Steine haben die Form eines rechtwinkligen Parallelepipeds.

Zur Seite dieser Steine vermittelt der Stein $b_2' b_8' b_9' n_2' o_2' p_2'$ die Verbindung der Kugel mit der geraden Mauer und zum Schluss dient der Mittelstein $n_2' o_2' p_2' q_2' r_2' s_2'$. Die vertikalen Stossfugen dieses Steins bilden eine gebrochene Ebene, welche mit dem einen Theil auf der Richtung der Mauer normal steht, mit dem anderen aber durch den Mittelpunkt der Kugel geht. Eine gebrochene Ebene richtig darzustellen, ist für den Arbeiter stets eine schwierige Aufgabe und es ist deshalb vorzuziehen, diese Stossfuge als eine Ebene darzustellen, indem man die Richtung der Linie $o_2' p_2'$ nicht durch den Mittelpunkt der Kugel gehen lässt, sondern dieselbe als Fortsetzung der geraden Linie $n_2' o_2'$ darstellt.

Die Fig. $l'' p'' r'' o'' a'' b'' f''$ Fig. 246 ist der nach der Richtung der Diagonale $l' m'$ Fig. 247 genommene Durchschnitt der Eckverbindung, $p'' r'' k'' l''$ ist der Durchschnitt des unteren Steins der Ecke, $r'' o'' n'' g'' k''$ der Durchschnitt der zweiten Steinschicht und endlich $o'' a'' b'' f'' g''$ der Durchschnitt der dritten Steinschicht.

§. 88.

Die Konstruktion eines überhöhten sphäroidischen Gewölbes zeigt Fig. 250 Taf. XVI.

Dieses Kuppelgewölbe hat zum mittleren Querschnitt eine Ellipse, deren Ueberhöhung beinahe $1/5$ des untern Durchmessers des Gewölbes beträgt. Im Uebrigen sind alle Konstruktionen dieses Gewölbes dieselben, wie beim Kugelgewölbe, ausgenommen die Konstruktion der Lagerfugen, deren Richtungen hier nicht die Achse des Gewölbes im Mittelpunkte des untersten Kreises treffen, sondern die Achse in verschiedenen Punkten übereinander schneiden. Es hat dies darin seinen Grund, dass die Lagerfugen in die Richtung der Kurvennormale fallen müssen, wenn sie auf der inneren Wölbungsfläche normal stehen sollen, weshalb die Richtung dieser Lagerfugen nach §. 53 ermittelt werden muss.

Fig. 251 zeigt die Konstruktion des gedrückten sphäroidischen Gewölbes, wie solches zuweilen über Sälen angebracht wird.

In Fig. 252 haben wir noch ein mit Kassetten verziertes Kuppelgewölbe dargestellt, welches in dem Princip des antiken römischen Kuppelgewölbes konstruirt worden ist.

§. 89.

Das Kappengewölbe.

Das auf Taf. XVII dargestellte Gewölbe ist ein flaches Kugelgewölbe über dem quadraten Raume, welches auch unter der besonderen Benennung Böhmisches Gewölbe bekannt ist. Fig. 254 ist der Grundriss dieses Gewölbes, Fig. 253 ein Querdurchschnitt nach der Linie $A' B'$ des Grundrisses und Fig. 255 ein Diagonalschnitt nach der Richtung $C' D'$.

Fig. 256 stellt den Eckstein M vor, dessen Grundriss in Fig. 254 mit M' bezeichnet ist. E bezeichnet die Schablone des oberen horizontalen Lagers und H die des unteren Lagers dieses Steins.

Fig. 257 stellt den Zwickelstein K vor, dessen Grundriss mit K' bezeichnet ist. P Fig. 259 bezeichnet die Schablone der Stossfuge dieses Steins.

Fig. 258 stellt den Stein N vor, dessen Grundriss mit N' bezeichnet ist. Dieser Stein findet sein Auflager auf der vollen Mauer und bindet zum Theil in das Kugelgewölbe, wodurch der Uebergang aus der geraden Mauerfläche in die Kugelfläche vermittelt wird.

Fig. 258 zeigt diesen Stein von oben angesehen, Fig. 259 aber denselben von unten angesehen. I ist die Schablone vom obern horizontalen Lager und P die der Stossfuge $abcde$.

Die Fig. 260 und 261 zeigen endlich noch den mittlern Stein O; erstere ist eine Ansicht dieses Steins von oben, letztere eine Ansicht von unten. S ist die Schablone des obern horizontalen Lagers und R die der Stossfuge.

Die Stossfugen dieses Steins stehen normal auf der Richtung der Mauer, worauf derselbe lagert; die Stossfugen der Kugelsteine sind aber central, indem dieselben in der Achse des Gewölbes sich schneiden; es müsste sonach der in das Kugelgewölbe einbindende Theil dieses Steins centrale Stossfugen haben, weshalb die ebene Stossfuge $nmovwx$ Fig. 261 eine gebrochene Ebene sein müsste. Nun ist aber klar, das die gebrochene Ebene bei weitem schwieriger zu bearbeiten ist, als die nicht gebrochene Ebene; aus diesem Grunde fanden wir uns veranlasst, die Stossfuge des in das Kugelgewölbe einbindenden Theils des Steins O als Fortsetzung der Ebene, welche auf der Richtung der Mauer normal steht, zu behandeln.

§. 90.

Die Hängekuppel über Gurtbögen.

Fig. 263 Taf. XVIII ist der Grundriss eines Kugelgewölbes über dem quadraten Raume; Fig. 262 der vertikale Querschnitt desselben nach der Linie $A' B'$ des Grundrisses, Fig. 264 der Diagonalschnitt nach $C' D'$ und Fig. 265 die Ansicht von vorn.

Dies Kugelgewölbe ruht auf vier Tonnengewölben, deren Widerlager die vier Eckpfeiler vorstellen und die deshalb stabil genug konstruirt werden müssen, denn von ihrer Standfähigkeit hängt die Sicherheit des ganzen Gewölbes ab.*)

Es sei $a' b' c' d'$ Fig. 263 das Quadrat, über welchem das Kuppelgewölbe konstruirt werden soll, m' die Mitte von $b' c'$ und m'' Fig. 262 der Aufriss desselben Punktes. Da die Breite der Archivolte in der Regel $1/8$ bis $1/12$ des lichten Weite der zugehörigen Bogenöffnung ist, nehme man den Vorsprung $c' e' = b' o'$ gleich $1/8$ bis $1/12$ der Länge $o' e'$, beschreibe sodann mit den Längen $m' b'$ und $m' o'$ aus dem Punkte m'' Fig. 262 die Halbkreise $b'' b_2'' c''$ und $o'' o_2'' e''$, theile den letzteren in eine ungerade Anzahl gleicher Theile und projicire die erhaltenen Theilpunkte auf die Linie $b' c'$ Fig. 263. Dadurch werden die Punkte n', r', s', v', w', u' u. s. f. erhalten.

Aus den Theilpunkten n'', r'', s'', v'' u. s. f. des Halbkreises $o'' o_2'' e''$ ziehe man in der Richtung des Radius die geraden Linien $n'' n_2''$, $r'' r_2''$, $s'' s_2''$ u. s. f., projicire den Punkt n_2'' auf die Linie $b' c'$ nach n_2', eben so den Punkt r_2'' nach r_2', s_2'' nach s_2', v_2'' nach v_2', w_2'' nach w_2', u_2'' nach u_2' u. s. f., die erhaltenen Punkte sind Projektionen derjenigen Punkte, in welchen die innere Kugelfläche von den Centralfugen des innern Hauptes vom Tonnengewölbe durchdrungen wird, da der Halbkreis $b'' b_2'' c''$ die zweite Projektion der Durchschnittlinie vorstellt, in welcher die innere Kugelfläche von dem innern geraden Haupte des Tonnengewölbes geschnitten wird.

Es werde nun das äussere Quadrat $C' E' D' F'$ Fig. 263 konstruirt, indem man die Stärke der Eckpfeiler mit Rücksicht darauf festsetzt, ob dieselben äusserlich ganz frei stehen oder von andern Konstruktionstheilen unterstützt werden. Sodann trage man die verschiedenen Konstruktionspunkte der Linie $b' c'$ auf die drei übrigen Seiten des innern Quadrats und vollende die untere Ansicht der vier Tonnengewölbe, auf welche die Kuppel sich stützt.

Die Diagonale $b' d'$ des innern Quadrats ist der Durchmesser der innern Kugelfläche. Um den Mittelpunkt m_3' dieser Diagonale winden sich die Grundrisse der inneren horizontalen Leibungsfugen in koncentrischen Kreisen rings herum. Um sie zu erhalten, beschreibe man über der Linie $A'' B''$ Fig. 262 mit der Länge $m_3' b'$ als Radius einen Halbkreis, theile denselben in eine ungerade Anzahl von gleichen Theilen, jedoch so, dass kein Theilpunkt in die Punkte b_3'' und c_3'' fällt, in welchen jener Halbkreis von den lothrechten Linien $b'' b_3''$ und $c'' c_3''$ geschnitten wird, weil in der Begegnung zweier Systeme keine Fuge angebracht werden darf. Auch darf die Länge $b_3'' a_3''$ nicht zu gross sein, damit der Schlussstein des Tonnengewölbes nicht zu weit in das Kugelgewölbe eingreife.

Dem Kugelgewölbe gebe man im Scheitel eine entsprechende Stärke, etwa $1/30$ der Diagonale $d' b'$ und konstruire den Oberbogen des Kugelgewölbes, den Durchschnitt der beiden Tonnengewölbe, welche in der Richtung der Linie $A' B'$ durchschnitten werden, so wie den ganzen obern Theil des Kugelgewölbes in der Art, wie in dem Vorangegangenen gezeigt worden ist.

*) Bei der St. Nikolai-Kirche zu Potsdam, welche in diesem Princip konstruirt worden ist, misst die Seite des inneren Quadrats 18,8 m, die Seite des äusseren Quadrats 36,9 m; mithin die Dicke des Eckpfeilers 9,04 m, fast die Hälfte der lichten Weite der Tonnengewölbe. Das Gewicht dieser Eckpfeiler wird aber dadurch entschieden vermindert, dass im Innern derselben eine 1,26 m breite Treppe nach den obern Räumen angebracht worden ist. Die Tonnengewölbe, welche das Kugelgewölbe stützen, haben hier eine Stärke von 1,65 m bei einer lichten Weite von 18,8 m; also etwas mehr als $1/12$ der lichten Weite.

Beim St. Peter zu Rom betrug die Stärke dieser Tonnengewölbe $1/18$ ihrer lichten Weite; die Stärke der Pfeiler der Hauptkuppel, deren innerer Durchmesser 40,82 mass, war von Bramante zu 13,2 m angeordnet worden. Michel Angelo fand aber solches zu schwach und verstärkte diese Pfeiler bis auf 18,2 m. Dies genüge zur Anordnung der Massen.

Zur Erzielung eines soliden Verbandes müssen die Steine des Tonnengewölbes in das Kugelgewölbe einbinden. Der Anfänger M, dessen Grundriss mit M' bezeichnet ist, bindet in die beiden Tonnengewölbe ein, welche von der Ecke b ausgehen, damit er aber auch noch den untern Theil des Kugelgewölbes aufnehme, erweitert man die beiden oberen ebenen Centrallagerfugen desselben so weit, bis sie im Punkt α der inneren Kugelfläche sich begegnen. Die Projektionen α' und α'' des Punktes α werden erhalten, wenn man den Aufriss $b'' i''$ des untern Theils desjenigen grössten Kreisbogens ermittelt, dessen Grundriss die Linie $b' m_3'$ ist. Zu dem Ende braucht man nur aus einem beliebigen Punkte g'' des Kreisbogens $f'' a_3''$ Fig. 262 die Linie $g'' h''$ normal auf $m'' x''$ zu konstruiren, mit der Länge $g'' h''$ aus dem Punkte m_3' Fig. 263 einen Kreisbogen beschreiben und den Durchschnittspunkt i' dieses Kreisbogens und der Linie $b' m_3'$ auf die Linie $g'' h''$ nach i'' zu projiciren: dieser Punkt i'' ist ein Punkt der verlangten Kurve. Dies Verfahren wiederholt, giebt eine Anzahl von Punkten, durch welche die Kurve $b'' i''$ gelegt werden kann. Sodann verlängere man die gerade Linie $n'' n_2''$ bis an die Kurve $b'' i''$, projicire den Durchschnittspunkt α'' auf die Linie $b' m_3'$ nach α': die Punkte α'' und α' sind die verlangten Projektionen des Punktes α.

Fig. 267 Taf. XIX zeigt die vier Steine, aus welchen die untere Steinschicht über dem Kämpfer besteht, der mittlere Eckstein ist der Anfänger M.

Der Stein N über dem Anfänger, dessen Grundriss in Fig. 263 mit N' bezeichnet ist, verbindet wie der Anfänger M beide Tonnengewölbe, welche von der Ecke b ausgehen. Seine Form ist am deutlichsten aus Fig. 268 Taf. XIX zu erkennen. Diese Figur stellt nämlich die vier Steine vor, aus welchen die zweite Gewölbeschicht besteht. Der Stein auf der äussern Ecke bildet ein normales Parallelepiped; die zwei Steine, welche zur Seite dieses Parallelepipeds sich befinden, sind Steine des geraden Tonnengewölbes und der vierte Stein auf der innern Ecke ist der Stein N. Der Aufriss dieses Steins ergiebt sich unmittelbar und zur Bestimmung des Grundrisses bedarf es nur noch der Bestimmung des Bogens $r_2' r_3'$ Fig. 263.

Die gerade Linie $r_2'' r_3''$ Fig. 262 ist der Aufriss dieses Bogens; man braucht daher nur mit der Linie $l'' k''$, welche durch die Punkte r_2'', r_3'' normal auf $m'' x''$ konstruirt wird, aus dem Pnnkte m_3' zwischen den Schenkeln $b' a'$ und $b' c'$ einen Kreisbogen $r_3' r_2'$ zu beschreiben, um den verlangten Bogen zu erhalten.

In der dritten horizontalen Steinschicht hört die Verbindung der beiden Tonnengewölbe durch einen einzigen Stein auf, da zwischen beiden ein Stein des Kugelgewölbes angeordnet ist. Die Art und Weise dieser Verbindung ist am deutlichsten aus dem Diagonalschnitt Fig. 264 zu ersehen. Die Fig. $r_2'' r_3'' p'' q''$ Fig. 262 ist der Aufriss und $r_2' r_3' p' q'$ der Grundriss dieses mittlern Steins. Zur Bestimmung dieser Projektion konstruire man den Bogen $s_2' s_3'$ Fig. 263 mit dem Radius desjenigen kleinern Kreises der Kugel, welcher durch den Punkt s_2'' Fig. 262 normal auf $m'' x''$ gedacht wird; ziehe die geraden Linien $r_3' p'$, $r_2' q'$ in der Richtung nach dem Mittelpunkte m_3' und projicire die Punkte p', q' auf die durch den Punkt s_2'' parallel zu $A'' B''$ konstruirte gerade Linie $s_2'' s_3''$ nach p'' und q''.

Hierdurch erhält man zugleich noch die Projektionen des Steins O, dessen Grundriss mit O' bezeichnet ist und dessen Aufriss die Fig. $r'' r_2'' q'' s'' s_2''$ vorstellt. Dieser Stein vermittelt in dieser Steinschicht den Verband des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe. Fig. 270 zeigt die Form dieses Steins, denselben von oben angesehen. In ähnlicher Weise erhält man die Projektionen der übrigen Steine P, Q, R und S, durch welche der Verband des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe bewirkt wird.

Der Stein P vermittelt in der vierten horizontalen Steinschicht den Verband des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe. Dasselbe geschieht vom Stein Q in der fünften Schicht, vom Stein R in der sechsten Schicht und endlich vom Schlussstein S in der siebenten Schicht.

Fig. 271 zeigt den Stein P in isometrischer Projektion gezeichet von oben angesehen, Fig. 272 den Stein Q desgleichen, Fig. 273 den Stein R von oben und Fig. 274 denselben Stein von unten angesehen, Fig. 275 den Schlusstein S von oben und Fig. 276 denselben von unten angesehen. Die Fig. 277 stellt endlich noch den Stein des Kugelgewölbes vor, dessen erste Projektion in Fig. 263 mit T' bezeichnet ist.

Zur klarern Einsicht dieser Gewölbekonstruktion ist in Fig. 266 noch der Verband der vier unteren horizontalen Steinschichten in isometrischer Projektion gezeichnet worden.

Wir kommen zum Zeichnen der Steine der im vorigen Paragraphen beschriebenen Gewölbekonstruktion.

Die einfacheren Steine der vorliegenden Gewölbekonstruktion werden wir nicht weiter berühren, denn nach dem Bisherigen wird man im Stande sein, dergleichen Zeichnungen anzufertigen, ohne Schwierigkeiten dabei zu finden. Dagegen werden wir uns bemühen, die Konstruktion der vielfach zusammengesetzten Steine dieses Gewölbes so klar als möglich darzulegen. Zu diesen Steinen rechnen wir alle die Steine des Tonnengewölbes, welche den Verband mit dem Kugelgewölbe zu vermitteln haben und die dieserhalb mit einem Theil im Tonnengewölbe, mit dem andern Theil aber im Kugelgewölbe sich befinden müssen.

Dahin gehört:

1. Der Anfänger M, dessen Grundriss in Fig. 263 mit M' bezeichnet worden ist. Die Fig. 267 Taf. XIX zeigt diesen Stein in Verbindung mit den drei übrigen Steinen der untersten horizontalen Steinschicht. Diese Figur wird erhalten, wenn man konstruirt wie folgt:

Man konstruire die Linien CA und Cm_4 nach der Methode der isometrischen Projektion senkrecht auf einander, mache $Cz_2 = C' z_2'$ Fig. 263, so wie $Co_2 = C' o_2'$ und ziehe die Linien $z_2 z$ und $o_2 o$ beziehungsweise parallel zu Co_2 und Cz_2, hierauf mache man jede der Linien $o_2 o$ und $z_2 z$ gleich lang mit $o_2' o'$ Fig. 263 und ziehe ob parallel $o_2 C$, zb parallel $z_2 C$. Die hervorgehende Figur $Co_2 obzz_2$ stellt das untere horizontale Lager der ersten Steinschicht vor.

Den Mittelpunkt des Kugelgewölbes zu erhalten, mache man $o_2 m_4 = o_2' m_4'$ Fig. 263, $z_2 A = z_2' A'$ und ziehe Am_3 parallel Cm_4, $m_4 m_3$ parallel CA: der Durchschnittspunkt m_3 beider Linien ist der Mittelpunkt der Kugelwölbung und die Linien $m_4 m$, Am_3 sind die Achsen der beiden Tonnengewölbe, welche von dieser Ecke ausgehen.

Damit das Haupt $Co_2 o_3 o_4 e_4$ parallel der zum Grunde liegenden Projektionsebene sei, muss die Linie Cm_4 als horizontale Linie gedacht werden, welche parallel der Projektionsebene ist. Es behält alsdann das Haupt $Co_2 o_3 o_4 e_4$ seine geometrische Form, die nun konstruirt wird, indem man aus dem Punkte m_4 mit dem innern Radius des Tonnengewölbes den Kreisbogen $o_2 o_3$ beschreibt, denselben mit $o'' n''$ Fig. 262 gleich lang macht, die lothrechte Linie Ce_4 der Höhe $C''' e_4'''$ Fig. 264 dieser Steinschicht gleich nimmt, $e_4 o_4$ parallel Cm_4 konstruirt und in der Richtung $m_4 o_3$ die gerade Linie $o_3 o_4$ zieht: dadurch erhält man das Haupt $Co_2 o_3 o_4 e_4$ in seiner geometrischen Form.

Hierauf ziehe man die Linien $e_4 e_3$, $o_4 x$ und $o_3 n$ parallel mit der Linie $m_4 m$, konstruire aus dem Punkte m die koncentrischen Kreisbogen on und bn_2, bestimme die Punkte α, a, e und e_2 aus den zugehörigen Koordinaten, indem man zur Bestimmung des Punktes e z. B. die Länge $zd = o'' t''$ Fig. 262 macht, in d die lothrechte Linie de konstruirt und auf dieselbe von d aus das Mass der Linie $t'' n''$ Fig. 262 abträgt. Eben so findet man die Punkte e_2, a und α.

Zur Vervollständigung der Figur fehlen noch die Punkte e_3 und x. Sie zu erhalten, werde die Linie $e_2 e_3$ in der Richtung Ae_2 gezogen und aus dem Durchschnittspunkte e_3 der Linien $e_2 e_3$ und $e_4 e_3$ die gerade Linie $e_3 x$ parallel mit $e_4 o_4$ konstruirt, die Fig. $e_3 e_4 o_4 x$ stellt alsdann das obere horizontale Lager dieser Steinschicht vor, die Fig. $ee_2 e_3 x\alpha a$ die centrale Lagerfuge für das eine Tonnengewölbe und $nn_2 \alpha x o_4 o_3$ diese Fuge für das andere Tonnengewölbe. Beide Lagerfugen schneiden sich in der geraden Linie $x\alpha$, deren Richtung durch den Mittelpunkt m_3 der Kugel geht. Die Bogen ab, ez und $e_2 z_2$ sind elliptische Bogen. — Die Figuren B, D, E, F, G und H stellen die Schablonen dieser Steinschicht vor und zwar B die der innern Leibung $zz_2 e_2 e$, D die der Häupter $Cz_2 e_2 e_3 e_4$ und $Ce_4 o_4 o_3 o_2$, E die des untern und F die des obern horizontalen Lagers, G die der Lagerfugen $o_3 o_4 x\alpha n_2 n$ und $ee_2 e_3 x\alpha a$ und H endlich die des innern Hauptes $bonn_2$.

2. Die zweite Steinschichte über dem Kämpfer dargestellt in Fig. 268. Die Konstruktion dieser Figur ist im Allgemeinen dieselbe, wie die der vorigen und kann daher hier übergangen werden.

Die Figuren K, J und V stellen Schablonen dieser Steinschichten vor; nämlich K die Hauptschablone, V die Schablone der Lagerfuge des Tonnengewölbes, und J endlich die des obern horizontalen Lagers.

3. Der Stein O der dritten Steinschicht, dessen Grundriss in Fig. 263 mit O' bezeichnet ist. Die Fig. 270 zeigt diesen Stein in der schiefen Projektion von oben angesehen. Diese Figur wird konstruirt, indem man das äussere Haupt $fhil$ auf geometrischem Wege festsetzt, eben so auch das innere Haupt $rr_2 s_2 s$, welches parallel dem erstern ist. Der Punkt q wird aus seinen Koordinaten ermittelt, und die übrigen Punkte ergeben sich sodann mit Hülfe der bereits ermittelten Punkte auf einfachem Wege.

Die Fig. A stellt hier die Schablone des äussern Hauptes vor und B die der Lagerfuge des Tonnengewölbes.

Fig. 269 stellt zwei Steine der dritten Steinschicht vor, welche zur Hinterfüllung der Tonnengewölbe dienen.

4. Der Stein P der vierten Steinschicht, dessen Grundriss in Fig. 263 mit P' bezeichnet ist. Fig. 271 stellt diesen Stein vor, A die Schablone des äussern Hauptes und B die der Lagerfuge des Tonnengewölbes. Man erhält diese Figur, wenn man konstruirt wie unter 3. gezeigt ist.

5. Der Stein Q, dargestellt in Fig. 272. Diese Figur zu erhalten, konstruire man zunächst den Theil des Steins, welcher dem Tonnengewölbe angehört. Dies hat keine Schwierigkeiten, wenn man den Stein in derselben Lage zeichnet, welche er im Gewölbe hat. Dadurch werden die Punkte v, v_2, w, w_2, w_3, w_4, w_5 erhalten.

Die Punkte φ, σ, t und d werden aus ihren Koordinaten bestimmt. Für den Punkt σ z. B. geschieht dies, wenn man in Fig. 263 die Koordinaten des Punktes σ' ermittelt, indem man die

Linie $m_4' m_3'$ als Abscissenachse wählt und aus dem Punkte σ' die Linie $\sigma' \gamma'$ normal auf sie konstruirt, sodann in Fig. 272 die Länge $m_4 \gamma = m_4' \gamma'$ Fig. 263 macht, $\gamma \sigma$ gleich $\gamma' \sigma'$ nimmt, und die lothrechte Linie $\varrho \sigma$ gleich der Entfernung des Punktes σ'' von der Achse $A'' B''$ macht. Eben so erhält man die übrigen Punkte.

Zur Bestimmung des Punktes x ziehe man in der Richtung $m_3 w_2$ die gerade Linie $w_2 x$. — Die Bogen $\sigma \varphi$, $d t$ und $y z$ sind koncentrisch und die gerade Linie $x y$ ist lothrecht.

Fig. A bezeichnet die Schablone der Lagerfuge des Tonnengewölbes.

6. Der Stein R, dessen Grundriss die Fig. $w' w_2' \sigma' \varepsilon' u_2' u' w_4' w_3'$ Fig. 263 ist. Die Fig. 273 zeigt diesen Stein von oben angesehen und Fig. 274 denselben von unten gesehen.

Diesen Stein zu konstruiren, ziehe man die Linie $m_3 m_4$ normal auf der angenommenen Grundlinie der Zeichnung und mache sie mit der Linie $m_4' m_3'$ Fig. 263 gleich lang. Damit nun der Stein in derselben Lage erscheine, welche er im Gewölbe hat, errichte man im m_4 die lothrechte Linie $m_4 y$ und mache den Winkel $y m_4 e$ gleich dem halben Centriwinkel des Schlusssteins. Man mache ferner die Länge $m_4 m = m_4' m'$ Fig. 263 und $m_4 f$ gleich dem innern Radius des Tonnengewölbes, ziehe fu parallel $m_4 m$ und mu parallel $m_4 f$. Alsdann mache man $m_4 y$ gleich der Höhe des Tonnengewölbes in Fig. 265, ziehe yh normal auf $m_4 y$ und konstruire das Haupt feh nach der Form desselben in Fig. 265.

Aus den Punkten e und h ziehe man ferner die Linien ed und ha beide parallel mit fu, beschreibe aus m die koncentrischen Kreisbogen uw und $u_2 w_2$ und bestimme die Punkte ε und σ aus ihren Koordinaten, indem man $m_4 x$ gleich $m_4' \alpha_2'$ Fig. 263 macht, die Ordinate xo gleich $\alpha_2' \varepsilon'$ nimmt und die Höhen-Ordinate $o \varepsilon$ mit der Entfernung des Punktes ε'' von der Achse $A'' B''$ Fig. 262 gleich gross macht. Eben so werde $m_4 z$ gleich $m_4' \gamma'$ Fig. 263 gemacht; die Ordinate der Ebene, nämlich zt, werde gleich $\gamma' \sigma'$ und die Höhe $t \sigma$ werde gleich der Entfernung des Punktes σ'' von der Achse $A'' B''$ Fig. 262 gemacht. Sind in dieser Weise die Punkte ε und σ ermittelt, so ziehe man in der Richtung $m_3 \varepsilon$ die Linien εd und in der Richtung $m_3 \varepsilon$ die Linie εd und in der Richtung $m_3 \sigma$ die Linien σa: ihre Durchschnittspunkte mit den Linien ed und ha bestimmen den Bogen da. — Ganz eben so wird die Figur 274 konstruirt.

7. Der Schlussstein S des Tonnengewölbes, dargestellt in Fig. 275 und Fig. 276. Diesen Stein zu konstruiren, verzeichne man zunächst auf geometrischem Wege das Haupt $gcde$ desselben und ziehe die geraden Linien ca, db, eu_3 und gu parallel mit der Achse $m_4 m_3$. Alsdann mache man $m_4 m$ gleich der Länge des Tonnengewölbes, konstruire mit dem innern Radius desselben die Kreisbogen uu_3 und ge, und vollende das ebene innere Haupt $uu_2 u_3 u_4$. Die Punkte ε und u_5 bestimme man aus den Koordinaten, indem man $m_4 \alpha_2$ gleich $m_4' \alpha_2'$ Fig. 263 macht, die Ordinate $\alpha_2 \beta$ gleich $\alpha_2 \gamma$ gleich $\alpha_2' \varepsilon'$ Fig. 263 nimmt und endlich $\beta \varepsilon$ so wie γu_5 gleich der Entfernung des Punktes ε' von der Achse $A'' B''$ macht. Die Punkte a und b ergeben sich nun auch sogleich, denn die Richtungen εa und $u_5 b$ schneiden sich im Punkte m_3.

A Fig. 275 bezeichnet die Schablone des äussern Hauptes dieses Steins, B Fig. 276 die Schablone der Lagerfuge des Tonnengewölbes und C die des obern horizontalen Lagers des Schlussteins.

Fig. 277 zeigt einen Stein des Kugelgewölbes der ersten ringsherum laufenden Schicht.

§. 91.

Die Hängekuppel in Verbindung mit Tonnengewölben.

Zwei gleich weite und gleich hohe Tonnengewölbe $A' U' B' Z'$ (Fig. 278 Taf. XX) und $O' X' W' Q'$ schneiden sich in der Vierung $J' Y' V' T'$; über dieser Vierung soll ein Kuppelgewölbe ausgeführt werden. Das Tonnengewölbe $A' U' B' Z'$ schliesst mit den Schildmauern $A' Z'$ und $U' B'$ ab. Es sollen die Schnitte nach den Linien $C' D'$ und $A' B'$ konstruirt werden.

1. Man theile die Linien $W' X'$ in sieben gleiche Theile und nehme einen Theil davon zur Stärke der Widerlager der Tonnengewölbe.

2. Konstruire man das Haupt oder den Stirnbogen Fig. 279. Durch diesen erhält man die Leibungsfugen der Tonnengewölbe, deren Grundriss nun angefertigt werden kann.

3. Gebe man den Mauern in ihrer Begegnung eine Vorlage zur Verstärkung und konstruire hier vier Gurtbogen, welche dem Kugelgewölbe zu Stützpunkten dienen. Die Anordnung des Kugelgewölbes über diesem quadraten Raume mache man nach §. 90.

4. Konstruire man den Durchschnitt Fig. 280, denselben nach der Linie $C' D'$ des Grundrisses genommen. Die Konstruktion dieses Durchschnittes geschieht auf demselben Wege, welcher in §. 90 befolgt wurde.

5. Schreite man zur Konstruktion des Diagonalschnittes Fig. 281. Zu dem Ende ziehe man die gerade Linie $A''' B'''$ parallel der Diagonale $A' B'$, projicire den Punkt A' nach A''' und B' nach B''', und betrachte die Linie $A''' B'''$ als Projektionsachse für diese Figur. Hierauf ermittele man im Grundriss alle die Linien, in welchen die durch $A' B'$ lothrecht gedachte schneidende Ebene die Lagerfugen und Stossfugen der Tonnengewölbe und des Kugelgewölbes schneidet, so wie die Punkte, in welchen die Leibungsfugen geschnitten werden, und projicire dieselben auf die Achse $A''' B'''$. Zu dem Ende ziehe man die Linie $b_3' b'$ Fig. 278 parallel der Linie $A' I'$, und zwar in einer Entfernung, welche der KF Fig. 279 gleich ist. Die Linie $b_3' b'$ ist alsdann der Grundriss der durch den Punkt K Fig. 279 gedachten Durchschnittslinie des oberen horizontalen Lagers und der centralen Lagerfuge am Anfänger im Tonnengewölbe.

Das obere horizontale Lager des Anfängers wird in der geraden Linie $A_2 b$ durchschnitten, deren Grundriss $A' b'$ Fig. 278 ist, und die centrale Lagerfuge dieses Steines wird in der Linie bi, deren Grundriss $b' i'$ ist, durchschnitten. Die schneidende Ebene geht durch den Mittelpunkt m des Kugelgewölbes, dasselbe geschieht von jeder centralen Lagerfuge des Tonnengewölbes, deshalb werden diese centralen Lagerfugen von der schneidenden Ebene in geraden Linien geschnitten, welche durch den Mittelpunkt m gehen. Aus diesem Grunde projicire man den Punkt m' Fig. 278 nach m''' Fig. 281, konstruire die Linie $A''' A_4'''$ Fig. 281 normal auf $A''' B'''$, und mache $A''' A_2'''$ gleich der Höhe EF Fig. 279 des Anfängers. Ferner ziehe man die Linie $A_2''' b'''$ Fig. 281 parallel $A''' B'''$, mache sie gleich lang mit $A' b'$ Fig. 278, ziehe die gerade Linie $b''' m'''$ und projicire auf diese den Punkt i' Fig. 278 nach i'''. Man projicire endlich noch den Punkt n' Fig. 278 auf die Linie $A''' B'''$ Fig. 281 nach n''', so ist $A''' A_2''' b''' i''' n'''$ die Durchschnittsfigur der untersten Steinschicht des Tonnengewölbes. Die Stossfugen $c' d'$ und $f' f_2'$ Fig. 278 werden in den Punkten c_2' und o' geschnitten; wenn man daher diese Punkte auf die Achse $A''' B'''$ nach $c_2''' o'''$ projicirt und in denselben die Linien $c_2''' d_2'''$ und $o''' o_2'''$ normal auf $A''' B'''$ konstruirt, so stellen diese die Linien vor, in welchen jene zwei Stossfugen der untersten Schicht geschnitten werden.

Wir kommen zur Konstruktion der Durchschnittsfigur der zweiten Steinschicht des Tonnengewölbes. In Fig. 278 ziehe man die Linie $b_4' e'$ parallel der Linie $A' I'$, und zwar in der Entfernung, welche gleich GN Fig. 279 ist. Diese Linie bezeichnet alsdann den Grundriss der Linie, in welcher das obere horizontale Lager der zweiten Steinschicht von der centralen Lagerfuge derselben Schicht geschnitten wird.

Die schneidende Ebene schneidet das obere horizontale Lager der zweiten Steinschicht in einer horizontalen Linie, deren Grundriss $A' e'$ ist, die centrale Lagerfuge aber in der Linie ei_2, deren Grundriss $e' i_2'$ ist. Man erhält daher die Durchschnittsfigur dieser Steinschicht, wenn man $A_2''' A_3'''$ Fig. 281 gleich lang mit FG Fig. 279 macht, $A_3''' e'''$ parallel $A''' B'''$ zieht, den Punkt e' Fig. 278 nach e''' Fig. 281 projicirt, die gerade Linie $e''' m'''$ zieht und auf diese den Punkt i_2' Fig. 278 nach i_2''' Fig. 281 projicirt: die so erhaltene Fig. $A_2''' A_3''' e''' i_2''' i''' b'''$ ist dann der Durchschnitt der zweiten Steinschicht. Auf demselben Wege findet man die Durchschnittsfiguren der übrigen Steinschichten. Die innere Leibung des Tonnengewölbes wird von der schneidenden Ebene in dem elliptischen Bogen $n''' i''' i_2''' g''' \sigma'''$ durchschnitten, die Leibung des verstärkten Gurtbogens $a_2' a_3' a_4' a_5'$ aber in der elliptischen Linie $a''' \alpha'''$ und die innere Kugelfläche in einem Kreisbogenstück des grössten Kreises derselben. Die Fugen des Hauptes vom verstärkten Gurtbogen, dessen Grundriss die Linie $z' a_6'$ Fig. 278 ist, haben den Punkt m_2' zum Mittelpunkt. Wenn man daher diesen Punkt m_2' auf die gerade Linie $A''' B'''$ nach m_2''' projicirt, so müssen sämmtliche Centralfugen wie $\beta_2''' \beta_3'''$ Fig. 281 des Gurtbogens durch den Punkt m_2''' gehen.

Aus demselben Grunde gehen die Centralfugen $v''' t'''$ des Gurtbogens über $p' p_2'$ durch den Punkt m_3''', welcher die Seitenprojektion des Mittelpunktes m_3 vorstellt, dessen Grundriss mit m_3' bezeichnet ist, und die Richtung der Centralfugen des Kugelgewölbes geht durch den Punkt m''', die Seitenprojektion des Mittelpunktes m. Der Durchschnitt des Tonnengewölbes auf der anderen Seite des Kugelgewölbes ist dem ersteren Durchschnitt völlig gleich, nur die Lage ist entgegengesetzt.

Der in Fig. 282 dargestellte Stein ist der Schlussstein des verstärkten Gurtbogens über den Raume $x' y' y_2' x_2'$, und Fig. 283 der Stein zur Seite des Schlusssteins. Beide Steine vermitteln die Verbindung des Tonnengewölbes mit dem Kugelgewölbe, weshalb diese Steine zum Theil in das Tonnengewölbe, zum Theil in das Kugelgewölbe eingreifen. Die untere Ansicht des Schlusssteins ist die Fig. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 2, Fig. 278, und die obere Ansicht die Fig. 14, 15, 16, 9, 8, 17, 18, 19.

Die Fig. 21, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 27, 26, 25, 24, 23, 22 ist untere Ansicht und die Fig. 31, 18, 17, 8, 27, 28, 29, 30 die obere Ansicht des Steins zur Seite des Schlusssteins. Durch die Stossfuge, deren Grundriss die Linie 31, 32 ist, wird dieser Stein in zwei Theile zerlegt. Beide Steine konstruirt man aus den rechtwinkligen Koordinaten aller Eckpunkte, die gerade Linie 1, m' als Abscissenachse gedacht.