

$c_3' d_3' b' z' a_2' v' c'$  ist die untere Ansicht des sechsten Steins und endlich  $m_3' n_3' a' c_2' d_2' z' b'$  die untere Ansicht des Anfängers.

Die sieben Steine, von welchen hier die Rede war, haben wir in Fig. 488 bis Fig. 494 dargestellt, und es bezeichnet Fig. 488 den Anfänger, Fig. 489 den zweiten Stein von unten, Fig. 490 den dritten, Fig. 491 den vierten, Fig. 492 den fünften, Fig. 493 den sechsten und endlich Fig. 494 den Schlussstein.

In Fig. 495 haben wir noch die innere Wölbungsfläche des kleineren Tonnengewölbes mit den zugehörigen Leibungsfugen und den daran liegenden Lagerfugen ausgetragen.

## §. 134.

Wenn ein Tonnengewölbe von einem andern kleinern Tonnengewölbe nicht in senkrechter, sondern in schiefer Richtung durchdrungen wird, so zeigen die auf Tafel XLI dargestellten Figuren das Princip des Fugenschnitts.

Es ist nämlich Fig. 497 der Grundriss,  $CD$  die Achse des grössern Tonnengewölbes, welches wir hier nur zur Hälfte gezeichnet haben, und  $MH$  ist die Achse des kleinern Tonnengewölbes.

Fig. 499 ist ein vertikaler Längendurchschnitt nach der Richtung der Linie  $CD$ , denselben auf eine Achse  $EF$  projicirt, welche mit  $CD$  parallel ist. Fig. 498 ist derselbe Durchschnitt, aber auf eine Achse  $BG$  projicirt, die auf der Achse  $MH$  des kleinern Gewölbes senkrecht steht.

Fig. 496 stellt einen andern vertikalen Durchschnitt vor, welcher nach der Linie  $MH$  genommen ist, denselben auf eine Ebene  $AB$  projicirt, welche gegen die Achse  $CD$  des grössern Tonnengewölbes eine normale Richtung hat.

Die in Fig. 497 umgeklappte Fig.  $KLNO PQ$  stellt das normale Haupt des kleinern Tonnengewölbes zur Hälfte vor und dient hier zur Feststellung der Leibungsfugen dieses Gewölbes.

In Fig. 500 haben wir noch den Schlussstein des kleinern Tonnengewölbes konstruirt, welcher den gegenseitigen Verband der beiden Gewölbe von der Stelle der Durchdringung vermittelt.

Es ist nicht zu verkennen, dass bei dieser Gewölbekonstruktion diejenigen Steine, welche den Verband an der Stelle vermitteln, wo das eine Gewölbe das andere durchdringt, keine rechtwinklige Ecken erhalten können, und dass diese um so spitzer ausfallen müssen, je schräger die Richtung ist, in welcher die Gewölbe sich durchdringen. Und da es eine bekannte Sache ist, dass die spitze Kante beim Steinverbande nur geringen Widerstand zu leisten im Stande ist, so ist es zweckmässig, entweder die scharfe Kante abzufasen oder den Fugenschnitt der Steine nicht nach Fig. 497, sondern nach Fig. 501 anzuordnen. Die schiefe Richtung, welche das kleinere Tonnengewölbe gegen das grössere hat, wird hier durch die angeordnete Gratlinie  $AB$  in der Weise gebrochen, dass die Durchdringung der Gewölbe in normaler Richtung geschieht.

## §. 135.

Die Fig. 502, 503 und 504 Tafel XLII stellen den Fall vor, wo ein Kugelgewölbe von einem Tonnengewölbe auf der einen Seite durchdringen wird. Fig. 503 ist der Grundriss dieser Gewölbekonstruktion, Fig. 502 ein vertikaler Längendurchschnitt nach der Linie  $M'A'$  des Grundrisses und Fig. 504 ein zweiter vertikaler Durchschnitt nach der Richtung  $B'C'$  Fig. 503. Das Tonnengewölbe ist kleiner als das Kugelgewölbe; die Achse desselben ist horizontal und geht durch die Achse des Kugelgewölbes, ohne jedoch durch den Mittelpunkt desselben zu gehen. In Fig. 504 ist  $M''$  der Mittelpunkt des Kugelgewölbes und  $D''$  der Mittelpunkt des Tonnengewölbes, es wird sonach die Achse des Kugelgewölbes von der Achse des Tonnengewölbes in der Höhe  $M''D''$  über dem Mittelpunkte  $M$  des Kugelgewölbes geschnitten.

Das Princip der Anordnung des Fugenschnitts ist hier dasselbe wie in den vorangegangenen Beispielen dieses Kapitels, indem auch hier die untern centralen Lagerfugen des Kugelgewölbes mit den Lagerfugen des eindringenden Tonnengewölbes im stetigen Zusammenhange stehen müssen, wie aus Fig. 504 deutlich zu ersehen ist. Wenn daher beide Grundbogen dieser Gewölbe durch die lichte Weite derselben gegeben sind, so müssen mehrere Einteilungen der beiden Grundbogen versucht werden, um eine passende zu finden, welche den Bedingungen entspricht, dass

1. alle Steine im Tonnengewölbe und im Kugelgewölbe gleich gross sind;
2. dass die in concentrischen Kreisen ringsherum laufenden inneren Leibungsfugen des Kugelgewölbes in der Gegend, wo die Durchdringung stattfindet, in Centralfugen des Tonnengewölbes übergehen;
3. dass die Länge dieser Centralfugen der Stärke des Tonnengewölbes entspricht, und dass endlich
4. der Bogen  $a''b''$  Fig. 502 nicht zu klein ist, weil der Schlussstein, dem dieser Bogen angehört, als Widerlager der obern Steinschichten des Kugelgewölbes dient.

Sind die beiden Grundbogen in der Weise eingetheilt worden, dass diesen vier Bedingungen genügt wird, so konstruirt man die Ringleb, Steinschnitt.

beiden vertikalen Durchschnitte des Kugelgewölbes, wie solche Fig. 502 und Fig. 504 zeigen, und setze das Haupt  $c'''d'''e'''f'''g'''$  des Tonnengewölbes fest.

Wir haben hier dem Tonnengewölbe in den erstern Steinen, welche in das Kugelgewölbe eingreifen, eine grössere Stärke gegeben als in den übrigen Theilen dieses Gewölbes, wie solches aus Fig. 502 und Fig. 504 ersehen werden kann, woselbst der Bogen  $f'''g'''$  Fig. 504 den Rücken des stärkern Theils und  $h'''i'''$  den Rücken des schwächern Theils des Tonnengewölbes vorstellt.

Nachdem das Haupt des Tonnengewölbes festgesetzt worden ist, ermittle man die Kurve, in welcher die innere Fläche des Kugelgewölbes von der cylindrischen Fläche des Tonnengewölbes geschnitten wird. Zu dem Ende konstruirt man Mantellinien der Cylinderfläche und bestimme die Punkte, in welchen die Kugeloberfläche von den Mantellinien durchdrungen wird. Zu diesem Behufe denke man sich irgend eine horizontale Ebene, von welcher beide Gewölbflächen geschnitten werden, und bestimme denjenigen kleinern Kreis der Kugel, in welchem die innere Kugeloberfläche von dieser Ebene geschnitten wird. Hierauf ermittle man die beiden Mantellinien, in welchen die innere cylindrische Wölbungsfläche des Tonnengewölbes von der angenommenen horizontalen Ebene geschnitten wird: diese beiden Parallelen werden dann jenen kleineren Kreis der Kugel in zwei Punkten schneiden, welches zwei Punkte der verlangten Durchschnittslinie sind.

Um z. B. den Punkt  $k$  dieser Durchschnittslinie zu erhalten, ziehe man durch den Theilpunkt  $k'''$  Fig. 504 die gerade Linie  $F'''G'''$  parallel mit  $M'''K'''$  und betrachte diese Linie als den Schnitt einer horizontalen Ebene, welche beide Gewölbtheile durchschneidet, die Kugeloberfläche nämlich in einem kleinern Kreise, dessen Radius die Linie  $F'''G'''$  ist, und die cylindrische Fläche des Tonnengewölbes in der durch  $k$  gehenden Mantellinie des Cylinders. Man darf daher nur in Fig. 503 aus dem Mittelpunkte  $M'$  mit der Länge  $F'''G'''$  als Radius den Kreisbogen  $H'I'$  beschreiben und auf diesen den Punkt  $k'''$  nach  $k'$  in einer Richtung projiciren, welche auf  $M'''K'''$  senkrecht ist, so ist  $k'$  der Grundriss des Punktes  $k$  der in Rede stehenden Durchschnittslinie.

Der Aufriss  $k''$  des Punktes  $k$  ergibt sich nun sogleich aus dem Grundriss und aus der Seitenprojektion dieses Punktes, indem man die Höhe  $A^0N''$  Fig. 502 gleich der Höhe  $l''k'''$  Fig. 504 macht, sodann die gerade Linie  $N''k''$  parallel mit  $A^0M^0$  zieht und den Punkt  $k'$  in einer Richtung, welche auf  $A^0M^0$  senkrecht ist, nach  $k''$  projicirt. In derselben Weise werden alle übrigen Punkte der in Rede stehenden Durchschnittslinie erhalten.

Man schreite nun zur Konstruktion des gekrümmten Hauptes in der Kuppelleibung, indem man zunächst dessen Form in dem Durchschnitt Fig. 504 feststellt, den Grundriss und Aufriss desselben kann man alsdann aus der bekannten Seitenprojektion leicht finden. Um etwa mit Hilfe des Punktes  $h'''$  die Punkte  $h'$  und  $h''$  in Fig. 503 und Fig. 502 zu ermitteln, beschreibe man mit dem Radius  $O'''P'''$  Fig. 504 aus dem Punkte  $M'$  Fig. 503 einen Kreisbogen und projicire den Punkt  $h'''$  nach  $h'$  auf diesen Kreisbogen, so ist  $h'$  der Grundriss des Punktes  $h$ . Ferner mache man die Höhe  $M^0m''$  Fig. 502 gleich der Höhe des Punktes  $h'''$  über der Linie  $M'''K'''$  Fig. 504, ziehe sodann die gerade Linie  $m''h''$  parallel mit  $M^0A^0$  und projicire den Punkt  $h'$  auf diese Linie nach  $h''$ : dieser Punkt ist der verlangte Aufriss des Punktes  $h$ . In derselben Weise werden alle übrigen Punkte des gekrümmten Hauptes ermittelt.

Von den Steinen, welche den gegenseitigen Verband der beiden Gewölbtheile vermitteln, haben wir in Fig. 505 den Anfänger dargestellt, in Fig. 506 den gemeinschaftlichen Schlussstein und in Fig. 507 den Stein, welcher zur Seite des Schlusssteins sich befindet.

## §. 136.

## Absteigende Durchdringung zweier Tonnengewölbe.

Grundregeln: 1. Man mache die Anlage der Projektion stets so, dass die Achse des steigenden Tonnengewölbes parallel mit der Vertikalebene wird, oder wenn dies nicht möglich ist, projicire man das Gewölbe auf eine zur Achse parallele vertikale Ebene.

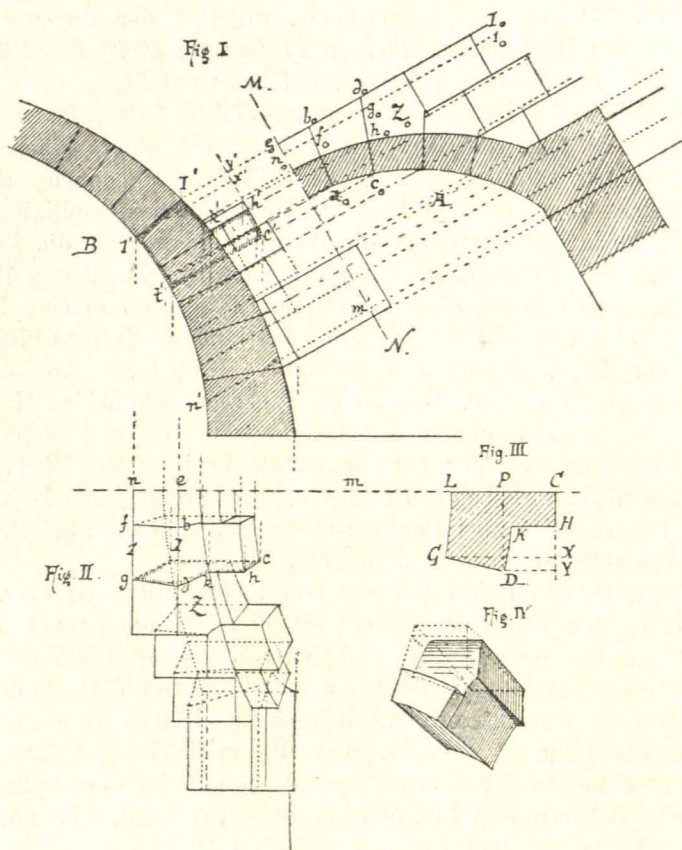
In nebenstehender Fig. I ist die Achse ( $mn, m'n'$ ) parallel zur Vertikalebene angenommen.

2. Projicire man das grössere Tonnengewölbe auf die Normalschnittsebene  $MN$  des steigenden Gewölbes und klappe diese Ebene um. (A Fig. I.)

3. Mache man den Fugenschnitt in der Umklappung der Normalschnittsebene, denn die Lagerfugen des steigenden Gewölbes gehen durch dessen Achse, stehen also auf der Normalschnittsebene senkrecht und zeigen sich deshalb in ihren Spuren  $a_0b_0, c_0d_0 \dots$

Um die Durchdringungskurven zu erhalten, in welchen sich die Rücken und die beiden Leibungen beider Gewölbe schneiden, verfähre man folgendermassen: Die Rückenante  $h_0$ , deren Aufriss  $h'k'$  ist, schneidet den Rücken des Gewölbes  $B$  in  $k'$ , der Grundriss  $hk$  aber ergibt sich, wenn man  $hk \parallel$  zu  $mn$  zieht, und zwar in

einem Abstand von  $mn$  der gleich dem Abstand des Punktes  $h_0$  von  $MN$  ist. Auf gleiche Weise ergeben sich die übrigen Rückenkanten des steigenden Gewölbes und deren Schnittpunkte mit dem Gewölbrücken  $B$ , also die Durchdringungslinie.



Die Brettungsebene  $c_0 d_0$  schneidet die Lagerkante  $I_0$  in  $d_0$ , die Lagerkante  $I_0$  in  $g_0$ . Macht man daher  $ed = e_0 d_0$  und  $ng = n_0 g_0$  und verbindet die Punkte  $k$  mit  $d$  und  $l$  mit  $g$ , so ergibt sich daraus die durch Schraffur hervorgehobene Brettung  $clgdkh$ . Die Stossfugen des absteigenden Gewölbes stehen senkrecht auf der Achse  $m'n'$  (wie z. B.  $h'c'$ ) und können von hier leicht im Grundriss gebracht werden.

Austragen der Brettungen. Die Linien  $c'l, h'k'$ ... sind parallel zur Vertikalebene, zeigen sich folglich in ihrer wahren Grösse; es ist daher  $CL$  Fig. III =  $c'l, HK = h'k', XG = x'l, YD = y'l$  zu machen. Die Höhen  $CH, PD$  sind aus dem Normalschnitt  $A$  zu entnehmen, es ist  $CH = c_0 h_0, PD = c_0 d_0, LG = c_0 g_0$ . Durch entsprechende Verbindung der so gefundenen Punkte ergibt sich in Fig. III die wahre Form der im Grundriss und Aufriss schraffirten Brettung.

Fig. IV stellt den mit  $Z$  bezeichneten Schnittstein in isometrischer Projektion dar. Als Stirnschablone ist  $Z_0$ , die Projektion des Steines auf der Normalschnittebene, benutzt; die Länge der perspektivischen Projektionslote wird aus dem Aufriss abgenommen.

§. 137.

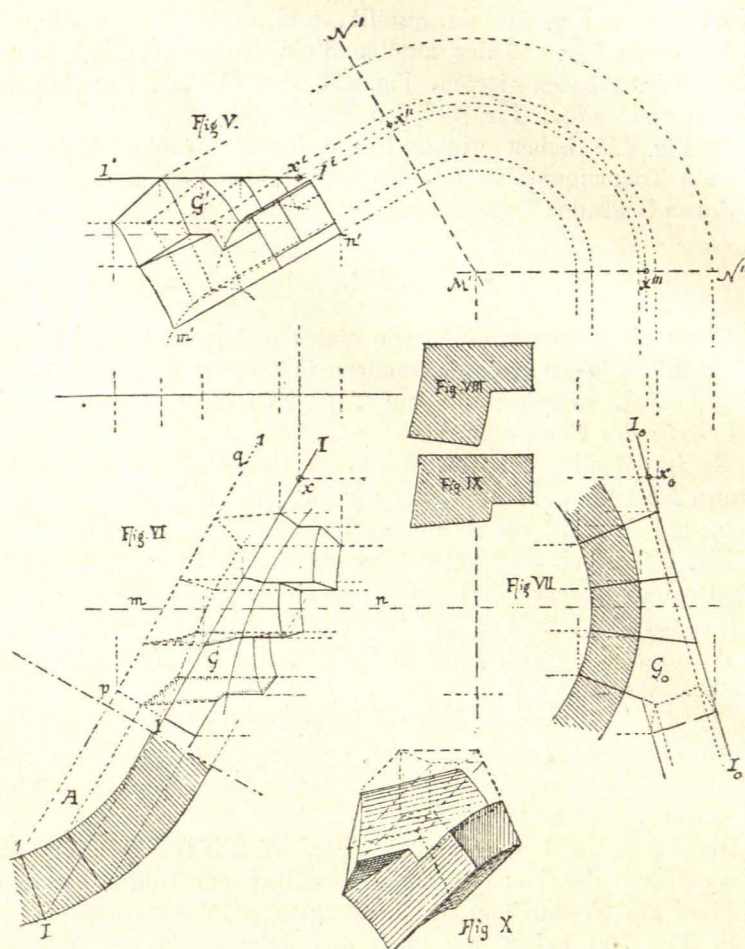
Schräg absteigende Durchdringung zweier Tonnengewölbe.

A Fig. VI ist der Normalschnitt eines horizontalen Tonnengewölbes, welches im Grundriss die Richtung  $pq$  hat; ein zweites Tonnengewölbe, das eine zur Vertikalebene parallele Lage hat, hat die Achsenrichtung ( $mn, m'n'$ ). Die normale Schnittebene  $M'N'$  ist in die zur Horizontalebene parallele Richtung  $M'N''$  umgeklappt; dadurch erhält man im Grundriss (Fig. VII) die Lage vom normalen Schnitt des absteigenden Gewölbes.

Die Ausführung der Aufgabe ist der im vorigen Paragraphen beschriebenen ganz analog. Die Projektion der Lagerkanten des horizontalen Tonnengewölbes in der Normalschnittsebene Fig. VII erhält man dadurch, dass man z. B. auf einer jener Kanten ( $I, I'$ ) einen beliebigen Punkt ( $x, x'$ ) annimmt, das Projektionslot  $x'x''$ , sodann den Bogen  $x''x'''$  und dann die Lote  $x_m x_0$  und  $x x_0$  zieht; der Schnittpunkt  $x_0$  dieser beiden letzteren ergibt den Punkt  $x_0$ . Konstruiert man so einen zweiten beliebigen Punkt der Kante  $I$ , so ergibt deren Verbindung die Lage  $I_0 I_0$  dieser Kante in der Normalschnittsebene.

Fig. VIII und IX sind die wahren Grössen der im Grundriss schraffirten Brettungen, für welche wieder der Aufriss die Längendordinaten, der Normalschnitt (Fig. VII) die Höhenkoordinaten liefert.

Fig. X ist die isometrische Projektion des mit ( $G, G', G_0$ ) bezeichneten Steines.



§. 138.

Fig. 509 Taf. XLII ist der Grundriss eines Tonnengewölbes, welches von einem steigenden kleineren Tonnengewölbe in normaler Richtung durchdrungen wird.

Fig. 508 ist ein vertikaler Durchschnitt nach der Linie  $A'B'$  des Grundrisses und Fig. 510 ein Längendurchschnitt nach der Linie  $C'D'$ .

Da alle Konstruktionen aus den Figuren klar hervorgehen, halten wir eine weitere Beschreibung dieser Gewölbekonstruktion für überflüssig.

§. 139.

In Fig. 511, Fig. 512 und Fig. 513 Taf. XLIII haben wir den Fall gewählt, wo ein ansteigendes Tonnengewölbe von einem kleinern horizontalen Tonnengewölbe in normaler Richtung durchdrungen wird. Fig. 512 ist der Grundriss dieser Gewölbekonstruktion, Fig. 511 ein normaler Querdurchschnitt vom ansteigenden Tonnengewölbe und Fig. 513 ein Längendurchschnitt nach der Linie  $A'B'$  des Grundrisses.

Wenn ein Tonnengewölbe von einem kleinern ansteigenden Tonnengewölbe in der Art durchdrungen wird, wie Fig. 508, Fig. 509 und Fig. 510 zeigen, so können die Gewölbsteine in der Gegend des Durchdringens keine rechtwinkligen Ecken erhalten, denn es werden diese Ecken um so spitzer ausfallen müssen, je grösser die Steigung des steigenden Tonnengewölbes ist. Aus diesem Grunde haben wir in Fig. 514, Fig. 515 und Fig. 516 die Anordnung des Fugenschnitts in der Weise durchgeführt, dass der gegenseitige Verband beider Tonnengewölbe nicht durch schräge Steinschichten, sondern durch horizontale bewerkstelligt wird, indem eine horizontale Vorlage die beiden Tonnengewölbe verbindet. Dadurch wird die Festigkeit der Steine, also auch die der Gewölbe, entschieden vermehrt.

Wenn ein Kugelgewölbe von einem ansteigenden Tonnengewölbe durchdrungen wird, kann die Anordnung des Steinverbandes nach Fig. 517, Fig. 518 und Fig. 519 getroffen werden. Zur Beseitigung der spitzen Ecken haben wir uns hier desselben Mittels bedient, welches bei der in Fig. 515 dargestellten Gewölbekonstruktion in Anwendung gebracht worden ist. Das Kugelgewölbe wird nämlich nicht unmittelbar von dem ansteigenden Tonnengewölbe durchdrungen, sondern ein horizontales Tonnengewölbe verbindet ersteres mit letzterem. In Fig. 520 haben wir noch die Form des gemeinschaftlichen Schlusssteins desjenigen Gewölbtheils dargestellt, welcher den gegenseitigen Verband der Gewölbe in der Gegend des Durchdringens vermittelt.