

Nach Perronet ist, wenn man mit  $w$  die Spannweite und mit  $h$  die Dicke des Gewölbes im Scheitel bezeichnet, bei Gewölben, welche über 20 m Spannweite haben,

$$h = \frac{w}{24}$$

bei Spannweiten unter 20 m

$$h = \frac{5}{144} \cdot w + 0,3 \text{ m}$$

Die Widerlagerstärke beträgt bei gedrückten Bögen  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$  der Spannweite, bei halbkreisförmigen  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$ , bei überhöhten  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$  der Spannweite. Doch gelten diese Regeln nur für Brückengewölbe.

Die Stärke der Widerlager und die Gewölbstärke ist bekanntlich abhängig von der Belastung, von der Höhe der Widerlager u. s. w. und ist in besonderen Fällen durch Rechnung zu bestimmen; dies ist jedoch Sache der Statik, wir begnügen uns hier mit dieser Andeutung.

Nehmen wir die Scheitelstärke des Gewölbes (Fig. 124) als bekannt an, so kann man  $oz = \frac{ao}{2}$  machen und den Rücken als Kreisbogen gestalten, der seinen Mittelpunkt in  $z$  hat.

Eine andere Regel für die Gestaltung des Rückens ist folgende: Man verlängere die Lagerfugen bis zum Mittelpunkt  $O$ , ziehe eine horizontale Linie  $gn$  so, dass  $gh = \frac{ay}{2}$  wird und mache  $cd = hi$ ,  $ef = ik$ ,  $pq = kl$  u. s. f., so sind  $d, f, q, s \dots$  Punkte der Rückenlinie.

Aehnlich kann man verfahren, wenn der Normalschnitt ein Spitzbogen ist. (Fig. 129.) Man ziehe  $bi \perp ao$  und zwar so, dass zugleich  $bc = \frac{av}{2}$ ; dann ist  $cd$  die mittlere Dicke des neben dem Schlussstein liegenden Bogensteines u. s. f., woraus sich die Rückenlinie  $vw$  ergibt. Oder man mache  $oz = \frac{oa}{2}$  und beschreibe aus dem Mittelpunkte  $z$  mit  $zv$  den Bogen  $vw$ .

Ebenso kann man auch bei elliptischen Grundbögen (Fig. 126) die Rückenlinie zeichnen, wenn man den Krümmungsmittelpunkt  $o$  für den Scheitelpunkt  $e$  ermittelt,  $oz = \frac{oe}{2}$  macht und mit dem Radius  $vz$  den Bogen  $vw$  beschreibt.

5. Verbindung des Gewölbes mit dem Widerlager.

Wird ein Gewölbe (Fig. 123a Taf. VII) ganz unabhängig von der auf dem Widerlager  $abcd$  stehenden Mauer  $cegf$  ausgeführt, so muss dasselbe jedenfalls bei  $ehi$  auf  $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$  der Höhe hintermauert werden, um die Deformation der Gewölblinie zu verhüten.

Gewöhnlich aber tritt bei Werksteinkonstruktionen das Gewölbe mit der Mauer in der Weise in Verbindung, wie dies Fig. 123, 125 und 128 zeigen, wobei allerdings durch die verlängerten Bogenlagerfugen (wie bei  $ab$  Fig. 125) die horizontalen Lagerfugen verkürzt und für eine bei  $w$  (Fig. 128) aufzurichtende Mauer die Basis bedenklich verschmälert wird. Es ist daher besser, in diesem Falle die Bogenlagerfugen an dieser Stelle nur ganz kurz zu machen (wie in Fig. 124 und 129), um breitere horizontale Lager zu erhalten, so dass die Bogenlagerfuge gleichsam nur eine Abstumpfung der scharfen Kante ist, die an der Leibung entstehen würde, wenn man die horizontalen Lager bis zur Bogenleibung durchführen würde, was übrigens auch unbedenklich an den untersten Lagern geschehen kann, so lange eben der an der Leibungskante liegende Flächenwinkel des Gewölbsteines nicht zu spitz wird.

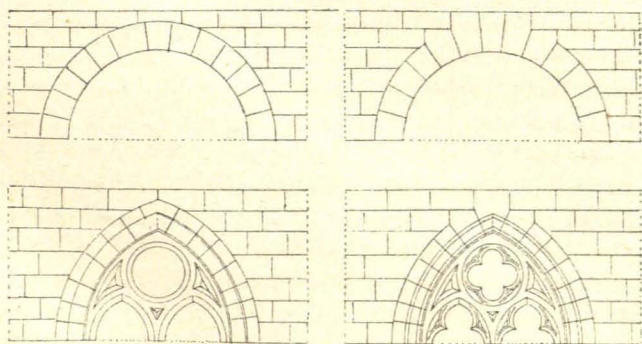
6. Verbindung des Gewölbes mit einer Stirnmauer.

Schliesst das Gewölbe mit einer Stirnmauer ab und öffnet sich gegen diese mit dem Grundbogen (Fig. 125A), so sind die Gewölbsteine mit den Mauerschichten der ganzen Höhe nach so in Verbindung zu bringen, wie dies oben in Nr. 5 betreffs der Widerlagsmauern beschrieben wurde.

7. Verbindung eines Mauerbogens mit den Mauerschichten.

Fig. 7. a.

Fig. 7. b.



a. Der Rücken der Gewölbsteine kann concentrisch mit der Leibung bearbeitet werden, so dass der Bogen in einer mit der

Leibung concentrischen Fuge an das Quadermauerwerk sich anschliesst. Diese Art des Fugenschnittes, die in der Antike und im Mittelalter fast ausschliesslich angewendet wurde, hat jedoch den Nachtheil, dass namentlich gegen den Scheitel des Bogens zu die anschliessenden Quader sehr spitze Flächenwinkel erhalten (s. Fig. 7 a).

b. Es ist daher zweckmässig, wenigstens die Bogensteine am Scheitel mit den Quaderschichten in Verband zu bringen (s. Fig. 7 b).

c. In der modernen Baukunst werden gewöhnlich sämtliche Bogensteine mit den Quaderschichten in Verband gebracht und zwar in einer der in Fig. 131, 132, 133, 135 Taf. VIII angegebenen Weise.

Würde man in Fig. 127 Taf. VII die Fuge  $ac$  bis zum oberen Lager durchführen, so würde der Bogenstein bei  $b$  eine ziemlich scharfe Kante erhalten. Dieser Uebelstand ist durch den senkrechten Schnitt  $ab$  vermieden, allein der anstossende Gewölbstein erhält dadurch eine weniger zweckmässige Form.

8. Hakensteine. Würde man die Stossfuge  $tp$  (Fig. 135) nach  $uv$  verlegen, so würde der Bogenstein  $pqrst$  die Form  $vqrstu$  erhalten, d. h. zu einem sogenannten Hakenstein werden. Dieselben sind jedoch, wenn irgend möglich, zu vermeiden; jedenfalls darf der Haken  $tuvq$  nicht zu lang gemacht werden (im Max.  $tu = \frac{1}{2}uv$ ), da auf den dem Bogen angehörigen Theil des Steines andere Kräfte einwirken, als auf den Haken, d. h. auf den in die Mauerschicht einbindenden Theil und daher der Stein der Gefahr des Zerbrechens ausgesetzt ist.

§. 58.

Auf Taf. IX sind sechs verschiedene Formen des cylindrischen Bogens, welcher in einer Mauer angebracht ist und diese entweder in normaler oder in schiefer Richtung durchdringt, verzeichnet. Fig. 142 zeigt die Ansicht des Bogens; sie gilt für die sechs verschiedenen Grundrisse. Die in den Grundrissen ausgezogenen geraden Linien stellen die Projektionen der Leibungskanten vor, die punktierten Linien aber die Projektionen der Rückenlinien. Jeder Grundriss stellt sonach eine Ansicht des Gewölbebogens von unten dar. Fig. 144, der Grundriss eines Bogens, welcher in normaler Richtung durch die Mauer hindurchgeht und gerader Bogen genannt wird, bedarf keiner weiteren Beschreibung, indem alle Konstruktionen aus der Figur deutlich hervorgehen. Fig. 145, der Durchschnitt dieses Bogens nach der Linie  $f'y'$  des Grundrisses genommen, wird auch keiner weiteren Erörterung bedürfen. Was aber die in Fig. 143 dargestellte Abwicklung dieses Bogens anbetrifft, so verfährt man, um diese zu erhalten, in folgender Art:

Man mache die gerade Linie ( $a$ ) ( $L$ ) gleich der Länge des Halbkreises  $a''f''L''$  und konstruirt über dieser Linie ein Rechteck, dessen Höhe ( $a$ ) ( $r$ ) =  $a'r'$ , gleich der Länge des geraden Bogens ist, so stellt dies Rechteck die abgewinkelte Leibungsfläche des Bogens vor.

Die Lagerfugen auszutragen, theile man die gerade Linie ( $a$ ) ( $L$ ) nach der Anzahl der Gewölbsteine, hier in neun gleiche Theile, errichte in den Theilpunkten Normalen, welche bis zur gegenüberliegenden Seite des Rechtecks verlängert werden, so stellen diese die inneren Fugen des Gewölbebogens vor. Ist nun etwa ( $L$ ) ( $V$ ) gleich  $\frac{1}{9}$  von ( $L$ ) ( $a$ ), so mache man ( $V$ ) ( $W$ ) gleich  $V''W''$  Fig. 142 und konstruirt mit den Linien ( $W$ ) ( $V$ ) und ( $V$ ) ( $M$ ) das Rechteck ( $V$ ) ( $W$ ) ( $N$ ) ( $M$ ): dies Rechteck stellt dann die abgetragene Lagerbrettung des Anfängers vor. In eben derselben Art werden die übrigen Brettungen abgetragen.

Fig. 146 zeigt den Anfänger dieses Bogens in isometrischer Projektion gezeichnet. Diese Figur zu erhalten, ziehe man die Horizontale  $BH$  und in der schiefen Projektion normal auf ihr die Linie  $AB$ . Alsdann mache man  $BL$  gleich  $f^0L''$  Fig. 142,  $LH$  gleich  $L''H''$ , beschreibe aus dem Punkte  $B$  den Kreisbogen  $L'V$  und konstruirt über  $LH$  das Haupt  $LH'I'W'V'$  nach der Fig.  $L''H''I''V''W''$  Fig. 142. Hierauf ziehe man aus den Punkten  $I, W, V$  und  $L$  gerade Linien parallel der Linie  $BA$  und mache jede derselben gleich der Länge  $f'y'$  Fig. 144. Eben so lang mache man die Linie  $AB$ , beschreibe aus dem Punkte  $A$  den Kreisbogen  $MR$  und verbinde die Punkte  $M, N$  und  $E$  durch gerade Linien. Fig. 147 stellt den Stein zur Seite des Schlusssteines vor. Die Konstruktion dieser Figur beginnt damit, das Haupt  $\mu\pi\varphi o\gamma$  so zu zeichnen, wie die Fig. 142 dasselbe zeigt. Zu dem Ende mache man Winkel  $LB\pi$  Fig. 147 gleich dem Winkel  $L''f''\pi''$  Fig. 142, Winkel  $\pi B o$  gleich Winkel  $\pi''f''o''$  und konstruirt aus  $B$  mit  $f^0f''$ , dem Radius des Gewölbebogens, den Kreisbogen  $\mu\gamma$ . Sodann werde  $go$  gleich  $g''o''$ ,  $\mu\pi$  gleich  $\mu''\pi''$  gemacht, aus dem Punkte  $o$  die Linie  $o\varphi$  parallel  $BL$  und aus dem Punkte  $\pi$  die Linie  $\pi\varphi$  normal auf  $o\varphi$  gezogen.

Nachdem in dieser Weise das Haupt konstruirt worden ist, ziehe man die Linie  $BA$  normal auf  $BL$  in der schiefen Projektion und zwar nach unten, um die untere Ansicht des Steins zu erhalten. Ziehe ferner parallel mit  $AB$  die Linien  $\mu o, g z$  und  $o a$ , mache jede derselben, so wie auch  $AB$  gleich lang mit  $f'y'$

Fig. 144, beschreibe aus dem Punkte  $A$  den Kreisbogen  $oz$  und verbinde die Punkte  $a$  und  $z$  durch eine gerade Linie. Die hervor gehende Fig.  $azou\pi\varphi og$  stellt den Stein von unten angesehen vor. Die Fig. 148 zeigt den Schlussstein von unten angesehen. Man erhält diese Figur, wenn man konstruiert wie beim vorigen Stein. Es werden nämlich aus den beiden Mittelpunkten  $A$  und  $B$  die beiden Häupter des Steins nach Fig. 142 konstruiert. Dann werden die zusammengehörigen Punkte durch gerade Linien verbunden, wodurch die Linien  $gz$ ,  $ex$  und  $mw$  eine mit der Linie  $BA$  parallele Richtung erhalten.

#### Bearbeitung der Steine.

Um den Anfänger darzustellen, wird zunächst dessen unteres Lager bearbeitet. Ist dies geschehen, so werden rechtwinklig gegen dieses Lager die beiden Häupter tracirt, die Hauptschablone aufgelegt und mit Blutstein oder Röthel die Richtung der oberen Lagerfuge, so wie die Krümmung des Wölbungsbogens vorgezeichnet. Hiernach ist es nun leicht, den Stein vollends zu bearbeiten. Eben so werden die übrigen Steine dieses Bogens hergestellt.

#### §. 59.

Fig. 150 zeigt den Grundriss eines Bogens, welcher in normaler Richtung eine Mauer durchdringt, die auf der einen Seite dossirt ist, wie aus dem Normalschnitt Fig. 151 zu ersehen ist. Die Linie  $r''''\gamma''''$  gibt die wahre Neigung der Böschungslinie und  $\gamma''''\sigma''''$  die Ausladung derselben an.

Anordnung der Lagerfugen des Bogens. Die Bogenlagerfugen sind Ebenen, welche durch die Achse  $A'f'$  im Grundriss ( $f''$  im Aufriss) gehen und sich daher hier als die Geraden  $f''m''$ ,  $f''k''$ ,  $f''l''$  . . . darstellen. Sie schneiden das geböschte Mauerhaupt in den Geraden  $e''m''$ ,  $d''l''$ ,  $c''k''$  . . . , die verlängert durch den Punkt  $f''$  gehen; der Grundriss dieses Punktes ist  $A'$  (Fig. 150). Der Punkt  $m''$  liegt auf der obersten Mauerkante ( $\gamma''''$  im Querschnitt Fig. 151), also im Grundriss auf der Linie  $q'q'$  in  $w'$ . Es ist daher  $w'A'$  der Grundriss von  $m''f''$ . Eben so erhält man die Grundrisse von  $f''l''$ ,  $f''k''$ ,  $f''i''$  . . . in  $A't'$ ,  $A'q'$ ,  $A'p'$  . . .

Konstruktion der Durchdringungslinie  $r'v'y'$  (Fig. 150). Der Grundbogen schneidet die Geraden  $f''m''$ ,  $f''l''$ ,  $f''k''$  . . . (Fig. 142) in den Punkten  $e''d''c''$  . . . Bringt man diese Punkte auf die entsprechenden Kanten im Grundriss, so erhält man hier die Punkte  $x'v'u'$  . . . , deren stetige Verbindung die Kurve  $y'v'r'$  ergibt.

Konstruktion der Lagerbrettungen im Grundriss. Diese Brettungen sind nichts anderes als die Schnitte der Ebenen  $e''m''$ ,  $d''l''$ ,  $c''k''$  . . . mit dem Mauerkörper. Die Ebene  $e''m''$  schneidet die cylindrische Bogenleibung in der Mantellinie  $x'e'$  und das obere Lager in  $w'm'$ , während die Böschungfläche in  $x'w'$  und das senkrechte Mauerhaupt in  $e'm'$  geschnitten wird. Der Grundriss der Brettung  $e''m''$  ist daher das Viereck  $x'w'm'e'$ . Eben so ist der Grundriss der Brettung  $d''l''$  das Viereck  $v't'l'd'$  u. s. f.

Anordnung der Stossfugen. In den meisten Fällen können die Stossfugen erst dann gezeichnet werden, wenn die sämtlichen Brettungen im Grundriss vollkommen bestimmt sind, weil die Anlage der Stossfugen von der Lage und Form der Brettungen abhängt und weil sie zugleich senkrecht auf dem Mauerhaupt stehen müssen. Die Stossfugen sind daher zunächst im Grundriss zu zeichnen und dann in Aufriss zu bringen.

Leibungsabwicklung. Die cylindrische Leibung des Bogens ist durch das lothrechte Mauerhaupt  $H'h'$  (Fig. 150) normal geschnitten, die Verstreckung des  $L'f'a'$  ( $L'f'a''$  im Aufriss) bildet daher in der Abwicklung der Leibungsfläche eine gerade Linie  $(L)$  ( $a$ ) (Fig. 149), welche mit dem Grundbogen  $L'f'a''$  (Fig. 142) gleiche Länge hat. Die Leibungskanten  $a'r'$ ,  $b's'$ ,  $c'u'$ ,  $d'v'$  . . . (Mantellinien des Cylinders) stehen auch nach der Verstreckung senkrecht auf  $(L)$  ( $a$ ). Macht man daher  $(a)$  ( $b$ ) gleich dem Bogen  $a''b''$ ,  $(b)$  ( $c$ ) gleich dem Bogen  $b''c''$  . . . , sodann  $(a)$  ( $r$ ),  $(b)$  ( $s$ ),  $(c)$  ( $u$ ) senkrecht auf  $L$  ( $a$ ), ferner  $(a)$  ( $r$ ) =  $a'r'$ ,  $(b)$  ( $s$ ) =  $b's'$ ,  $(c)$  ( $u$ ) =  $c'u'$  . . . und verbindet die Punkte  $(r)$  ( $s$ ) ( $u$ ) ( $v$ ) . . . durch eine stetige Kurve, so ist die Fläche  $(L)$  ( $a$ ) ( $r$ ) ( $x$ ) . . . die verstreckte Leibung des Bogens.

Austragen der Brettungen. Aus der eben besprochenen Leibungsabwicklung geht hervor, dass z. B.  $(e)$  ( $x$ ) (Fig. 149) der Leibungskante  $e'x'$  der Brettung  $e'x'w'm'$  (Fig. 150) entspricht. Die Lagerkante  $w'm'$  dieser Brettung ist parallel  $e'x'$ , ihr Abstand von  $e'x'$  aber ist gleich  $e''m''$  (Fig. 142). Macht man daher  $(e)$  ( $m$ ) =  $e''m''$ ,  $(m)$  ( $w$ ) =  $m'w'$  und zieht  $(w)$  ( $x$ ), so ist  $(x)$  ( $e$ ) ( $m$ ) ( $w$ ) die wahre Form und Grösse der Brettung  $x'e'w'm'$ . Eben so erhält man auch die Form der Brettung  $v't'l'q'$  in  $(u)$  ( $c$ ) ( $k$ ) ( $q$ ) u. s. f.

Austragen der Steine in isometrischer Projektion. Wenden wir das oben in §. 5 angegebene Verfahren an, so erhalten wir die Form des Schlusssteins (Fig. 154), indem wir den Aufriss des Steins abzeichnen, d. h. die Fig. 2, 3, 4, 5 (Fig. 154)

der Fig.  $g''e''m''o''$  (Fig. 142) gleich machen und unter einem beliebigen Winkel die Parallelen  $2e$ ,  $3g$ ,  $4a$ ,  $5w$  ziehen. Macht man nun:

$$\begin{aligned} 2x \text{ (Fig. 154)} &= 2x' \text{ (Fig. 142)} \\ 3z &> > = 3z' > > \\ 4a &> > = 3a' > > \\ 5w &> > = 5w' > > \end{aligned}$$

und verbinde die Punkte  $x, z, a, w$  entsprechend mit einander, so ist das Viereck  $xzaw$  das abgeschwächte Haupt des Steins.

Macht man ferner in Fig. 154  $4o$ ,  $3g$ ,  $2e = 4o'$  Fig. 142 und zieht  $og$ ,  $oa$ ,  $gz$ ,  $ex$  und den Bogen  $eg$ , so ist die perspektivische Zeichnung des Steins vollendet.

Eben so erhält man auch die in Fig. 152 und 153 dargestellten Steine, nämlich den Anfänger und den unmittelbar folgenden Bogenstein.

#### Bearbeitung der Steine.

Nach der rechtwinkligen Behauungsmethode wird der Anfänger erhalten, indem zunächst das Parallelepiped 3, 4, 5 Fig. 152 dargestellt wird, welches den Dimensionen des darzustellenden Steins entspricht. Sodann wird aus Fig. 142 die Ausladung der Leibung von 4 nach  $r$ , die Höhe der Leibung von 4 bis 1 und die Breite des oberen horizontalen Lagers von 3 nach 2 abgetragen und hiernach der Stein so bearbeitet, als hätte er zwei normale Häupter, wie beim geraden Bogen in der nicht dossirten Mauer. Ist der Stein in dieser Art vollendet, so wird die obere Einziehung  $3Q$ ,  $2p$ ,  $1s$  nach Fig. 150 abgetragen und das schräge Haupt  $r\beta Qps$  bearbeitet. Damit ist der Stein fertig dargestellt.

Nach der Abbreitungsmethode geschieht die Bearbeitung dieses Steins, indem zunächst das untere Lager desselben rein dargestellt und das hintere gerade Haupt normal auf jenem Lager tracirt wird. Nachdem dies geschehen ist, wird die Hauptschablone angelegt, der Umriss des Hauptes aufgezeichnet und hiernach dasselbe bearbeitet. Das vordere schiefe Haupt  $Qpsr\beta$  wird sodann erhalten, indem entweder der spitze Neigungswinkel  $a''r''\gamma''''$  Fig. 151 an der Kante  $r\beta$  mittelst der Schmiege vom Musterrisse abgenommen und auf den Stein getragen wird oder es werden die Längen  $OQ$ ,  $ip$ ,  $bs$  mit dem Stangenzirkel aus dem Musterrisse entnommen, auf den Stein aufgetragen und hiernach das schiefe Haupt bearbeitet. Eben so werden die in Fig. 153 und 194 dargestellten Steine bearbeitet.

#### §. 60.

Der Bogen in einer schiefen Mauer. Fig. 157 zeigt den Grundriss einer Mauer, deren hinteres Haupt schief ist. Fig. 158 ist der Schnitt nach der Linie  $f'y'$  des Grundrisses. Auch für diesen Fall passt der Aufriss (Fig. 142). In Fig. 156 ist die wahre Gestalt des hintern Mauerhauptes durch Umklappung um die Linie  $w'\beta'$  dargestellt. Der Bogen  $2'f''$  ist selbstverständlich eine Ellipse, da der Grundbogen der cylindrischen Leibung ein Kreis ist und diese durch die Ebene  $q'r'^2$  schräg geschnitten wird. Man erhält die Punkte  $V''$ ,  $g''$ ,  $f''$  . . . , wenn man  $y'f'' \perp q'r'$  und gleich  $f''f''$  (Fig. 142) macht; eben so ist  $z'q'' = g''g''$  (Fig. 142) und  $q'V'' = V''V''$  (Fig. 142).

$x'e'$  ist die Leibungskante im Grundriss (Fig. 157),  $m'w'$  die Lagerkante der Schlusssteinbrettung  $c''m''$  im Aufriss (Fig. 142) und daher  $e'x'w'm'$  die ganze Brettung im Grundriss. Die Leibungsabwicklung, das Austragen der Brettungen und einzelner Steine (Fig. 159, 160, 161) geschieht ganz in derselben Weise, wie im vorhergehenden Falle ausführlich beschrieben wurde.

#### §. 61.

Schiefer Bogen in einer Böschungsmauer (Fig. 162 bis 167).

Konstruktion der Durchdringungslinie  $2'y'r'$  (Fig. 163) im Grundriss.  $K'q'$  ist der Grundriss der obersten Lagerkante, welcher im Aufriss (Fig. 142) die Gerade  $K''q''$  entspricht. Bringt man daher die Punkte  $o''m''$  nach  $a'$  und  $w'$  in den Grundriss und verbindet letztern mit dem Punkt  $A'$ , so müssen auf den Linien  $a'A'$  und  $w'A'$  die Grundrisse der Punkte  $g''$  und  $e''$ , d. h.  $z'x'$  liegen, welches zwei Punkte der gesuchten Durchdringungskurve sind.

Ferner ist wieder  $x'e'$  die Leibungskante und  $w'm'$  die Lagerkante der Brettung  $x'e'w'm'$  u. s. f. In Fig. 162 sind die Leibungsabwicklung und die Brettungen, in Fig. 165, 166, 167 einige Steine in isometrischer Projektion dargestellt.

#### §. 62.

Fig. 169 und 177 sind die Grundrisse eines geraden und eines schiefen Bogens in einer cylindrischen Mauer.