



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Balkendecken**

**Barkhausen, Georg**

**Stuttgart, 1895**

γ) Stabilität der Widerlager

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-77494](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-77494)

Mittel einer geeigneten Uebermauerung des Gurtbogens *B*, unter Beachtung des in Art. 143 (S. 197) Gefagten, einen fachgemäßen Verlauf der in Frage kommenden Drucklinien herbeiführen und danach besondere Vortheile für eine gesicherte Standfähigkeit der einzelnen Bautheile erzielen.

Die äußerst mannigfaltig in größter Anzahl ausgeführten gothischen Kreuzgewölbe zeigen hinsichtlich der Abmessungen der Rippenquerschnitte so große Verschiedenheiten, daß das Aufstellen empirischer Regeln für die Bestimmung der Stärke der Gewölberippen zwecklos erscheinen muß. Schon die aus architektonischen Bedingungen hervorgehende Profilierung der Rippen veranlaßt häufig einen weit größeren Rippenquerschnitt, als die Pressungen erfordern, welche in Abhängigkeit von einem günstigen Verlaufe der Drucklinien im Rippenkörper entstehen.

Nimmt man zunächst eine gewissenhaft durchgeführte statische Untersuchung der Gewölberippen vor und bestimmt man hiernach, wie in Art. 139 (S. 193) angegeben wurde, die Stärke der Rippen, so läßt sich schließlich, bei Vermeidung einer Herabminderung des berechneten Rippenquerschnittes, die geplante Profilierung desselben vornehmen.

Oft ergibt eine solche Untersuchung allerdings auch so geringe Querschnittsgrößen, daß die praktische Ausführbarkeit der Rippen größere Abmessungen erforderlich macht. Immerhin sollte diese statische Untersuchung nicht ohne Weiteres von der Hand gewiesen werden.

Rippen aus Quadern erhalten bei Gewölben mit rund 10 m Diagonallänge wohl ungefähr eine Breite von 18, 20 bis 25 cm und, einschließend des Rückenansatzes, eine Höhe von 25, 30 bis 36 cm. Rippen aus Backsteinen oder besonderen, kleineren oder größeren Formsteinen können bei Gewölben mit gleicher Diagonalweite etwa 1 bis 1½ Stein breit und mit dem Rückenansatz 1½ bis 2 Stein hoch genommen werden.

Kleinere Gewölbe zeigen mehrfach ziemlich geringe Rippenquerschnitte mit 9 cm Breite und 15 cm Höhe ohne Rückenansatz. Diese Abmessungen dürften selten noch eine weitere Verminderung erfahren.

#### γ) Stabilität der Widerlager.

Werden die Umfangsmauern, die hauptsächlichsten Widerlagskörper der Anlage eines gothischen Kreuzgewölbes, im Sinne des in Art. 298 (S. 431) Gefagten in einzelnen Stützpunkten, mögen dieselben durch Strebepfeiler an sich schon verstärkt sein oder nicht, durch die Kräfte beansprucht, welche mit Hilfe der im Vorhergegangenen besprochenen statischen Untersuchung der Gewölbekappen und ihres Rippen-systemes ihrer Lage, Größe und Richtung nach bekannt werden, so läßt sich unter Verwendung dieser Kräfte die Prüfung der Stabilität der Widerlager einleiten. Sieht man zunächst von einer besonderen Versteifung derselben durch Strebebogen ab, so erfolgt die Fortführung der Stabilitäts-Untersuchung und die damit im Zusammenhange stehende Bestimmung der Stärke der Widerlager unter Anwendung der graphischen Statik auf demselben grundlegenden Wege, welcher in Art. 236 (S. 378) zu gleichem Zwecke beim cylindrischen Kreuzgewölbe gekennzeichnet ist. Beim Feststellen der Grundriffsfläche des Widerlagskörpers wird die Grundriffs-länge *l* (Fig. 532) unter richtiger Würdigung der geschaffenen Planlage möglichst gering gewählt, um hierdurch eine zu Gunsten des Sicherheitsgrades des Stütz-körpers angebahnte Verringerung seines Gewichtes in Rechnung zu stellen. Die

331.  
Empirische  
Regeln.

332.  
Widerlager  
ohne  
Strebebogen.

Gewichtsbestimmung, so wie die Darstellung der Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper erfolgt in bekannter Weise. Für den Verlauf der Drucklinie ist zu beachten, daß zur Erzielung einer entsprechenden Sicherheit die Querschnittsfläche des Widerlagskörpers diese Linie an jeder Stelle innerhalb des sog. Kernes<sup>185)</sup> des Querschnittes birgt und daß außerdem eine Gefahr in Rücksicht auf Gleiten ausgeschlossen bleibt.

333.  
Empirische  
Regel.

Eine hier und dort angegebene empirische Regel, wonach die Stärke der Widerlager zwischen  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{7}$  der Spannweite der Gewölbe wechselt, erscheint, ohne eine Rücksichtnahme auf die Höhe des Widerlagers und vermöge der durch die Zahlenwerthe angegebenen, weit von einander abtweichenden Grenzen, nicht besonders beachtenswerth. Eine leicht zu bewirkende Stabilitäts-Untersuchung der Widerlager befreit von den Mafnahmen der an sich oft unrichtigeren empirischen Regeln.

334.  
Widerlager  
mit  
Strebebogen.

Auf etwas anderem, nunmehr zu berücksichtigendem Wege ist die Stabilitäts-Prüfung der Widerlager vorzunehmen, wenn die in Art. 299 (S. 432) erwähnten Strebe- oder Schwibbogen in Gemeinschaft mit Strebepfeilern als besondere Stütz-Constructionen des eigentlichen Gewölbewiderlagers auftreten sollen.

Das innere Wesen dieser Stabilitäts-Untersuchung stimmt mit dem des grundlegenden Falles der Prüfung der Standfähigkeit des gemeinschaftlichen Widerlagers für Tonnengewölbe mit verschiedener Spannweite und ungleich großer Belastung, welcher in Art. 147 (S. 213) bereits näher behandelt ist, überein. Der meistens in der Form eines einhäufigen Gewölbes erscheinende Strebebogen ändert die Richtung des Prüfungsweges nicht. Die Stabilitäts-Untersuchung von einhäufigen Gewölben, welche demnach auch hier wieder Berücksichtigung finden muß, ist in Art. 146 (S. 208) erklärt.

Der Gang, welcher bei der statischen Untersuchung der Widerlager mit Strebebogen befolgt werden kann, soll unter Benutzung der Darstellungen auf neben stehender Tafel besprochen werden.

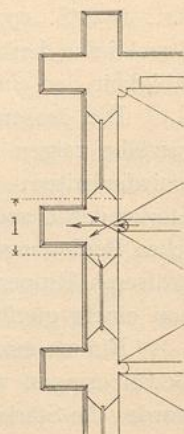
Der in der lothrechten, als Kräfteebene fest gesetzten Symmetrie-Ebene des Widerlagers  $G$  und des Strebebogens  $\gamma o$  wirkende resultirende Gewölbschub  $S$  der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 328 (S. 478) Gesagten vorweg zu bestimmen ist, vereinigt sich mit dem Gewichte  $G$  des in seiner Grundriffsfläche und Höhenentwicklung im Gewölbeplane bestimmten Widerlagskörpers zu einer Mittelkraft  $M$ . Größe, Lage und Richtung der letzteren bleiben unveränderlich, so fern der Gewölbschub  $S$  und das Gewicht  $G$  keiner Aenderung unterzogen werden. Hiernach ist also der Strahl  $Mm$ , worin die Mittelkraft  $M$  wirkt, eine feste Gerade. Schneidet, wie hier der Fall ist, dieser Strahl die als fest und vollständig tragfähig vorausgesetzte Fulsebene  $mf$  der Widerlagsmauer außerhalb ihrer Grundfläche im Punkte  $m$ , so wird die Kraft  $M$  den Widerlagskörper um die Kante  $c$  drehen.

Wird zur Sicherung des Widerlagers gegen Drehung ein Strebebogen  $\gamma o$  mit zugehörigem Strebepfeiler angeordnet, so können die Einflüsse, welche dieser Strebebogen auf das Widerlager ausübt, und umgekehrt, die Einwirkungen, welchen der Strebebogen durch den Gewölbschub  $S$ , bezw. durch die Mittelkraft  $M$  unterworfen ist, in geeigneter Weise durch Zeichnung zur Erscheinung gebracht werden.

Zunächst ist die statische Untersuchung des Strebebogens selbst vorzunehmen. Die Tiefe desselben sei gleich 1 m.

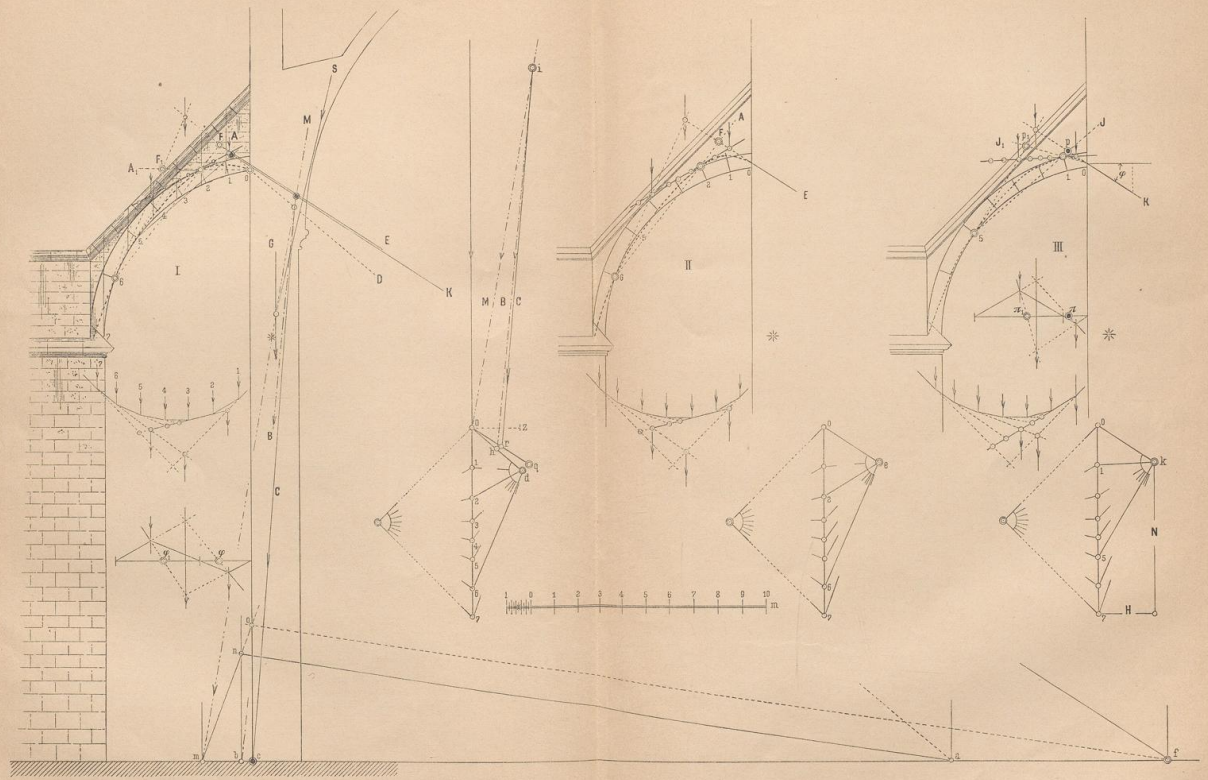
Unter Einführung einer beliebig gewählten Basis  $oz = 2^m$  ist, entsprechend den Angaben in Art. 146 (S. 208), ein Gewichtsplan  $o\gamma$  gezeichnet und unter Anwendung der Polaraxen  $oA$  und  $oA_1$  mit Hilfe der Fixpunkte  $F$ , bezw.  $F_1$  die punktirt dargestellte Drucklinie ermittelt, welche einem möglich kleinsten Gewölbschube  $D = do$  zukommt. Dieselbe verbleibt ganz in der eigentlichen Gewölbfäche des Strebebogens.

Fig. 532.



<sup>185)</sup> Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 112, S. 88) dieses »Handbuches«.





Statische Unterfuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.



Befitzt der Strebebogen eine grössere oder geringere Tiefe, als 1 m, so ist der Gewichtsplan  $o\gamma$  offenbar nach der Vorschrift in Art. 249 (S. 363) zu zeichnen. Die übrigen Bestimmungen erleiden dadurch im Wesen keine Aenderungen.

Der Gewölb Schub  $D$  wirkt in der Richtung  $oD$  auf das Widerlager ein. Er vereinigt sich mit  $M$  zu einer neuen Mittelkraft  $B$ . Um diese Kraft im vollsten Einklange mit der gewählten Basiszahl  $oz = 2$  m und mit dem Einheitsgewichte des Wölbmaterials des Strebebogens im Kräfteplane als Linie von richtiger Länge darstellen zu können, ist vor allen Dingen die Kraft  $M$ , welche aus der statischen Unterfuchung des Hauptgewölbes und seines zugehörigen Widerlagsstückes hervorgegangen ist, im Kräfteplane in genauer Streckenlänge einzutragen. Ist z. B. die Bestimmung von  $M$  unter Benutzung einer anderen Basiszahl und unter Berücksichtigung eines vom Einheitsgewichte des Materials des Strebebogens abweichenden Einheitsgewichtes des Materials des Hauptgewölbes oder auch des Widerlagskörpers, wie häufig der Fall ist, erfolgt, so muß die Länge der Strecke  $M$  eben so, wie in Art. 256 (S. 378) z. B. für das Festlegen des Druckes in einem Grabbogen gesehen ist, berechnet werden.

Eine Vorunterfuchung und die zugehörige Berechnung haben für  $M$  eine Strecke von 30,4 m ergeben. Zieht man im Gewichts-, bezw. Kräfteplane durch  $o$  den Strahl  $io$  parallel zu  $Mm$  und nimmt man die Länge dieses Strahles von  $o$  aus gleich der für  $M$  berechneten Strecke, so ist die nothwendige Vereinigung von gleichartigen, auf eine und dieselbe Reductionsbasis  $oz$  und auf dasselbe Baumaterial zurückgeführten Kräftelinien erreicht. In der Zeichnung ist zur Vermeidung der weit hinauf gehenden Linienstrecke von 30,4 m ein bestimmter Theil, hier nur die Hälfte 15,2 m für  $io$  aufgetragen, und eben so ist auch dem gemäß die Strecke  $od$  des Schubes  $D$  in  $h$  halbart, wodurch offenbar die Bestimmung der Lage der Mittelkraft  $B$  aus  $M$  und  $D$  nicht beeinflusst wird. Die GröÙe von  $B$  ist hierbei gleich dem Zweifachen von  $ih$ .

Führt man im Plane  $I$  durch den Schnitt des Strahles  $D$  mit der fest liegenden Geraden  $M$  die Parallele  $Bb$  zu  $ih$  des Kräfteplanes, so trifft dieselbe die feste Fulsebene  $mf$  ebenfalls noch in einem außerhalb der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkte  $b$ . Hierdurch zeigt sich, daß der einer Minimal-Drucklinie des Strebebogens  $\gamma o$  zukommende Gewölb Schub  $D$  vom Gewölb Schube  $S$  des Hauptgewölbes, bezw. von der Kraft  $M$  noch weit überwunden wird. Der Schub  $D$  ist noch nicht im Stande, den Gleichgewichtszustand des gemeinschaftlichen Widerlagers gegen Drehung hervorzubringen.

Sieht man vorläufig von einem Höherlegen des sonst unverändert zu lassenden Strebebogens an der Widerlagsmauer ab, so folgt weiter, daß durch die Einwirkung von  $S$ , bezw.  $M$  im Strebebogen ein größerer Gewölb Schub herrschen muß, wenn derselbe fähig sein soll, das Drehbestreben des Widerlagers zu vernichten.

Zum Auffuchen dieses größeren Schubes im Strebebogen, und zwar zunächst in Rückficht auf eine Grenzlage, wonach die aus  $M$  und diesem Schube entstehende Mittelkraft genau durch die äußerste Kante  $c$  der Grundfläche des Widerlagers geht, ist in Uebereinstimmung mit den Erörterungen in Art. 147 (S. 213) durch die Seilpolygone  $mna$  und  $mof$  der auch in dem dort Vorgetragenen erwähnte, bedeutungsvolle feste Punkt  $f$  auf der Fulsebene des Widerlagers ermittelt. Zieht man nun durch  $f$  und durch den Fixpunkt  $F$  der unverändert gelassenen Polaraxe  $A$  des Strebebogens einen Strahl  $E$ , so muß in demselben ein Gewölb Schub herrschen, welcher, wenn mit ihm eine Drucklinie im Strebebogen entsteht, die ganz innerhalb der Gewölbfläche desselben bleibt, in Gemeinschaft mit  $M$  eine durch die Kante  $c$  gehende Resultirende liefert.

Im Plane  $II$  ist Aufschluß über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche einem in der Richtung  $fF$  wirkenden Schube  $E$  von der GröÙe  $eo$  angehört, gegeben. Die Polaraxe  $A$  mit dem Fixpunkte  $F$  ist ohne Weiteres aus dem Plane  $I$  übertragen. Die auf bekanntem Wege gezeichnete Mittellinie des Druckes verläßt jedoch die Stirnfläche des Strebebogens oberhalb der Rückenlinie zwischen den Fugen  $1$  und  $2$  und unterhalb der Wöblinie in der Nähe der Fuge  $5$  in merkbarem Abstände. Hieraus folgt, daß der Gewölb Schub  $E = eo$  in der angewiesenen Lage und mit der gefundenen GröÙe nicht fähig ist, eine Drucklinie zu erzeugen, welche ganz innerhalb der Wöblfläche des Strebebogens verläuft. Die eingezeichnete Drucklinie giebt aber einen Anhalt für die Lage der Bruchfugen oberhalb des Stückes  $oz$  und in der unteren Kante der Fuge  $5$ . Berücksichtigt man ferner, daß unter Beachtung dieser Bruchfugen dennoch im Allgemeinen ein noch möglich kleinster Gewölb Schub des Strebebogens eintreten kann, welcher, mit der Kraft  $M$  zusammengesetzt, eine Resultirende giebt, welche durch die Kante  $c$  der Grundfläche des Widerlagers geht, so hat man nach dem Plane  $III$  eine neue Mittellinie des Druckes aufzufuchen, welche durch den höchsten Punkt der als Bruchfuge angenommenen Fuge  $1$ , durch den tiefsten Punkt der zweiten Bruchfuge  $5$  zieht, und welche außerdem einem Gewölb Schube zukommt, dessen Richtung durch den festen Punkt  $f$  der Fulsebene  $mf$  geht.

Bestimmt man auf der durch  $s$  und durch den höchsten Punkt der Fuge  $r$  gelegten Polaraxe  $\mathcal{Y}$  nach Art. 146 (S. 208) den Fixpunkt  $p$  mittels der Projection  $\pi$ ; zieht man im Plane  $I$ , nachdem auch hier die Lage des Punktes  $p$  nach Plan  $III$  eingetragen und stark ausgeprägt wurde, durch diesen Punkt und durch  $f$  der Fulsebene  $mf$  den Strahl  $K$ : so ist alles Nothwendige vorhanden, um die zugehörige Mittellinie des Druckes im Plane  $III$  zeichnen zu können. Für dieselbe ergibt sich alsdann noch weiter bei der Einführung der nunmehr gleichfalls näher bestimmten zweiten Polaraxe  $\mathcal{Y}_1$ , welche durch den Angriffspunkt der Kraft  $K$  auf der Fuge  $o$  und durch den höchsten Punkt der Bruchfuge  $r$  gezogen werden muß, nebst ihrem Fixpunkte  $p_1$ , dessen Projection in  $\pi_1$  ermittelt wurde, eine reichliche Zahl von Elementen, welche für die richtige Darstellung dieser Drucklinie benutzt werden können. Dieselbe bleibt noch ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens. Die GröÙe ihres Gewölbchubes  $K$  wird im Gewichtsplane der Darstellung  $III$  als Strecke  $ko$  erhalten. Ueberträgt man  $ko$  in Lage und GröÙe nach dem Gewichtsplane der Hauptdarstellung  $I$  als  $qo$ , halbirt man, weil  $io$  die Hälfte der Kraft  $M$  angiebt, auch  $qo$  in  $r$  und zieht man den Strahl  $ir$ , so muß die durch den Schnitt von  $K$  mit  $M$  zu  $ir$  gezogene Parallele  $C$  genau durch den Punkt  $c$  der Kante der Widerlagsfläche gehen. Hierdurch wird bekundet, daß der Strebebogen, sobald in ihm eine Mittellinie des Druckes verbleibt, deren Gewölbchub die Lage  $K$  annimmt und dessen GröÙe gleich  $ko = qo$  ist, fähig wird, den Grenzzustand des Gleichgewichtes gegen Drehung um die Kante  $c$  der Grundfläche des Widerlagers herbeizuführen.

Soll der Punkt  $c$  mehr in das Innere dieser Grundfläche, z. B. bis in den nach  $c$  zu gelegenen Kernpunkt des Querschnittes des Widerlagskörpers, gelegt und alsdann eine Prüfung dahin gehend angestellt werden, ob eine Mittellinie des Druckes mit noch größerem Gewölbchub für den Strebebogen möglich ist, wobei die aus  $M$  und dem neuen Gewölbchube entstehende Mittelkraft sich durch diesen Kernpunkt legt; so ist die Durchführung dieser Untersuchung, unter Ermittelung eines neuen festen Punktes, statt des für die Lothrechte  $co$  bestimmten Punktes  $f$  in der Ebene  $mf$ , ganz in dem Sinne des Vorgetragenen zu bewirken.

Ist in jedem einzelnen Falle die dem Gleichgewichte gegen Drehung entsprechende Mittellinie des Druckes gezeichnet, so ist bekanntlich auch noch zu prüfen, ob dieselbe den allgemeinen Bedingungen für das Gleichgewicht gegen Gleiten entspricht.

Namentlich kommt hierbei der Neigungswinkel  $\varphi$  der Kraft  $K$  mit der Normalen zur Ansatzfuge  $o$  des Strebebogens am Widerlager in Betracht. Da dieser Winkel die GröÙe des Reibungswinkels des anzuwendenden Materials nicht überschreiten darf, so muß, wenn die an sich unveränderliche Lage des Gewölbchubes  $K$  eine Ueberschreitung der GröÙe dieses Reibungswinkels bekunden sollte, die Ansatzfuge  $o$  in ihrer Neigung in dem MafÙe abgeändert werden, daß eine Gefahr durch Gleiten nicht mehr vorhanden ist. Für die übrigen Fugen tritt unter Umständen gleichfalls die Prüfung auf Gleiten und eine Aenderung der Fugenrichtung zwischen den Wölbsteinen ein.

Die Stärke des Strebebogens ist nach der Bestimmung des Schubes  $K$  mittels des leicht nach Plan  $III$  zu findenden wagrechten Gewölbchubes  $H$ , bezw. des Normaldruckes  $N$  für die am stärksten gepresste Fuge auf bekanntem Wege zu berechnen.

Eben so macht die Stabilitäts-Untersuchung des Strebepfeilers, welcher die Stütze des Strebebogens bildet, bei dem Bekanntsein des Schubes  $K$  keine Schwierigkeiten.

335.  
Anfatzhöhe  
der  
Strebebogen.

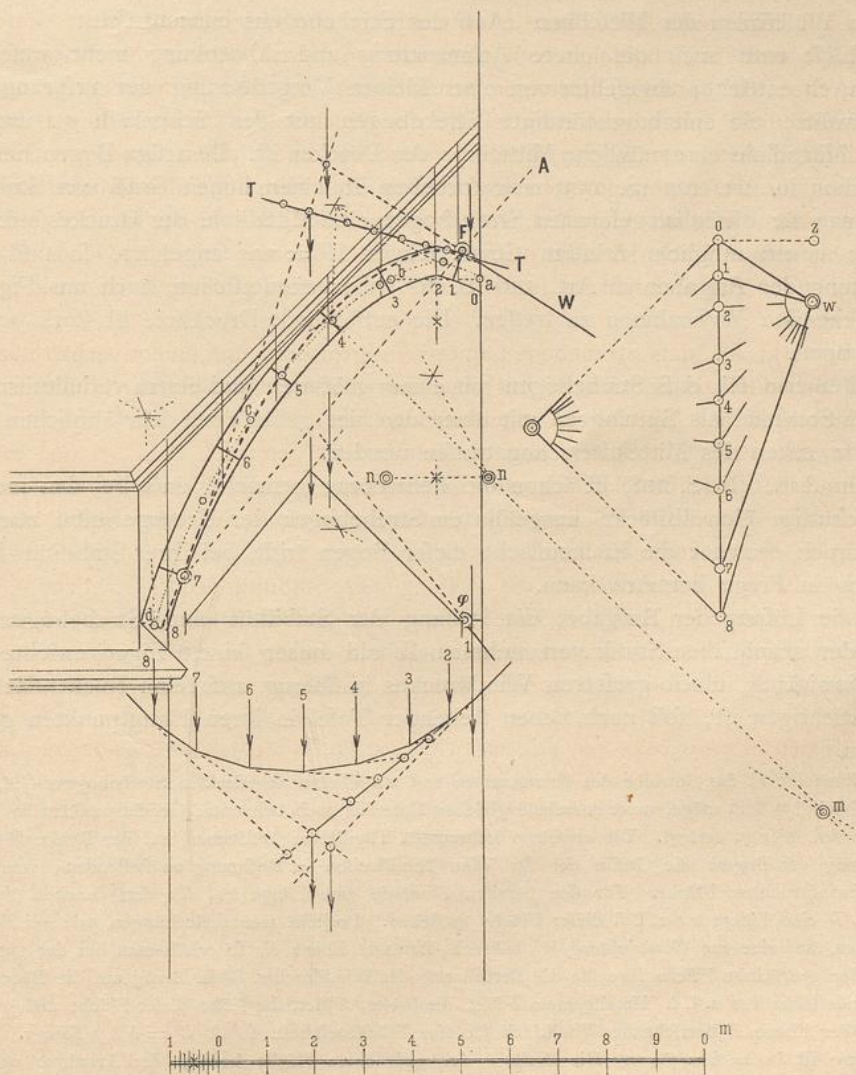
Bei der Prüfung der Einwirkungen des Strebebogens auf die Standfähigkeit des gemeinschaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanspruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Anfatzhöhe des Strebebogens geltend gelassen. Man erkennt aber aus der Darstellung  $I$  auf der Tafel bei S. 482, daß bei einem lothrechten Verschieben des Strebebogens  $o7$  an der äußeren lothrechten Seite der Widerlagsmauer, ohne eine Umgestaltung des Strebebogens zu vollziehen, unter Umständen auch der Gewölbchub  $D$ , welcher, einer Minimaldrucklinie angehörend, von allen ermittelten Gewölbchüben des Strebebogens am kleinsten ist, fähig sein kann, bei feiner Zusammenetzung mit der Kraft  $M$  eine Resultirende zu liefern, welche durch den Punkt  $c$  oder, wenn man will, auch durch einen mehr im Inneren der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkt geht. Denn würde man z. B. durch den Punkt  $c$  einen Strahl parallel zu  $Bb$ , bezw.  $ih$  ziehen, so müßte, im Allgemeinen genommen, dieser Strahl die feste Linie  $Mm$  in einem Punkte schneiden. Legte man durch diesen Schnitt auf der Geraden  $Mm$  die Parallele zu der Richtung des



Schubes  $D$ , so würde dieselbe die neue Lage des Ansatzpunktes  $o$  des Strebebogens am Widerlager bedingen. Im vorliegenden Plane würde der Strebebogen in seiner Gefammtheit höher gerückt werden. Bleibt nun bei dieser Verschiebung eine durch die Kräfte  $S$ ,  $G$  und  $D$  verursachte Drucklinie ganz in der Fläche des Widerlagskörpers, bezw. innerhalb des Gebietes der Grenzlinien der Kernflächen seines Querschnittes, so ist auch hierdurch die Standfähigkeit des Systems bekundet. Bei vielen Bauwerken der deutschen und französischen Gothik findet man sehr hoch an der Widerlagsmauer angeetzte Strebebogen.

Werden zwei über einander liegende Strebebogen zur Absteifung eines gemeinschaftlichen Widerlagers angeordnet, so läßt sich die zugehörige Stabilitäts-Untersuchung eines solchen Baufsystems unter Anwendung der gegebenen Grundlagen schrittweise, ohne besondere Hindernisse anzutreffen, ebenfalls vollziehen.

Fig. 533.



336.  
Umgestaltung  
der  
Strebebogen.

Die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 482 für den Gewölbschub *K* construirte Mittellinie des Druckes nähert sich einer Parabel, bzw. einer Korbbogenlinie, bei welcher vom höchsten Punkte der Bruchfuge *1* aus die beiden seitlichen Aefte etwas spitzbogenartig abfallen.

Nimmt man nach Fig. 533 diese Mittellinie des Druckes als Mittellinie *abcd* der Wölbfläche eines Strebebogens an und sucht man, wie leicht geschehen und aus der Zeichnung näher ersehen werden kann, die Mittelpunkte *m* für den Bogen von *d* durch *c* bis zur Fuge *q* und *n*, bzw. *n*, für die durch *b* und *a* gehenden Bogen, so läßt sich mit großer Genauigkeit der Linienzug *abcd* durch einen am Scheitel spitzbogenförmig zusammentretenden Korbbogen ersetzen. Behält man die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 482 für den Strebebogen angenommene Stärke auch in Fig. 533 in der Weise bei, daß dieselbe je zur Hälfte stets normal zum Korbbogen *abcd* nach oben und unten abgetragen wird, so sind die aus den bezeichneten Mittelpunkten beschriebenen, die Wölbstärke begrenzenden inneren und oberen Wölblinien der Mittellinie *abcd* des Strebebogens concentrisch.

Läßt man auch die obere Aufmauerung und Abdeckung nicht wesentlich ändern, so entsteht, abgesehen von einer kleinen Vergrößerung der ursprünglichen Spannweite, ein spitzbogenförmiger Strebebogen mit den Schenkeln *o2* und *28*, dessen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ist. Derartige Bogen besitzen, wie schon in Art. 127 (S. 153) ausgesprochen ist, einen hohen Grad von Stabilität. Will man für diesen umgeformten Strebebogen eine Mittellinie des Druckes zeichnen, welche einem möglich kleinsten Gewölbschube  $W = w_0$  angehört, so sind unter Befolgung der Angaben in Art. 146 (S. 208) die erforderlichen, auch aus Fig. 533 zu ersehenden Mafnahmen zu treffen. Die entstehende Drucklinie ist stark punktirt eingetragen.

Bemerkte sei, daß Strebebogen mit einem größeren und einem verhältnismäßig kurzen Schenkel als Spitzbogen mit einer der hier gefundenen sehr ähnlichen Form bei Bauwerken des Mittelalters angetroffen werden.

337.  
Winddruck  
bei  
Strebebogen.

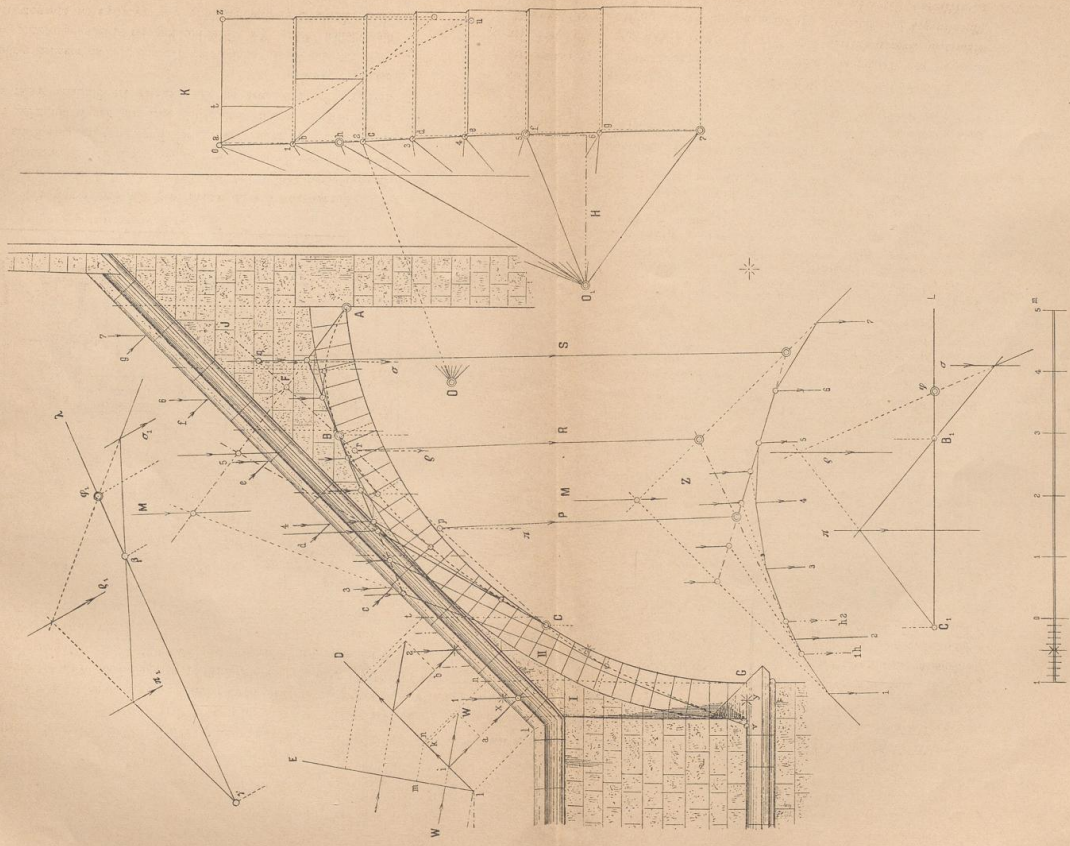
In Art. 146 (S. 208) ist schon die Bemerkung gemacht, daß bei den meistens als einhüftige Gewölbstücke ausgeführten Strebebogen der Kreuzgewölbe noch der Winddruck, welcher die Rückenfläche dieser Bogen trifft, bei ihrer Stabilitäts-Untersuchung in Frage kommen kann.

Die Lösung der Aufgabe, die Prüfung der Stabilität eines Strebebogens mit Hilfe der graphischen Statik vorzunehmen, sobald außer seinem Eigengewichte noch die Einwirkung eines größeren Winddruckes in Bezug auf seine Rückenfläche zu berücksichtigen ist, soll nach neben stehender Tafel in ihren Hauptpunkten gezeigt werden.

Zunächst ist das Gewölbe des übermauerten und mit Platten abgedeckten Strebebogens *GA*, dessen Tiefe gleich 1 m sein möge, unter Annahme gleichen Materials nach bekannten Gesichtspunkten in schmale Theilstreifen, hier 7, zerlegt. Die einzelnen lothrechten Theillinien bestimmen auf der Rückenfläche der Abdeckung des Bogens die Größe der für jeden Theilstreifen in Rechnung zu stellenden, vom Winddruck beanspruchten Fläche. Für den Streifen *I* würde eine Länge *ln*, für den daneben liegenden Streifen *II* eine Länge *nt* u. s. f. dieser Fläche entstehen. Projicirt man diese Längen, wie bei *D* und *E* geschehen, auf eine zur Windrichtung *W* senkrecht stehende Ebene *E*, so erhält man bei der gegebenen Breite der gedrückten Fläche ihre für die Berechnung des Winddruckes *W* in Bezug auf die Ebene *E* zu benutzende Höhe *lm* u. s. f. Ist allgemein *b* Met. die Breite, *h* Met. die Höhe dieser Fläche und *p* Kilogr. der in der Ebene *E* herrschende Winddruck für eine Flächeneinheit, so ist  $W = b h p$  Kilogr. In der Zeichnung ist  $lm = h = 0,9$  m. Die Breite *b* der gedrückten Fläche beträgt der Annahme nach 1 m. In Rücksicht auf die Gewalt, welche bei starken Stürmen an hoch gelegenen Mauerwerkskörpern, wozu



Zu S. 486.



Statische Unterfuchung eines Strebebogens unter Berücksichtigung des Winddruckes.

Handbuch der Architektur. III. 2. 6.



die Strebebogen meistens zu zählen sind, ausübt wird, möge  $p = 300 \text{ kg}$  für  $1 \text{ m}^2$  gerechnet werden. Hiernach wird  $W = 1 \cdot 0,9 \cdot 300 = 270 \text{ kg}$ . Für den Strebebogen kommt die senkrecht zu seiner Rücken-ebene  $D$  wirkende Seitenkraft  $ia$  in Frage<sup>186)</sup>. Dieselbe ergibt sich zu  $216 \text{ kg}$ .

In gleicher Weise sind die lothrechten Drücke  $b, c, d$  u. f. f. des Windes für die übrigen Theilstreifen bestimmt. Diese Drücke setzen sich mit den Gewichten ihrer zugehörigen Theilstreifen zu einzelnen Mittelkräften zusammen. Im Kräfteplane  $K$  sind dieselben unter Anwendung einer Basis  $az = 2 \text{ m}$  als  $o1, 12$  u. f. f. bis  $7$  zu einem Kräftepolygonzuge vereinigt.

Hierbei ist jedoch die Länge der Kräfterecken für den Winddruck, welcher in Kilogramm ausgedrückt ist, durch die Abmessung  $x$  Met. Höhe eines Steinprismas darzustellen, welches dasselbe Einheitsgewicht, als das Material des Strebebogens besitzt, dessen rechteckiger Querschnitt eine Breite von stets gleich  $1 \text{ m}$ , sonst aber eine Länge gleich der gewählten Maßzahl  $2 \text{ m}$  der Basis  $az$  des Gewichtsplans  $K$  erhält.

Wiegt  $1 \text{ cbm}$  des Wölbmaterials  $2400 \text{ kg}$ , so ist hiernach die Strecke  $oa$  des Planes  $K$ , welche die Größe des senkrecht auf der Rückenfläche des Theilstreifens vorhandenen Winddruckes gleich  $216 \text{ kg}$  angeben muß, mittels des Ausdruckes

$$x \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2400 = 216$$

als  $oa = x = 0,045 \text{ m}$ . Die Linie  $oa$ , parallel zu  $ia$  gezogen, hat diese Länge erhalten. Mit derselben wurde das Gewicht  $ax$  des ersten Theilstreifens  $I$ , dessen Breite als  $at$ , dessen mittlere Höhe als  $xy = zu$  gegeben ist, nach bekannter Reduction auf die Basis  $az$ , zu der Resultirenden  $o1$  zusammengesetzt. In ganz gleicher Weise sind alle übrigen Theilstreifen behandelt.

Im Plane des Strebebogens sind die für die einzelnen Theilstreifen aus Winddruck und Gewicht entstehenden Mittelkräfte als  $1$  parallel  $o1$ ,  $2$  parallel  $12$  u. f. f. ihrer richtigen Lage nach gezeichnet; und es ist für dieselben unter Benutzung des Poles  $O$  das Seilpolygon  $Z$  fest gelegt. Nach einer vorläufigen Prüfung über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche unter der Einwirkung der ermittelten, im Allgemeinen in nicht paralleler Lage auftretenden Kräfte für den möglich kleinsten Gewölbschub des Strebebogens entsteht, sind in  $A, B$  und  $C$  Punkte von Bruchfugen erhalten. Diese können für die weitere Durchführung der graphisch-statischen Untersuchung zunächst benutzt werden.

Bei der Anwendung der sog. Fixpunkt-Methode sind entweder durch  $B$  und  $C$  oder durch  $B$  und  $A$  Polaraxen zu führen. Hier ist durch die Punkte  $B$  und  $C$  eine Polaraxe  $\mathcal{F}$  gelegt. Für das Stück  $AB$  des Strebebogens ergibt sich mit Hilfe des Seilpolygons  $Z$  eine resultirende Kraft  $S$  gleich und parallel der Verbindungsgeraden  $5$  bis  $7$  im Kräfteplane  $K$ . Für das Stück  $CB$  ist  $P$  die Resultirende, parallel und gleich der Verbindungsgeraden  $h$  bis  $7$  im Plane  $K$ . Die Mittelkraft  $R$  aus  $P$  und  $S$  ist parallel und gleich einer Geraden mit den Endpunkten  $h$  und  $7$  des Gewichtsplans  $K$ . Um für die nicht einander parallelen Kräfte  $P$  und  $S$  mit ihrer Mittelkraft  $R$  ein Seilpolygon durch die gegebenen Punkte  $A, B$  und  $C$  zu legen, kann man zur Bestimmung des Fixpunktes  $F$  auf der Polaraxe  $\mathcal{F}$  das folgende Verfahren einschlagen.

Man bringt die Strahlen  $P, R$  und  $S$  mit der Polaraxe  $\mathcal{F}$  in  $p, r$  und  $q$  zum Schnitt. Zerlegt man die Kräfte  $P, R, S$  in diesen Punkten einzeln in Seitenkräfte, in die Gerade  $C\mathcal{F}$  fallend und sonst parallel zu einer beliebig gewählten Axe  $CC_1$  genommen, so mögen die Geraden  $\pi, \rho$  und  $\sigma$ , nunmehr einander parallel, die zuletzt genannten Seitenkräfte enthalten. Projicirt man die Punkte  $B$  gleichfalls parallel zu  $CC_1$  auf eine beliebig von  $C_1$  ausgehende, jedoch die Strahlen  $\pi, \rho$  und  $\sigma$  schneidende Axe  $L$ , so läßt sich ganz auf dem in Art. 146 (S. 208) angegebenen Wege die Projection  $\varphi$  des gefuchten Fixpunktes  $F$  auf der Axe  $L$  ermitteln.

Projicirt man  $\varphi$  parallel zu  $CC_1$  nach  $F$  auf  $\mathcal{F}$ , so ist nunmehr wiederum ganz im Sinne von Art. 146 (S. 208) die Mittellinie des Druckes für den Strebebogen  $GA$  zu bestimmen.

Hätte man das Auffinden des Fixpunktes  $F$  unter Benutzung der Axen  $C\gamma$  und  $\gamma\lambda$  bewirken wollen, so sind die Seitenkräfte von  $P, R$  und  $S$ , welche nicht in die Polaraxe  $C\mathcal{F}$  fallen, von  $p, r$  und  $q$  aus parallel  $C\gamma$  als  $\pi_1, \rho_1$  und  $\sigma_1$  fest zu legen und  $B$  parallel  $C\gamma$  auf  $\lambda$  nach  $\beta$  zu projiciren, um alsdann in üblicher Weise auch den Punkt  $\varphi_1$  auf  $\lambda$  als Projection von  $F$  zu erhalten.

Wird statt der durch  $B$  und  $C$  gelegten Polaraxe  $\mathcal{F}$  eine durch  $A$  und  $B$  geführte Gerade als Polaraxe angenommen, so ist das Auffinden des auf dieser Axe gelegenen Fixpunktes ganz nach den für die Polaraxe  $\mathcal{F}$  gegebenen Grundlagen vorzunehmen.

Der aufgefundenen Mittellinie des Druckes gehört im Punkte  $B$  der Gewölbschub  $O_15$ , bezw.  $5O_1$  an. Für die Berechnung der Stärke des Strebebogens ist die wagrechte Seitenkraft  $H$  von  $O_15$ , bezw.

<sup>186)</sup> Siehe: Theil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 27, S. 21) dieses Handbuchs.

der leicht zu ermittelnde Normaldruck für die am stärksten gepresste Wölbuge in bekannter Weise zu verwerthen.

Die punktirt eingetragene Mittellinie des Druckes  $ABC$  u. f. f. durchschneidet die Rückenlinie des Strebebogens in der Nähe und in geringer Höhe über der Widerlagsfuge  $G$ . Ihr Endpunkt  $v$  liegt bereits im Körper des für den Strebebogen erforderlichen Strebepfeilers. Will man diese Lage von  $v$  nicht als gerade günstig ansehen, so kann man sachgemäß die Stärke des Strebebogens nach dem Widerlager zu etwas über  $v$  hinaus vergrößern.

335.  
Gewölbepfeiler.

Die Gewölbepfeiler, Mittel- oder Zwischenpfeiler, bilden die Stützen für an einander gereihte Gewölbeanlagen. Sie haben den Gewölbschub von den in größerer Zahl am Pfeiler zusammentretenden oder sich anschmiegenden Rippenkörpern aufzunehmen. Heben sich die wagrechten Seitenkräfte der sämtlichen Gewölbschübe auf, vereinigen sich alle lothrechten Seitenkräfte derselben zu einer Mittelkraft, welche mit der lothrechten Axe des zugehörigen Pfeilers ganz oder nahezu zusammenfällt, so hat der Querschnitt des Pfeilers nur eine solche Größe nöthig, daß unter Berücksichtigung seines eigenen Gewichtes der Pfeiler nicht zerdrückt, bezw. nicht zerknickt wird. Diese durch die gesammte Gewölbeanlage bedingte günstigste Beanspruchung der Pfeiler tritt aber in Folge der in mannigfaltigem Wechsel stattfindenden Gewölbedurchbildung im Ganzen selten ein. Die Gewölbschübe der Gurt-, Scheide-, Kreuz-, Zwischenrippen u. f. f. wirken meistens in sich kreuzenden geraden Linien, liefern also, wie schon in Art. 293 (S. 427) erwähnt ist, ein im Raume gelegenes Kräfteystem, welches im Wesentlichen nur zu einer Mittelkraft und zu einem resultirenden Kräftepaar vereinigt werden kann. In solchen Fällen hat, in statischer Beziehung genommen, der Pfeiler, oft am zweckmäßigsten und einfachsten unter Einführung besonderer Uebermauerung der Rippen- oder Kappenkörper, bezw. einer ihn selbst treffenden Aufmauerung, ohne einen übertrieben großen Querschnitt zu erhalten, eine Gestaltung zu erfahren, welche eine Vernichtung des erwähnten Kräftepaars herbeiführt und welche zuläßt, daß die nun verbleibende Mittelkraft der Gewölbschübe, mit dem Eigengewichte des Pfeilers vereint, einen günstigen Verlauf der Drucklinie im Pfeilerkörper hervorruft. Die hier erwähnte Uebermauerung wird als vorzügliches Hilfsmittel meistens Platz greifen müssen, so bald durch die Ausmittelung der Gewölbschübe eine ungünstige Beanspruchung der Gewölbepfeiler erkannt wird, da das Umformen der Gewölberippen nach höher oder geringer aufsteigenden Bogenlinien, wodurch gleichfalls günstige Wirkungen für die Pfeiler erzielt werden können, aus Rücksicht auf die architektonische Durchbildung der Gewölbanlage in der Regel auszuschließen ist.

Eine sorgfältig durchgeführte statische Untersuchung der Gewölbekappen und des Rippenystems lehrt die Kräfte kennen, welche den Gewölbepfeiler treffen. Ihre Vereinigung zu einer gemeinschaftlichen Mittelkraft allein oder zu einer Mittelkraft nebst einem resultirenden Kräftepaare läßt sich nach den Lehren der Statik unmittelbar bei der Stabilitäts-Untersuchung der Pfeiler in den Vordergrund bringen. Durch ihre Verbindung mit den Gewichten der nach Lage und Größe geeignet geschaffenen Uebermauerungen der Gewölbe, namentlich der trichterartigen Gewölbezwickel über den Pfeilern oder einzelner Rippen in der Nähe ihrer Ansätze am Pfeiler, läßt sich bei einiger Ueberlegung von Fall zu Fall eine auf elementarem, wenn auch etwas langem Wege zu verfolgende Prüfung der Stabilität dieser Gewölbepfeiler vornehmen.