

d. h. gleich einer Backsteindicke. In der Zeichnung ist in Rücksicht auf eine grössere Normalpressung am Fusse des grössten Meridianstreifens die Kranzstärke gleich 0,12 m, gleich einer Backsteinbreite, genommen.

Der Druck $c_{\mathcal{J}}$ für die untere Lagerfläche des Steines \mathcal{J} ergibt sich, unter Berücksichtigung der 40-fachen Vergrößerung der Kraftstrecke $c_{\mathcal{J}}$, im Plane H zu $\frac{0,475}{40} = \infty 0,012$ cbm.

Nach dem Grundriss m des Meridianstreifens ist die Tiefe der unteren Lagerfläche gleich 0,15 m. Die aus $c_{\mathcal{J}}$ für diese Fläche entstehende normale Seitenkraft ist etwas kleiner als $c_{\mathcal{J}}$, möge aber hier gleich der Strecke $c_{\mathcal{J}}$ gesetzt werden.

Hier wird der in Rechnung zu stellende Normaldruck für eine Tiefe gleich 1 m

$$N = \frac{0,012 \cdot 1}{0,15} = 0,08 \text{ cbm,}$$

also kleiner, als der vorhin für die Stosflächen berechnete Werth N_3 . In diesem Falle ist der Werth für N bei der Berechnung der Gewölbstärke aufser Acht zu lassen.

Umgekehrt aber ist bei Kranzschichten, deren Normalpressungen in den Stosflächen, die selbst den Werth Null annehmen können, kleinere Gewölbstärken ergeben, als der Normaldruck der Lagerflächen fordert, der letztere zu berücksichtigen.

Hat das Gewölbe aufser seinem Eigengewicht noch eine Uebermauerung oder eine sonstige ruhende Belastung aufzunehmen, so ist diese Ueberlast, auf das Gewicht des Wölbmaterials in bekannter Weise zurückgeführt und bei der Lamellentheilung des Meridianstreifens entsprechend berücksichtigt, bei der statischen Untersuchung eben so zu behandeln, wie früher bei den belasteten cylindrischen Gewölben gezeigt wurde.

325.
Empirische
Regeln.

Im Allgemeinen bedürfen die unbelasteten bußigen Kappen der gothischen Kreuzgewölbe nur einer geringen Stärke. Bei der grossen Mannigfaltigkeit in der Gestalt dieser Gewölbe sind empirische Regeln, welche alle Fälle der verschiedenen Gewölbeanlagen umfassen sollten, für die Feststellung der Kappenstärke von keinem Werthe.

Hat das Rippen- und Kappenystem in constructiver Beziehung eine richtige, ungekünstelte Anordnung erfahren, so können bei der Verwendung von gutem Backsteinmaterial, welches jetzt vorzugsweise zur Wölbung der Kappen benutzt wird, sorgfältige Ausführung und guter Mörtel vorausgesetzt, unbelastete bußige Kappen bis rund 10 m Spannweite mit 12 cm, d. h. $\frac{1}{2}$ Backstein Stärke angenommen werden.

Erfolgt die Wölbung mit geeignetem natürlichem Steinmaterial, so beträgt die Kappenstärke in der Regel nicht unter 20 cm, welche ausnahmsweise bei ausgezeichnetem Material wohl bis zu 10 cm herabsinkt. Bei belasteten Kappen sind die angegebenen Stärken zu vergrößern. Den besten Aufschluss über die anzunehmende Gewölbstärke wird man immer durch die ohne grosse Mühe auszuführende statische Untersuchung der Kappen erhalten.

β) Stabilität der Gewölberippen.

326.
Gewölberippen.

Die Rippenkörper der gothischen Kreuzgewölbe sind in den meisten Fällen Bestandtheile cylindrischer Gewölbe, deren Bogenlinie, abgesehen von einem Halbkreisbogen oder einem Korbbogen, am häufigsten als Spitzbogen mit Kreisbogenfchenkeln angenommen wird. Liegen die Leitlinien der Schenkel des Spitzbogens in einer und derselben lothrechten Ebene und ist die Belastung beider Bogenfchenkel dieselbe, so bildet der Rippenkörper ein cylindrisches, symmetrisch geformtes und symmetrisch belastetes Gewölbstück. Eben so können auch Rippenkörper in besonderen Fällen als einfchenkelige Theile eines Spitzbogens und somit als einhüftige oder ansteigende Bogen auftreten. Wie nun auch an sich Form, Anordnung und Belastung der Rippenkörper sein mögen; stets sind für ihre statische Untersuchung die für die

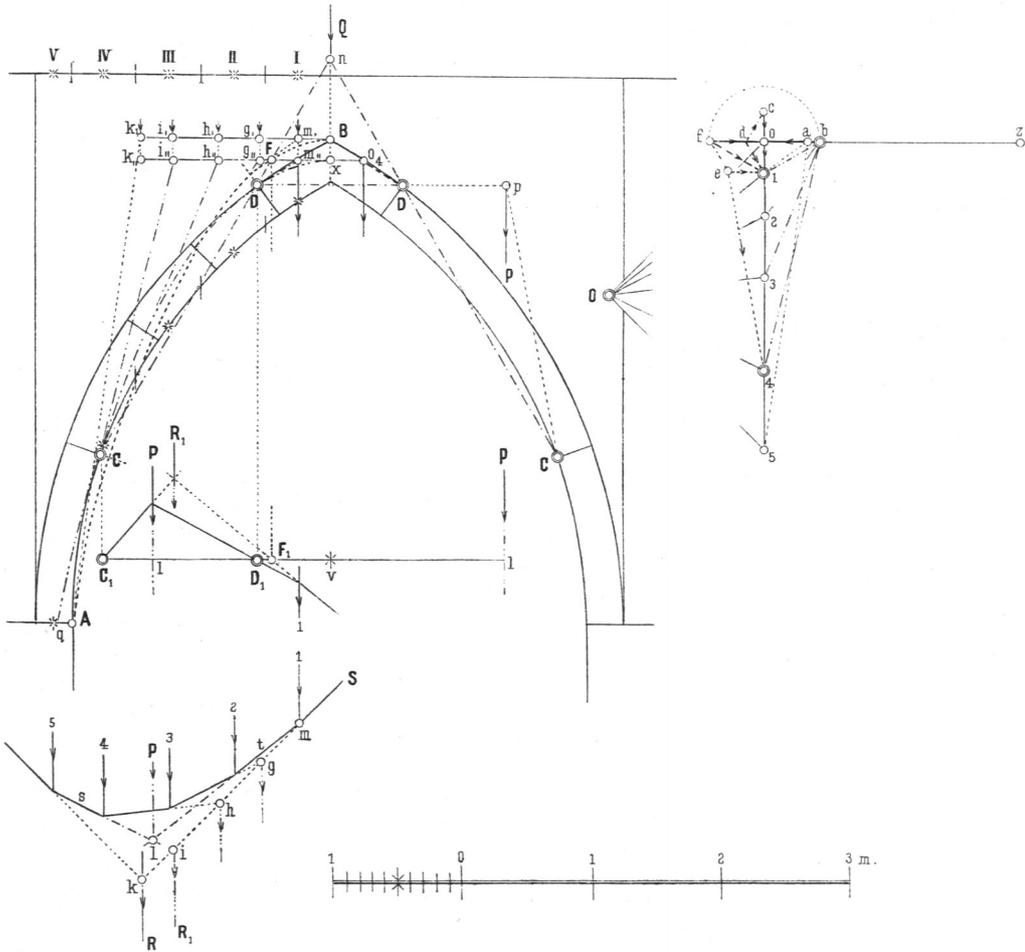
Ermittlung des Gleichgewichtes cylindrischer Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtschnur zu nehmen.

Für die Stabilitäts-Untersuchung eines symmetrisch geformten und symmetrisch belasteten Spitzbogengewölbes ist Fig. 529 als Beispiel in Betracht gezogen.

327.
Spitzbogen-
gewölbe.

Die Tiefe des Gewölbes sei gleich 1 m. Nach bekannter Zerlegung in Theilstreifen I, II u. f. f. und Bestimmung der Gewichte o_1, o_2 u. f. f. dieser prismatischen Theilkörper unter Benutzung der Reductions-Basis $oz = 2$ m, ist unter Annahme eines möglichst kleinsten, durch den höchsten Punkt B der gedachten Scheitelfuge des Gewölbes wagrecht gehenden Gewölbschubes für die Gewölbhälfte BA

Fig. 529.



eine Mittellinie des Druckes für die Punkte B und den vorderen Punkt A der Widerlagsfuge gezeichnet. Dieselbe verläuft jedoch die Stirnfläche des Gewölbes oberhalb der Rückenlinie und unterhalb der inneren Wölblinie; sie kennzeichnet in den Punkten D und C zwei Bruchfugen, und folglich ist der für diese vorläufige Mittellinie des Druckes ermittelte Horizontal Schub ao noch nicht fähig, den Gleichgewichtszustand im Wölbssystem herzustellen.

Hiernach tritt die Aufgabe heran, eine Mittellinie des Druckes zu finden, welche, mit einem größeren Horizontalchube behaftet, durch die Punkte D und C geht und dem entsprechend eine tiefere Lage des Angriffspunktes x in der gedachten Scheitelfuge für den neuen Gewölbschub bedingt.

Zur Auffindung dieser Drucklinie und der Lage des Punktes x kann man das in Art. 146 (S. 208) Gegebene benutzen. Hiernach erhält man in der durch C und D geführten Geraden Cn die Polaraxe und im Plane C, l unter Verwerthung des Seilpolygons S in F , die wagrechte Projection des Fixpunktes F ,

welcher für die Polaraxe Cu in Frage kommt. Durch den Punkt F muß also der Strahl des Seilpolygons $o_4 i_1, C$ mit der Resultirenden $R, = o_4$ im Gewichtsplane gehen. Der durch F zu legende Strahl hat aber vermöge der gleichen Form und Belaftung der Gewölbschenkel die wagrechte Lage. Der Schnitt x dieser durch F geführten Wagrechten mit der gedachten Scheitelfuge B giebt den Angriffspunkt des gefuchten neuen Gewölbschubes bo , welcher in seiner Größe auf bekanntem Wege als Strecke bo mittels des parallel zu Ci_1 , durch q gezogenen Strahles qb erhalten wird. Die mit dem Gewölbschube bo gezeichnete Drucklinie $xDCq$ verbleibt ganz innerhalb der Stirnfläche AB ; mithin ist der Gewölbschub bo die nunmehr möglichst kleinste Horizontalkraft, welche nöthig und fähig ist, den Gleichgewichtszustand gegen Drehung im Gewölbsystem aufrecht zu erhalten. Da eine Gefahr des Gleitens der Steine auf den Fugen nicht bekundet wird, so ist die Stabilitäts-Unterfuchung abgepflossen.

Für die Stärke des Gewölbes ist zunächst die Größe des Schubes bo zu berücksichtigen. Es ist $bo = 0,47$ m gemessen; da die Basis $os = 2$ m gewählt war, so ist $bo = 0,47 \cdot 2 = 0,94$ m oder, bei der Tiefe des Gewölbes gleich 1 m, mit 0,94 cbm in Rechnung zu stellen. Für Quadermaterial ist nach Gleichung 142 (S. 185), wenn $H = bo = 0,94$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met. gesetzt wird, die senkrecht zur innern Wölblinie anzunehmende Stärke

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 0,94) 0,94} = \infty 0,22 \text{ m.}$$

Der Normaldruck für die wagrechte Kämpferfuge A ist gleich der Gewichtsstrecke 0,5 mal Basiszahl os , d. h. $= 2,425 \cdot 2 = 4,85$ Quadr.-Met., bezw. Cub.-Met.

Nach Gleichung 148 (S. 186) wird

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 4,85) 4,85} = \infty 0,28 \text{ m,}$$

also größer als d . Mithin würde die Gewölbsstärke durchweg zu 0,28 m angenommen werden. Sie war in der Zeichnung zu 0,30 m gewählt.

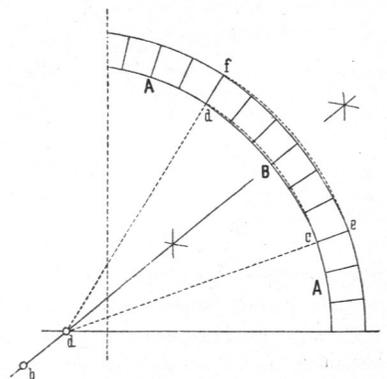
Ein anderer Weg zur Bestimmung der Größe des Gewölbschubes $fo = bo$ und der Lage des Angriffspunktes x für die durch D und C gehende Drucklinie ist der folgende.

Das Stück DBD des Gewölbes besitzt ein Gewicht cI , welches gleich dem zweifachen der Strecke oI ist, während das Gewicht jedes Stückes $DC = P$ gleich der Strecke Iq wird. Zerlegt man das Gewicht cI in n nach den Richtungen nD , nD in die beiden gleichen Seitenkräfte cd , dI , so wirkt im Punkte D zunächst eine solche Kraft dI . Außerdem wirkt in D eine wagrechte Kraft eI , welche als Seitenkraft der durch pC gehenden und hiermit der Lage nach bestimmten Resultirenden eI in Verbindung mit der bekannten Kraft P im Kräfteedreieck Iqe sofort zu ermitteln ist. Die in D wirkfame, aus dI und eI entstehende Mittelkraft fI ist die im Punkte D auftretende Pressung. Die wagrechte Seitenkraft fo dieser Pressung ist der gefuchte Horizontal-schub. Der parallel zu fI gezogene Strahl Do_4 schneidet die Gewichtslinie des Stückes BD im Punkte o_4 . Die durch o_4 gelegte Wagrechte o_4k_1 , trifft die angenommene lothrechte Scheitelfuge B im gefuchten Punkte x .

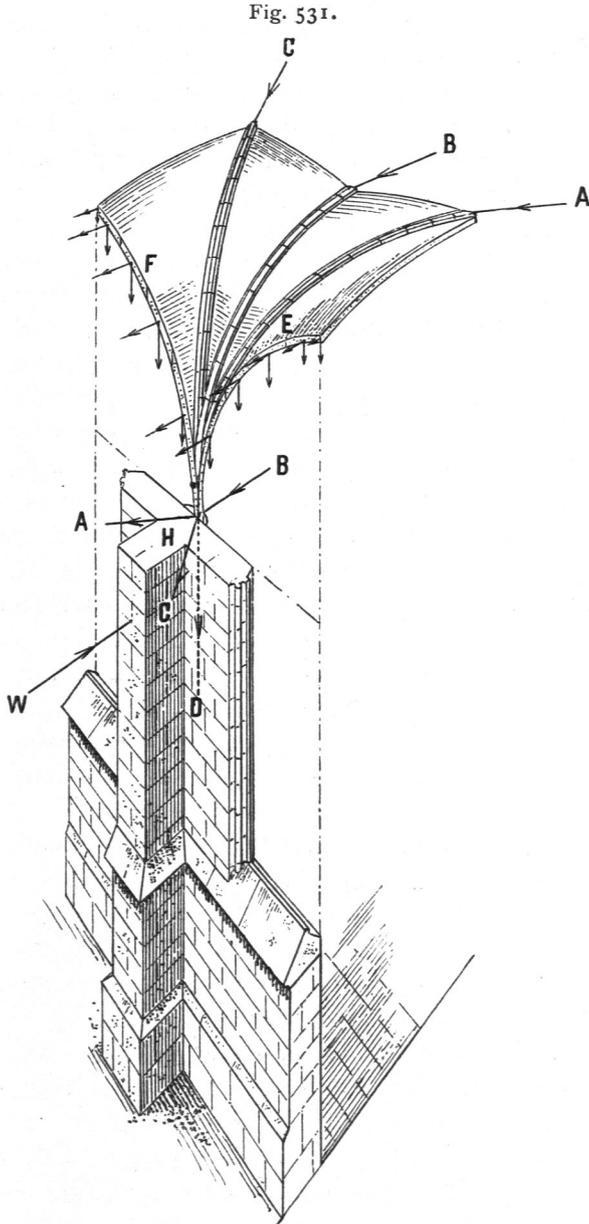
Aus dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes $xDCq$ erkennt man ihre ziemlich steile Stellung zwischen den Bruchfugen C und D . Hiernach könnte zur Erzielung einer statisch günstigen Bogenform unter Umständen eine Umgestaltung des ursprünglichen Spitzbogens in einen Korbbogen derart vorgenommen werden, daß nach den Angaben von *Viollet-le-Duc*¹⁸⁴⁾ der mittlere, überwiegende Theil B (Fig. 530) mit einem größeren Halbmesser bB beschrieben würde, als die oberen und unteren kürzeren Bogenstücke A , deren gemeinschaftlicher Mittelpunkt in a liegt.

Ist das gesammte Rippenystem eines gothischen Kreuzgewölbes planmäßig fest gelegt, ist die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

Fig. 530.



zufällige Belastung des Gewölbes bestimmt, so sind zunächst, den in Art. 315 (S. 460) unter α gegebenen Entwicklungen entsprechend, die von den Gewölbekappen auf die einzelnen Rippenkörper gelangenden Gewichte und Pressungen zu ermitteln. Sodann sind die hieraus resultierenden Kräfte als äußere angreifende Kräfte für den Rippenkörper fest zu stellen, und endlich ist unter Berücksichtigung des Eigengewichtes, einschliesslich einer vielleicht vorhandenen besonderen Belastung der Rippen, die eigentliche statische Untersuchung des Rippenystems auch unter Beobachtung der gewählten Spitzbogenform doch ihrem Wesen nach ganz in der Weise durchzuführen, wie in Art. 253 (S. 375) und 254 (S. 377) bei der Untersuchung der Stabilität der Gratbogen cylindrischer Kreuzgewölbe eingehend angegeben und durch Beispiele erklärt ist.



Eben so ist nach der Bestimmung des für den Rippenbogen entstehenden Horizontal-schubes, bzw. Normaldruckes, unter Anwendung der Gleichungen 142 u. 148 (S. 185 u. 186), bzw. der Gleichungen 145 u. 150 (S. 186 u. 187) die Stärke der Rippen bei Anwendung von Quadermaterial oder von Backsteinen zu berechnen.

Unter besonderen baulichen Verhältnissen kann aber für die Standfähigkeit der Gewölberippen oder auch des gefamten Gewölbfystems ein starker Winddruck, welcher auf die Flächen der feitlichen Begrenzungen der Gewölbeanlage gelangt, von nachtheiliger Wirkung sein. Bestimmt man nach Anleitung von Fig. 531 für die Kappengebiete *E* und *F* mit ihrer Gurtrippe *B* und ihren Diagonalrippen *A* und *C* die für eine zugehörige feitliche Begrenzungsfläche in Betracht kommenden Gewölbschübe, so lässt sich für diese den Widerlagskörper *H* des Gewölbes angreifenden Kräfte an sich ein standfähiges Widerlager schaffen. Wirkt nun aber auf diesen Widerlagskörper von aussen der Winddruck ein, dessen resultierende, winkelrecht zur Seitenfläche des Widerlagers gerichtete Pressung *W* die aus den Gewölb-

329
Stärke
der
Rippen.

330.
Winddruck.

schüben entstehende Mittelkraft an GröÙe übertrifft, so wird dieser Ueberschufs des Winddruckes das Gewölbe in Mitleidenschaft ziehen und, durch dasselbe fließend, sowohl ein etwa vorhandenes Pfeiler- oder Säulensystem, wie auch schließlich die andere seitliche Aufsenmauer des Gewölbgebietes besonders beanspruchen. Während dieses Vorganges erleiden auch die für die Rippen früher ohne Berücksichtigung des Winddruckes etwa gezeichneten Mittellinien des Druckes eine Veränderung, deren gewissenhafte Bestimmung erst Aufschluss über die nothwendige Stärke dieser Gewölbtheile zu geben vermag. Mit diesen Veränderungen der Drucklinien in den Rippen stehen wiederum Veränderungen in den Kappen und im Stützengebilde der Gewölbeanlage in innigem Zusammenhange. Eine durchweg scharfe und genaue Ermittlung dieser sämmtlichen Veränderungen ist aber mit so großen Schwierigkeiten verknüpft, dass man nur durch Näherung einigen Aufschluss über die erwähnten Einflüsse des Winddruckes auf das Wölbsystem gewinnen wird. Selbst die Annahme über die GröÙe des in Rechnung zu stellenden Winddruckes ist noch Schwankungen unterworfen. Der in Deutschland noch mannigfach angenommene größte Werth von 120 kg Druck auf 1 qm einer vom Winde senkrecht getroffenen Fläche ist neueren Erfahrungen nach bei herrschenden Stürmen erheblich überschritten. Immerhin darf der Einfluss des Windes bei Gewölbeanlagen zwischen hohen Begrenzungsmauern nicht außer Acht gelassen werden. Deshalb ist dahin zu sehen, dass die dem Gewölbschube und dem Winddrucke ausgesetzten Begrenzungsmauern der Gewölbeanlage zur Erreichung entsprechender Sicherheit an und für sich mit ihren etwa vorhandenen Strebepfeilern, bezw. Strebebogen zunächst vollständige Standfähigkeit gegen den antretenden gesammten Gewölbschub besitzen, sodann aber auch eine solche Stärke erhalten, dass sie fähig sind, dem Winddruck allein Widerstand zu leisten, ohne dass ein nachtheiliger, die GröÙe des Gewölbschubes übertreffender Winddruck durch das Gewölbe selbst auf die übrigen Gewölbstützen oder Widerlager übertragen wird.

Treten Fälle ein, wobei für die Begrenzungsmauern oder für diese und die Stützen des Gewölbes nur eine Stärke zugelassen werden kann, welche nicht verhindert, dass der Ueberschufs des Winddruckes die Gewölb-Construction gleichsam für sich als Laufbahn in Anspruch nimmt, so muss die Stabilitäts-Untersuchung der ganzen Anlage durch das Auffuchen derjenigen Drucklinien vorgenommen werden, welche nach Ermittlung der sämmtlichen sich geltend machenden äußeren Kräfte für die Gewölberippen, Gewölbekappen und für die Widerlagskörper den erforderlichen Aufschluss über den Gleichgewichtszustand des ganzen Systemes zu geben vermögen.

Die hierzu erforderliche, sehr umfangreiche und in mehr oder weniger hohem Grade doch mit Mängeln behaftete Arbeit kann wesentlich vereinfacht und für die Praxis genügend in abgekürzter Weise ausgeführt werden, sobald man den etwa vorhandenen Ueberschufs der GröÙe des Winddruckes nur als allein wirksam für den Gurtbogen *B* (Fig. 531) zwischen der Kappengruppe von *E* bis *F* betrachtet. Nach dieser Annahme lässt sich das Auffinden der Mittellinie des Druckes in der Gurtrippe *B*, den vorhandenen Gewölbpfeilern, den Widerlagern mit oder ohne Strebepfeilern, bezw. Strebebogen ganz im Sinne des in Art. 147 (S. 213) Vorgetragenen bewirken und hiernach die Stabilität des Baukörpers beurtheilen.

Stellt sich bei diesen Untersuchungen ein nicht gerade sehr günstiger Verlauf der Mittellinien des Druckes, namentlich für die Gewölbpfeiler oder die seitlichen Widerlager, heraus, so kann man sehr häufig durch das schon mehrfach erwähnte

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 Bauteile 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 Grundrißfläche des Widerlagskörpers wird die Grundrißlänge *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.