



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

Die Gestalt der Rippen

[urn:nbn:de:hbz:466:1-80225](#)

Höhe Zug bekommt, der sich nur durch eine entsprechend hohe Hintermauerung oder eine entsprechende Verstärkung des unteren Kuppelteiles beseitigen lässt, wenn nicht zu eisernen Ringen gegriffen werden soll. Ein schlanker Spitzbogen ist viel vorteilhafter, er erfordert nur im unteren Stück eine Hintermauerung.

Im allgemeinen sind unten in die Senkrechte übergehende Linien nicht günstig, wählt man sie, so muss aussen eine zur Aufnahme des Druckes nötige Verstärkung vorausgesetzt werden, das innere untere Mauerwerk ist dann eine einfach füllende Masse.

Vorstehendes wird hinlänglich erläutert haben, welche grosse Ungebundenheit die allseits gekrümmte Fläche gegenüber der Tonne zeigt; in der Bevorzugung busiger Kappen zeigt daher das Mittelalter wieder in wunderbarer Weise sein feines, gleichzeitig praktisches und statisches Gefühl. In praktischem Sinne begünstigt die busige Kappe das freihändige Wölben, in statischer Hinsicht erlaubt sie die Einwölbung äusserst dünner Kappen in ziemlich willkürlichen Formen, die selbst bei starken Lastverschiebungen oder Verdrückungen immer noch stabil bleiben.

d. Die Gestalt der Rippen.

Die letzten Betrachtungen galten der Form der Gewölbekappen, fast noch wichtiger als diese aber ist der Widerlagsdruck, den jeder Streif der Kappe an seinen Enden auf die ihn stützenden Rippen oder Stirnbögen ausübt. Hat man für den Kappenstreif die Drucklinie ermittelt, so sind damit zugleich seine Endkräfte gefunden, man kann zu letzteren aber auch annähernd genau gelangen, wenn die etwas weitschweifige Konstruktion der Drucklinie nicht geboten erscheint.

Betrachtet man einen Kappenstreif als ein geschlossenes Ganzes, so kommen gewöhnlich nur drei Kräfte in Frage, das Gewicht und die beiden Widerlagskräfte. Das Gewicht (G in Fig. 128), das natürlich senkrecht durch den Schwerpunkt zu legen ist, kann man sich berechnen, es setzt sich zusammen aus dem Eigengewicht des Bogens und der etwa darauf ruhenden Oberlast. Die Richtung der Widerlagskräfte W_1 und W_2 muss ziemlich genau mit der Richtung der Bogenenden (oder deren Tangenten) zusammenfallen, da die meist sehr dünnen Kappen den in ihnen liegenden Druckkräften keinen grossen Spielraum gestatten, außerdem müssen die Widerlagsdrücke durch einen gemeinsamen auf der Linie G liegenden Schnittpunkt O gehen. Danach kann man annähernd genau die mutmassliche Lage der Kräfte in die Zeichnung eintragen. Sollte eine solche Lage nicht gut zu erreichen sein, so ist darin der Beweis zu erblicken, dass die Kappen eine statisch ungünstige Form haben, also geändert werden müssen (vergl. Fig. 128a). Hat man die Richtung der Widerlagskräfte angenommen, so findet man ihre Grösse, dadurch, dass man die Kraft G einfach nach dem Parallelogramm der Kräfte zerlegt.

Grösse und Richtung der Widerlagsdrücke steht in direkter Abhängigkeit zu der Richtung der Kappe, wie Fig. 129 veranschaulicht. Es ist hier von der Rippe A zur Rippe B ein Kappenstreif hinüber zu spannen, welchem man die Lagen I , II und III geben kann, die diesen Lagen zugehörigen Endkräfte sind durch Pfeile mit den entsprechenden Ziffern kenntlich gemacht. Man sieht, ihre Richtungen gehen weit auseinander, um gleichzeitig ihre Grössenunterschiede klarzulegen, sind in den

Druck der
Kappen auf
die Rippen.

Fig. 129a bis 129c Kraftzerlegungen für die drei Fälle vorgenommen. Zunächst ist das für alle drei Fälle gleich vorausgesetzte Gewicht G in die Widerlagsdrücke W_1 und W_2 zerlegt, und diese sind an den Auflagerpunkten wieder je in eine horizontale Seitenkraft (H_1 bez. H_2) und eine vertikale Kraft (V_1 bez. V_2) zerteilt. Erstere ist der Seitenschub, welchen die Rippe bekommt, letztere die senkrechte Belastung der Rippe. In horizontaler Richtung treten nur die Kräfte H_1 und H_2 auf, dieselben müssen sich daher das Gleichgewicht halten, also gleich gross sein. In vertikaler Richtung muss die algebraische Summe der Auflagerdrücke V_1 und V_2 gleich der Kappenlast G sein. Die grosse Verschiedenheit der Schübe und Auflagerdrücke tritt aus den Figuren schlagend hervor.

Im ersten Falle also bei sehr stark gekrümmter Kappe ist der Schub gering, die senkrechte Last verteilt sich auf die beiden Rippen A und B .

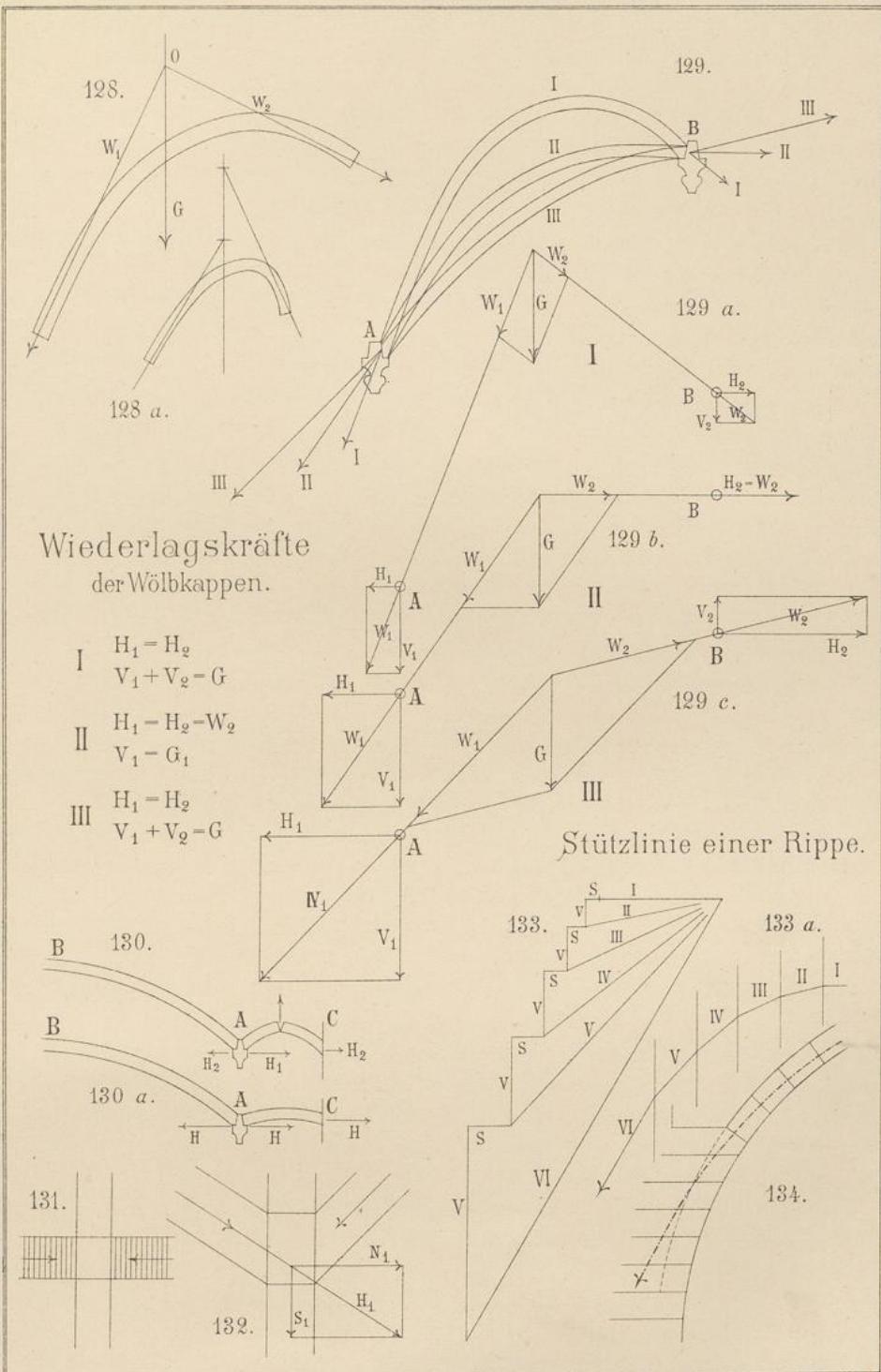
Im zweiten Fall, d. h. bei mässig gekrümmter Kappe, ist der Schub schon grösser, die senkrechte Kraft fällt hier nur dem Auflager A zu (also $V_1 = G$ und $V_2 = 0$) da das obere Ende der Kappe wagerecht gegen die Rippe B trifft.

Im dritten Fall bei ganz flacher Kappe, wird der Horizontalschub sehr gross. Bezüglich der Auflagerdrücke tritt hier eine wohl zu beachtende Eigentümlichkeit auf, der Druck V_2 ist nämlich nach oben gerichtet, während der Druck V_1 auf die untere Rippe um V_2 stärker ist, als die Kappenlast G (denn $V_1 - V_2 = G$). Dieser Fall wird stets eintreten müssen, wenn das eine Ende eines Bogens oder Gewölbes schräg nach oben weist, es kann dieses Ende nie einen nach unten gerichteten Druck auf das Widerlager bringen, es sucht vielmehr das Widerlager nach oben zu treiben. Im vorliegenden Falle wird die Rippe B nicht von der Kappe belastet, sondern sie wird von ihr getragen oder auch nach oben hinausgedrängt, wenn sie nicht schwer genug ist, die aufstrebende Kraft durch ihr Gewicht auszugleichen.

Die Horizontalkraft tritt natürlich ganz unbeirrt auch an dem nach oben gerichteten Bogenende auf, wie überhaupt der Schub weniger von der Richtung der Bogenenden als von der Stärke der Krümmung oder dem Pfeilverhältnis des Bogens abhängt. Je flacher und schwerer der Bogen, um so grösser wird sein Schub, das gilt allgemein, mögen die Widerlagspunkte zu einander liegen wie sie wollen.

Man hat es nach Fig. 129 in weiten Grenzen in der Hand, durch entsprechende Wahl der Kappenkrümmung die Grösse des Schubes nach Bedürfnis zu regeln, ein Umstand, der die höchste Bedeutung für die Wölbruppen hat. Letztere sind so schmal, dass sie bei einem starken, einseitigen Schube sofort seitlich ausbauchen würden, es muss sich daher der Schub der beiden Kappen in der Richtung quer zu der Rippe aufheben. Wenn z. B. eine Rippe A (Fig. 130) von der linken Seite durch eine grosse, schwere Kappe sehr stark seitwärts gehoben wird, so würde es sehr fehlerhaft sein, rechts eine leichte, stark gekrümmte Kappe anzuschliessen, sie würde durch das Uebermass an Wölbschub von der anderen Kappe nach oben hinausgedrängt. Es muss vielmehr die rechtsseitige Kappe sehr flach und nötigenfalls künstlich belastet sein, damit sie einen gleich grossen Schub liefert, der natürlich auch an dem anderen Widerlager C auftritt (Fig. 130a). Derartige Rücksichten können z. B. nötig werden für die seitliche Stichkappe eines Netz- oder Stern gewölbes.

Tafel XVII.



Wenn die kleinere Kappe rechts in der Schubrichtung zu hoch, dagegen in irgend einer „schrägen Richtung“ flach genug ist, so wird sich der überwiegende Schub nach dort lenken und dadurch abgefangen werden können.

Es ist bisher zuerst die Form der Gewölkappen behandelt, sodann ist eine Ermittlung der Kräfte vorgenommen, welche die Kappenteile auf die Rippen ausüben, es erübrigts jetzt nur noch, aus diesen Kräften die richtige Form der Rippen Biegung der Rippen. abzuleiten. Am einfachsten würde dies möglich sein, wenn die Rippe von Kappentreifen belastet würde, die im Grundriss gesehen (Fig. 131) beiderseits senkrecht auf die Rippe stossen. Jeder Streif überträgt nach Fig. 129a usw. auf die Rippe einen Horizontalschub H und einen Vertikaldruck V . Die Horizontalschübe heben sich bei richtiger Konstruktion von beiden Seiten auf, es bleiben also nur die Vertikalkräfte der beiden Streifen übrig, die sich addieren und verbunden mit dem Eigengewicht des betreffenden Rippenstückes dessen Gesamtlast ausmachen. Alle Rippenstücke bekommen in dieser Weise ihre zugehörigen Vertikallasten, aus denen man auf einfache Art genau so, wie es in Fig. 124 gezeigt ist, die Stützlinie für die Rippe konstruiert und zugleich die richtige Rippenkrümmung ermittelt, der man die Rippenform anpasst, so weit es möglich ist.

Dass die belastenden Kappentreifen gerade senkrecht gegen die Rippe treffen, ist, wie die Figuren 116 bis 121 ausweisen, selten anzunehmen, meist werden die Streifen schräg einmünden Fig. 132. Jedes der beiden Streifenenden übt wieder einen senkrechten Auflagerdruck und einen Schub aus, die beiden senkrechten Kräfte geben wieder zusammen mit dem Eigengewicht des Rippenstückes dessen Vertikalbelastung V .

Der Horizontalschub eines Rippenendes H_1 in Fig. 132 trifft aber schräg gegen die Rippe, er ist noch zu zerlegen in eine Kraft N_1 senkrecht zur Rippenebene und in eine Schubkraft S_1 , welche wagerecht in der Rippenebene liegt. Die Kraft N_1 muss sich mit der entsprechenden Seitenkraft vom anderen Streifenende aufheben, die Kraft S_1 dagegen vereinigt sich mit der entsprechenden Kraft des anderen Kappentreifen zu einem gemeinsamen Schub S , der das Rippenstück fortzubewegen sucht. Auf jedes Rippenstück wirken jetzt also zwei Kräfte, die Vertikallast V und der Schub S . Trägt man den Kräfteplan für einen Rippenast auf, so bekommt derselbe ein treppenartiges Aussehen, im Uebrigen zeigt die Konstruktion der Drucklinie keine Abweichung (vergl. Fig. 133).

Dieser Stützlinie muss sich die Form der Rippe möglichst anpassen, was allerdings schwerlich ganz zu erreichen ist, da wie die Skizze 134 zeigt, die Drucklinie unten sich nicht der Senkrechten nähert, sondern ziemlich flach bleibt. Die Ellipse des römischen Gewölbes ist für den Grat recht ungünstig, der Halbkreis und der Spitzbogen sind schon wegen ihrer grösseren Pfeilhöhe vorteilhafter, noch besser würde ein Knickbogen oder bei niederen Gewölben ein Flachbogen sein, der wie die Stützlinie schräg ans Widerlager schneidet. Jedenfalls ist es wichtig, den Rippen- Sicherung des Rippenanfangs — Hintermauerung. anfänger unten sehr fest mit dem Widerlager zu verbinden, damit die Drucklinie ganz unbeschadet schon höher über dem Widerlagspunkt das Rippenprofil verlassen und von der Hintermauerung sicher aufgenommen werden kann. Bei Werkstein sind grosse durchbindende Anfängersteine am Platze, bei Ziegelstein müssen

die Zwickel gleich in möglichst festem Verband mit hochgenommen und event. mit Zementzusatz gemauert werden. Ein leichtfertiges, nachheriges Ausfüllen der tiefsten Zwickel ist sehr bedenklich.

Die so wichtige Frage, wie weit man mit der Hintermauerung der Zwickel hinaufzugehen habe, lässt sich schwer allgemein beantworten, für wichtige Fälle empfiehlt es sich, die Drucklinie unter Berücksichtigung des Zwickelgewichtes aufzutragen. Als ungefähren Anhalt kann man annehmen, dass man bei den elliptischen Graten des römischen Gewölbes unbeschadet bis zwei Drittel der Höhe ausmauern kann, während man sich bei Rund- und Spitzbögen mit $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ begnügt. Bei schlanken Spitzbögen darf man die Ausmauerung nicht zu hoch treiben, da sonst der Scheitel des Bogens in die Höhe gedrängt wird. (Vergl. auch Fig. 127 nebst dem zugehörigen Text.)

Druck auf
den
Querschnitt.

Soll das Gurt- oder Rippenprofil zum thatsächlichen Träger des zusammenfliessenden Druckes werden, so muss die Stützlinie in ihm ein gesichertes Unterkommen finden, überdies darf in keinem Querschnitt der Rippe die Druckpressung zu gross werden. Als zulässigen Druck auf einen Quadratzentimeter Fläche kann man annehmen bei guten (nicht porösen) Ziegeln in Kalkmörtel 7 Kilogramm, bei sehr festen Ziegeln in Zement etwa 11 Kilogramm, bei Werkstein in gutem Mörtel oder Blei versetzt bis 20 Kilogramm und darüber. Da der Mörtel aber beim Zuwölben erst wenig erhärtet ist, nimmt man besser kleinere Beanspruchungen. Eine gleichmässige Druckverteilung über die ganze Querschnittsfläche darf, wie gesagt, nur vorausgesetzt werden, wenn die Drucklinie gerade durch den Mittelpunkt des Querschnittes geht, rückt sie unten an die Grenze des mittleren Drittels (richtiger an die Grenze des Querschnittkernes), so ist der Druck an der unteren Kante doppelt so gross als der Durchschnittsdruck, wird aber der Druck noch mehr exzentrisch, so steigert sich die Kantenpressung noch weit mehr. (Ueber die Verteilung des Druckes über den Querschnitt siehe hinten Widerlager, Fig. 375—386.) Es darf natürlich auch an der am meisten gedrückten Kante der Druck auf einen Quadratzentimeter die angegebenen Ziffern nicht überschreiten. Wenn die Drucklinie sich der oberen Grenze des Profiles nähert oder gar darüber hinausfällt, so ist das weniger bedenklich, da dann die benachbarten Kappenteile mit zur Druckübertragung herangezogen werden. Bei sehr kleinen oder ganz fehlenden Rippen haben die der Gratkante benachbarten Kappenteile die Druckübermittlung ganz auf sich zu nehmen; bei grösseren Gewölben ist in solchen Fällen eine verstärkende Uebermauerung auf dem Rücken des Grates geboten (vgl. hinten Fig. 324).

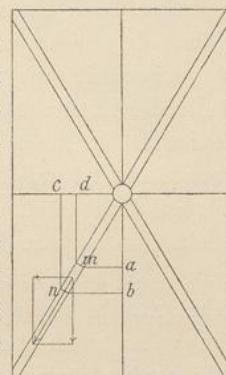
Beispiel:
Druck in
einem recht-
eckigen
Kreuz-
gewölbe.

Zum Schluss dieser Betrachtungen sei als Beispiel kurz der Weg skizziert, der bei der Kräfteausmittelung für ein rechteckiges Kreuzgewölbe mit geraden Scheiteln einzuschlagen wäre. Die Kappen eines solchen Gewölbes haben eine tonnenartige Gestalt, sind daher senkrecht zu ihrer Richtung in Parallelstreifen zu zerlegen (siehe Fig. 135). Ein Rippenstück $m\ n$ würde von den beiden Streifenhälften $m\ n\ e\ d$ und $m\ n\ b\ a$ belastet werden. Will man die Aufrissform dieser Streifen prüfen, so kann man für sie die Drucklinie konstruieren, sonst kann man sich damit begnügen, ihre Auflagerdrücke auf vereinfachte Weise nach Massgabe der Figuren 128 und 129 zu ermitteln. Die Grundflächen der beiden Streifen sind

bei rechteckigen Gewölben gleich gross, infolge dessen wird bei gleicher Kappensstärke auch ihr Gewicht ziemlich gleich sein, sie liefern mithin für das Rippenstück etwa gleich grosse Vertikaldrücke. Die Horizontalkräfte sind dagegen verschieden und zwar überwiegt diejenige des längeren Streifen. Bei gleicher Scheitelhöhe, gleicher Stärke und einer der Stützlinie nicht zu unähnlichen Ausbildung beider Kappen wird sich aber die Grösse der Schübe verhalten wie die Grösse der vorliegenden Rechteckseiten, was zur Folge hat, dass die Mittelkraft aus beiden Schüben in die Richtung der Rippe fällt. Somit wird ein seitliches Ausbauchen der Rippe bei derartigen rechteckigen, natürlich auch quadratischen Feldern nicht zu fürchten sein. (Würde der Schub gegen die Rippe von einer Seite überwiegen, so würde das für gewöhnliche Kreuzgewölbe übrigens nicht gar zu ängstlich sein, da fast immer eine flachere Richtung in der Kappe aufzufinden ist, die das Geschäft der Absteifung übernehmen könnte). Aus den Vertikallasten und Schüben der einzelnen Rippenstücke konstruiert man nach Fig. 133 die Drucklinie für die Rippe und ermittelt damit auch den Schub des ganzen Gewölbes auf die stützenden Mauerkörper.

135.

Wenn im Vorstehenden den statischen Anforderungen an die Gewölbebildung ein gewisser Platz eingeräumt ist, so soll damit weniger bezweckt sein, den Baumeister zu einer genauen Kräfteausmittelung für „jedes“ auszuführende Gewölbe anzuspornen; vielmehr soll er zunächst in den Stand gesetzt werden, sich von den jeweiligen Kräften, die er in seinem Gewölbe zu gewärtigen hat, eine richtige Vorstellung zu machen, die ihn vor Fehlschritten bewahrt.



Die Gesamtgestalt reicher Rippengewölbe und das Austragen der Rippenbögen.

Die Aufrissgestaltung der Rippen eines gewöhnlichen Kreuzgewölbes hat bereits in einem besonderen Kapitel Erledigung gefunden, hier handelt es sich um die reicheren Stern- und Netzbildungen. In welcher Weise den statischen Forderungen Rechnung zu tragen ist, wurde soeben entwickelt, es trat dabei besonders der Unterschied zwischen den festgeknüpften, freiere Aufrissbildung gewährenden Sternformen und den beweglichen an eine einheitliche Gesamtform gebundenen Maschensystemen hervor. Die frühere Gotik nutzte die grössere Unabhängigkeit ihrer Sternformen aus, sie legte die seitlichen Schlusspunkte bald höher, bald tiefer als den mittleren und liess die Kappen bald nach der Mitte, bald nach aussen steigen, ganz nach dem jeweiligen Bedürfnis, soweit es die Ansprüche des Gleichgewichts gestatteten. Die Allgemeine späteren Netzformen mussten sich aus statischen Gründen mehr einheitlich gebogenen Formen. Gesamtformen anbequemen, an die man sich um so mehr anklammerte, je mehr man sich ausser Stand sah, die immer kompliziertere Kräftekündigung klar zu überblicken, Die Sterngewölbe wurden, wenn auch unnötig, mit in diesen Entwicklungsgang