



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

Gegenseitige Lage der Kreuzpunkte

[urn:nbn:de:hbz:466:1-80225](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-80225)

5. Die Aufrissgestaltung der Gewölbe nach statischen und praktischen Rücksichten.

Im vorigen Kapitel sind die reicheren Gewölbformen vorwiegend nach der „Grundrissbildung“ ihrer Rippen behandelt, nunmehr sollen die wichtigsten Anforderungen an die „Aufrissgestaltung“ zusammengestellt werden.

Die Mannigfaltigkeit der Aufrissbildung ist nicht geringer als die der Grundrisssteilung. Das Prinzip der Gotik, jeden Bauteil streng aus den jeweiligen Bedingungen herauszuentwickeln, tritt bei der Ueberwölbung besonders hervor. Für zwei verschiedene Grundbedingungen schafft die Gotik auch zwei verschiedene Gewölbe. Die veränderliche Grundform der Joche, die vorhandene Konstruktionshöhe, Beschaffenheit der Baustoffe, absolute Grösse der Wölbung, Höhenlage der Lichtöffnungen, Beschaffenheit und Verteilung der das Gewölbe tragenden Stützen — das alles schafft immerfort veränderte Vorbedingungen, die den willkommenen Antrieb zu stets neuen Lösungen geben. In diesem ständigen Wechsel ruhet zum grossen Teil der zauberhafte Reiz der mittelalterlichen Werke.

Es war natürlich, dass unter „ähnlichen Verhältnissen“ auch „ähnliche Bildungen“ sich ergaben, die ein gemeinsames wiederkehrendes Gepräge annahmen, aber anfangs nie zu einer Erstarrung führten. Die Bauhütten dürften zunächst ihr Streben lediglich auf eine Schulung im eigentlichen Wesen der Sache gelenkt haben, nicht auf einen toten Formelkram; dieser kann selbst in der späteren Zeit nicht allzu starr gewesen sein, das beweist die ungebundene Abwechslung und die immer noch von Jahrzehnt zu Jahrzehnt erkennbare lebensvolle Umgestaltung der Formen. Am letzten Ausgange des Mittelalters war allerdings immer mehr des „Zirkels Kunst und Gerechtigkeit“ zu Ehren gekommen und aus der lebenden Konstruktionskunde eine tote Handwerksform geworden, die sich in die Renaissancezeit übertrug und hier ausser Zusammenhang mit dem praktischen Schaffen gänzlich verknöcherte, bis sie sich erst an der Schwelle unserer Tage in ihren letzten Resten verliert.

Sehr lehrreich ist in dieser Richtung die umfangreiche Arbeit von FR. HOFFSTADT — das gotische A B C — Frankfurt 1840. Der Verfasser hat, gestützt auf Ueberlieferungen aus dem späteren Mittelalter, noch mehr aber auf solche aus dem XVI. bis XVIII. Jahrhundert (Zeichnungen, Meisterschriften, Modelle u. dgl.) ein ganzes System von geometrischen Konstruktionsregeln entwickelt, die sich auf alle Theile des gotischen Bauwerks, als Mauer- und Pfeilerstärke, Fenstermasswerk, Gewölbbogen, ja selbst auf das spätgotische Laubwerk erstrecken. Die geometrischen Beziehungen sind meist aus dem Quadrat (Verhältnis von Seite zur Diagonale) aus dem gleichseitigen Dreieck und aus dem Kreis entwickelt. So lehrreich die Arbeit nach mancher Richtung ist, so darf man ihr doch für das Verständnis der frühen und mittleren Gotik jedenfalls keinen erheblichen Wert beimessen. Einige Konstruktionsregeln für Stern- und Netzgewölbe, die gerade durch HOFFSTADT verbreitet sind, werden am Schluss dieses Kapitels eine Besprechung finden, zuvor scheint es aber geboten, diese Gewölbe von anderen Gesichtspunkten aus zu betrachten.

Die Gestaltung der Wölbform mit Rücksicht auf das Gleichgewicht der Kräfte.

a. Gegenseitige Lage der Kreuzpunkte.

Um die Vorstellung von der Lage und wechselseitigen Abhängigkeit der Kreuzpunkte eines reichen Rippengewölbes zu erleichtern, denke man sich zunächst die ^{Das Gewölbe als} Stabsystem.

Kappen fehlend und die Rippen ersetzt durch gerade Stäbe oder Spreizen, die so eingerichtet sind, dass sie nur Druck, keinen Zug zu übertragen vermögen. Von einem Gewicht oder einer Belastung dieser Spreizen sei einstweilen abgesehen, alle vorhandenen Lasten mögen auf die Knoten- oder Kreuzpunkte vereinigt sein, welche letztere als bewegliche Gelenke zu denken sind.

Ein gewöhnliches Kreuzgewölbe nimmt sodann die Gestalt einer vierseitigen Pyramide an (vgl. Fig. 104). Bei einem einfachen Sterngewölbe setzt sich auf jede Seite der vorigen Pyramide noch eine dreiseitige Pyramide auf (vgl. die linke Seite der Figur). Wenn die vier Widerlagspunkte A, B, C, D fest und unverschieblich sind, dann ist auch die Spitze S ein fester Punkt. Damit sind dann auch alle drei Fusspunkte A, B und S der kleinen Pyramide fest und somit auch deren Spitze E . Diese Spitze könnte ihrerseits wieder den festen Stützpunkt für eine Firstrippe E, F abgeben. Das ganze Sterngewölbe stellt sich somit dar als ein festes unverschiebliches Gerüst von Stäben.

Die kleine Pyramide kann viel flacher sein als in der Figur gezeichnet, die Spitze kann ziemlich dicht auf die Grundfläche herabrücken (vgl. ME in Fig. 105). So lange ein Hochdrängen des Scheitels S verhütet wird (siehe darüber hinten S. 43) so lange bleibt die Haltbarkeit der Pyramide dabei noch immer gesichert, nur werden die Druckspannungen in den drei Stäben grösser, je flacher ihre Neigung ist. Wenn nun aber die Spitze noch weiter herabrückt, so dass sie in die Grundfläche ABS hineinfällt oder gar unter ihr liegt, dann wird die Grenze der Haltbarkeit erreicht oder überschritten sein, die drei Stäbe werden herabfallen (da ja eine Sicherung gegen Zug nicht angenommen war).

1. Gesicherte
Höhenlage
der Kreuz-
punkte.

Daraus folgt die erste Grundbedingung für die Haltbarkeit des Gewölbes: Jeder Kreuzpunkt muss oberhalb der Ebene liegen, welche durch die Fusspunkte seiner „stützenden“ Rippen gelegt wird.

Die Holzspreizen seien nun durch die wirklichen Rippen aus Stein ersetzt. Sehr kurze Rippen könnten als eine gerade Steinspreize gebildet sein, wie die englische Spätgotik thatsächlich gerade Rippen von geringerer Länge verwandt hat, die natürlich aus einem Stück bestehen mussten. Sobald längere Rippen aus einer grösseren Anzahl von Steinen zusammengesetzt werden, bildet sich der naturgemässe Uebergang, der hier wie an anderer Stelle vom Steinbalken zum Bogen führt. Die Bogenform wird schon durch das eigene Gewicht der Rippe, noch mehr aber durch die Belastung seitens der Kappen bedingt. Durch die gekrümmte Rippenform wird der obigen Grundbedingung für die Haltbarkeit eines Schlusspunktes aber noch eine zweite zugefügt. In Fig. 106 würde nämlich der Schlusspunkt E wohl durch die geraden Spreizen AE und BE getragen werden können, nicht aber durch die Rippenbögen über denselben. Diese zeigen zwischen R und S eine Einsenkung, welche ein Herabfallen der mittleren Rippensteine nach sich ziehen würde. Wenn von einer Aufhängung des Kreuzpunktes an oberen besonderen Tragbögen oder ähnlichen Künsteleien abgesehen wird, dann kann das Rippenstück nur dadurch haltbar gemacht werden, dass man dem Rücken so viel Masse zugiebt als es die sichere Druckübertragung erfordert oder dadurch, dass man eine längere Strecke vw aus einem einzigen festen Stein herstellt, der unter den einwirkenden Kräften nicht zerbricht.

Unter solchen Bedingungen finden sich in der That Beispiele von etwas eingesenkten Kreuzpunkten (z. B. an den reichen Netzgewölben des Kreuzganges zu Aachen).

Aus vorigem folgt die zweite Grundbedingung: Die stützenden Rippen dürfen sich am Kreuzpunkt nicht stark nach innen einsenken, es sei denn, dass hier besondere Sicherungen vorgesehen sind.

2. Vermeidung eingesenkter Kreuzpunkte.

Ohne Weiteres ergibt sich noch die dritte Bedingung, dass jeder Kreuzpunkt von mindestens drei Rippenästen gestützt sein muss, die so gerichtet sind, dass jede beliebige durch den Kreuzpunkt gelegte senkrechte Ebene beiderseits mindestens eine Rippe hat.

3. Unterstützung des Kreuzpunktes durch Rippen.

Als Grenzfall würde die Unterstützung eines Schlusspunktes durch nur zwei in einer Ebene liegende Rippenäste gelten können, letztere würden ebenso wie zwei gegeneinander gerichtete Dachsparren aufrecht stehen, so lange keine quer gerichtete Seitenkraft auf sie einwirkt. Eine solche würde immer eine seitliche Absteifung verlangen, die durch weitere Rippen oder unter Umständen durch die eingespannten Kappenflächen geboten werden könnte.

Sehr oft treffen mehr als drei Rippen in einem Kreuzpunkt zusammen und zwar vier, sechs, selbst acht und mehr. Unter diesen müssen mindestens drei vorhanden sein, welche die vorigen Bedingungen erfüllen; strenggenommen lässt sich überhaupt nur bei Vorhandensein von drei stützenden Rippen die Verteilung der Druckkräfte auf die einzelnen genau ermitteln, bei einer grösseren Zahl ist die Konstruktion nicht mehr statisch bestimmt, es können hier durch Zufälligkeiten der Ausführung schwer berechenbare Druckverteilungen eintreten (in gleicher Weise wie drei Beine eines Tisches stets ihren Anteil tragen, während das bei vier oder mehr Beinen nicht angenommen werden kann). Bei der Ausführung der Gewölbe trägt die Dehnbarkeit des Mörtels viel dazu bei, von vornherein eine selbstthätige angemessene Verteilung der Kräfte herbeizuführen. Bei einem vierseitigen Kreuzgewölbe kann man beispielsweise mit grosser Sicherheit voraussetzen, dass jede der vier Rippen ihren Kraftanteil richtig überträgt, es müsste denn eine wesentliche Verschiebung in der Lage der Widerlager oder in der Belastung stattgefunden haben.

Wenn sich mehr als drei Rippen in einem Schlusspunkt vereinen, so können sie sämtlich ihn unterstützen, oder es können ausser den erforderlichen Stützrippen auch belastende Rippen auftreten (vgl. DS in Fig. 107 und FE in Fig. 104). Als belastend muss eine Rippe gelten, wenn sie mit ihrem Fusspunkt oberhalb einer Ebene mno (Fig. 107) liegt, welche durch den Schlusspunkt S parallel zu der Grundebene ABC der Stützrippen gelegt ist.

Noch häufiger als derartige Rippen, welche mit einem Ende stützen, mit dem anderen aber belasten, kommen solche vor, welche mit jedem Ende einen Kreuzpunkt zu stützen haben oder richtiger zwei Punkte gegen einander abzusteifen haben. Solche verstrebbende Rippen kommen besonders an Netzgewölben vor, die oft ganze Züge derselben aufweisen. Man muss sie für jeden der beiden Kreuzpunkte als eine Stützrippe ansehen, z. B. os , ns usw. im Netzgewölbe 109 a. Im Sterngewölbe 108 würde dagegen ns als eine den Punkt s belastende und den Punkt n tragende Rippe gelten müssen.

Die Stäbe eines dem Stern- oder Netzgewölbe entsprechenden Gerüstes bekommen in der Regel sämtlich Druck bei einer senkrechten Belastung der Knotenpunkte. In besonderen Fällen kann aber auch eine Zugkraft in einem Stab (bez. Rippe) auftreten, wie folgende Betrachtung zeigt.

In Fig. 105 (Schema eines gewöhnlichen Sterngewölbes) möge der Punkt E sehr dicht über seiner Grundfläche ABS liegen und stark durch G belastet sein. G erzeugt in allen drei Stützrippen Druckkräfte, von denen diejenige der Rippe ES den Scheitel S zu heben sucht, falls er nicht in seiner Last P ein genügendes Gegengewicht hat. Ein Heben des Scheitels würde aber Zugkräfte in den Kreuzrippen AS usw. fordern.

Da eine gewöhnliche aufgemauerte Rippe keine Zugkraft ertragen kann, würde ein solches Gewölbe nicht haltbar sein. Es muss daher folgende vierte Grundbedingung aufgestellt werden: Form und Belastung des Gewölbes muss derart sein, dass keine Rippe in ihrer Längsrichtung eine Zugkraft aufnehmen braucht.

Die vorstehenden vier Bedingungen müssen stets erfüllt sein, wenn die gegenseitige Lage der Kreuzpunkte gesichert sein soll. Für einen Teil der Gewölbe genügen sie ganz allein, für andere reichen sie noch nicht aus. Daraus lässt sich wie wir sogleich sehen werden, ein entscheidendes Merkmal für die einfachen Kreuzbez. Sterngewölbe einerseits und die Netzgewölbe andererseits ableiten.

Bei einem Sterngewölbe, dessen Kreuzpunkte sämtlich von festen Punkten aus unverschieblich gestützt sind (Fig. 108 a, 108 b), ermöglicht eine jede Anordnung der Kreuzpunkte, welche den entwickelten vier Bedingungen entspricht, ein konstruktiv ausführbares Gewölbe. Diese Bedingungen gestatten aber noch einen grossen Spielraum, so kann in Fig. 108 der Kreuzpunkt *m* in gebotenen Grenzen (siehe oben) herabgesenkt werden, andererseits aber kann ein beliebiges Heben eines Punktes erfolgen (vgl. Punkt *n*). Eine jede derartige Form bildet eine unbewegliche Gleichgewichtslage der Kreuzpunkte zu einander, die auch bestehen bleibt, wenn die Last sich ändert. (Bei wechselnder Gestalt oder anderer Last ändern sich natürlich entsprechend die Grössen der Kräfte in den einzelnen Rippen, deren Abmessungen und Formen den Kräften angepasst sein müssen.) Die Vorzüge dieser Sternformen bestehen also darin, dass sie eine ziemlich willkürliche Anordnung der Kreuzpunkte zulassen und dass das ganze System selbst bei veränderter Belastung der Kreuzpunkte unverrückbar oder steif ist.

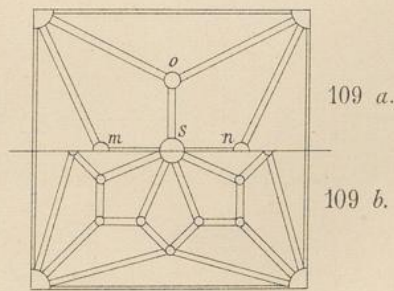
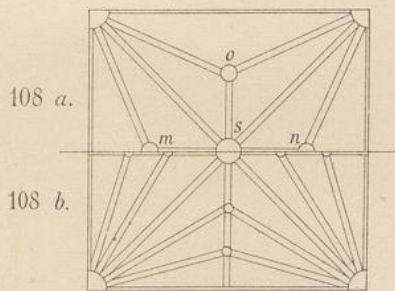
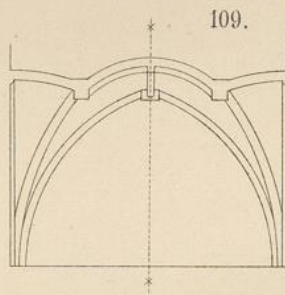
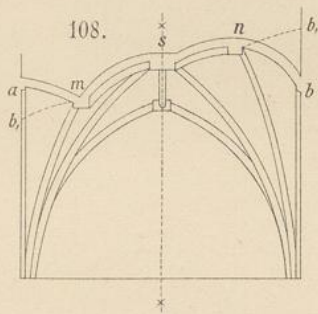
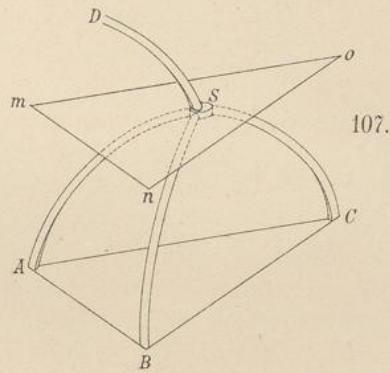
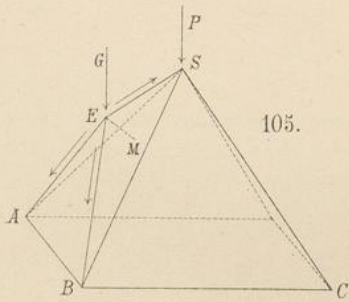
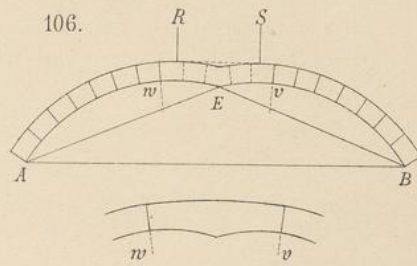
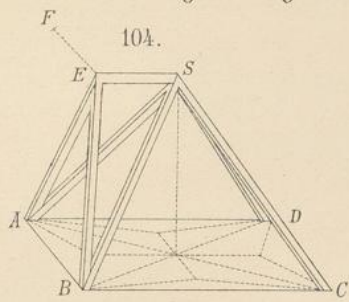
Anders verhält es sich mit dem Netzgewölbe 109 a, 109 b (vgl. 82, 83 und vielen anderen). Da die Kreuzbögen unterbrochen sind, wird der Scheitel *s* nicht fest durch sie unterstützt, er kann demzufolge auch nicht als unverrückbarer Fusspunkt für die weiteren Rippen *s o s m* usw. angesehen werden. Das ganze Rippennetz befindet sich in einem labilen Gleichgewichtszustande, wenn es als Stabsystem mit beweglichen Gelenken aufgefasst wird. Die Kreuzpunkte liegen nicht fest, sondern lassen sich gegeneinander verschieben. Eine Ruhelage des Systems ist nur möglich bei einer ganz bestimmten dieser Lage zugehörenden Belastungsart. Ändert sich die Lastverteilung im mindesten, so werden die Stäbe ihre Ruhelage verlassen und durcheinander fallen. Jede neue Belastung erfordert zur sicheren Aufnahme eine andere Lage der Stäbe. Soll z. B. der Scheitel *s* stärker beschwert werden, so muss er zuvor höher hinaufgerückt werden; allgemein fordert eine Lastzunahme ein Heben, eine Lastabnahme ein Senken des betreffenden Kreuzpunktes, damit eine Gleichgewichtslage entsteht. Man sieht, dass bei derartigen labilen „Netzformen“ die Höhenlage der Schlusspunkte durchaus nicht freigegeben ist; wenn die Widerlagspunkte und event. noch die Pfeilhöhe gegeben sind, so wird die weitere Höhenlage der einzelnen Kreuzpunkte durch die Belastung bedingt. Dem stellt sich, wie gezeigt, die grössere Freiheit in der Gestaltung der festen „Sterngewölbe“ gegenüber, die besonders in der früheren Zeit ihrer Verwendung mannigfach ausgenutzt

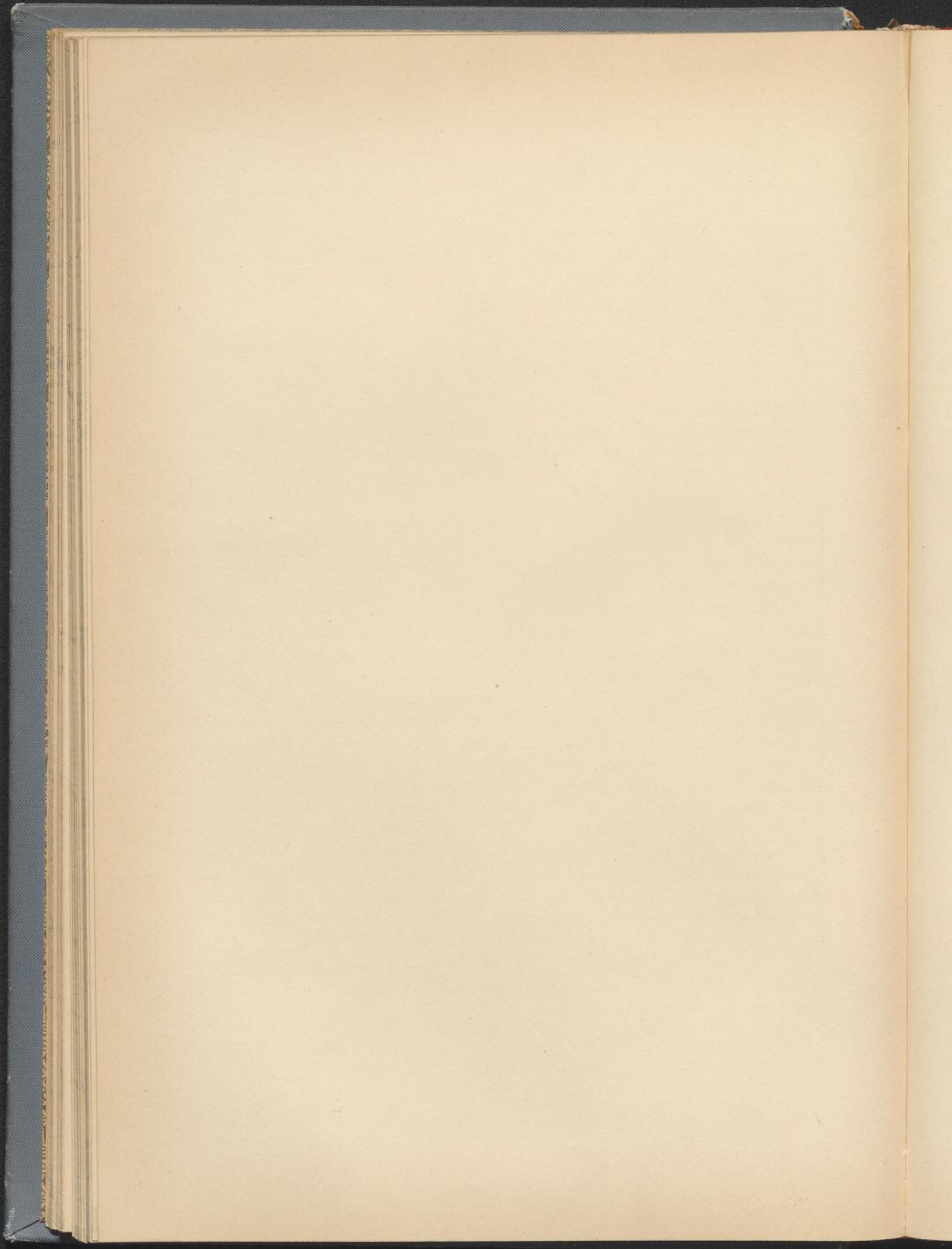
4. Unzulässigkeit von Zugkräften in den Rippen.

Lage der Kreuzpunkte bei Stern- und Netzgewölben.

Tafel XIII.

Gegenseitige Lage der Kreuzpunkte.





wurde; je mehr man aber in der späteren Gotik zu den beweglichen maschenartigen Netzformen überging, umso mehr mussten einheitlich gebogene Gesamtformen der Gewölbe gewählt werden, kugelhähnliche oder cylinderartige Flächen.

Wir glauben die Unterscheidung von Stern- und Netzgewölben am besten so fassen zu können, dass unter einer Sternform ein festverstrebt, unter Netzform dagegen ein labil verknüpftes Rippensystem zu verstehen ist. (In diesem Sinne werden beide Ausdrücke in der Folge verwandt werden.)

Unterscheidung der Stern- und Netzgewölbe.

Damit ein unverschiebliches oder steifes Stabsystem (Sterngewölbe) entsteht, sind bei m Kreuzpunkten und n Widerlagspunkten mindestens $3m + n - 3$ Stäbe erforderlich (die umschliessenden Stülpbögen sind dabei nicht als Stäbe mitgerechnet).

In Wirklichkeit sind die mit Masse behafteten Netzgewölbe natürlich längst nicht so labil, wie ein theoretisch gedachtes wesenloses Stabsystem. Die körperliche Ausdehnung der Rippen, die Steifigkeit der Knotenpunkte und die Versteifung durch die Kappen machen das Gewölbe in gewissen Grenzen unbeweglich. Bei nicht zu grossen Aenderungen in der Belastung werden die zugehörigen Stützlinien nicht sehr von einander abweichen, sodass sie alle im Innern der körperlichen Rippen einen gesicherten Platz finden. Wenn demnach das Netzgewölbe nach Form und Stärke richtig konstruiert ist, so steht es bezüglich der Haltbarkeit dem Sterngewölbe nicht gar so sehr nach, immer aber zeigt es diesem gegenüber die Fesseleiner geringeren Freiheit in der Höhenlage der einzelnen Schlusspunkte.

Wird alles noch einmal kurz zusammengefasst, so zeigt sich, dass die eingangs aufgestellten vier Bedingungen hinreichen, um für die festgestützten Sternformen eine gesicherte Lage der Kreuzpunkte zu prüfen, dass sie aber noch nicht ausreichen für die maschenartigen Netzsysteme. Für diese muss die allgemein gültige (auch jene Bedingungen einschliessende) Forderung angewandt werden, dass die Anordnung der Kreuzpunkte jedes Rippengewölbes einer aus der Belastung hervorgehende Gleichgewichtslage entsprechen muss.

Die theoretische Ermittlung der Gleichgewichtslage für die Kreuzpunkte eines solchen Gewölbes würde meist nicht sehr einfach sein. Man stellt sich ihre Gestalt am besten vor, wenn man sich unterhalb des Gewölbes ein herabhängendes Netz hergestellt denkt, dessen Knotenpunkte genau so belastet sind wie die des oberen Gewölbes. Dieses Netz wird eine Form annehmen, welche das getreue Spiegelbild eines oberen, dem Gewölbe entsprechenden Stabsystemes bildet. Der Unterschied zwischen dem Stabnetz und dem Seilnetz besteht darin, dass im ersteren sämtliche Stäbe auf Druck, im letzteren sämtliche Seile mit gleicher Kraft auf Zug beansprucht werden, ferner befindet sich das Stabnetz im labilen, das Seilnetz im pendelnden Gleichgewicht, d. h. ersteres hat das Bestreben, seine Gleichgewichtslage zu verlassen, letzteres immer wieder in dieselbe zurückzukehren. Aendert man die Belastung des Seilnetzes, so geht es selbstthätig in eine andere dieser Last entsprechende Gleichgewichtslage über. Letztere müsste auch dem Stabnetz gegeben werden, damit es bei der neuen Last stehen könnte. Wenn im Stabnetz bei einer Belastung irgendwo eine unerlaubte Zugkraft entstehen würde, so ist auch diese aus dem entsprechenden Seilnetz sofort zu erkennen, es werden sich hier die Knotenpunkte gegeneinander bewegen und das zwischen ihnen liegende Seil wird schlaff werden.

Seilpolygon und Seilnetz.

Ein solches Seilnetz ist für das Gewölbe dasselbe, was das Seilpolygon für einen Bogen ist. Wird unter einem Bogen ein Seil ausgespannt, das man genau so belastet wie den Bogen selbst, so wird es die theoretisch richtige Bogenlinie im Spiegelbild zeigen. Würde man die Lasten fortlaufend anbringen, so würde sich eine Kurve ergeben; da man aber die Lasten an einzelnen Punkten aufhängen wird, ergibt sich ein eckiger Linienzug „das Seilpolygon“. Die diesem entsprechende,

theoretisch richtige Bogenform wird als die „Stützlinie“ oder „Drucklinie“ des Bogens bezeichnet. Die graphische Statik konstruiert diese Linien in einfacher Weise durch mannigfache Anwendung des Parallelogrammes der Kräfte (vgl. MÜLLER-Breslau, Elemente der graphischen Statik und andere). Dabei findet man nicht nur die Richtung der Kräfte, sondern auch ihre Grösse. Eine Ausdehnung der graphischen Statik auf die räumlichen Netzformen ist für die meisten Fälle nicht so sehr einfach, da sie ihre Konstruktionen nur in der Ebene ausführen kann. Hat man z. B. mit drei von einem Punkte ausgehenden Kräften im Raume zu thun, so wird man zunächst zwei durch eine Resultierende ersetzen müssen, welche mit der dritten in einer Ebene liegt.

Für besondere Fälle der Praxis könnte es sich thatsächlich empfehlen, kleine Netzmodelle (vielleicht in $\frac{1}{10}$ d. nat. Gr.) aus Seilen oder Fäden anzufertigen, deren Herstellung gar nicht so übermässig schwierig ist, wie Versuche des Bearbeiters gezeigt haben. Handelt es sich nur um die Festlegung der Kreuzpunkte, so würde man auf diese die ihnen zukommenden Belastungen der Umgebung in geeigneter Weise vereinigen können. Die von Punkt zu Punkt laufenden Fäden würden dann als straffe gerade Linien erscheinen.

Wollte man auf diese Art auch die theoretisch richtigste Krümmung der Rippen (von der unten noch die Rede sein wird) ermitteln, so hätte man das jeder Rippe zugehörige Seilstück in eine angemessene Zahl einzelner Teile zu zerlegen und an jedem Teile eine ihm zukommende Kraft anzubringen, berechnet aus Gewicht der Rippe, Schub und Schwere des zugehörigen Kappenstückes sowie der etwaigen Oberlast. Auf diese Art bekäme man genau die theoretisch richtige Rippengestaltung. Wäre eine wechselnde Last anzunehmen, so würde man auch die Belastung des Modelles entsprechend ändern und die Verschiebungen beobachten. Alle dabei sich ergebenden Seilagen müssen natürlich mit genügender Sicherheit im Innern des späteren Rippenkörpers Platz finden.

Im Mittelalter hat ein gesundes konstruktives Gefühl, zeitweis geschärft durch üble Erfahrungen, immer die richtige Form selbst für die reichsten Rippengewölbe finden lassen. Wenn das Rippennetz ziemlich dicht wird und die Belastung nicht gar zu ungleichmässig verteilt ist, dann nimmt das Geripp eines Netzgewölbes eine ziemlich regelmässig gebogene Gesamtform an, die um so einheitlicher ist, je enger die Maschen werden. Bei zentralen Feldern ergeben sich meist kugelähnliche, über langgestreckten Räumen tonnenartige Bildungen. Sehr dichte Netze kann man ihrer konstruktiven Gestalt nach dreist als einfache völlflächige Gewölbe behandeln, es ist damit aber durchaus nicht gesagt, dass man bei ihnen unbedingt zu der genauen Kugel oder dem halben Kreiscylinder der Römer zurückkehren müsse. Andere Scheitelhöhen ergeben andere Gestalten, überdies erfordern jene römischen Formen eine Verschwendung an Wölbstärke, da sie mit den theoretischen Gleichgewichtsformen wenig genau übereinstimmen. Ueber letztere siehe weiter hinten (Seite 53 und folg.).

Engmaschige
Gewölbnetze.

Zwischen den ursprünglichen Gewölbrippen und den späteren Maschenreihungen ist ein merklicher Abstand zu erkennen. Jene waren stark belastete Tragbögen, welche als festes Gerüst das ganze Gewölbfeld in Einzelgewölbe zerlegen; diese ziehen sich schliesslich als Netz unter einer einheitlich gebogenen Fläche hin, die Kappen oft weniger tragend als zeitweis verstärkend, wodurch aber immer noch leichte Wölbung, leichtes Lehrgerüst und eine ästhetische Teilung erzielt ist.

b. Druckverteilung in den Kappen.

Im Vorstehenden handelte es sich um die Gesamtgestalt des Gewölbes, besonders um die gegenseitige Lage der Schlusspunkte. Die Rippen sind nur nebenher und die zwischen ihnen ausgespannten Kappenflächen noch gar nicht zur Besprechung