

wiegen, so dass nach gegenseitigem Ausgleich der Pfeiler noch einen Überschuss an Schub aufnehmen müsste, der $\frac{3}{4}$ des grossen Wölbschubes gleichkäme.

Besser beglichen sich schon die Schübe, wenn die Pfeilhöhe des kleinen Gewölbes sich in der Weise verringert, dass sein Höhen- oder Pfeilverhältnis ($f : b$) demjenigen des grossen Gewölbes ($F : B$) gleichkommt, es stehen dann die Schübe etwa im direkten Verhältnisse ihrer Spannweiten zu einander (Fig. 351).

Sollen sich die Schübe ganz aufheben, so würde die Pfeilhöhe des kleineren Gewölbes noch weit geringer werden müssen (vergl. in Fig. 352 die punktierte Bogenlinie). Durch genügende Abflachung des kleinen Gewölbes lässt sich der Schubausgleich statisch immer ermöglichen, selten aber gestatten architektonische Rücksichten diese Lösung. Jedenfalls soll man, soweit es irgend thunlich ist, die Pfeilhöhe des kleinen Gewölbes verringern statt sie zu vergrössern; vor sehr spitzen lanzettförmigen Bogen ist besonders zu warnen, sie sind an sich schon statisch unvorteilhaft (vergl. vorn S. 56) und sind in diesem Falle besonders bedenklich. Muss man das schmale Gewölbe durchaus zu derselben Scheitelhöhe erheben wie das breite, so ist an Stelle eines schlanken Spitzbogens (Fig. 350) besser ein weniger spitzer, aufgestellter Bogen zu verwenden, wie ihn Fig. 352 zeigt. Man vergrössert dadurch den Schub des kleinen Gewölbes und lässt ihn höher zum Angriff kommen, was beides günstig wirkt.

Lässt sich durch eine geeignete Wahl der Pfeilhöhe der Schub nicht ausgleichen, so muss man zu einer künstlichen Vermehrung des Gewichtes beim schmaleren Felde schreiten, was am besten durch Übermauerung des Gurtes zu erzielen ist (Fig. 353).

Wenn das Mittelgewölbe höher ansetzt, also sein Schub um so mehr überwiegt, so kann die seitliche Gurtübermauerung sogar eine Absteifung bewirken, durch welche der Schub zum Teil über den kleineren Gurt fortgeleitet wird (Fig. 354).

Bei grösserem Höhenunterschiede würde eine volle Gurtübermauerung zu schwer werden und den Schub des kleinen Gurtes zu sehr steigern. Man muss dann in der Strebewand Öffnungen anbringen, welche ihr Gewicht verringern, aber oben ein Abfangen des Schubes vom Hauptgewölbe zulassen (Fig. 355). Ein steigender Bogen ist dazu am meisten geeignet. Es bildet sich damit ganz von selbst das Strebeyesystem aus, das bald nach seiner Aufnahme in wunderbarer Weise weiter vervollkommenet wurde.

Bestimmung der Widerlagsstärke.

Es sind soeben in grossen Zügen die Grundformen der Widerlager nebeneinandergestellt, die weitere Gestaltung und architektonische Ausbildung der Wände, Strebepfeiler und Strebobogen wird an geeigneter Stelle im Zusammenhange mit der ganzen Entwicklung des Kirchenbaues seine Erledigung finden; hier handelt es sich zunächst darum, die erforderliche Stärke der Widerlager und die in ihnen auftretenden Spannungen kennen zu lernen. Die richtige Bemessung der Wand- und Pfeilerstärken ist für die mittelalterliche Bauweise eine Frage von so einschneidender Bedeutung, dass ihr nachstehend mehrere Kapitel zu widmen sind.

Bisher richtete man sich in Ermangelung eines Besseren nach Konstruktionsregeln, die aus den Überkommnissen des spätesten Mittelalters geschöpft oder von neueren Meistern oft mit viel Scharfsinn aufgestellt waren (vergl. darüber hinten — Grundrissbildung der Kirche). Für mittlere Verhältnisse sind dieselben meist gut zutreffend, sie verlieren aber naturgemäss ihre Geltung, sobald besondere Fälle vorliegen, sie können dann sogar zu bedenklichen Irrungen führen. Nie lassen solche Regeln ein Gefühl der Sicherheit zu, ein Umstand, der vielleicht der mittelalterlichen Bauweise schon manchen Jünger entfremdet hat. Zuversicht zu seinen Konstruktionen hat man aber sofort, wenn man sich die Wirkung der Kräfte klar gegenwärtigen und direkt mit ihr arbeiten kann*). Die einfache Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte, welche neuerdings von der graphischen Statik zu so hoher Bedeutung erhoben ist, giebt ein äusserst bequemes und leicht verständliches Mittel dazu an die Hand, das für vorliegende Zwecke um so wertvoller ist, als es selbst dem der Mathematik nahezu ganz Unkundigen zugänglich ist, es setzt als Vorkenntnis eigentlich nichts weiter voraus als die Lehre vom Parallelogramme der Kräfte, die da besagt, dass die Diagonale eines Parallelogrammes die Grösse und Richtung einer Mittelkraft (Resultante) darstellt, welche sich in zwei durch die Parallelogrammseiten dargestellte Seitenkräfte zerlegen lässt, oder welche umgekehrt an die Stelle zweier solcher Seitenkräfte gesetzt werden kann.

2. Grösse und Lage des Widerlagsdruckes der Gewölbe.

Handelt es sich darum, die Kräfte oder richtiger die Spannungen in einem Widerlagskörper zu ermitteln, so muss man zunächst den vom Gewölbe ausgeübten Widerlagsdruck kennen. Wenngleich derselbe aus den früher besprochenen statischen Eigenschaften des Gewölbes resultiert, soll er an dieser Stelle, soweit er für die Widerlager in Frage kommt, des besseren Zusammenhanges wegen zur Besprechung gelangen.

Jedes Gewölbe übt eine schräg gerichtete Pressung gegen sein Widerlager aus, die um so flacher geneigt ist, je flacher das Gewölbe ist (vergl. Fig. 356 und 357). Dieser Widerlagsdruck W lässt sich in eine wagerechte und senkrechte Seitenkraft H und V zerlegen, die erste nennt man den Horizontalschub, die zweite ist die Widerlagsbelastung. Man kann ganz nach Belieben entweder den schrägen Druck W oder seine beiden Seitenkräfte in Rechnung setzen.

Die Widerlagslast V ist immer gleich dem Gewichte des auf diesem Widerlager ruhenden Gewölbestückes.

Der Horizontalschub H wechselt nicht allein mit der Grösse und Verteilung des Gewichtes, sondern ganz besonders mit dem Pfeilverhältnisse des Gewölbes. In den Abbildungen 356 und 357 ist V als gleich vorausgesetzt, H fällt dagegen

*) Bei dem Zuge unserer Zeit, aus Unwissenheit oder Bequemlichkeit lieber ein teures Surrogat als eine billigere gesunde Konstruktion zu verwenden, haben sich neuere Baumeister nicht entblödet, anscheinende Rippengewölbe aus einem komplizierten mörtelbeworfenen Netze aus Gitterträgern und Drahtmaschen herzustellen. —

wegen der ungleichen Steilheit sehr verschieden gross aus, was auf die erforderliche Widerlagsstärke natürlich vom grössten Einflusse ist.

Um den Widerlagsdruck zu ermitteln, können mehrere Wege eingeschlagen werden, die, soweit sie bereits bei den Gewölben erwähnt, hier noch einmal in Kürze mit aufgezählt werden mögen.

1. Durch Konstruktion der Drucklinien, die unter den Gewölben (S. 53) näher erläutert ist, gewinnt man das klarste und zuverlässigste Bild von dem Verlaufe der Druckspannungen im Gewölbe selbst, gleichzeitig liefern die Endkräfte der Drucklinien unmittelbar den schräg gerichteten Widerlagsdruck nach Grösse und Richtung.

Ermittlung des Widerlagsdruckes.
1. Mit Hilfe der Drucklinie

Beim Tonnengewölbe ermittelt man die Linie für einen Streif von vielleicht 1 m Breite, beim Kreuzgewölbe sucht man jede Drucklinie in den Rippen und dem Gurte für sich auf und setzt am Gewölbeanfange aus ihnen die gemeinsame Widerlagskraft zusammen.

In jedem Bogen oder Gewölbe ist eine grosse Anzahl von Drucklinien möglich (Fig. 358). Als die günstigste I ist diejenige zu bezeichnen, welche sich möglichst wenig von der Mittellinie entfernt (genauer gesagt, welche die geringsten Kantenpressungen ergibt — über letztere weiter unten). Neben dieser giebt es steilere und flachere Drucklinien, erstere liefern einen geringeren, letztere einen grösseren Widerlagsdruck. Ist der Mörtel nicht zugfest, so darf keine der durch die zu erwartenden Belastungen hervorgerufenen Drucklinien das Gewölbe irgendwo verlassen, besser wird die Bedingung gestellt, dass die Linien im Kerne (mittleren Drittel) bleiben sollen. Als zulässige Grenzlagen würden danach einerseits die steilste „im Kerne liegende“ Stützlinie II in Fig. 358, andererseits die flachste III anzusehen sein. Es sei darauf hingewiesen, dass die Forderung nach der Kernlage der Drucklinie nicht zu schablonenhaft aufgefasst zu werden braucht. Bei geringer Beanspruchung des Mauerwerkes darf man der Drucklinie dreist einen etwas grösseren Spielraum gewähren, z. B. statt des mittleren Drittels die mittlere Hälfte der Wölbdicke oder auch noch mehr.

Will man für die Widerlagsstärke eine recht gewissenhafte Untersuchung anstellen, so kann man dieselbe getrennt für die beiden Grenzlagen II und III vornehmen. Die steilere wird etwas schwächere, die flache etwas stärkere Widerlager fordern. Bei dünnen und hohen Gewölben fallen beide Werte gewöhnlich ziemlich nahe zusammen.

Wenn man die Widerlagsstärke nach der flacheren Linie III festsetzt, dann ist man sicher, die Widerlager jedenfalls nicht zu schwach zu bekommen.

2. Eine angenäherte graphische Ermittlung des Wölbschubes ergibt sich sehr einfach, wenn man nicht die ganze Drucklinie, sondern nur deren Endkräfte benutzt. Diese Endkräfte kann man angenähert ermitteln, sie müssen stets die Seitenkräfte sein zu einer Resultierenden aus allen äusseren auf das Gewölbe wirkenden Kräften. Letztere bestehen gewöhnlich nur aus dem Eigengewichte mit den etwaigen Oberlasten der Wölbung.

2. Angenähertes graphisches Verfahren.

Hat man es mit einem symmetrisch gebildeten und belasteten Gewölbe zu thun, so betrachtet man nur die eine Hälfte (Fig. 359). Die obere Endkraft im Scheitel muss in diesem Falle horizontal sein, ausserdem muss sie durch den Kern des Querschnittes gehen. Man lege sie zur Sicherheit in die innere Grenze d des Querschnittkernes. Zieht man hier eine horizontale Linie, so hat man die Lage und Richtung der oberen Endkraft H , aber noch nicht ihre Grösse. Man bestimmt nun das Gewicht G der Gewölbehälfte, welches senkrecht durch den Schwerpunkt führen muss, es schneidet die Horizontale im Punkte O . Durch

diesen Punkt O muss auch die Widerlagskraft W gehen, deren Richtung man erhält, sobald ihr Durchgangspunkt e durch das Widerlager angenommen ist; als solcher sei hier die äussere Kerngrenze (in ein Drittel Abstand von der Aussenkante der Aufstandsfläche) gewählt. Um ausser der so gewonnenen „Lage“ auch die „Grösse“ der Kräfte H und W zu erhalten, trägt man die berechnete Schwerkraft G von o aus nach einem bestimmten Massstab (z. B. $100 \text{ kg} = 1 \text{ cm}$) nach unten ab und zieht durch den Endpunkt c Parallele zu den Seitenkräften, wodurch man das Parallelogramm $Oicb$ erhält, dessen Seitenlängen Oi und Ob die gesuchte Grösse der Kräfte H und W nach dem gleichen Massstabe bezeichnen. Über die Wahl des unteren Durchgangspunktes e siehe auch die folgende Seite.

Liegt ein unsymmetrisches Gewölbe vor, so schlägt man das entsprechende Verfahren für das ganze Gewölbe statt für die Hälfte ein. Fig. 360 (vergl. darüber auch vorn S. 58 und Fig. 128, 129).

3. Angenähertes rechnerisches Verfahren.

3. Die angenäherte rechnerische Ermittlung des Widerlagsdruckes ist der vorigen nahe verwandt. Man berechnet zunächst Grösse und Lage der an der Wölbhälfte (Fig. 361) auftretenden Schwerkraft G und nimmt dann nach Schätzung die wahrscheinlichen Durchgangspunkte d und e der Endkräfte an. Für den unteren Punkt e stellt man nun die Momentengleichung auf. Letztere stützt sich darauf, dass ein Konstruktionsteil (hier die Wölbhälfte) sich nur im Gleichgewichte befindet, wenn für irgend einen Punkt sich die Momente (Kraft mal Hebelarm) aller vorhandenen Kräfte aufheben. Hier kommen nur die drei Kräfte G , H und W in Frage, von denen die letzte ausfällt, da sie durch den Punkt e geht und daher einen Hebel gleich Null liefert. Somit lautet die Momentengleichung: $G \cdot a = H \cdot h$, woraus sich der obere Horizontalschub H berechnen lässt $H = \frac{G \cdot a}{h}$.

Da sich in senkrechter und wagerechter Richtung alle Kräfte gegenseitig ausgleichen müssen, ist aber bei jedem nur senkrecht belasteten Gewölbe der Horizontalschub oben und unten gleich, man hat somit zugleich den unten auf das Widerlager wirkenden Horizontalschub gefunden. Die senkrechte Widerlagslast V kennt man auch, da sie ebenso gross wie G . Hat man aber die Seitenkräfte H und V , so hat man auch nach dem Parallelogramme der Kräfte ihre Mittelkraft W .

Durchgang des Druckes im Scheitel und am Widerlager.

Man erkennt, dass die angenäherte Ermittlung des Widerlagsdruckes eine sehr leichte Sache ist, eine gewisse Schwierigkeit liegt nur darin, die Durchgangspunkte d und e möglichst zutreffend zu wählen. Wäre ihre Lage eindeutig bekannt, so hätte man es überhaupt nicht mit einem angenäherten sondern mit einem bestimmten Verfahren zu thun. Eine exakte Kräfteausmittlung ist nun aber für ein Gewölbe überall nicht möglich, da viele Zufälligkeiten mitreden, man kann daher die angegebenen Wege als durchaus hinlänglich für die Praxis ansehen. Ist man im Zweifel, wie man die Punkte d und e annehmen soll, so kann man sich durch die Konstruktion einer oder mehrerer Stützlinien (Verfahren 1) einen klareren Aufschluss verschaffen. In den meisten Fällen wird es sich empfehlen, den Durchgangspunkt im Scheitel d näher nach der inneren Leibung, den Punkt e dagegen mehr nach der äusseren Leibung zu schieben.

Ist der Gewölbanfang hintermauert und in die Wand eingebunden, dann ist es schwer, eine bestimmte Aufstandsfläche des Widerlagers anzugeben. Man kann dieselbe unter Umständen bis zur ersten schrägen Fuge hinaufgerückt denken, in der man dann einen Durchgangspunkt e_1 festlegt (Fig. 361). Meist ist es aber in solchen Fällen einfacher, den Durchgangspunkt e in die senkrechte Wandflucht MM zu legen, dabei aber darauf zu achten, dass derselbe zur Sicherheit eher etwas zu hoch denn zu tief gewählt wird. Es kann sehr leicht der Fall eintreten, dass die Hintermauerung zum Überleiten der Wölbschübe mit benutzt wird und sich eine viel flachere Stützlinie bildet als der erste Anblick des Gewölbes vermuten lässt. Der wahrscheinlichste Punkt e liegt gewöhnlich um $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$ oft gar $\frac{1}{3}$ der Pfeilhöhe oberhalb des Kämpfergesimses.

Bei einem unsymmetrisch geformten oder belasteten Gewölbe (Fig. 360 bzw. 360a) ist die Kraftausmittlung durch Rechnung auch wieder derjenigen durch Zeichnung ähnlich, man betrachtet das Gewölbe als Ganzes und berechnet zunächst Grösse und Lage seines Gesamtgewichtes G . Sodann nimmt man die Durchgangspunkte e_1 und e_2 und die ungefähr tangentielle Richtung der Endkräfte W_1 und W_2 schätzungsweise an und hat nun deren Grösse zu bestimmen. Beim graphischen Verfahren geschah das durch Konstruktion des Parallelogrammes der Kräfte, hier stellt man erst die Momentengleichung für den Punkt e_1 auf, um die Kraft W_1 zu bekommen, und darauf die Momentengleichung für e_2 um die Widerlagskraft W_2 zu finden. Zu beachten ist dabei, dass man nicht die Widerlagsdrücke selbst, sondern die schräg nach oben gerichteten Gegendrücke der Widerlager (Widerlagsreaktionen) in Rechnung zu setzen hat (Fig. 360a).

Kräfte im Innern eines Körpers oder an der Berührungsfläche zweier Körper treten bekanntlich immer paarweise auf, so ruft ein Druck, den ein Körper auf einen anderen ausübt, stets einen gleich grossen entgegengesetzt gerichteten Gegendruck des anderen Körpers hervor. Will man an irgend einem Körper oder einem Teile eines solchen statische Untersuchungen vornehmen, so denkt man ihn aus seiner Umgebung herausgeschnitten und dafür an jeder Schnittfläche die hier wirkenden Gegenkräfte zugefügt. Es müssen sich sodann alle Kräfte im Gleichgewichte halten, dieses ist aber der Fall, wenn die folgenden drei Gleichgewichtsbedingungen erfüllt sind: Allgemeine Gleichgewichtsbedingungen.

1. für einen jeden beliebigen Punkt als Drehpunkt muss die Summe aller rechts drehenden Kraftmomente gleich der Summe aller links herum drehenden Momente sein,
2. in senkrechter Richtung muss die Summe der nach unten gerichteten gleich der Summe der nach oben gerichteten Kräfte sein,
3. in wagerechter Richtung muss die Summe der nach rechts gekehrten Kräfte gleich der Summe der nach links gekehrten sein.

Um die beiden letzten Bedingungen auf schräg gerichtete Kräfte anwenden zu können, muss man diese zuvor in ihre senkrechten und wagerechten Seitenkräfte zerlegen.

Mit Hilfe dieser drei Bedingungen löst bekanntlich die Statik ihre meisten Aufgaben, auch bei der vorstehenden einfachen Ermittlung der Widerlagskräfte bei Fig. 361 sind sie angewandt worden, dazu ist noch nachzutragen, dass die Endkräfte H und W nicht in der in Fig. 361a gezeichneten Richtung sondern in der durch Fig. 361b veranschaulichten Richtung als Gegendrücke anzusetzen sind. Liegt der Fall weniger einfach, liegen z. B. statt des Gewichtes G die äusseren Kräfte in grösserer Anzahl vor, so ist der einzuschlagende Gang dessen ungeachtet immer derselbe.

Bei Darstellung der drei Wege zur Ermittlung des Widerlagsschubes ist es unerörtert geblieben, welche Gewölbegattung vorausgesetzt ist, für das Tonnenge-

wölbe gelten sie ohne weiteres, sie lassen sich aber auch unmittelbar auf das Kreuzgewölbe übertragen.

Schub der
Kreuz-
gewölbe mit
geradem
Scheitel.

Für ein einfaches Kreuzgewölbe mit geradem Scheitel ohne Überhöhung Fig. 362 und 362a ergibt sich, wie man leicht erkennt, etwa dieselbe Widerlagskraft, wie für ein Tonnengewölbe gleichen Querschnittes und gleicher Grundfläche. Es wirken bei beiden Gewölben dieselben drei Kräfte G , H und W . Die resultierende Schwerkraft G ist bei beiden nach Grösse und Lage ziemlich gleich. (Beim Kreuzgewölbe ist sie wegen der kleineren Hintermauerung oft etwas kleiner, ihr Hebel dafür aber etwas grösser — bei überschütteten Gewölben kann der Unterschied am meisten merklich werden.) Der Horizontalschub H oben muss bei beiden Gewölbearten in der Scheitelfuge in gleicher Höhe d liegen. Die Höhenlage e des Durchgangspunktes vom resultierenden unteren Gewölbeschub wird gleichfalls nur geringe Schwankungen zeigen. Der einzige wesentliche Unterschied besteht nur darin, dass sich der Schub beim Tonnengewölbe auf die ganze Widerlagslänge mp im Grundrisse 362 verteilt, während er beim Kreuzgewölbe sich an einer Stelle bei C überträgt.

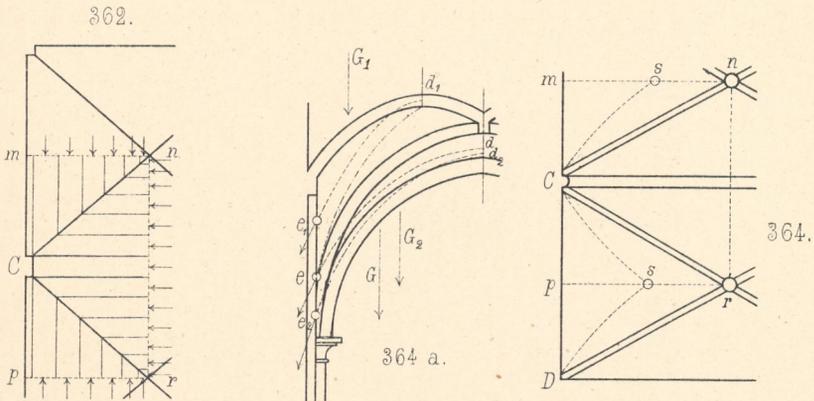
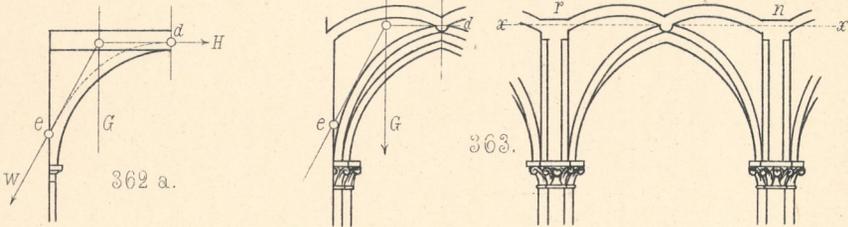
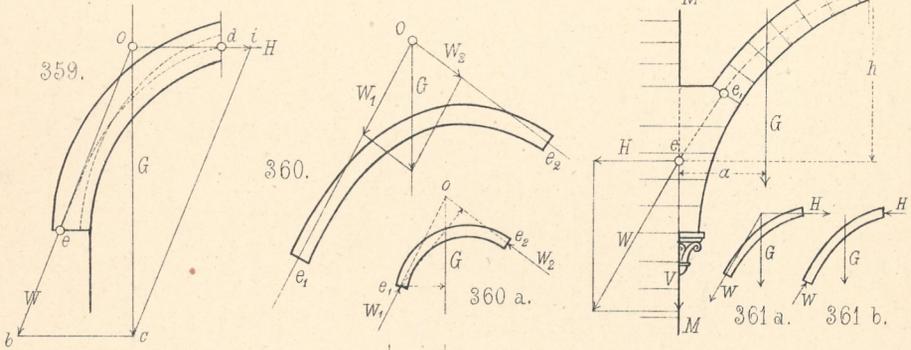
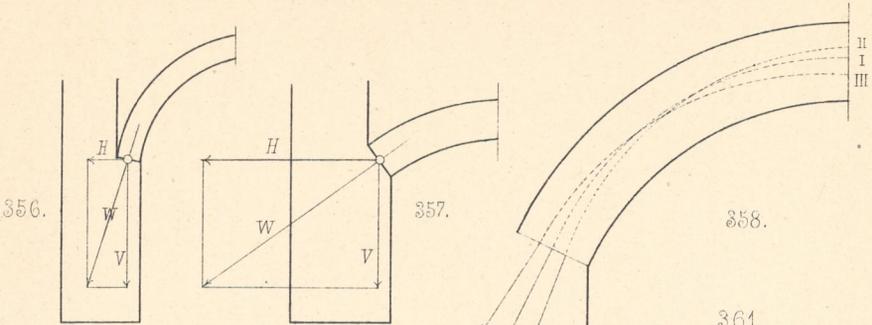
Schub
busiger
Kreuz-
gewölbe.

Liegt ein stark busiges Kreuzgewölbe vor mit vortretenden Gurt- und Rippenbogen, das zugleich auch eine Überhöhung des Schlusspunktes aufweisen kann, so ist in derselben Weise zu verfahren, nur ist es schwieriger, die durchschnittliche Höhenlage des oberen Horizontalschubes festzulegen. Fig. 363 zeigt ein solches Gewölbe in Querschnitt und Längsschnitt. Der Schub wird sich auf die ganze Länge des Scheiteldurchschnittes rn verteilen. Ein Teil wird durch die Kappen und durch den Schlussstein, ein anderer Teil durch den Gurtquerschnitt übertragen. Man hat nun im Längsschnitte schätzungsweise eine durchschnittliche Höhenlage für den Horizontalschub als horizontale Linie xx anzunehmen, wobei man dem Gurte einen verhältnismässig grossen Anteil beizumessen hat, besonders wenn der Schlusspunkt stark gehoben ist. Überhaupt soll man die durchschnittliche Lage des Scheitelschubes lieber etwas tiefer als höher zur grösseren Sicherheit annehmen. Hat man in dieser Weise den Scheitelschub ausgeglichen und sodann den unteren Durchgangspunkt für den Schub angenommen, so betrachtet man wieder das Gewölbe ebenso, als wenn eine Tonnenform vorläge. Man denkt sich also an Stelle des Kreuzgewölbes eine der durchschnittlichen Druckrichtung entsprechende Tonnenfläche mit der gleichen Grundrissverteilung der Gewichte, die man wohl als ideelles Tonnengewölbe zu bezeichnen pflegt. Mit seiner Hülfe kann man sehr rasch zum Ziele gelangen, dem Vorwurfe einer gewissen Oberflächlichkeit lässt sich entgegensetzen, dass man einmal überhaupt bei Gewölben nicht mathematisch scharf vorgehen kann, und dass man es zweitens in der Hand hat, die Untersuchung ganz nach Belieben durch eingehendere Verfolgung der Druckübertragung weiter zu vertiefen.

Schub über-
höhter
Kreuz-
gewölbe.

Liegt ein sehr stark überhöhtes Gewölbe (Fig. 364a im Schnitte und 364 im Grundriss) vor, so kann man gleichfalls ein ideelles Tonnengewölbe de dafür annehmen und mit Hülfe des berechneten Gewichtes G die Schübe bestimmen. Dabei ist der Punkt e noch höher hinaufzulegen als sonst, weil vorauszusetzen ist, dass ein gewisses Kappenstück $C D s$ im Grundrisse seinen Schub weiter oben dem Schildbogen zuführt (vergl. vorn S. 50). Bei grosser Überhöhung kann eine solche Benutzung der ideellen Tonne in der That etwas willkürlich werden und es ist

Grösse des Widerlagsdruckes.



daher besser, wenigstens den auf den Schildbogen pressenden Kappenteil für sich zu betrachten. Man zeichnet für ihn die kleine ideelle Tonne $d_1 e_1$ mit dem Gewichte G_1 und hat für den übrigen Teil der Jochhälfte eine zweite grössere ideelle Tonne $d_2 e_2$ mit dem entsprechenden Gewichte G_2 einzuführen. Auf diese Art trennt man von vornherein den Schub, der auf den Schildbogen bzw. die volle Wand kommt, von demjenigen, der dem Anfang zugeführt wird, was für die weiteren Untersuchungen der Widerlager oft erwünscht ist.

Ist man für wichtige Fälle auch hiermit noch nicht zufrieden, so ist es unbenommen, die Druckübertragung im ganzen Gewölbe mit beliebig gesteigerter Genauigkeit nach den weiter vorn bei den Gewölben gemachten Ausweisungen zu verfolgen.

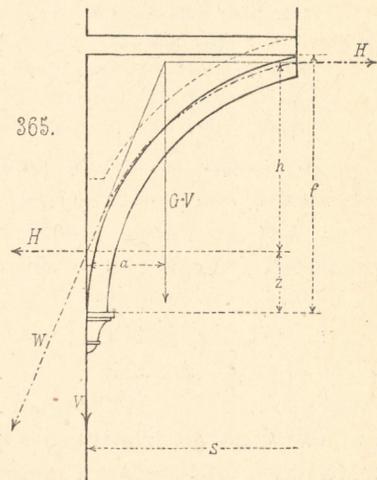
Erläuterungen zur Tabelle über die Gewichte und Horizontalschübe einfacher Tonnen- und Kreuzgewölbe.

Wengleich es nach dem Vorausgeschickten recht leicht ist, die Schübe der Gewölbe mit der erforderlichen Genauigkeit zu berechnen, so scheint es doch erwünscht, zu noch weiter gehender Erleichterung für die üblichsten Gewölbearten je nach Verschiedenheit von Pfeilhöhe, Wölbstärke und Baustoff eine Tabelle zusammenzustellen (vergl. Tabelle 1). Die Tabelle, welche auf Grund konstruierter Stützlinien und mit Anwendung der einfachen Formel $H \cdot h = G \cdot a$ (vergl. Fig. 365) ermittelt ist, gilt für symmetrisch gebildete Kreuzgewölbe von quadratischem oder schwach rechteckigem Grundrisse mit geringer oder kleiner Überhöhung. Sie ist für Gewölbe von beliebiger Feldgrösse brauchbar, da sie die Gewichte V_0 und Schübe H_0 in Einheitszahlen für je 1 qm Grundfläche angiebt. Diese Zahlen werden mit der Grundfläche (in qm) des auf dem betreffenden Widerlager lastenden Gewölbeteiles (gewöhnlich eine Wölbhälfte) multipliziert, um für das Widerlager Vertikalbelastung und Horizontalschub zu liefern.

Die Gewichte und Schübe auf die Grundfläche zu beziehen, könnte zunächst etwas gewagt erscheinen, da bei verschiedenen grossen Gewölben gewisse Schwankungen in der Masse der Hintermauerung und der Bogenglieder entstehen; eine Untersuchung zeigte aber, dass sich diese Verschiedenheiten bei durchschnittlichen Wölbbildungen in sehr engen Grenzen bewegen, bei Angabe der Schübe ist ihnen durch Aufnahme zweier Werte Rechnung getragen. Für Gewölbe abweichender Gestaltung, die beispielsweise übermauerte Gurten oder einzelne Oberlasten haben, gilt die Tabelle natürlich nicht.

Die vorkommenden Längen (Hebelarm des Gewichtes u. dergl.) sind in Verhältniszahlen zur Spannweite oder Pfeilhöhe ausgedrückt. Als Spannung ist das Lichtmass zwischen den Wandfluchten oder, wenn solche in Frage kommen, zwischen den Schild- und Gurtbogen zu verstehen, als Pfeilhöhe dagegen die Höhe von der Grundfläche (Kapitaloberkante, wenn keine Stelzung vorliegt) bis zur Unterkante Kappe im Scheitel. Ist das Gewölbe überhöht, so ist eine mittlere Pfeilhöhe anzunehmen.

Die Tabelle scheidet die Gewölbe nach ihrer Höhenentwicklung in 5 Gruppen: I bis V mit einem Pfeilverhältnis von 1:8, 1:3, 1:2,



2:3 und 5:6. Jede Gruppe hat dieselben 6 Unterabteilungen a bis f, in welchen Material und Kappenstärke berücksichtigt sind. Für Gewölbe, die nicht genau in die Gruppen oder Abteilungen passen, wird man Werte einschalten können.

Die senkrechten Spalten enthalten:

V o = Gewicht von je 1 qm Grundrissfläche. In dasselbe sind die Kappen, vortretende Ziegelrippen oder Werksteinrippen mässiger Stärke, eine mässige Hintermauerung und ein unterer Putzauftrag von 1 bis $1\frac{1}{2}$ cm einbegriffen. Als Ziegelgrösse ist das deutsche Normalformat $25 \times 12 \times 6\frac{1}{2}$ cm vorausgesetzt und als Einheitsgewicht von Stein und Mörtel ist angenommen für ein cbm: 1600 kg bei gewöhnlichen Ziegeln, 1200—1300 kg bei sehr leichten porösen Ziegeln, (wobei für Bogen und Zwickel auf feste Ziegel gerechnet ist), 2000 kg für Sandstein und 2400 kg für Bruchstein in Kalkmörtel. Bei kräftigen Werksteinrippen und Gurtbogen ist ein angemessener Zuschlag zu machen.

Für die überfüllten Gewölbe unter f ist als Durchschnittsgewicht für Ziegelkappen, Füllung und Fussboden 1600 kg für 1 cbm vorausgesetzt. (Das Gewicht von 1 qm Grundfläche wechselt bei überfüllten Gewölben nach ihrer Grösse und kann daher nur für bestimmte Gewölbegrössen gegeben werden, vergl. die Beispiele in den letzten Spalten.)

a = Hebelarm von dem durch den Schwerpunkt gehenden resultierenden Gewichte des auf dem Widerlager ruhenden Gewölbstückes (z. B. Wölbhälfte). Es schwankt dieser Hebelarm, der von der Mauerflucht bzw. Schildbogenflucht zu messen ist, je nach Steilheit des Gewölbes zwischen $\frac{1}{6}$ und nahezu $\frac{1}{4}$ der ganzen Spannweite.

h = Hebelarm des Horizontalschubes oder die Pfeilhöhe der Stützcurve, bzw. ideellen Stütztonne. Darunter ist der Höhenunterschied zu verstehen zwischen dem oberen Horizontalschube und dem unteren Übertritte des Druckes in das Widerlager. Als Grenze des Widerlagers ist dabei die Wandflucht oder die senkrechte durch die Vorderfläche des Schildbogens gelegte Ebene angesehen. Dieses Mass h ist am wenigsten scharf festzustellen, da in demselben Gewölbe flachere und steilere Druckübertragungen möglich sind, man rechnet zur Sicherheit den Pfeil der Stützcurve nicht zu gross und bekommt dann in der Regel merklich geringere Höhen als diejenigen des Gewölbes, in der Tabelle schwankt h zwischen $\frac{3}{4}$ und $\frac{9}{10}$ des Gewölbepfeiles.

z = Höhe, in welcher der Widerlagsdruck die Flucht der Wand bzw. des Schildbogens durchschneidet. Diese Höhe ist gemessen von der Grundfläche des Gewölbes aufwärts, d. h. bei nicht gestelzten Gewölben von Oberkante Kapitäl bzw. Kämpfergesims. Für die Bestimmung der Widerlagsstärke ist diese Höhenlage erforderlich, über die Genauigkeit ihrer Bestimmung gilt das unter h Gesagte.

H o = Horizontalschub für je 1 qm Grundrissfläche des auf dem Widerlager ruhenden Gewölbstückes z. B. einer Jochhälfte. Mit Rücksicht auf die möglichen Schwankungen sind hier zwei Werte angegeben, von denen der grössere mehr für kleine, der niedere mehr für grosse Gewölbe zutrifft.

Interessant ist es, das Verhältnis von Schub H o und Gewicht V o bei den verschieden hohen Gewölben zu vergleichen.

Nach der Tabelle verhält sich im Durchschnitte:

beim Pfeilverhältnis	1:8	—	der Horizontalschub zum Gewicht der Hälfte wie	2:1
„	„	1:3	„	„
„	„	1:2	„	„
„	„	2:3	„	„
„	„	5:6	„	„

Für oberflächliche Schätzungen kann man sich diese Verhältniszahlen merken, bei mittelhohen spitzbogigen Kreuzgewölben von etwa $\frac{2}{3}$ Pfeilhöhe ist also ein Schub