Lehrbuch der gotischen Konstruktionen

Ungewitter, Georg Gottlob

Leipzig, 1890-

2. Grösse und Lage des Widerlagsdrucks der Gewölbe

urn:nbn:de:hbz:466:1-80225

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 Parallelogramm der Kräfte, die da besagt, dass die Diagonale eines Parallelogramms 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 Gewicht des auf diesem Widerlager ruhenden Gewölbstückes.

Der Horizontalschub H wechselt nicht allein mit der Grösse und Verteilung des Gewichtes, sondern ganz besonders mit dem Pfeilverhältnis des Gewölbes. In den Abbildungen 356 und 357 ist V als gleich vorausgesetzt, H fällt dagegen wegen der ungleichen Steilheit sehr verschieden gross aus, was auf die erforderliche Widerlagsstärke natürlich vom grössten Einfluss 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.

Ermittelung des Widerlagsdruckes. 1. Mit Hülfe der Stützlinie.

1. Durch *Konstruktion der Stützlinie*, die unter den Gewölben (S. 52) näher erläutert ist, gewinnt man das klarste und zuverlässigste Bild von dem Verlauf der Druckspannungen im Gewölbe selbst, gleichzeitig liefern die Endkräfte der Drucklinien unmittelbar den schräg gerichteten Widerlagsdruck nach Grösse und Richtung.

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 Gurt für sich auf und setzt am Gewölbanfang aus ihnen die gemeinsame Widerlagskraft zusammen.

In jedem Bogen oder Gewölbe ist eine grosse Anzahl von Stützlinien 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 ergiebt — über letztere weiter unten). Neben dieser giebt es steilere und flachere Stützlinien, erstere liefern einen geringeren, letztere einen grösseren Widerlagsdruck. Ist der Mörtel nicht zugfest, so darf keine der durch die zu erwartenden Belastungen hervorgerufenen Stützlinien das Gewölbe irgendwo verlassen, besser wird die Bedingung gestellt, dass die Linien im Kern (mittleren Drittel) bleiben sollen. Als zulässige Grenzlagen würden danach einerseits die steilste „im Kern liegende" Stützlinie *II* in Fig. 558, andrerseits die flachste *III* anzusehen sein.

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

Für gewöhnlich empfiehlt es sich, die Widerlagsstärke nach der flacheren Linie III festzusetzen, man ist dann sicher, die Widerlager jedenfalls nicht zu schwach zu bekommen.

2. angenähertes graphisches Verfahren.

2. Eine angenäherte graphische Ermittelung des Wölbschubes ergiebt sich sehr einfach, wenn man nicht die ganze Stützlinie, 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 Eigengewicht mit den etwaigen Oberlasten der Wölbung.

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 legt 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 kgr = 1 cm) nach unten ab und zieht durch den Endpunkt *c* Parallele zu den Seitenkräften, wodurch man das Parallelogramm *O i c b* erhält, dessen Seitenlängen *O i* und *O b* die gesuchte Grösse der Kräfte H und W nach dem gleichen Massstab bezeichnen.

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. 57 und Fig. 128, 129).

3. angenähertes rechnerisches Verfahren.

3) Die angenäherte rechnerische Ermittelung des Widerlagsdruckes ist der vorigen nahe verwandt. Man berechnet zuächst 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 Gleichgewicht 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 als $H = \frac{G \cdot a}{h}$.

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 ihre Mittelkraft W.

Durchgang des Druckes im Scheitel und am Widerlager.

Man erkennt, dass die angenäherte Ermittelung 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 Kräfteausmittelung 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 Laibung, den Punkt *e* dagegen mehr nach der äusseren Laibung 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 *M M* 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 Ueberleiten 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 $^1/_5$, $^1/_4$ oft gar $^1/_3$ der Pfeilhöhe oberhalb des Kämpfergesimses.

Bei einem unsymmetrisch geformten oder belasteten Gewölbe (Fig. 360 bez. 360a) ist die Kraftausmittelung 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 tangentiale 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_2 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 Teil 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 Gleichgewicht 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 herumdrehenden 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 Hülfe dieser drei Bedingungen löst bekanntlich die Statik ihre meisten Aufgaben, auch bei der vorstehenden einfachen Ermittelung 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 Ermittelung des Widerlagsschubes ist es unerörtert geblieben, welche Gewölbgattung vorausgesetzt ist, für das Tonnengewölbe gelten sie ohne weiteres, sie lassen sich aber auch unmittelbar auf das Kreuzgewölbe übertragen.

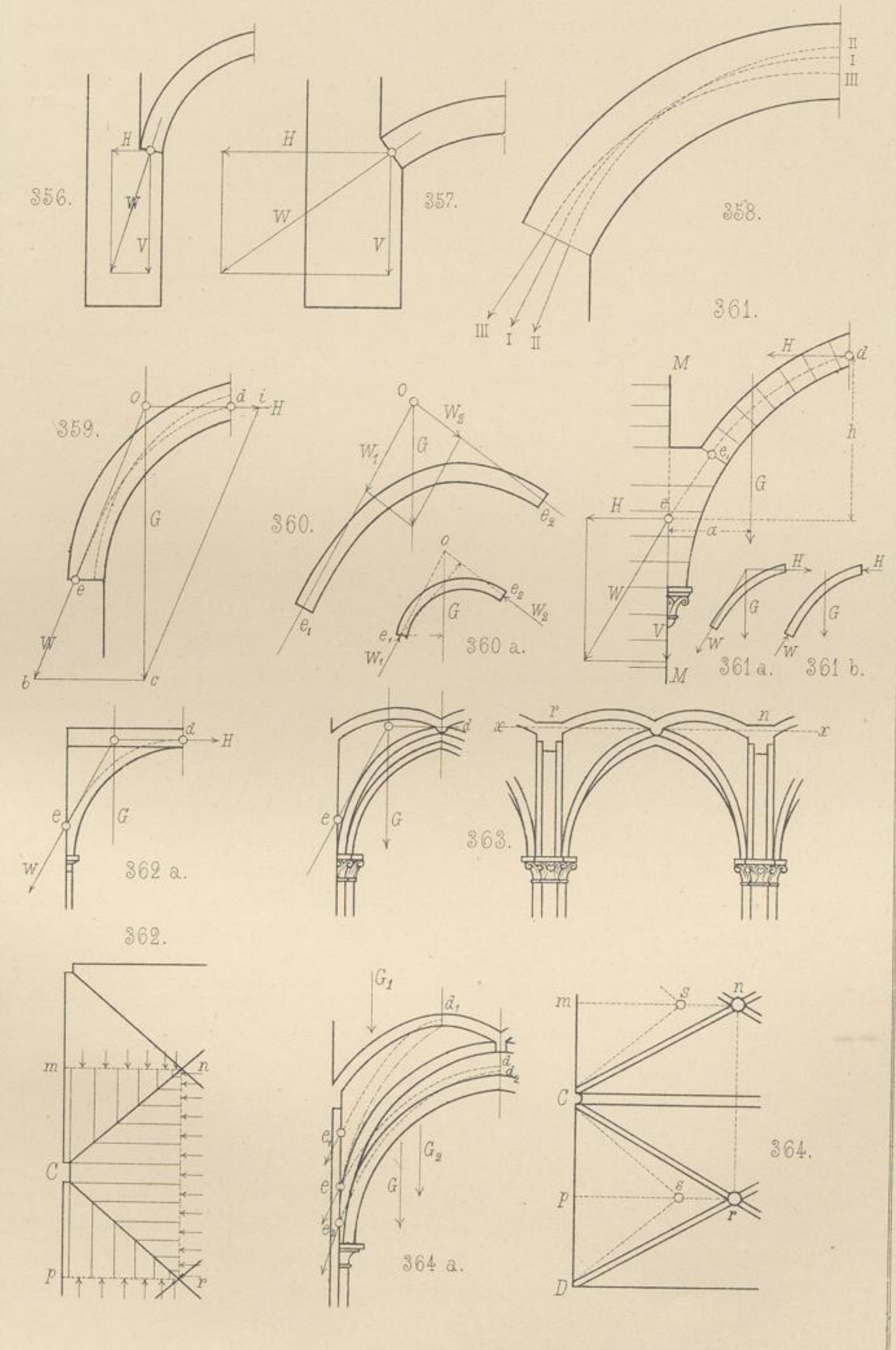
Schub der Kreuzgewölbe mit geradem Scheitel.

Für ein einfaches Kreuzgewölbe mit geradem Scheitel ohne Ueberhöhung Fig. 362 und 362a ergiebt 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 Gewölbarten in der Scheitelfuge in gleicher Höhe d liegen. Die Höhenlage e des Durchgangspunktes vom resultierenden untern Gewölbschub wird gleichfalls nur geringe Schwankungen zeigen. Der einzige wesentliche Unterschied besteht nur darin, dass sich der Schub beim Tonnengewölbe auf die ganze Widerlagslänge $m\,p$ im Grundriss 362 verteilt, während er beim Kreuzgewölbe sich an einer Stelle bei C überträgt.

Schub busiger Kreuzgewölbe.

Liegt ein stark busiges Kreuzgewölbe vor mit vortretenden Gurt- und Rippenbögen, das zugleich auch eine Ueberhöhung 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

Grösse des Widerlagsdrucks.



Länge des Scheiteldurchschnittes $r\ n$ verteilen. Ein Teil wird durch die Kappen, und durch den Schlussstein, ein anderer Teil durch den Gurtquerschnitt übertragen. Man hat nun im Längsschnitt schätzungsweise eine durchschnittliche Höhenlage für den Horizontalschub als horizontale Linie $x\ x$ anzunehmen, wobei man dem Gurt einen verhältnismässig grossen Anteil beizumessen hat, besonders wenn der Schlusspunkt stark gehoben ist. Ueberhaupt 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 auch 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 Ziel gelangen, dem Vorwurf 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 überhöheter Kreuzgewölbe.

Liegt ein sehr stark überhöhetes Gewölbe (Fig. 364a im Schnitt und 364 im Grundriss) vor, so kann man gleichfalls ein ideelles Tonnengewölbe $d\ e$ 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 Grundriss seinen Schub weiter oben dem Schildbogen zuführt (vergl. vorn S. 50). Bei grosser Ueberhöhung kann eine solche Benutzung der ideellen Tonne in der That etwas willkürlich werden und ist es 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 Gewicht G_1 und hat für den übrigen Teil der Jochhälfte eine zweite grössere ideelle Tonne $d_2\ e_2$ mit dem entsprechenden Gewicht G_2 einzuführen. Auf diese Art trennt man von vornherein den Schub, der auf den Schildbogen bez. die volle Wand kommt, von demjenigen, der dem Anfang zugeführt wird, was für die weiteren Untersuchungen der Widerlager oft erwünscht ist.

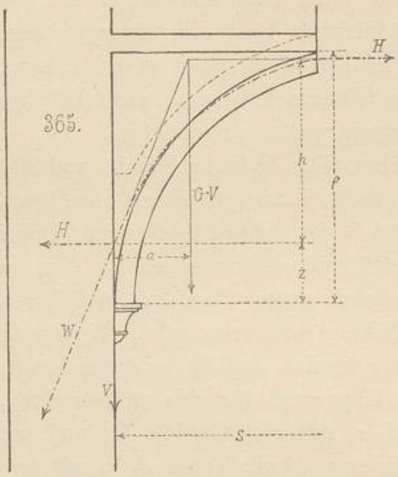
Ist man für wichtige Fälle auch hiermit noch nicht zufrieden, so ist es unbenommen, die Druckübertragung im ganzen Gewölbe mit beliebig gesteigerter Genauigkeit nach den weiter vorn bei den Gewölben gemachten Ausweisungen zu verfolgen.

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

Wenngleich 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 Gewölbarten je nach Verschiedenheit von Pfeilhöhe, Wölbstärke und Baustoff eine Tabelle zusammenzustellen (vergl. Tabelle 1). Die Tabelle ist ermittelt auf Grund konstruierter Stützlinien und mit Anwendung der einfachen Formel $H \cdot h = G \cdot a$ (vergl. Fig. 365), sie gilt für symmetrisch gebildete Kreuzgewölbe von quadratischem oder schwach rechteckigem Grundriss mit geringer oder kleiner Ueberhöhung. Sie ist für Gewölbe von beliebiger Feldgrösse brauchbar, da sie die Gewichte V o und Schübe H o in Einheitszahlen für je 1 qm Grundfläche angiebt. Diese Zahlen werden mit der Grundfläche (in qm) des auf dem betreffenden Widerlager lastenden Gewölbteiles (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 verschieden 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.

365.



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 Gurtbögen zu verstehen, als Pfeilhöhe dagegen die Höhe von der Grundfläche (Kapitäloberkante, wenn keine Stelzung vorliegt) bis zur Unterkante Kappe im Scheitel. Ist das Gewölbe überhöhet, 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, die vortretenden Bogenprofile, eine mässige Hintermauerung und ein unterer Putzauftrag von 1 bis $1^1/_2$ cm einbegriffen. Als Ziegelgrösse ist das deutsche Normalformat 25 × 12 × $6^1/_2$ cm vorausgesetzt und als Einheitsgewicht von Stein und Mörtel ist angenommen für ein Kbm : 1600 kgr bei gewöhnlichen Ziegeln, 1200—1300 kgr bei sehr leichten porösen Ziegeln, (wobei für Bögen und Zwickel auf feste Ziegel gerechnet ist), 2000 kgr für Sandstein und 2400 kgr für Bruchstein in Kalkmörtel.

Für die überfüllten Gewölbe unter f ist als Durchschnittsgewicht für Ziegelkappen, Füllung und Fussboden 1600 kgr für 1 Kbm vorausgesetzt. (Das Gewicht von 1 qm Grundfläche wechselt bei überfüllten Gewölben nach ihrer Grösse und kann daher nur für bestimmte Gewölbgrössen 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 bez. Schildbogenflucht zu messen ist, je nach Steilheit des Gewölbes zwischen $^1/_6$ und nahezu $^1/_4$ der Spannweite.

Tabelle 1.

Die Gewichte und Horizontalschübe der Gewölbe (s. Fig. 365).

Bezeichnung des Gewölbes	Gewicht von je 1 qm Grundrissfläche V_0	Hebelarm des resultierenden Gewichtes a	Hebelarm der Horizontalschübe h	Höhe des Widerlagsdruckes über Gewölbebeginn Z	Horizontalschub für je 1 qm Grundriss des lastenden Gewölbstückes H_0	Beispiel I. Gewölbe von 4·4 m Gewicht einer Hälfte V	Beispiel I. Schub einer Hälfte H	Beispiel II. Gewölbe von 8·8 m Gewicht einer Hälfte V	Beispiel II. Schub einer Hälfte H
I. Pfeilverhältnis 1:8.									
a. Kappen $^1/_2$ Stein aus porösen Ziegeln	200				360—400	1600	3200	6400	11500
b. $^1/_2$ Stein feste Ziegel oder $^3/_4$ Stein porös	270	0,22—0,23 s*	0,90 f**		500—550	2160	4400	8600	16000
c. $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	370		oder	$^1/_8$ bis $^1/_6$ f	700—750	2960	6000	11800	22400
d. 1 Stein feste Ziegel od. 20 cm dick Sandstein	500	rd $^2/_9$ s	$^1/_{10}$ s		950—1000	4000	8000	16000	30400
e. 30 cm dick Bruchstein	850				1600—1700	6800	13600	27200	51000
f. Ueberfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel	—	0,20 s = $^1/_5$ s			—	5800	11000	26000	46000
II. Pfeilverhältnis 1:3.									
a. Kappen $^1/_2$ Stein aus porösen Ziegeln	230				160—180	1840	1440	7400	5100
b. $^1/_2$ Stein feste Ziegel oder $^3/_4$ Stein porös	310	0,19—0,21 s	0,85—0,75 f.		220—240	2480	1920	9900	7000
c. $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	420		oder	$^1/_6$ bis $^1/_4$ f	300—330	3360	2640	13400	9600
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	570	rd $^1/_5$ s			420—450	4560	3600	18200	13400
e. 30 cm dick Bruchstein	1000		$^3/_{10}$—$^1/_4$ s		710—750	8000	6000	32000	22700
f. Ueberfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel	—	0,17 s = $^1/_6$ s			—	7300	5200	37500	23000
III. Pfeilverhältnis 1:2.									
a. Kappen $^1/_2$ Stein aus porösen Ziegeln	260				110—120	2080	960	8300	3500
b. $^1/_2$ Stein feste Ziegel oder $^3/_4$ Stein porös	350	0,17—0,20 s	0,80—0,70 f		140—160	2800	1280	11200	4500
c. $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	480		oder	$^1/_5$ bis $^1/_3$ f	190—220	3840	1760	15400	6100
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	700	= $^1/_6$—$^1/_5$ s			280—320	5600	2560	22400	9000
e. 30 cm dick Bruchstein	1200		$^2/_5$—$^1/_3$ s		480—550	9600	4400	38500	15300
f. Ueberfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel	—	0,16 s			—	8000	3800	41600	17600
IV. Pfeilverhältnis 2:3.									
a. Kappen $^1/_2$ Stein aus porösen Ziegeln	290				90—100	2320	800	9300	2900
b. $^1/_2$ Stein feste Ziegel oder $^3/_4$ Stein porös	380	0,17—0,20 s	0,80—0,72 f		110—130	3040	1040	12200	3500
c. $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	530		oder	$^1/_5$ bis $^1/_4$ f	160—180	4240	1440	17000	5100
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	750	= $^1/_6$—$^1/_5$ s			220—250	6000	2000	24000	7000
e. 30 cm dick Bruchstein	1300		rd $^1/_2$ s		400—430	10400	3440	41500	12800
f. Ueberfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel	—	0,16 s			—	10500	3500	57900	17400
V. Pfeilverhältnis 5:6 bis 1.									
a. Kappen $^1/_2$ Stein aus porösen Ziegeln	340				80—90	2720	720	10900	2600
b. $^1/_2$ Stein feste Ziegel oder $^3/_4$ Stein porös	450		0,80—0,75 f		100—110	3600	880	14400	3200
c. $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös	650	0,16—0,19 s	oder	$^1/_5$ bis $^1/_4$ f	150—160	5200	1280	20800	4800
d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein	900		rd $^2/_5$ s		210—230	7200	1840	28800	6700
e. 30 cm dick Bruchstein	1500				350—370	12000	2960	48000	11200
f. Ueberfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel	—	0,15 s			—	13000	3000	77800	17500

* s = Spannweite, ** f = Pfeilhöhe.

h = Hebelarm des Horizontalschubes oder die Pfeilhöhe der Stützkurve, bez. ideellen Stütztonne. Darunter ist der Höhenunterschied zu verstehen zwischen dem oberen Horizontalschub und dem unteren Uebertritt des Druckes in das Widerlager. Als Grenze des Widerlagers ist dabei die Wandflucht oder die senkrechte durch die Vorderfläche des Schildbogens gelegte Ebene angesehen. Diese Länge h ist am wenigsten scharf festzustellen, da in demselben Gewölbe flachere und steilere Druckübertragungen möglich sind, man rechnet zur Sicherheit den Pfeil der Stützkurve nicht zu gross und bekommt dann in der Regel merklich geringere Höhen als diejenige des Gewölbes, in der Tabelle schwankt h zwischen $^3/_4$ und $^9/_{10}$ des Gewölbepfeiles.

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

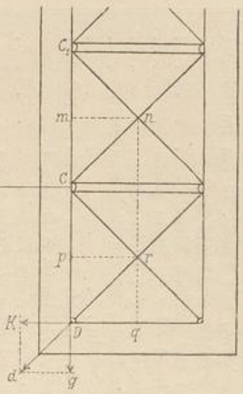
Ho = Horizontalschub für je 1 qm Grundrissfläche des auf dem Widerlager ruhenden Gewölbstückes z. B. einer Jochhälfte. Mit Rücksicht auf die möglichen Schwankungen sind hier zwei Werte angegeben, von denen der grössere mehr für kleine, der niedere mehr für grosse Gewölbe zutrifft.

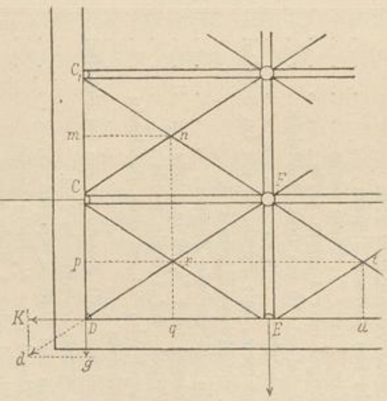
Interessant ist es, das Verhältnis von Schub Ho und Gewicht Vo bei den verschieden hohen Gewölben zu vergleichen.

Nach der Tabelle verhält sich im Durchschnitt:

beim Pfeilverhältnis 1 : 8 — der Horizontalschub zum Gewicht der Hälfte wie 2 : 1
" " 1 : 3 " " " " " " " 3 : 4
" " 1 : 2 " " " " " " " 3 : 7
" " 2 : 3 " " " " " " " 1 : 3
" " 5 : 6 " " " " " " " 1 : 4

Für oberflächliche Schätzungen kann man sich diese Verhältniszahlen merken, bei mittelhohen spitzbogigen Kreuzgewölben von etwa $^2/_3$ Pfeilhöhe ist also ein Schub zu erwarten, der ungefähr gleich $^1/_3$ des betreffenden Gewölbgewichtes (einer Hälfte) ist und der in etwa $^1/_4$ der Pfeilhöhe in die Wand übertritt.

366


367


In den letzten Spalten der Tabelle sind als Beispiele die Gewichte und Schübe für zwei Kreuzgewölbe von 4×4 und von 8×8 m Grösse berechnet, unter der Annahme, dass an einem Widerlagspunkt (vgl. *C* in Figur 366) zwei benachbarte Felder zusammentreffen. Es hat dann die belastende Fläche *mnpr* den Inhalt eines halben Gewölbes.

Der Schub auf eine Ecke *D* der Wand (Fig. 366) wird durch das kleinere Gewölbstück *p r q D* erzeugt und ist demgemäss merklich geringer. Man geht genügend sicher, wenn man in jeder der beiden Richtungen *D k* und *D g* den Schub halb so gross annimmt wie denjenigen auf *C*. Statt der Seitenschübe *Dk* und *Dg* kann man natürlich den Diagonalschub *Dd* einführen in der Richtung der Rippe. Derselbe ist immer kleiner als der Schub auf *C* (7 : 10).

Bei rechteckigen Feldern (Fig. 367) wird der Schub auf die Punkte *C* und *E* verschieden. Auf beiden Punkten lastet zwar ein halbes Feld *mnpr* bez. *rtqu*, aber die Spannweiten *CF* und *EF* sind ungleich, infolgedessen hat das Gewölbe bei gleicher Pfeilhöhe in der kurzen Richtung ein schlankeres Pfeilverhältnis und daher einen kleineren Schub. An der Ecke *D* fällt bei nicht überhöheten Gewölben auch beim Rechteck die Schubrichtung in die Diagonale. Die Tabelle giebt für sehr gestreckte Felder keine genaue Werte mehr, Gewichte und Schübe werden dann bei der Längsrichtung ein wenig zu klein und bei der Querrichtung reichlich gross. Weichen rechteckige Felder aber nicht gar zu weit vom Quadrat ab, so kann man immerhin die Tabelle auf sie anwenden, für das Pfeilverhältnis hat man dabei immer die Spannweite in der Richtung des gesuchten Schubes in Betracht zu ziehen.

3. Ermittelung der Stützlinie und der Spannungen im Widerlager.

Sicherheit gegen Gleiten, Umsturz und Zerdrücken.

Hat man durch Berechnung, Konstruktion oder die Tabelle I den Widerlagsdruck W eines Gewölbes oder was dasselbe sagt, seine beiden Seitenkräfte H und V (vergl. Fig. 368) gefunden, so ist danach die Widerlagsfähigkeit des Stützkörpers zu untersuchen. Derselbe muss gegen Gleiten, Umsturz und Zerdrücken gesichert sein.

Ein Gleiten oder Fortschieben des Widerlagers ist bei den üblichen Baustoffen und Konstruktionen selten zu fürchten. Es kann eintreten, wenn bei weichem Mörtel der Winkel zwischen Druckrichtung und Fuge kleiner ist als 45 bis 60°, bei erhärtetem Mörtel, wenn dieser Winkel unter 30 bis 45° beträgt. Durch veränderte Fugenlage, weniger gut durch Dollen kann man das Gleiten verhüten. Vorsicht ist den Isolierschichten aus weichen harzigen Stoffen entgegenzubringen, da dieselben schon ein Gleiten ganzer Mauerkörper veranlasst haben. Solche Isolierfugen dürfen nur da angeordnet werden, wo der Druck fast senkrecht gegen die Fuge trifft, ausserdem ist durch Wahl der Stoffe und Zusätze dafür zu sorgen, dass die Isoliermasse nicht zu weich oder glatt bleibt. Gleiten der Widerlager.

Die Sicherheit gegen Umsturz ist leicht zu prüfen. Man stellt für die äussere gefährdete Kante (A in Fig. 340) die Momentengleichung auf. Dabei muss sich ergeben, dass die Summe der im günstigen Sinne drehenden Momente (Kraft mal Hebel) grösser ist als die Summe der in umgekehrter Richtung drehenden Momente (Umsturzmomente). Für einen einfachen Fall ist die Untersuchung auf Umsturz bereits Seite 124 (Fig. 340) besprochen. — Für den in Fig. 368 gezeichneten, von beiden Seiten geschobenen Mauerkörper würde ein Umsturz um die Kante *A* nicht eintreten, so lange: $G_1 \cdot a_1 + G_2 \cdot a_2 + W_2 \cdot n > W_1 \cdot m$ ist. Umsturz.

Will man untersuchen, ob nicht um die andere Kante *B* ein Umsturz erfolgen könne, so kann man auch für diese die Momente aufsuchen.