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 $1^1/_2$ cm einbegriffen. Als Ziegelgrösse ist das deutsche Normalformat $25 \times 12 \times 6^1/_2$ 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 Gewölbestückes (z. B. Wölbhälfte). Es schwankt dieser Hebelarm, der von der Mauerflucht bezw. Schildbogenflucht zu messen ist, je nach Steilheit des Gewölbes zwischen $^1/_6$ und nahezu $^1/_4$ der ganzen Spannweite.

h = Hebelarm des Horizontalschubes oder die Pfeilhöhe der Stützkurve, bezw. 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 Stützkurve nicht zu gross und bekommt dann in der Regel merklich geringere Höhen als diejenigen 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 bezw. des Schildbogens durchschneidet. Diese Höhe ist gemessen von der Grundfläche des Gewölbes aufwärts, d. h. bei nicht gestelzten Gewölben von Oberkante Kapitäl bezw. 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 Gewölbestückes 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 | „ „ „ „ „ „ „ | 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

Tabelle 1.

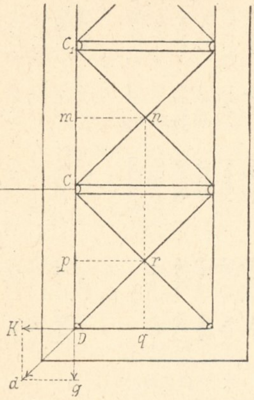
## Die Gewichte und Horizontalschübe der Gewölbe (s. Fig. 365).

| Bezeichnung des Gewölbes | Gewicht von je 1 qm Grundrissfläche *Vo* | Hebelarm des resultierenden Gewichtes *a* | Hebelarm der Horizontalschübe *h* | Höhe des Widerlagsdruckes über Gewölbebeginn *Z* | Horizontalschub für je 1 qm Grundriss des lastenden Gewölbestückes *Ho* | Beispiel I. Gewölbe von 4.4 m: Gewicht einer Hälfte *V* | Schub einer Hälfte *H* | Beispiel II. Gewölbe von 8.8 m: Gewicht einer Hälfte *V* | 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 | | 0,90 f** | | 500—550 | 2160 | 4400 | 8600 | 16000 |
| c. $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös . . . | 370 | 0,22—0,23 s* | | | 700—750 | 2960 | 6000 | 11800 | 22400 |
| d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein . | 500 | rd $^2/_9$ s | oder | $^1/_8$ bis $^1/_6$ f | 950—1000 | 4000 | 8000 | 16000 | 30400 |
| e. 30 cm dick Bruchstein . . . . . . . . . . | 850 | | $^1/_{10}$ s | | 1600—1700 | 6800 | 13600 | 27200 | 51000 |
| f. Überfülltes 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 | | | | 220—240 | 2480 | 1920 | 9900 | 7000 |
| c. $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös . . . | 420 | 0,19—0,21 s | 0,85—0,75 f | | 300—330 | 3360 | 2640 | 13400 | 9600 |
| d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein . | 570 | rd $^1/_5$ s | oder | $^1/_6$ bis $^1/_4$ f | 420—450 | 4560 | 3600 | 18200 | 13400 |
| e. 30 cm dick Bruchstein . . . . . . . . . . | 1000 | | $^3/_{10}$—$^1/_4$ s | | 710—750 | 8000 | 6000 | 32000 | 22700 |
| f. Überfülltes 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 | | | | 140—160 | 2800 | 1280 | 11200 | 4500 |
| **c.** $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös . . . | 480 | 0,17—0,20 s | 0,80—0,70 f | | 190—220 | 3840 | 1760 | 15400 | 6100 |
| **d.** 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein . | 700 | = $^1/_6$—$^1/_5$ s | oder | $^1/_5$ bis $^1/_3$ f | 280—320 | 5600 | 2560 | 22400 | 9000 |
| **e.** 30 cm dick Bruchstein . . . . . . . . . . | 1200 | | $^2/_5$—$^1/_3$ s | | 480—550 | 9600 | 4400 | 38500 | 15300 |
| **f.** Überfülltes 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 | | 110—130 | 3040 | 1040 | 12200 | 3500 |
| c. $^3/_4$ Stein feste Ziegel oder 1 Stein porös . . . | 530 | | oder | | 160—180 | 4240 | 1440 | 17000 | 5100 |
| d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein . | 750 | = $^1/_6$—$^1/_5$ s | | $^1/_5$ bis $^1/_4$ f | 220—250 | 6000 | 2000 | 24000 | 7000 |
| e. 30 cm dick Bruchstein . . . . . . . . . . | 1300 | | rd $^1/_2$ s | | 400—430 | 10400 | 3440 | 41500 | 12800 |
| f. Überfülltes 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 | | | 150—160 | 5200 | 1280 | 20800 | 4800 |
| d. 1 Stein feste Ziegel oder 20 cm dick Sandstein . | 900 | | oder | $^1/_5$ bis $^1/_4$ f | 210—230 | 7200 | 1840 | 28800 | 6700 |
| e. 30 cm dick Bruchstein . . . . . . . . . . | 1500 | | rd $^2/_5$ s | | 350—370 | 12000 | 2960 | 48000 | 11200 |
| f. Überfülltes Ziegelgew., mit Fussb. 32 cm im Scheitel | — | 0,15 s | | | — | 13000 | 3000 | 77800 | 17500 |

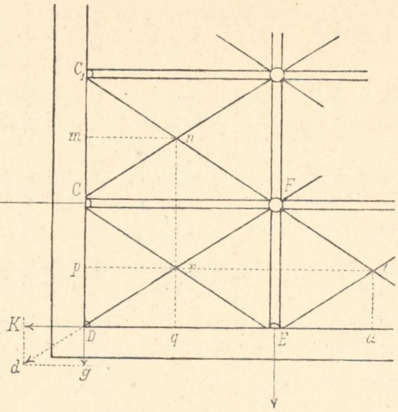
* s = Spannweite, ** f = Pfeilhöhe.

zu erwarten, der ungefähr gleich $^1/_3$ des betreffenden Gewölbegewichtes (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 Widerlagspunkte (vgl. *C* in Figur 366) zwei benachbarte Felder zusammentreffen. Es hat dann die belastende Fläche *mn rp* den Inhalt eines halben Gewölbes.

Der Schub auf eine Ecke *D* der Wand (Fig. 366) wird durch das kleinere Gewölbestück *prqD* erzeugt und ist demgemäss merklich geringer. Man geht genügend sicher, wenn man in jeder der beiden Richtungen *Dk* und *Dg* 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* bezw. *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 überhöhten Gewölben auch beim Rechtecke die Schubrichtung in die Diagonale. Die Tabelle giebt für sehr gestreckte Felder keine genauen 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 Quadrate ab, so kann man immerhin die Tabelle auf sie anwenden, für das Pfeilverhältnis hat man dabei immer die Spannweite des Wölbfeldes 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 Wiederlagsdruck 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.

Gleiten der Widerlager.

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 etwa $60^0$, bei erhärtetem Mörtel, wenn dieser Winkel unter 30 bis $45^0$ 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.

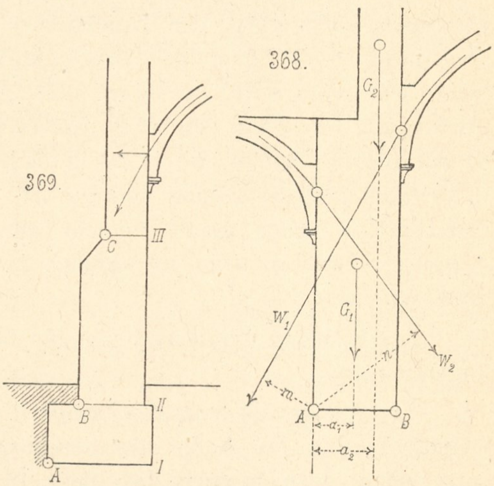
Umsturz.

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. Für einen einfachen Fall ist die Untersuchung auf Umsturz bereits Seite 127 (Fig. 340) besprochen. — Für den in Fig. 368 gezeichneten, von beiden Seiten geschobenen Mauerkörper würde ein Umsturz um die Kante *A* nicht eintreten, solange: $G_1 \cdot a_1 + G_2 \cdot a_2 + W_2 \cdot n > W_1 \cdot m$ ist.

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

Statt der Widerlagskräfte $W_1$ und $W_2$ hätte man natürlich auch deren horizontale und vertikale Seitenkräfte in Rechnung setzen können, ähnlich wie bei Fig. 340.

Ein Umsturz kann leicht erfolgen an der Fundamentsohle (Fläche *I* in Fig. 369, Kippkante *A*) sodann an der Aufstandsfläche vom Mauerkörper auf das erbreiterte Fundament (*II*, Kippkante *B*), und schliesslich bei jeder plötzlichen Querschnittseinziehung (z. B. III, Kippkante C). Für diese Stelle würde man die Standfähigkeit zu untersuchen haben. Zeigt sich, dass an einer Stelle das Umsturzmoment überwiegt, so wird sich ein Aufkippen des darüber befindlichen Mauerteiles nur durch besondere Mittel verhüten lassen, dahin gehört ein Verklammern der Mauer an der Rückseite. Auch das feste Anhaften eines zugfesten Mörtels kann das Aufkippen hindern, in der That wird manche gefährdete Mauer dadurch gehalten. Mit der Zugfestigkeit des Mauerwerkes darf man bei derartigen Hochbauten aber selbst mit Zementmörtel nicht sicher rechnen, da schon kleine vielleicht gar nicht sichtbare Haarrisse, die durch die Art der Ausführung, Verdrückungen, Temperaturspannungen usf. entstanden sind, den Zusammenhang aufheben können. An der Fundamentsohle



kann ein Festhalten der Mauer überhaupt nicht statthaben, wenn hier das Umsturzmoment zu gross wird, könnte höchstens, die seitlich gegengelagerte Erde sich nützlich erweisen, die aber ein nur wenig zuverlässiger Faktor ist.

Festigkeit und zulässige Pressung.

Die Sicherheit gegen Umsturz genügt allein noch nicht; die Druckpressung darf an keiner Stelle die dem Baustoffe entsprechende zulässige Grenze überschreiten. Bei Untersuchungen der in Frage kommenden Stoffe auf ihre Festigkeit hat man nachfolgende Werte erzielt.

| | Zermalmt bei — kg auf 1 qcm Druckfläche | Abgeschert bei — kg auf 1 qcm Scherfläche |
|---|---|---|
| Granit, Diorit, Syenit, Basalt . . . . . . | 500—1800 kg und mehr | 60—100 kg |
| guter Kalkstein, Dolomit, Marmor . . . . | 400—1000 „ | 30—70 „ |
| gewöhnlicher Sandstein . . . . . . . . . | 150—400 „ | 10—20 „ |
| besonders fester Sandstein . . . . . . . | 300—900 „ | 20—40 „ |
| leichter Kalktuff . . . . . . . . . . | 50—200 „ | 10—30 „ |
| Klinkerziegel . . . . . . . . . . . . | 250—700 kg | 40—60 kg |
| gute Mauerziegel . . . . . . . . . . . | 100—200 „ | 15—30 „ |
| gewöhnliche Mauerziegel . . . . . . . | 60—100 „ | — |
| poröse oder Lochsteine . . . . . . . . | 40—100 „ | — |
| Zementmörtel . . . . . . . . . . . . | 100—200 kg | 18—30 kg |
| guter Kalkmörtel, erhärtet . . . . . . . | 40—90 „ | — |

Die Scherfestigkeit der Sandsteine und Kalksteine kann in der Richtung scharf hervortretender Lagerflächen merklich kleiner sein. Die Zugfestigkeit der Steine beträgt meist weniger als $^1/_{20}$ der Druckfestigkeit, die stark wechselnde Biegungsfestigkeit wird wohl zu $^1/_6$ der Druckfestigkeit angenommen.

Mit Rücksicht auf Fehler des Materials (Risse und Sprünge) und unvollkommene Auflagerung der Druckflächen muss man mit der „zulässigen Beanspruchung" weit hinter der Druckfestigkeit zurückbleiben. Besonders soll man Steine mit geringer Scherfestigkeit nicht zu stark belasten, da bei schlechter Druckübertragung leicht ein Abplatzen eintreten kann. Die Scher- oder Schubfestigkeit ist aus diesem Grunde mit in die Tabelle aufgenommen. Da die Scherfestigkeit in der Richtung des Spaltes geringer ist, pflegt man einige Steinarten ungern auf den Spalt zu stellen, jedoch braucht man bei ausgewählten fehlerlosen Stücken aus geeigneten Brüchen nicht zu ängstlich zu sein, wie zahllose Beispiele des Mittelalters erweisen.

Als zulässige Beanspruchung für Stein wird gewöhnlich $^1/_{10}$ der Festigkeit angenommen.

Für Mauerwerk muss die Festigkeit von Mörtel und Stein gleichzeitig berücksichtigt werden. Für Kalk- oder Sandsteine mit Weisskalk, Zement oder Blei versetzt, pflegt man je nach dem Stein 15 bis 30 kg auf das qcm zuzulassen, für Bruchstein in Kalkmörtel 5 kg, nach völliger Erhärtung ev. 7—10 kg, für Ziegelmauerwerk in Kalkmörtel 7 kg, für Ziegel in Zement 12 kg, bei sehr gutem Materiale 14—20 kg. Da man bei Kirchen Pfeiler und Wände sorgfältig auszuführen pflegt, kann man, wenn die Gewölblast erst nach genügender Erhärtung des Mörtels hinzutritt, gute Ziegel in Kalkmörtel unbedenklich bis 10 kg, in Zement bis 20 kg als grösste Kantenpressung beanspruchen, vorausgesetzt, dass nicht behördliche Bestimmungen niedere Grenzen setzen. Alte Werke zeigen oft weit höhere Pressungen, 20 bis 30 kg bei Ziegelstein und 30 bis 50 kg bei Werkstein sind nicht selten.

Es ist überraschend, wie stiefmütterlich von den meisten modernen Statikern die uralten Baustoffe Stein und Kalkmörtel gegenüber den Neulingen Eisen und Zement behandelt werden. Es spricht sich das nicht nur in der Vernachlässigung der altbewährten monumentalen Stoffe bei der Festigkeitsforschung aus, sondern auch in dem Grade der erlaubten Beanspruchung. Während man bei Zement und Eisen dazu neigt, an eine kaum noch zu verantwortende Grenze zu gehen, wird den zuverlässigen alten Baustoffen oft nur ein geringer Prozentsatz derjenigen Beanspruchung zugestanden, die sich durch Jahrhunderte alte Proben grössten Massstabes überall bewährt hat.

Der in der Praxis stehende oder gar mit den Bauwerken früherer Zeiten näher bekannte Hochbautecknike muss geradezu verblüfft werden durch die 1889 von einem Ausschusse des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereines veröffentlichte Aufstellung über die zulässige Druckbeanspruchung von Ziegel- und Bruchsteinmauerwerk. Demnach darf 1 qcm beansprucht werden bei Mauerstärken über 45 cm und Pfeilerdicken über $^1/_6$ der Höhe mit 5 kg bei Ziegeln mit Weisskalkmörtel, bei Ziegeln und Zementkalk 7,5 kg und bei Ziegeln mit Zementmörtel 10 kg. Für sog. geschlemmte Ziegel mit Zementkalkmörtel wird 9 kg genehmigt. Für Mauern unter 45 cm oder Pfeilerstärke von $^1/_6$ bis $^1/_8$ der Höhe werden diese 4 Werte verringert auf 2,5, 5, 7,5 und 8 kg. Bei Pfeilern von $^1/_8$ bis $^1/_{12}$ Höhenverhältnis sind den beiden letzteren Mauerarten noch 5 bezw. 7,5 kg zugebilligt, während die ersteren ganz in Fortfall kommen. Für Pfeiler, die schlanker sind als 1 : 8 sind demnach Ziegelsteine in „Kalkmörtel“ nicht statthaft. Was sagen dazu die Pfeiler unserer norddeutschen Backsteinkirchen? — Demgegenüber sei hier empfohlen, Ziegelmauerwerk mit Kalkmörtel bei zentrischer Drucklage ruhig mit der üblichen Beanspruchung von 7 kg oder selbst etwas darüber zu beanspruchen, bei exzentrischer Drucklage und guter Ausführung aber auch bis zu etwa 10 kg Kantenpressung zuzulassen. Nur soll man diese Beanspruchungen noch nicht voll eintreten lassen, solange der Mörtel noch weich ist. In den ersten Wochen soll man dem Kalkmörtel nur $2^1/_2$—5 kg zumuten und besonders starke exzentrische Pressungen vermeiden.

Einen mässig guten Baugrund als Lehm oder Sand pflegt man bis $2^1/_2$ oder 3 kg auf das qcm zu belasten, besonders guten Baugrund bis 5 kg, auch hier lassen sich bei alten Werken (z. B. Turm zu Ulm) weit höhere Pressungen von 10 kg und mehr nachweisen. Bei nachgiebigem Boden ist es von grösster Wichtigkeit, die Fundamentbreiten so auszugleichen, dass möglichst unter allen Bauteilen der Boden die gleiche Belastung erfährt, da sonst verschiedenes Setzen unvermeidlich ist.

## Lage der Stützlinie.

Wenn der resultierende Druck inmitten der Querschnittsfläche angreift, so verteilt er sich gleichmässig über dieselbe. Die Beanspruchung der Flächeneinheit ist sodann durch Division des Druckes durch die Fläche ohne weiteres zu finden. Ruht z. B. mitten auf einem Pfeiler von $^1/_2$ qm oder 5000 qcm Grundfläche und einem Eigengewichte von 6000 kg eine Last von 11 500 kg, so ergiebt sich an der Unterfläche des Pfeilers eine Pressung von $(11\,500 + 6000) : 5000 = 3^1/_2$ kg auf 1 qcm.

Nun geht aber bei Wölbwiderlagern der Druck selten gerade durch die Mitte des zu untersuchenden Querschnittes, er wird sich mehr oder weniger einer Kante nähern. Je dichter aber die Mittellinie des Druckes an eine Kante heranrückt, um so mehr wächst hier die Pressung, während sie an der entgegengesetzten Seite im gleichen Verhältnisse abnimmt.

Lage des resultierenden Druckes in einem Querschnitt.

Um die Verteilung der Spannungen auffinden zu können, ist es nötig, dass man den Durchgang der Drucklinie durch den betreffenden Querschnitt ermittelt, was sich auf rechnerischem oder zeichnerischem Wege leicht vollführen lässt.

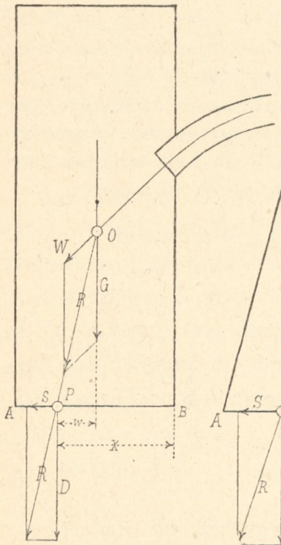
1. Ermittelung durch Zeichnung.

1. Graphisches Verfahren (Fig. 370). Um Lage und Grösse des Druckes auf die Fläche *A B* zu finden, setzt man das Gewicht des darüber liegenden Widerlagskörpers G mit dem Wölbdruck W vom Schnittpunkte *O* aus nach dem Parallelogramme der Kräfte zusammen. Dadurch findet man die Grösse und Richtung des gesuchten Druckes R und seinen Durchgang *P* durch die Fläche *A B*. Von dem schrägen Drucke R kommt nur die senkrechte Seitenkraft D als eigentlicher Fugendruck in Frage, während der wagerechte Teil S durch die Reibung der Schichten auf einander aufgenommen wird.

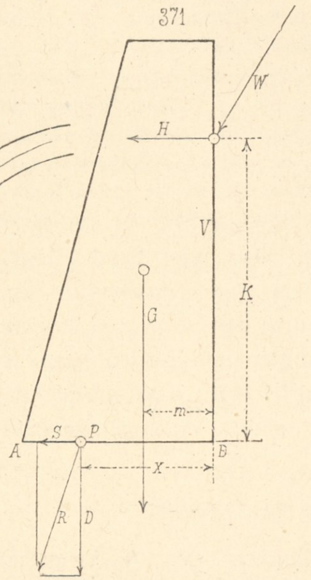
2. Ermittelung durch Rechnung.

2. Rechnerisches Verfahren (Fig. 371). Man führt nicht den Wölbdruck sondern seine beiden Seitenkräfte H und V ein und stellt für den gesuchten Druckpunkt P, welcher den unbekannten Abstand x von B hat, die Momentengleichung auf, dieselbe lautet im vorliegenden Falle:

370.




371




1) $V \cdot x + G \cdot (x - m) = H \cdot k$.

Daraus lässt sich die Länge x ermitteln und somit die Lage des Druckmittelpunktes *P* festlegen. Die Grösse der Druckkraft R geht aus derjenigen ihrer Seitenkräfte D und S hervor, diese aber sind leicht zu ermitteln. D muss die Summe aller senkrechten Kräfte sein, hier also:

2) $D = G + V$.

S muss gleich der allgebraischen Summe der horizontalen Kräfte sein, hier nur H, also:

3) $S = H$.

Treten mehr Kräfte auf als bei dem vorigen Beispiele, so sind sie beim graphischen oder analytischen Verfahren in der gleichen Weise mit hinzuzuziehen. Der Gang ist immer der gleiche, möge eine Wand, ein Strebepfeiler oder Mittelpfeiler zu untersuchen sein, möge ein einzelnes Gewölbe oder eine beliebig grosse Zahl von Wölbungen in verschiedener Höhe und zu verschiedenen Seiten wirken.

Beispiel: Ein prismatischer Strebepfeiler von 10 m Höhe, 1 m Breite und 2 m Grundrisslänge in der Richtung des Schubes, der aus Bruchstein von 2400 kg Gewicht für 1 cbm gemauert ist, nimmt in 8 m Höhe einen Gewölbedruck auf, dessen Schub H sich auf 3000 und dessen senkrechte Last V sich auf 9600 kg berechnet. Die Schwerkraft G hat von der Innenkante einen Abstand *m* von 1 m. Die Momentengleichung für den gesuchten Punkt P lautet:

$$9600 \cdot x + G\,(x - 1{,}00) = 3000 \cdot 8{,}00.$$

Das Pfeilergewicht ist: $G = 10{,}00 \cdot 2{,}00 \cdot 1{,}00 \cdot 2400 = 48\,000$ kg.

$$9600 \cdot x + 48\,000 \cdot x - 48\,000 = 3000 \cdot 8{,}05$$

$$57\,600 \cdot x = 72\,000$$

$$x = 1{,}25 \text{ m}.$$

Der Mittelpunkt des Druckes ist also von der Innenkante 1,25 m, von der Aussenkante 75 cm entfernt, vom Schwerpunkt 25 cm.

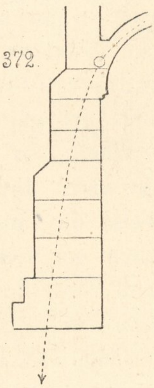
Die Grösse des Druckes ist in senkrechter Richtung:

$$D = G + V = 48\,000 + 9600 = 57\,600 \text{ kg}.$$

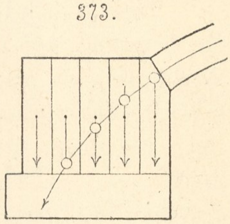
in horizontaler Richtung: $S = H = 3000$ kg.

Der horizontale Teil S ist verhältnismässig sehr klein, er wird mit voller Sicherheit durch den Reibungswiderstand aufgenommen. Der senkrechte Teil D liefert die in Frage kommende Pressung. Ginge der Druck durch die Mitte, so wäre die Pressung überall $57\,600 = 20\,000 = 2{,}88$ kg auf 1 qcm. Bei der vorliegenden Verschiebung des Druckes wird aber die Pressung an der Aussenkante grösser, wie etwas später gezeigt werden wird.

372.

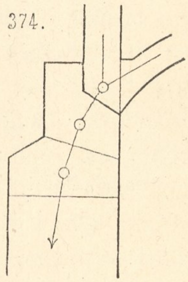


373.



Verlauf der Drucklinie.

374.



In der beschriebenen Weise kann man die Lage des Druckes in jedem beliebigen Querschnitt feststellen. Bei gerade aufsteigenden Pfeilern oder Mauern genügt es, die Aufstandsfläche auf dem Fundament oder die Unterfläche des Fundamentes zu untersuchen. Weist der Stützkörper oben Einziehungen auf (Höhe *III* in Fig. 369), so wird man auch unter diesen die Lage des Druckes zu prüfen haben. Will man die Mittellinie des Druckes in ihrem ganzen Verlauf von oben bis unten darstellen, so nimmt man nach Art der Figur 372 eine wagerechte Streifenteilung vor und setzt für jede Fläche alle über ihr wirkenden Kräfte zu einer resultierenden Druckkraft zusammen. Verbindet man die Durchgangspunkte des Druckes durch eine Kurve, so stellt diese die Drucklinie dar.

Bei grosser Tiefe der Widerlager kann sich statt der wagerechten eine senkrechte Streifenteilung empfehlen (Fig. 373), es wird der Wölbdruck nacheinander mit der Last der Streifen zusammengesetzt. Je nach Gestalt des Widerlagers können auch noch weitere Streifenteilungen gewählt werden, z. B. die in Fig. 374 dargestellte.

Für einfache Fälle kann man aus der Lage der Drucklinie schon darauf schliessen, ob die Widerlagsstärke genügt oder nicht. Erscheint letztere zu schwach, so erbreitert man sie und sucht die Stützlinie von neuem. Für wichtige Fälle muss man sich ausserdem noch Rechenschaft von der Grösse und Verteilung der Spannungen geben.

## Verteilung der Spannungen, Kern des Querschnittes.

Kehren wir wieder zu einem einzelnen Querschnitte zurück, für den die Lage und Grösse des resultierenden Druckes in der vorbeschriebenen Weise bestimmt sei, so sind zwei Fälle zu unterscheiden, es kann der Druck entweder in den Kern des Querschnittes liegen oder ausserhalb desselben, was das heisst, soll sogleich erläutert werden.

Geht der Druck durch die Mitte oder richtiger durch den Schwerpunkt des Querschnittes, so verteilt er sich gleichmässig über die ganze Fläche, was in Fig. 375 durch die kleinen gleich langen nach oben gerichteten Pfeile angedeutet wird (dieselben sollen nicht die nach unten gekehrten Pressungen, sondern die ebenso grossen von der Unterlage ausgeübten Gegenpressungen veranschaulichen). Jedes qcm bekommt den Druck: $p = D : F$, worin D den Gesamtdruck in kg, F die Querschnittsgrösse in qcm bezeichnet.

Rückt der Druck D von dem Schwerpunkte etwas fort und zwar zu einem näher bei *A* gelegenen Punkte (Fig. 376), so wächst bei *A* die Pressung, während sie sich bei *B* vermindert. Im Schwerpunkte selbst behält sie den durchschnittlichen Wert $p = D : F$.

Kern des Querschnittes.

Bewegt sich D noch weiter, so muss schliesslich der Fall eintreten, in welchem die Pressung bei *B* zu Null wird (Fig. 377). Diese Lage des Druckes ist von Wichtigkeit, da man sie in den meisten Fällen nicht gern überschreitet, denn wenn D noch weiter fortrückt, so breitet sich der Druck nicht mehr über die ganze Fläche aus. Bei einem Quadrate oder Rechtecke (Grundriss 378) liegt dieser Grenzpunkt *b* in ein Drittel der ganzen Länge *AB*. Würde der Druck D sich umgekehrt der Kante *B* nähern, so würde bei A die Pressung zu Null, wenn D nach dem Punkte *a* gerückt wäre. Bei einer Verschiebung in seitlicher Richtung würden sich in derselben Weise die Grenzpunkte *f* und *g* ergeben. Verbindet man die Punkte *abfg*, so entsteht ein Viereck, welches man als Kern des Querschnittes bezeichnet. Länge und Breite des Kernes ist ein Drittel der Länge bezw. Breite des Rechteckes. Nur wenn der resultierende Druck in dem Kerne angreift, bekommt jedes Stück der Fläche eine Druckpressung, soll solches erzielt werden, so darf sich also der Druck sowohl in der Längs- als in der Breitenrichtung nur im mittleren Drittel bewegen. Wenn er in schräger Richtung abweicht, so ist sein Spielraum noch viel geringer, was besonders zu beachten ist; in der Diagonale beträgt die Kernweite sogar nur $^1/_6$ der Diagonallänge.

Der Kern eines Kreises ist wiederum ein Kreis, dessen Durchmesser $^1/_4$ des grossen ist. (Fig. 379).

Der Kern des Dreieckes ist ein ähnliches, kleineres Dreieck, das nach den Längen $^1/_4$, nach dem Inhalte $^1/_{16}$ des grossen ausmacht. Die Spitzen des Kerndreieckes liegen auf den Mitten der drei Mittellinien des grossen Dreieckes (Fig. 380).

Wenn der Druck an die Grenze des Kernes rückt, so wird beim Rechtecke und Kreis die grösste Kantenpressung doppelt so gross wie die Durchschnittspressung p; beim Dreiecke dagegen wird die grösste Kantenpressung nur das Eineinhalbfache der Durchschnittspressung.

Zwei weitere Grundrisse, die bei einem Zusammenwirken von Mauer und Strebepfeiler in Frage kommen können, sind in den Figuren 381 und 382 unter Eintragung der Hauptmasse für die Kerngrösse wiedergegeben.

Will man für irgend einen Grundriss einen Grenzpunkt des Kernes finden, z. B. den Punkt *P* in Fig. 382, so verwendet man die Formel:

4) $w = \frac{J}{F \cdot z}$.

Darin ist w der Abstand des gesuchten Punktes vom Schwerpunkte, J das Trägheitsmoment auf die Schwerpunktsachse Y Y, F der Inhalt der ganzen Fläche und z der Abstand der pressungslosen Linie (neutralen Faser) vom Schwerpunkte. Mit dieser Formel kann man sich für einen beliebigen Querschnitt die Hauptpunkte der Kernfigur aufsuchen.

Druck innerhalb des Kernes.

Liegt der Druck D weder auf der Kerngrenze noch im Schwerpunkte, sondern in irgend einem anderen Punkte der Kernfläche — vergl. Fig. 376 —, so muss man sich die pressungslose neutrale Faser in einem Punkte *O* ausserhalb der Fläche liegend denken. Kann man die Lage dieses Punktes *O* ermitteln, so kennt man die ganze Verteilung des Druckes, denn man braucht dann nur über dem Schwerpunkte s die durchschnittliche Pressung p nach einem bestimmten Massstabe aufzutragen (z. B. 1 kg = 1 mm oder 1 kg = 5 mm) und durch den Endpunkt von p eine Verbindungslinie nach *O* zu ziehen. Die Höhenlage dieser Linie über der Grundfläche *A B* bezeichnet an jedem Punkte die Grösse der Pressung auf 1 qcm.

Die Lage der neutralen Faser *O* kennt man, wenn man ihren Abstand z vom Schwerpunkte kennt, diesen findet man aus Gleichung 4), die nach z aufgelöst lautet

4a) $z = \frac{J}{F \cdot w}$.

Darin ist wieder J das Trägheitsmoment, F die Fläche und w der Abstand der Kraft D vom Schwerpunkte. Das Trägheitsmoment bezogen auf die Schwerpunktsachse YY ist für die in Frage kommenden Grundrisse das nachfolgende:

für das Rechteck (Fig. 378) $J = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$;

für das Quadrat (gerade oder übereck) $J = \frac{1}{12} \cdot b^4$;

für den Kreis (Fig. 379) $J = \frac{\pi}{64} \cdot D^4$ oder: $0{,}049 \cdot D^4$;

für das Dreieck (Fig. 380) $J = \frac{1}{36} \cdot b \cdot h^3$;

für das regelmässige Achteck $J = 0{,}055 \cdot d^4$;

für den Grundriss Fig. 381 $J = 1{,}083 \cdot a^4$ (auf die xx Achse: $J = 2\frac{1}{3}\, a^4$);

für den Grundriss Fig. 382 $J = 3{,}618 \cdot a^4$ (auf die xx Achse: $J = 2\frac{5}{12} a^4$).

Beispiel: Bei dem auf vorletzter Seite besprochenen Beispiele — Druck auf die Grundfläche eines Strebepfeilers — war als durchschnittliche Pressung p = 2,88 kg ermittelt. Die Änderung dieser Pressung nach den Kanten zu war noch nicht aufgesucht, jetzt ist sie nach der gegebenen Formel 4a zu finden. Der Durchgangspunkt *P* (Fig. 370) hatte sich bei diesem Beispiele in einem Abstand x = 1,25 m von der Innenkante *B* ergeben, das ist aber 25 cm links von der Mitte oder dem Schwerpunkte, es ist also w = 25, ferner war die Grundfläche F = 200 · 100 = 20 000 qcm und $J = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 200 \cdot 200 \cdot 200 = 66\,666\,667$ also ist $z = \frac{66\,666\,667}{20\,000 \cdot 25}$

z = 133 cm.

Diese Länge z trägt man rechts von der Mitte (vergl. Fig. 376) ab, von dem Endpunkte *O* zieht man in der angegebenen Weise die schräge Linie *O K* und kann nun die Grösse der Pressung an jedem Punkte abmessen.

Will man das Zeichnen umgehen, so kann man die Pressung an einem beliebigen Punkte unmittelbar durch Anwendung der nachstehenden Formel durch Rechnung auffinden:

$$5)\quad p_1 = \frac{D}{F} \pm \frac{D \cdot w \cdot c}{J}.$$

Darin ist wieder: D der resultierende Druck, w der Abstand desselben vom Schwerpunkte, F der Flächeninhalt, J das entsprechende Trägheitsmoment und schliesslich c der Abstand des auf seine Pressung zu untersuchenden Punktes von der Schwerpunktsachse. Das Zeichen $+$ ist für die stärker, das Zeichen $-$ für die schwächer gedrückte Seite zu verwenden.

*Beispiel:* Es werde wieder das vorige Beispiel benutzt, in welchem die rechteckige Grundfläche von b = 100 cm Breite und h = 200 cm Länge einen Gesamtdruck D = 57600 kg bekommt, der in w = 25 cm Abstand vom Schwerpunkte angreift. Das Trägheitsmoment auf die Querachse war bereits zu 66666667 = J berechnet.

Soll die grösste Pressung $p_1$ für die Aussenkante gefunden werden, so ist für diese der Abstand c vom Schwerpunkt = 100 cm also:

$$p_1 = \frac{57600}{20000} + \frac{57600 \cdot 28 \cdot 100}{66666667} = 2{,}88 + 2{,}16 = 5{,}04 \text{ kg}.$$

Die grösste Kantenpressung beträgt also rund 5 kg auf 1 qcm, die man bei der geplanten Ausführung des Strebepfeilers in Bruchstein mit Kalkmörtel als zulässig erachten kann.

Den Druck an der Innenkante findet man gerade so bei Anwendung des negativen Vorzeichens zu $p_1$ = 0,72 kg. Die Pressung noch für weitere Stellen zu berechnen hat keinen Wert, da man ja weiss, dass sie von der Innenkante bis zur Aussenkante gleichmässig wächst.

Druck ausserhalb des Kernes.

Wenn die *resultierende Druckkraft D ausserhalb des Kernes* liegt, so rückt die pressungslose Linie in den Querschnitt hinein (*O* in Fig. 383). Dabei ergeben sich an der Kraftseite Druckpressungen, an der entgegengesetzten Seite aber *Zugspannungen*. An der Stelle des Schwerpunktes herrscht nach wie vor der durchschnittliche Druck p = D : F, der grösste Kantendruck ist bei symmetrischen Grundrissen (Rechteck, Kreis) um 2 . p grösser als der an der anderen Seite auftretende grösste Kantenzug. Zur Ermittelung der pressungslosen (neutralen) Stelle und der Verteilung der Spannungen bleiben die Formeln 4 (oder richtiger 4a) und 5 in Gültigkeit.

Mauerwerk mit Zugspannungen.

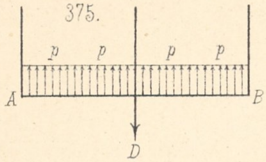
Wenn das Mauerwerk in der Lage ist, Zugspannungen auszuhalten, so würde bei beliebiger exzentrischer Lage des Druckes sich die Spannungsverteilung in gleicher Weise ermitteln lassen. Es kann dann sogar der Druck D ausserhalb der Mauer liegen (Fig. 384), wobei allerdings der Kantendruck und Kantenzug immer mehr wächst, bis er bei unendlicher Entfernung der Kraft D auch in einen unendlichen grossen Wert übergehen würde.

Mauerwerk ohne Zugspannungen.

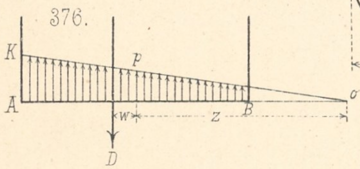
Nun darf man aber aus den früher angegebenen Gründen *dem Mauerwerk keinen Zug* zumuten. Die nicht gedrückten Teile werden gar keinen Anteil an der Kraftübermittelung haben, sie werden spannungslos aufeinander ruhen, unter Umständen wird sich hier sogar eine mehr oder weniger merkliche offene Fuge bilden können. Die Druckübertragung findet so statt, als wenn dieser

## Verteilung der Druckspannungen über den Querschnitt.

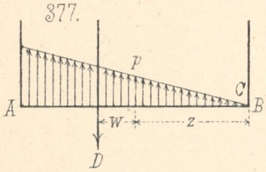
375.



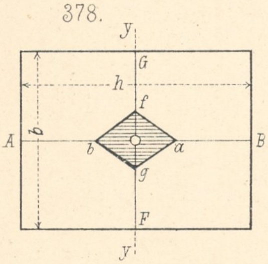

376.



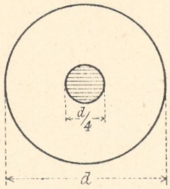

377.



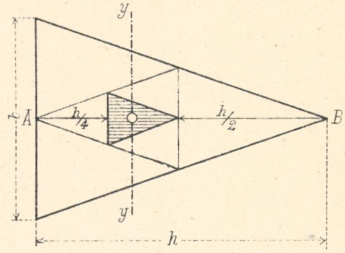

378.




379.

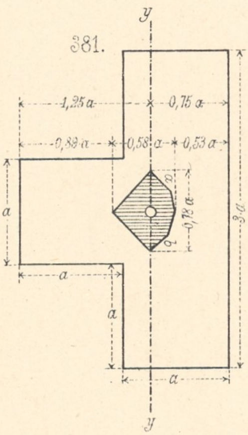



380.

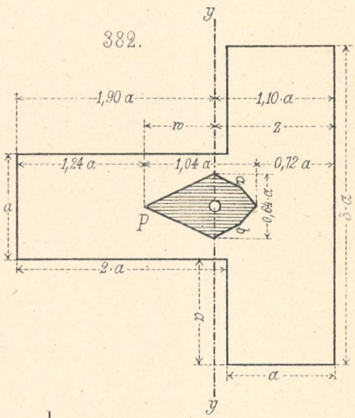



## Kernfiguren der Querschnitte.

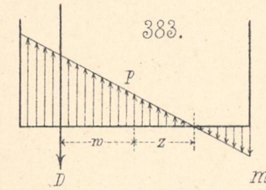
381.




382.




383.

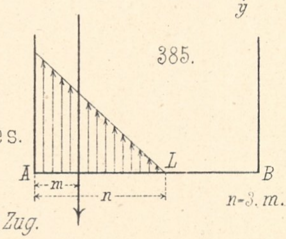



mit Zug.

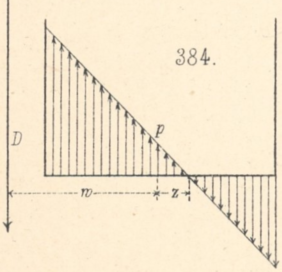
Druckkraft D.
ausserhalb des Kernes.

ohne Zug.

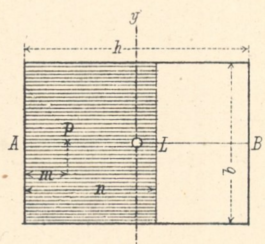
385.




384.




386.



betreffende Teil des Querschnittes gar nicht vorhanden wäre. Liegt z. B. ein rechteckiger Grundriss vor, Fig. 385 und 386, auf den der resultierende Druck D in dem Punkte *P* ausserhalb des Kernes wirkt, so wird sich die Spannung so verteilen, als wäre nur eine Fläche von der Länge *AL* vorhanden, welche bei *L* die Pressung Null hat. Ist bei *L* die Pressung Null, so muss der Druckmittelpunkt *P* die Kerngrenze darstellen, daraus folgt für rechteckige oder quadratische Querschnitte, dass man die Länge *AP* dreimal von *A* aus abzutragen hat, um den Punkt *L* zu erhalten.

Die in der Mitte der getroffenen Fläche (b . n) wirkende Durchschnittspressung d muss Druck durch Fläche sein, also: d = D: (b . n) = D : (b . 3 m).

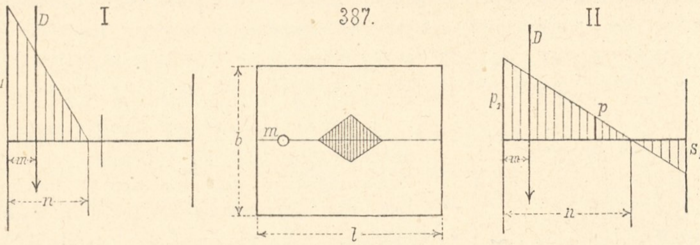
Die grösste Kantenpressung ist doppelt so gross, also:

6) $d_1 = \frac{2 . D}{3 . b . m}$.   7) n = 3 . m.

Diese Formeln gelten für quadratische und rechteckige Mauerquerschnitte von der Breite b, in denen eine Druckkraft D ausserhalb des Kernes in dem Abstande m von der Aussenkante angreift. Aus Gleichung 6 findet man als $d_1$ den grössten Kantendruck auf das qcm, aus 7 ergiebt sich die Länge n, bis zu welcher sich der Druck über die Fläche ausbreitet.

## Tabelle über die Grösse der Kantenpressung

in einem rechteckigen Mauerquerschnitte bei verschiedener Lage der resultierenden Druckkraft.



387.

| Entfernung der Druckkraft von der Aussenkante $m =$ | I. Mauerwerk ohne Zug: Kantenpressung vorn $d_1$ | Kantenpressung hinten $d_2$ | Entfernung der pressungslos. Linie von der Vorderkante $n$ | II. Mauerwerk mit Zug: Kantendruck vorn $p_1$ | Kantenzug hinten $s_1$ | Entfernung der pressungslos. Linie von der Vorderkante $n$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $^1/_2$ l | p | p | ∞ | die gleichen Werte wie links | | | Druck greift an im Kern. |
| $^5/_{12}$ l | $1^1/_2$ p | $^1/_2$ p | $1^1/_2$ l | | | | |
| $^1/_3$ l | 2 p | 0 | l | | | | |
| $^1/_4$ l | $2^2/_3$ p | — | $^3/_4$ l | $2^1/_2$ p | Zug: $^1/_2$ p | $^5/_6$ l | Druck greift an zwischen Kern und Kante. |
| $^1/_6$ l | 4 p | — | $^1/_2$ l | 3 p | „ 1 p | $^3/_4$ l | |
| $^1/_{12}$ l | 8 p | — | $^1/_4$ l | $3^1/_2$ p | „ $1^1/_2$ p | $^7/_{10}$ l | |
| 0 | ∞ | — | 0 | 4 p | „ 2 p | $^2/_3$ l | |
| — $^1/_2$ l | — | — | — | 7 p | Zug: 5 p | $^7/_{12}$ l | Druck ausserhalb. |
| — l | — | — | — | 10 p | „ 8 p | $^5/_9$ l | |

p = Druckspannung auf 1 qcm bei gleichmässiger Verteilung.

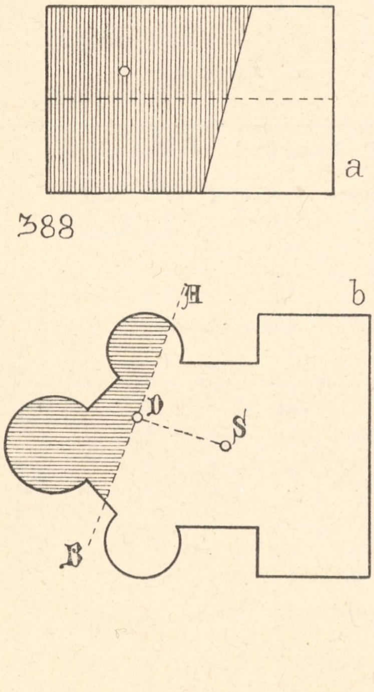
Für eine dreieckige Grundfläche würde $n = 2 \cdot m$ werden, wenn sich der Druck der Spitze nähert. Für andere zusammengesetzte Querschnitte sind die Beziehungen für eine Drucklage ausserhalb des Kernes weniger einfach, so dass auf deren Darlegung hier verzichtet werden muss.

Hervorzuheben ist, dass bei Mauerwerk, welches keinen Zug aushalten kann, die resultierende Kraft (bezw. die Drucklinie) nie bis dicht an die Aussenkante rücken darf, da sonst hier die Pressung sich rasch dem Wert „Unendlich“ nähert, also unbedingt ein Zermalmen der Baustoffe eintritt. Beim Überschreiten der Kante würde ja überdies der Umsturz erfolgen. Nur bei zugfestem Mauerwerke würde die Drucklinie, solange das Material noch hält, aus der Fläche hinausschreiten können.

Zum Vergleich sind in vorstehender Tabelle für verschiedene Lagen der Drucklinie die Kantenpressungen zusammengestellt und zwar für rechteckige Mauergrundrisse mit oder ohne Zugfestigkeit. Die Werte sind auf die durchschnittliche Pressung p bezogen, welche jedes qcm bei gleichmässig verteiltem Drucke erhalten würde. p ist also Druck durch Fläche (D : F oder D : b . l).

Es sei nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass die Kantenpressung in Wirklichkeit nicht genau so gross ist, wie es die mathematische Berechnung ergiebt; in vielen Fällen wird sie wahrscheinlich geringer ausfallen, da sich das am Rande des Querschnittes befindliche Material durch seitliches Ausweichen etwas der Beanspruchung entziehen kann.

Bei einer stark exzentrischen aber in einer Symmetrieebene bleibenden Lage des Druckes in einer nicht zugfesten Fuge (vgl. Fig. 385 und 386) ist die Berechnung der Kantenpressung bei einem rechteckigen Grundrisse, wie wir gesehen haben, sehr einfach (vgl. Formel 6 und 7). Wenn der Angriffspunkt des Druckes nicht auf der Mittellinie des Rechteckes liegt, wie in nebenstehendem Grundrisse, dann wird die Berechnung schon recht schwierig (vgl. Barkhausen, Zeitschr. d. Hann. Arch. u. Ing.-Vereins 1883 S. 470 u. Hüppner, Civ. Ing. 1885 S. 39.)



388

Wenn nun gar statt des Rechteckes weniger regelmässige Grundformen vorliegen, so steigern sich die Schwierigkeiten ganz bedeutend. Schon der Kreisring erfordert umständliche Verfahren zu einer genauen Berechnung (vgl. darüber Lang, der Schornsteinbau). Die Aufstellung solcher genauer Berechnungen ist daher praktisch meist gar nicht durchführbar, man muss vielmehr zu einfachen Annäherungsverfahren greifen. Der Verfasser dieses pflegt das folgende Verfahren bei seinen Rechnungen einzuschlagen.

Durch den Druckpunkt *D* wird eine Linie *AB* gelegt, welche einen möglichst kleinen Teil der Grundfläche abschneidet und dieses abgeschnittene Stück der Grundfläche wird als gleichmässig mit der halben Last beansprucht betrachtet. Dabei wird die Kantenpressung zwar etwas zu klein (meist 10—25 %), das ist aber nicht als ein zu erheblicher Mangel anzusehen, da bei Mauerwerk gewöhnlich mit reichlich grosser Sicherheit gerechnet wird und die Kantenpressung vermutlich meist geringer ist als das Rechnungsergebnis. Will man sicher gehen, so kann man der nach diesem vereinfachten Verfahren ermittelten Pressung noch etwa 20 % zuschlagen.

## Anwendung auf die Widerlager alter Bauwerke.

Wenn es sich um die Herstellung oder den Umbau alter nicht mehr verlässlicher Bauwerke handelt, so ist es ganz besonders angezeigt, die Gewichte und Schübe, soweit es möglich ist, zu berechnen und danach eine Druckausmittelung vorzunehmen. Dabei erfordern die Widerlager weit mehr Aufmerksamkeit als die Gewölbe. Denn ein unbelastetes Gewölbe, das beim Ausrüsten Stand gehalten, pflegt nach seiner Erhärtung, selbst wenn es starke Risse aufweist, selten gefährdet zu sein, solange „die Widerlager unbeweglich“ bleiben. Nachträglich entstandene Risse in solchen Gewölben sind wohl immer durch Weichen und Senken der Widerlager hervorgerufen oder durch eine gar zu grosse Beweglichkeit derselben gegenüber den Windschwankungen.

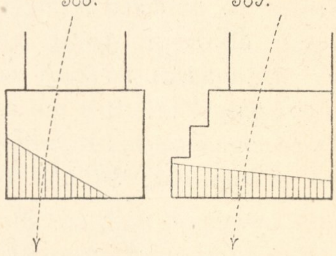
Hat das Gewölbe vielfache Putz- oder Farblagen übereinander, so können diese gewöhnlich einen willkommenen Anhalt darüber geben, ob das Weichen der Widerlager bei einem besonderen Anlass oder fortgesetzt stattgefunden hat. Im letzteren Falle ist ein weiteres Fortschreiten der Bewegung zu fürchten. Beim Ausbessern der Gewölbe bedürfen meist nur die Hauptbogen, die Anfänge und die Zwickelausmauerung einer näheren Beachtung, Risse in den Kappen, besonders in gebusten sind weniger gefährlich.

Sicherung gewichener Widerlager.

Ist die Beanspruchung des Widerlagers bedenklich, wobei man bei sonst gutem Zustande des Mauerwerkes viel grössere Werte zulassen kann als bei Neuausführungen, so kommen gewöhnlich Verankerungen, Verklammerungen, Verbreiterungen in den Fundamenten oder Vorsetzen von Stützkörpern (Strebepfeilern) in Frage. Treten mehrere Gewölbe zusammen, so kann auch ein Ausgleich der Schübe von Nutzen sein (S. 130), jedoch erheischen Last und Schubveränderungen an alten Werken immer besondere Vorsicht.

Die Aufhebung des Schubes durch Zuganker ist meist das wohlfeilste, wegen der Beweglichkeit und Vergänglichkeit des Eisens aber nur ein bedingt zuverlässiges Mittel. Die Stärke der Anker berechnet sich nach der Grösse des Gewölbeschubes, der nach den Angaben des vorigen Kapitels, geeigneten Falls auch nach der Tabelle 1 (S. 139) angenähert gefunden wird. Jedem qcm Eisenquerschnitt darf man einen Zug von 700 bis 1000 kg zumuten.

388. a 389. b



Wenn die Kraftausmittelung erweist, dass die Standfähigkeit nur durch die Zugfestigkeit des Mörtels bewahrt ist, so muss bei Erneuerungen oder Umbauten mit besonderer Vorsicht verfahren werden. Kann man nicht durch Beseitigung oder Ausgleich des schädlichen Schubes gründlich Abhülfe schaffen, so wird an den fraglichen Stellen eine behutsam eingefügte Eisenverklammerung am Platze sein, welche bei einem Loslassen des Mörtels die Zugkräfte übernehmen kann. Die Stärke der Verklammerung lässt sich nach dem Vorhergehenden aus der Grösse der auftretenden Zugkräfte ermitteln. Man kann auch hierbei dem Eisen unbedenklich 700 bis 1000 kg auf das qcm zumuten, Bronze etwa halb so viel.

Ungenügende Fundamente.

In den meisten Fällen ist das Weichen der Widerlager auf das Verhalten des Erdbodens zurückzuführen, es sei daher die Aufmerksamkeit ganz besonders auf die Sohle der Fundamente gelenkt. Nicht selten sind neben einer Gebäude-