$$\sigma' = G \frac{tang\ \varrho'}{H - V\ tang\ \varrho'} = 13\,750 \frac{0{,}700}{5600 - 2900\,.\,0{,}700} = 2{,}70,$$

so daß ein Grund nicht vorhanden ist, in diesem Falle die Lagerfugen gegen den Horizont geneigt auszuführen.

§. 14. **Druckvertheilung.** Nachdem in den vorhergehenden Paragraphen die Stabilitätsverhältnisse der Futtermauern untersucht worden sind, handelt es sich noch um die Prüfung der Inanspruchnahme, welcher das Material der Mauern unterworfen ist. Dies ist insbesondere deshalb von Wichtigkeit, weil der zur Verwendung kommende Mörtel nur mäßige Druckkräfte auszuhalten, und der Luftmörtel Zugkräften meist gar nicht zu widerstehen vermag. Nur bei der Verwendung eines vorzüglichen hydraulischen oder Cementmörtels kann man, um unverhältnißmäßig große Mauerstärken zu vermeiden, eine geringe Widerstandsfähigkeit gegen Zugspannungen voraussetzen, welche nach Intze*) etwa bis zu 1 kg pro Quadratcentimeter betragen darf. Nach den Versuchen von Bauschinger**) wurde Ziegelmauerwerk in Cementmörtel bei 117 bis 180 kg Druck pro Quadratcentimeter zerdrückt, während solches in Luftmörtel ausgeführt, zwischen 70 und 111 kg Widerstandsfähigkeit zeigte. Nimmt man hiervon $^1/_{10}$ als zulässige Belastung, so wäre dieselbe durchschnittlich

15 kg für Cementmauerwerk
9 kg für Mauerwerk in Luftmörtel.

Ott giebt für

Mauerwerk aus Kalk- und Sandsteinen 10 kg und für
Mauerwerk aus Ziegeln 5 kg

als zulässige Belastung an. Die von Rondelet für verschiedene kühne Bauten berechneten Belastungen variiren zwischen 44 kg bei der Allerheiligenkirche zu Angers und 16 kg bei der Peterskirche in Rom.

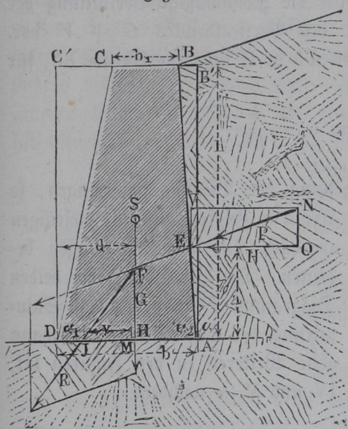
Mit Rücksicht auf eine für eine bestimmte Ausführung anzunehmende größte Beanspruchung des Materials wird sich, wie die folgende Betrachtung zeigen wird, auch der Stabilitätscoefficient σ der Mauer gegen Umkanten ergeben, von welchem im §. 12 nur angegeben wurde, daß er gemeiniglich zwischen 2 und 3 liegend angenommen werde. Ist $ABCD$, Fig. 37, ein Stück einer Futtermauer, und setzt man den in E wirkenden Erddruck P mit dem im Schwerpunkte S wirkenden Gewichte G nach dem Parallelogramm der Kräfte zu einer Mittelkraft R zusammen, so erhält man in dem Durchschnittspunkte J der Mittelkraft mit AD denjenigen Punkt, in welchem die Lagerfuge AD gegen das Mauerstück mit einer Kraft $-R$ reagirend

*) Siehe O. Intze, Quaimauern, Stützmauern, Thalsperren. Deutsche Bauzeitung 1875.

**) Siehe Holzhey, Vorträge über Baumechanik.

gedacht werden muß. Diese Reaction besteht aus einer horizontalen Kraft $-H$, welche nach dem vorhergehenden Paragraphen durch die Reibung der Fuge aufgenommen werden muß und einer vertical aufwärts gerichteten Componente von der Größe $G + V$. Ist nun M im Abstande $MJ = y$ von J die Fugenmitte, und denkt man sich die verticale Componente $G + V$ der Reaction nach M unter Hinzufügung des betreffenden Kräftepaares verlegt, so ist ersichtlich, daß die Fuge unter Einfluß der verticalen Kraft $G + V$ in M einer rückwirkenden Spannung

Fig. 37.



$$s_d = \frac{G + V}{b} \quad . \; . \; . \; (1)$$

ausgesetzt ist, während durch das Kräftepaar vom Moment $(V + G)\,y$ gewisse Biegungsspannungen in dem Querschnitte AD des Mauerkörpers hervorgerufen werden. Die größten Biegungsspannungen s_b finden in den Kanten bei A und D statt, und zwar in A eine Zugspannung und in D eine Druckspannung, von welchen nach den Gesetzen der relativen Festigkeit jede durch

$$\tfrac{1}{6}\, b^2 s_b = (G + V)\, y$$

zu

$$s_b = 6\,\frac{G + V}{b^2}\, y = \frac{6\,y}{b}\, s_d \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2)$$

sich ergiebt. In Folge dieser beiden Wirkungen sind daher die resultirenden Spannungen s_1 in D und s_2 in A durch

$$s_1 = s_d + s_b = \frac{G + V}{b}\left(1 + 6\,\frac{y}{b}\right) \; . \; . \; . \; . \; . \; (3)$$

und

$$s_2 = s_d - s_b = \frac{G + V}{b}\left(1 - 6\,\frac{y}{b}\right) \; . \; . \; . \; . \; . \; (4)$$

gegeben. Der stets positive Werth von s_1 stellt eine Druckspannung in D vor, während in A eine Druck- oder Zugspannung sich einstellt, je nachdem $6\,y$ kleiner oder größer ist als b. Für den Grenzfall $y = \tfrac{1}{6}\, b$ wird $s_2 = 0$, das Material also in A gar nicht beansprucht.

Ein Diagramm veranschaulicht diese Verhältnisse am besten. Denkt man in Fig. 38 I (a. f. S.), auf einer Axe $ad = b$ in allen Punkten Ordinaten

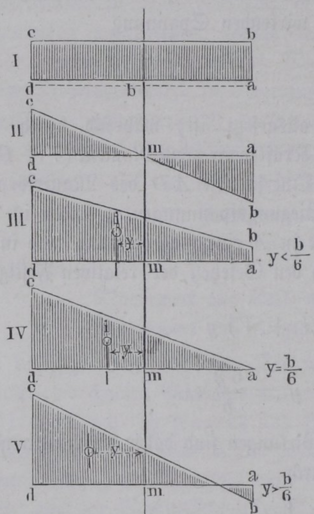
$$dc = ab = s_d = \frac{G + V}{b}$$

aufgetragen, so stellt das Rechteck $a\,b\,c\,d$ die gleichmäßige Vertheilung der rückwirkenden Spannungen in Folge des Verticaldruckes $G + V$ vor. Ebenso giebt die durch die Mitte m von $a\,b$ in II gezogene Gerade $c\,b$, für welche

$$dc = ab = s_b = 6\,\frac{G + V}{b^2}\,y$$

gemacht ist, ein Bild von der Vertheilung der Biegungsspannungen, so zwar, daß die Ordinaten unterhalb der Axe $a\,m$ Zugspannungen, diejenigen oberhalb $d\,m$ Druckspannungen bedeuten. Die Vereinigung der beiden Diagramme I und II durch Summirung der Ordinaten führt sodann ohne Weiteres zu den Figuren III, IV und V, je nachdem

Fig. 38.

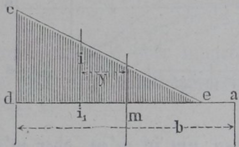


$$y \lesseqqgtr {}^1/_6\, b$$

ist. Es ist auch leicht zu ersehen, daß in diesen drei Diagrammen der Schwerpunkt i der schraffirten Flächen von der Mitte m den Abstand y hat, wobei vorausgesetzt werden muß, daß man die in V auf entgegengesetzten Seiten der Axe $a\,d$ liegenden Flächentheile als in entgegengesetzten Richtungen wirkend ansieht. Aus III und IV ist zu erkennen, daß die Elemente der Fuge durch Zugkräfte nicht in Anspruch genommen werden, so lange der Abstand y der Stützlinie von der Mitte des Querschnittes den Betrag ${}^1/_6\, b$ nicht überschreitet, also die Stützlinie wenigstens um ${}^1/_3\, b$ von der äußeren Kante d zurückbleibt. Hieraus ergiebt sich die für gewöhnliches Mauerwerk, dessen Mörtel Zugkräften nicht unterworfen sein soll, meistens angegebene Regel, wonach die Stützlinie nirgends aus dem mittleren Drittel der Mauer heraustreten soll. Wenn man dagegen in gewissen Fällen bei Anwendung von Cementmörtel Zugspannungen bis zu gewissem Betrage zulassen will, so kann die Mauerstärke entsprechend geringer gehalten werden, so daß (V) y größer als ${}^1/_6\, b$ wird, und man hat zur Bestimmung von b die Anordnung so zu treffen, daß die Ordinate ab in V nach dem für die Kräfte gewählten Maßstabe dem Werthe der höchstens zulässigen Zugspannung entspricht.

Der letztere Fall, in welchem $y > {}^1/_6\, b$ ist, bedarf noch dann einer besonderen Betrachtung, wenn die Fuge Zugspannungen nicht zu äußern vermag. Alsdann wird nämlich die betreffende Fuge von der inneren Kante a aus bis auf eine bestimmte Erstreckung ae, Fig. 39, sich öffnen, so daß dieser Theil gar nicht zur Herstellung des Gleichgewichtes beiträgt, dasselbe vielmehr nur durch den Einfluß der Druckspannungen in dem übrigen Theile ed des Querschnittes erhalten werden kann. Diese Druckspannungen nehmen von Null in e allmälig nach d hin an Größe zu, und man findet für diesen Fall die größte rückwirkende Spannung $s_1 = dc$ in der Kante d, wenn man die durch das Dreieck edc dargestellte gesammte Reaction der Fuge gleich dem Verticaldrucke $G + V$ setzt. Für dieses Dreieck hat man, da der Schwerpunkt i einen Abstand $di_1 = \frac{b}{2} - y$ von der äußeren Kante hat, die Länge der Grundlinie $de = 3\left(\frac{b}{2} - y\right)$, und sonach erhält man für diesen Fall aus

Fig. 39.



$$G + V = {}^1/_2\, de.dc = {}^3/_2\left(\frac{b}{2} - y\right) s_1,$$

die größte Druckspannung in d zu

$$s_1 = {}^4/_3\, \frac{G + V}{b - 2y} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3^a)$$

welche Gleichung, wie bemerkt, nur für Werthe von y, die größer als ${}^1/_6\, b$ sind, und unter der Voraussetzung gänzlicher Widerstandslosigkeit des Mörtels gegen Zugkräfte gilt. Diesen Zustand einer sich unter dem Einfluße des Druckes öffnenden Fuge wird man insbesondere bei Mauern zu vermeiden haben, welche dem Wasserdrucke zu widerstehen haben, wie dies beispielsweise bei den Staudämmen von Hochreservoiren (Thalsperren) der Fall ist, weil sonst durch in die geöffneten Fugen eintretendes Wasser leicht eine Zerstörung des Bauwerkes herbeigeführt werden kann.

Wenn man für einen beliebigen Querschnitt der Mauer die Entfernung y der Stützlinie von der Mitte des Querschnittes kennt, so ist es leicht, die größte Spannung an der äußeren Mauerkante graphisch zu ermitteln. Wird z. B. eine Mauerfuge von der Breite $bc = b$, Fig. 40 (a. f. S.), in i_1

oder i_2 von der Stützlinie getroffen, so hat man nur nöthig, das Rechteck $abcd$ mit der Höhe $ab = s_a = \frac{G + V}{b}$ darüber zu zeichnen, den um $^1/_6\, b$ von der Mitte m' entfernten Punkt i mit m zu verbinden, und

Fig. 40.

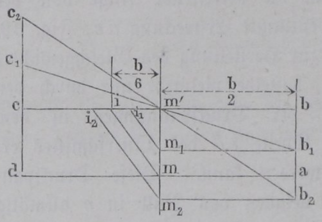
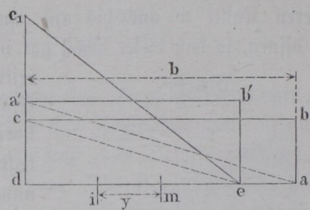


Fig. 41.



durch i_1 bezw. i_2 eine Parallele mit im zu ziehen, um in $m'm_1$ oder $m'm_2$ die maximale Biegungsspannung s_b zu erhalten. Zieht man daher noch $m_1 b_1$ bezw. $m_2 b_2$ parallel mit ad, so erhält man in der Geraden durch b_1 oder b_2 und m' die Begrenzung des Druckdiagramms, und in dc_1 resp. dc_2 die größte Druckspannung s_1 an der äußeren Kante. Diese Construction, deren Richtigkeit aus (1) und (2) ohne Weiteres folgt, gilt für den Fall, daß der Mörtel der Zugspannung $ab_2 = s_2$ widerstehen kann. Ist dies nicht der Fall, so hat man, Fig. 41, entsprechend der Gleichung (3^a) die Länge

$$de = 3\,di = 3\left(\frac{b}{2} - y\right)$$

anzutragen, das Rechteck $abcd$ in das flächengleiche Rechteck $eb'a'd$ zu verwandeln und $dc_1 = 2\,da'$ zu machen, um in dc_1 die Spannung s_1 und in edc_1 das Druckdiagramm zu erhalten, da dieses Dreieck gleich

$$eb'a'd = abcd = Q + G$$

ist. Zur Umwandelung des Rechtecks $abcd$ zieht man am einfachsten ce und damit durch a die Parallele aa', so erhält man

$$de : da = dc : da',$$

folglich in da' die gesuchte Höhe.

Aus dem Vorstehenden ergiebt sich auch der Zusammenhang, welcher zwischen dem Abstande y der Stützlinie von der Mitte M des Querschnittes, Fig. 37, und dem Stabilitätscoefficienten σ für Umkanten besteht. Nach §. 12 hat man nämlich

$$\frac{DH}{FH} = \frac{\sigma H}{G + \sigma V}$$

oder, wenn der Abstand HM der Schwerlinie von der Mitte M mit e bezeichnet wird

$$\frac{\frac{1}{2}b + e}{FH} = \frac{\sigma H}{G + \sigma V}.$$

Nach dem Vorstehenden ist aber auch:

$$\frac{JH}{FH} = \frac{y + e}{FH} = \frac{H}{G + V},$$

und man erhält daher durch Division beider Gleichungen:

$$\frac{2(y + e)}{b + 2e} = \frac{G + \sigma V}{\sigma (G + V)} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (5)$$

womit σ aus y oder umgekehrt zu bestimmen ist. Beispielsweise wird für eine verticale parallelepipedische Futtermauer $e = 0$, und man erhält mit $V = 0$:

$$\sigma = \frac{b}{2y},$$

d. h. es würde z. B. der Grenzfall, Fig. 38 IV, für welchen $y = \frac{1}{6}b$ und $s_2 = 0$ ist, einem Stabilitätscoefficienten $\sigma = 3$ entsprechen. Den Werth von y findet man aus der Momentengleichung in Bezug auf J, nämlich:

$$Ha = G(e + y) + V\left(\frac{b}{2} + y - v_2 a\right)$$

zu

$$y = \frac{Ha - V\left(\frac{b}{2} - v_2 a\right) - Ge}{G + V} \quad \ldots \ldots \quad (6)$$

Beispiel. Um bei der in §. 8 und §. 12 berechneten Futtermauer die Druckkräfte in der unteren Fuge zu ermitteln, findet man zunächst das Gewicht bei der mittleren Breite 1,375 m zu

$$G = 2000 \,.\, 5 \,.\, 1{,}375 = 13\,750 \text{ kg}.$$

Ferner hat man das Moment dieses Gewichtes in Bezug auf die äußere Mauerkante nach (2) in §. 12:

$$Gd = 2000 \,.\, 1{,}75 \,.\, 5\,\frac{1{,}75 - 0{,}25}{2} - 2000 \,.\, 125\,\frac{0{,}01 - 0{,}0025}{6}$$
$$= 13\,125 - 312{,}5 = 12\,812{,}5 \text{ mkg},$$

daher den Abstand der Schwerlinie von der äußeren Mauerkante

$$d = \frac{12\,812{,}5}{13\,750} = 0{,}932 \text{ m},$$

d. h. die Schwerlinie der Mauer trifft die Basis derselben in einer Entfernung von deren Mitte

$$e = d - \frac{b}{2} = 0{,}932 - 0{,}875 = 0{,}057 \text{ m}.$$

Es ergiebt sich nun weiter aus (6) der Werth von y zu:

$$y = \frac{5600 \cdot \frac{5}{3} - 2900 \left(0,875 - 0,05 \frac{5}{3}\right) - 13\,750 \,.\, 0,057}{13\,750 + 2900} = \frac{6\,253}{16\,650}$$

$$= 0,374 \text{ m}.$$

Dieselbe Größe von y würde man auch aus (5) erhalten, wenn man darin für σ den in §. 12 berechneten Werth von 2,86 einführt.

Da $y > \frac{1,750}{6}$ ist, so wird an der inneren Mauerkante eine Zugspannung eintreten, und man findet die Spannungen s_1 und s_2 an der äußeren und inneren Mauerkante nach (3) und (4) zu:

$$s_1 = \frac{13\,750 + 2\,900}{1,750} \left(1 + 6 \frac{0,374}{1,750}\right) = 9\,514\ (1 + 1,282)$$

$$= 21\,710 \text{ kg Druck}$$

und

$$s_2 = \frac{13\,750 + 2\,900}{1,750} \left(1 - 6 \frac{0,374}{1,750}\right) = 9\,514\ (1 - 1,282)$$

$$= 2\,682 \text{ kg Zugspannung}$$

für 1 qm Querschnittsfläche. Wenn dagegen der Mörtel Zugspannungen gar nicht widerstehen kann, so bestimmt sich die größte Druckspannung an der äußeren Kante nach (3^a) zu:

$$s_1 = \frac{4}{3} \frac{13\,750 + 2\,900}{1,750 - 2 \,.\, 0,374} = 22\,150 \text{ kg}.$$

Die vorstehend berechnete Stärke der Futtermauern, für welche

$$y = 0,374 \text{ m} = 0,427 \frac{b}{2}$$

ist, genügt der Vauban'schen Vorschrift, welcher zufolge y nicht größer als höchstens

$$\frac{4}{9} \frac{b}{2} = 0,444 \frac{b}{2}$$

sein soll.

§. 15. **Graphisches Verfahren.** Zum Schlusse möge noch das graphische Verfahren angeführt werden, mittelst dessen die Prüfung bezw. Ermittelung der Stärke von Futtermauern vorgenommen werden kann. Zu dem Ende sei etwa die Aufgabe gestellt, für eine Futtermauer von gegebener Höhe und bei bestimmter Begrenzung der zu stützenden Erde die untere Breite einem vorgeschriebenen Stabilitätscoefficienten σ gemäß zu bestimmen. Es sei eine Futtermauer von 5 m verticaler Höhe vorausgesetzt und angenommen, daß die dem Erddrucke ausgesetzte Wandfläche AB, Fig. 42, unter einer Neigung $^1/_8$ gegen die Verticale nach hinten begrenzt sein, dagegen auf der Vorderfläche CD eine Böschung von $^1/_5$ erhalten solle. Das Terrain möge in EE_1 unter irgend einem Winkel gegen den Horizont geneigt und vorausgesetzt sein, daß ein Theil der Mauerkrone etwa in einer Breite FB