2. Es soll für eine 7,2 m hohe Erdmasse, deren Reibungswinkel 45° beträgt, die Stärke einer 5 m hohen Stützmauer gefunden werden, deren Dichtigkeit 1,5 mal so groß als die der Erdmasse ist, wenn die Mauerkrone ganz von der Erde bedeckt ist?

Hier ist $\frac{h_1}{h} = \frac{2,2}{5} = 0,44$, daher findet man in der sechsten Spalte der Tabelle, entsprechend $\varphi = 1$, $\frac{\gamma_1}{\gamma} = 1,5$ und einer Breite der Berme $= 0$, für $\frac{b}{h}$ den Werth

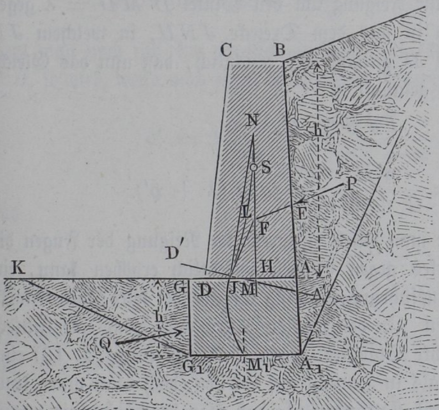
$$\frac{b}{h} = 0,399 + \frac{4}{10}(0,436 - 0,399) = 0,414,$$

und somit die untere Stärke der parallelepipedischen Mauer zu:

$$b = 5 \,.\, 0,414 = 2,07\,\text{m}.$$

Gleiten der Futtermauern. Eine Futtermauer kann durch den §. 13.
Erddruck bei nicht genügender Stärke auch seitwärts verschoben werden, und man hat derselben daher mit Rücksicht hierauf eine genügende Dicke, d. h. ein entsprechendes Gewicht zu geben, um durch die Reibung der Mauer auf dem Grunde einer Verschiebung entgegen zu wirken. Dasselbe gilt auch für alle höher gelegenen Fugenquerschnitte, in welchen indessen die Widerstandsfähigkeit gegen Verschiebung auch durch die Cohäsion resp. Adhärenz des Mörtels vergrößert wird, während hierauf für die Auflagerfläche der Mauer auf dem Grunde nicht zu rechnen ist. Dagegen widersteht im unteren Theile der Mauer, sobald dieselbe mit einem in den Boden eintretenden Fundamente versehen ist, der passive Erddruck Q gegen die Fläche $G\,G_1$, Fig. 36, des Fundamentes einer Verschiebung. Für die Stabilität der Mauern in Bezug auf Gleiten kann man, wie bereits oben bemerkt, die allgemein gültige Regel aufstellen, daß die auf irgend eine Lagerfuge wirkende resultirende Kraft von der Normalen zu dieser Fuge um weniger als den Reibungswinkel geneigt sein muß. Wenn daher für eine beliebige Fuge das oberhalb derselben befindliche

Fig. 36.



Mauerstück das Gewicht G hat, und einem Erddrucke P mit der horizontalen Componente H und der verticalen Componente V ausgesetzt ist, so geben alle diese Kräfte eine Mittelkraft, welche gegen die Verticale unter einem Winkel β geneigt ist, für welchen man hat

$$tang\, \beta = \frac{H}{G + V}.$$

Um nun eine bestimmte Sicherheit gegen Gleiten zu erlangen, pflegt man auch hier einen gewissen Stabilitätscoefficienten σ', etwa von der Größe 2, einzuführen, so daß anstatt der einfachen Kraft P diejenige $\sigma' P$ mit der horizontalen und verticalen Componente $\sigma' H$ und $\sigma' V$ wirkend zu denken ist, ehe die Gefahr des Gleitens eintritt. Dieses letztere wird, horizontale Lagerfugen vorausgesetzt, demgemäß der Fall sein, wenn

$$tang\, \beta = \frac{\sigma' H}{G + \sigma' V} = \varphi' = tang\, \varrho'$$

ist, wenn wieder ϱ' den Reibungswinkel für die Lagerfuge bedeutet. Denkt man sich dagegen einer Lagerfuge, z. B. der durch M gehenden, anstatt der horizontalen Lage AD, eine Neigung um den Winkel $D'MD = \lambda$ gegen den Horizont gegeben, so ist aus dem Dreiecke JNH, in welchem JN senkrecht zur Lagerfuge $D'M$ gemacht ist, ersichtlich, daß nun das Gleichgewicht an die Bedingung geknüpft ist:

$$FJN \leqq \varrho',$$

d. h.

$$tang\, \beta = \frac{\sigma' H}{G + \sigma' V} = tang\, (\lambda + \varrho').$$

Man erkennt hieraus, wie man durch entsprechende Neigung der Fugen die Stabilität des Mauerwerkes gegen Gleiten wesentlich erhöhen kann, ein Mittel, welches bei den Ausführungen häufig angewendet wird, wenn starke Horizontalkräfte es bedingen. In den meisten Fällen wird zwar eine Futtermauer mit Rücksicht auf ihre Stabilität gegen Umkippen (vergl. §. 12) eine größere Stärke erfordern, als in Hinsicht auf Gleiten, doch kann unter Umständen auch das Gegentheil stattfinden, so daß man der Sicherheit wegen die Ermittelung der Mauerstärke nach beiden Hinsichten zu ermitteln und von den beiden erhaltenen Werthen b und b' den größeren für die Mauerstärke zu wählen hat.

Bezeichnet wieder G das Gewicht des Mauerwerkes $ABCD$ über dem Fundamente $A\,G_1$ der Mauer, welches nach dem vorigen Paragraphen zu

$$G = \gamma_1 \left(b' - \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}\, h\right) h$$

anzunehmen ist, so hat man für die Fuge AD die Bedingung:

$$tang\,(\lambda + \varrho') = \frac{\sigma' H}{\gamma_1 h \left(b' - \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}\,h\right) + \sigma' V}$$

woraus allgemein folgt:

$$\sigma' = G\,\frac{tang\,(\lambda + \varrho')}{H - V\,tang\,(\lambda + \varrho')}$$

$$= \gamma_1 h \left(b' - \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}\,h\right) \frac{tang\,(\lambda + \varrho')}{H - V\,tang\,(\lambda + \varrho')} \quad . \; . \; . \; (1)$$

und

$$b' - \frac{\nu_1 + \nu_2}{2}\,h = \frac{\sigma'}{\gamma_1 h}\left(\frac{H}{tang\,(\lambda + \varrho')} - V\right) \quad . \; . \; . \; (2)$$

Hierin hat man wieder die Componenten H und V des Erddrucks P nach §. 8 zu ermitteln, und erhält z. B. für eine verticale Mauerfläche und horizontale Begrenzung der Erde, wenn man von deren Reibung an der Futtermauer absieht,

$$V = 0 \text{ und } H = \gamma\,\frac{h^2}{2}\,tang^2\,\frac{90^0 - \varrho}{2}.$$

Setzt man noch für eine parallelepipedische lothrechte Futtermauer $\nu_1 = \nu_2 = 0$, so wird, wenn man einen horizontalen Fugenschnitt ($\lambda = 0$) voraussetzt:

$$\sigma' = 2\,\frac{\gamma_1 b'}{\gamma h}\,\frac{tang\,\varrho'}{tang^2\,\frac{90^0 - \varrho}{2}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1^a)$$

und

$$b' = \frac{\sigma' \gamma}{2 \gamma_1}\,h\,\frac{tang^2\,\frac{90^0 - \varrho}{2}}{tang\,\varrho'} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2^a)$$

Da nach dem vorhergehenden Paragraphen unter denselben Bedingungen aus (5^a) die Breite b zu

$$b = h\,tang\,\frac{90^0 - \varrho}{2}\sqrt{\frac{\sigma\gamma}{3\gamma_1}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2^b)$$

sich ergiebt, so wird man die Mauerstärke mit Rücksicht auf Gleiten nach (2^a) oder mit Rücksicht auf Kippen nach (2^b) zu bestimmen haben, je nachdem

$$\frac{\sigma' \gamma}{2\gamma_1}\,\frac{tang\,\frac{90^0 - \varrho}{2}}{tang\,\varrho'} \gtrless \sqrt{\frac{\sigma\gamma}{3\gamma_1}}$$

ist u. s. w.

Um den Widerstand gegen das Fortschieben der Mauer auf dem Boden zu vergrößern, welches sich besonders nöthig macht, wenn dieser Boden lettig oder mit Wasser durchdrungen ist, wobei der Reibungscoefficient zwischen der Mauer und dem Grunde auf 0,3 herabgehen kann, giebt man der Mauer, wie schon erwähnt, ein Fundament von gewisser Tiefe $GG_1 = h'$. Es widersteht dann dem activen Erddrucke gegen die Fläche $A_1 B$ nicht allein die Reibung auf der Grundfläche $A_1 G_1$, sondern auch noch der passive Druck der Erdmasse vor der Mauerfläche $G G_1$.

Setzt man, wie dies meistens zutreffen wird, eine verticale Fläche $G G_1$ des Fundamentsockels voraus, und bezeichnet wieder ϱ_1 den Reibungswinkel der Erde an dieser Fläche, so ist der passive Erddruck Q unter diesem Winkel ϱ_1 gegen den Horizont nach oben geneigt anzunehmen, da bei einem Ausweichen der Mauer das Erdprisma $G G_1 K$ nach oben verschoben werden müßte. Dieser passive Erddruck Q hat daher die horizontale Componente $H' = Q \cos \varrho_1$ und die verticale dem Gewichte der Mauer entgegenwirkende Componente $V' = Q \sin \varrho_1$. Bezeichnet nun G das Gewicht der ganzen Mauer $B G_1$ einschließlich des Fundamentsockels, und werden jetzt unter H und V die Componenten des activen Erddruckes auf die ganze Hinterfläche $B A_1$ verstanden, so hat man für das Gleichgewicht, unter der Annahme eines Stabilitätscoefficienten σ' die Bedingung:

$$\varphi\,(G + \sigma' V - V') = \sigma' H - H'. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Diese Gleichung kann dazu dienen, die Tiefe $h' = G G_1$ des Fundamentes zu ermitteln, wenn man darin den Erddruck P und Q sowie das Gewicht G durch die Höhen h und h' ausdrückt, und für b den aus dem Vorstehenden gefundenen Werth für AD einführt. Wollte man auch hier von der Reibung der Erde an der Mauerfläche absehen, und also $V = V' = 0$ voraussetzen, so erhielte man für eine parallelepipedische Mauer, deren Fundament ein Bankett von der Breite $DG = e$ hat, die Gleichung

$$\varphi \gamma_1 \,[bh + (b + e)\, h'] = \sigma' \gamma \,\frac{(h + h')^2}{2}\, tang^2 \,\frac{90^0 - \varrho}{2}$$

$$- \gamma \,\frac{h'^2}{2}\, tang^2 \,\frac{90^0 + \varrho}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3^a)$$

aus welcher quadratischen Gleichung sich h' berechnen läßt.

Man kann bemerken, daß die Anlage eines Fundamentes von gewisser Tiefe bei Mauern noch einen anderen Grund hat, welcher sich aus Folgendem erkennen läßt. Denkt man sich nach dem in §. 11 darüber Gesagten für eine Mauer die Stützlinie gezeichnet, so stellt der Durchschnittspunkt der letzteren mit irgend einer Lagerfuge den Angriffspunkt dar für die Mittelkraft aller von dieser Fuge aufgenommenen Druckkräfte bezw. ausgeübten

Reactionen. Wenn dieser Angriffspunkt in die Mitte der betreffenden Lagerfuge trifft, wie es im Allgemeinen bei solchen Mauern der Fall sein wird, welche nur verticalen Belastungen wie ihrem Eigengewichte, nicht aber seitlichen Kräften ausgesetzt sind, so darf man eine nahezu gleichmäßige Vertheilung des Druckes auf die Fuge voraussetzen. Bei Futtermauern dagegen wird die Stützlinie durch den seitlichen Erddruck um so weiter aus der Schwerlinie der Mauer nach außen gedrängt, je mehr der Erddruck gegen das Eigengewicht vorherrscht, d. h. je tiefer die betrachtete Fuge unter der Erdoberfläche gelegen ist. Wenn z. B. in der Fig. 36 die parabelähnliche Curve L (s. §. 11) die Stützlinie vorstellt, so wird der gesammte Druck auf die Fuge AD in dem Durchschnittspunkte J sich concentriren, und daher werden die der Außenkante D näher liegenden Elemente stärker gepreßt werden, als die der Innenkante A nahe gelegenen. In wieweit eine solche ungleiche Druckvertheilung mit dem Materiale der Mauer verträglich ist, soll im folgenden Paragraphen näher untersucht werden. Dächte man sich nun die Mauer mit der Fläche AD direct auf den Boden gestellt, so würde derselbe vermöge seiner natürlichen Nachgiebigkeit in Folge dieser ungleichen Druckvertheilung einem ungleichen Ausweichen und Setzen unterworfen sein, in Folge wovon der sichere Stand der Mauer bedenklich gefährdet würde. Dies zu vermeiden, benutzt man den passiven Druck oder Schub der Erdmasse GK gegen das Fundament, denn es ist ohne Weiteres klar, wie durch diesen Schub die Stützlinie unterhalb AG von J aus mehr nach dem Innern der Mauer zurückgebogen wird. Man kann, da der passive Erddruck bei gleicher Tiefe viel größer ist als der active, hierdurch erreichen, daß die Stützlinie die Grundfläche $A_1 G_1$ in ihrer Mitte M_1 schneidet, in welchem Falle die Mauer gleichmäßig auf die Bodenfläche drückt. Es ist auch klar, daß bei einer solchen Tiefe des Fundamentes $G G_1$, bei welcher die horizontale Componente H' des passiven Erddruckes genau gleich der horizontalen Componente H des activen Druckes auf $B A_1$ ist, die Bodenfläche von der Stützlinie in demselben Punkte getroffen werden muß, durch welchen auch die verticale Schwerlinie der Mauer nebst ihren verticalen Belastungen V und V' hindurchgeht, indem die horizontalen Erddruckcomponenten H und H' sich gegenseitig aufheben. Letzteres gilt dann auch von den verticalen Componenten V und V', wenn die beiden gedrückten Mauerflächen parallel sind. Eine hierauf beruhende graphische Bestimmung der Fundamenttiefe soll in einem folgenden Paragraphen angeführt werden.

Beispiel. Wenn man bei der im Beispiele 1 des vorigen Paragraphen berechneten Futtermauer den Reibungswinkel für die Fugen ebenfalls zu $\varrho_1 = 35^0$ annimmt, so ermittelt sich der Stabilitätscoefficient dieser Mauer gegen Gleiten auf der horizontalen Fuge in 5 m Tiefe unter der Mauerkrone nach (1) zu

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

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.