

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

$$y = \frac{5600 \cdot \frac{5}{3} - 2900 \left(0,875 - 0,05 \frac{5}{3}\right) - 13750 \cdot 0,057}{13750 + 2900} = \frac{6253}{16650} \\ = 0,374 \text{ m.}$$

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 Mauerfante eine Zugspannung eintreten, und man findet die Spannungen s_1 und s_2 an der äußeren und inneren Mauerfante nach (3) und (4) zu:

$$s_1 = \frac{13750 + 2900}{1,750} \left(1 + 6 \frac{0,374}{1,750}\right) = 9514 (1 + 1,282) \\ = 21710 \text{ kg Druck}$$

und

$$s_2 = \frac{13750 + 2900}{1,750} \left(1 - 6 \frac{0,374}{1,750}\right) = 9514 (1 - 1,282) \\ = 2682 \text{ kg Zugspannung}$$

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

$$s_1 = \frac{4}{3} \frac{13750 + 2900}{1,750 - 2 \cdot 0,374} = 22150 \text{ kg.}$$

Die vorstehend berechnete Stärke der Futtermauern, für welche

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

ist, genügt der Bauban'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. Ermittlung 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 $\frac{1}{8}$ gegen die Verticale nach hinten begrenzt sein, dagegen auf der Vorderfläche CD eine Böschung von $\frac{1}{5}$ 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

von 1 m durch die Erde bedeckt sei, welche daselbst in FE_1 unter einem Winkel von 30° gegen den Horizont ansteige. Der Reibungscoefficient für die Erde an der Wandfläche sei zu

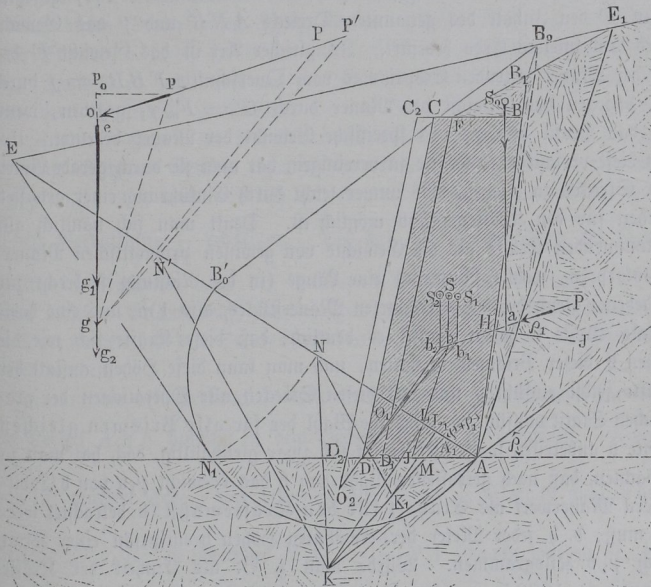
$$\tan \varrho_1 = 0,5, \text{ also } \varrho_1 = 26^\circ 34'$$

vorausgesetzt, während der natürliche Böschungswinkel ϱ entsprechend einer mittleren Beschaffenheit der Erde zu

$$38^\circ 40', \text{ also } \tan \varrho = 0,8$$

angenommen werden möge. Denkt man nun die hintere Wandfläche AB nach oben erweitert, so kann man das dreiseitige Erdprisma FBB_1 als

Fig. 42.



directe Belastung der Mauer ansehen, und hat den Erddruck gegen die Fläche AB_1 zu ermitteln. Hierzu verwandelt man zuerst das Dreieck AB_1E_1 in das flächengleiche AB_0E_1 , dessen Seite B_0E_1 mit der Oberfläche des Terrains zusammenfällt. Die Verwandlung geschieht einfach dadurch, daß man durch B_1 eine Parallele zu AE_1 zieht, wodurch der Punkt B_0 direct erhalten wird. Um nun den Druck der Erdmasse gegen die Wandfläche AB_1 zu erhalten, zieht man nach §. 7 durch A die Gerade AE unter dem

Winkel $BAE = \varrho + \varrho_1 = 65^\circ 14'$ gegen die Wandfläche, während man durch B_0 die Gerade $B_0 B_0'$ unter dem natürlichen Böschungswinkel $\varrho = 38^\circ 40'$ gegen den Horizont zieht. Dann erhält man durch die Tangente EN_1 an den über AB_0' beschriebenen Halbkreis den Abstand des Punktes N von E , welcher die Größe des Erddruckes durch die Beziehung $P = \frac{1}{2} \overline{AN}^2 \sin B_0 B_0' A$ ergibt. Zieht man daher AK parallel mit $B_0 B_0'$, also unter dem natürlichen Böschungswinkel, und macht $AK = AN$, so erhält man in dem Inhalte des Dreiecks ANK die Größe des Erddruckes nach demselben Maßstabe ausgedrückt, nach welchem das Gewicht eines beliebigen Erdprismas, wie z. B. des auf der Mauer lastenden, durch das Profil FBB_1 desselben dargestellt ist. Betrachtet man auch hier wieder ein Mauerstück von 1 m Länge, so ist also der Erddruck $P = F\gamma$ gegeben, wenn F den Inhalt des genannten Dreiecks ANK und γ das Gewicht eines Cubikmeters Erde bedeutet. In gleicher Art ist das Gewicht E des auf der Mauer lastenden Erdprismas vom Querschnitte $FBB_1 = f$ durch $f\gamma$, dagegen das Gewicht der Mauer durch $G = F_m \gamma_1$ gegeben, wenn F_m das Profil und γ_1 das spezifische Gewicht der Mauer bedeutet. Um nun diese verschiedenen Kräfte zu vereinigen, hat man sie durch gerade Linien oder Strecken zu ersetzen, was immer leicht durch Einführung einer gewissen Einheit für den Kräftemaßstab möglich ist. Denkt man sich nämlich alle vorkommenden Kräfte als die Gewichte von gewissen prismatischen Mauerwerkskörpern, welche sämmtlich eine Länge (in der Richtung senkrecht zur Bildebene) gleich der des betrachteten Mauerstückes, also 1 m, und eine horizontale Breite b haben, so ist es deutlich, daß diese Kräfte sich wie die Höhen h dieser Prismen verhalten, und man kann diese Höhen anstatt der Kräfte selbst einführen und mit diesen Strecken alle Operationen der graphischen Statik vollführen. Was die Wahl der für alle Prismen gleichen Breite b anbetrißt, so ist dieselbe an sich zwar gleichgültig, doch hat man zu beobachten, daß nach getroffener Wahl von b das Gewicht $\gamma_1 b$ von b Cubikmetern Mauerwerk als Einheit für den Kräftemaßstab betrachtet werden muß, d. h. jeder Meter der erwähnten Höhen h entspricht einer Kraft gleich $\gamma_1 b$ Kilogrammen. Würde man z. B. als Einheit der Kräfte 1 Tonne = 1000 kg wählen, so hätte man bei einem spezifischen Gewichte des Mauerwerkes von 2000 kg als Breite b oder Basis die Länge 0,5 m, dagegen bei einer Kräfteinheit gleich 10 Tonnen = 10 000 kg eine Basis $b = 5$ m zu wählen. Man wird bei allen graphischen Ermittlungen die Basis b so annehmen, daß die sich daraus ergebenden Höhen h oder Strecken, welche die Kräfte darstellen, innerhalb des Umfanges der Zeichnung bequem sind. Dementsprechend ist in Fig. 42 als Kräfteinheit das Gewicht von 5 Tonnen gewählt, so daß, ein spezifisches Gewicht des Mauerwerkes $\gamma_1 = 2000$ kg zu Grunde gelegt, die Basis

$$b = \frac{5000}{2000} = 2,5 \text{ m}$$

angenommen worden ist. In Folge dessen bedeutet für die ermittelten Höhen oder Strecken und die daraus gebildeten Kräftepolygone zc. jede Länge, welche nach dem der Zeichnung zu Grunde liegenden Maßstabe der Längen 1 m vorstellt, eine Kraft von 5 Tonnen. Dergemäß ist es leicht erklärlich, was man darunter zu verstehen hat, wenn angegeben wird, bei einer graphischen Ermittlung sei ein Kräftemaßstab gewählt, nach welchem 1 cm eine bestimmte Anzahl von Kilogrammen bedeutet. In dem vorliegenden Falle z. B., in welchem die Zeichnung in $\frac{1}{100}$ der natürlichen Größe ausgeführt ist, entspricht jedem Centimeter der Zeichnung, da derselbe eine wirkliche Länge von 1 m repräsentirt, in dem Kräftepolygone eine Kraft von 5000 kg.

Nach diesen Bemerkungen ergibt sich nun leicht die Art, wie die Kräfte durch Strecken, d. h. die Höhen der gedachten Mauerwerkprismen darzustellen sind. Handelt es sich dabei um wirkliche Mauerkörper, so hat man nur deren verticale Profile in Rechtecke von der Breite b zu verwandeln, um in den gefundenen Höhen die betreffenden Strecken zu erhalten. Ist dagegen die Kraft durch das Gewicht eines Erdkörpers von dem specifischem Gewichte γ gegeben, so muß man natürlich entweder das Profil oder die erlangte Höhe in dem Verhältnisse $\frac{\gamma}{\gamma_1}$ reduciren. Die Art der Verwandlung der Querschnitte in Rechtecke nach den bekannten Regeln der Geometrie bedarf keiner näheren Erläuterung, im Uebrigen kann dieserhalb, sowie hinsichtlich der Operationen mit den Strecken auf das in Thl. I. Anhang, Gesagte verwiesen werden.

Um nun die den Erddruck P darstellende Strecke zu bestimmen hat man das Dreieck ANK zunächst in dem Verhältnisse $\frac{\gamma}{\gamma_1}$ zu reduciren. Nimmt man für mittlere Erde $\gamma = 1600$ kg also $\frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{4}{5}$, so erhält man in dem Dreiecke NA_1K , in welchem $NA_1 = \frac{4}{5} NA$ gemacht worden ist, den Querschnitt eines den Erddruck darstellenden Mauerprismas. Um diesen Querschnitt in ein Rechteck von der Basis $b = 2,5$ m zu verwandeln, hat man nur nöthig, die doppelte Basis $2b = 5$ m gleich A_1N' anzutragen und durch N die mit $N'K$ parallele Gerade NK_1 zu ziehen. Man erhält dann offenbar in der Höhe $K_1L_1 = p$ des Dreiecks NK_1A_1 die gesuchte Strecke für den Erddruck, denn es ist:

$$A_1N : A_1N' = K_1L_1 : KL$$

oder

$$A_1 N \cdot KL = A_1 N' \cdot K_1 L_1 = 2bp,$$

folglich

$$bp = \frac{1}{2} A_1 N \cdot KL = \triangle A_1 NK.$$

Diese Kraft greift die Mauer in einem Punkte H an, so daß $AH = \frac{1}{3} AB_1$ ist, und bildet mit der Normalen HJ zur Wandfläche in H den Winkel

$$PHJ = \varrho_1 = 26^\circ 34'.$$

Man zeichnet nunmehr das Kräftepolygon, indem man an einen beliebigen Punkt o den Erddruck P der Richtung und Größe nach gleich po anträgt. Ferner trägt man von o aus vertical die Strecke oe ab, welche dem Gewichte des Erdprismas FBB_1 entspricht, und welche Strecke man in ganz ähnlicher Art gefunden hat, wie vorstehend für p angegeben worden.

Um nun das Gewicht der Mauer festzustellen, kommt man am einfachsten zum Ziele durch vorläufige Annahme einer ganz beliebigen Mauerstärke. Es sei zunächst die obere Mauerdicke gleich der mit Erde bedeckten Breite BF , und durch F unter der vorgeschriebenen Steigung ($\frac{1}{3}$) das Profil FD_1 eingetragen, und dieses Profil in ein Rechteck zur Basis b verwandelt. Die sich ergebende Höhe g_1 , welche das Gewicht der Mauer $ABFD_1$ darstellt, trage man dann im Kräftepolygon gleich eg_1 an; gleichzeitig hat man den Schwerpunkt S_0 des Erdprisma's FBB_1 und denjenigen S_1 der Mauer $ABFD_1$ zu bestimmen. Letzteres geschieht (s. Thl. I. Abschn. III, Cap. 2) am einfachsten, wenn man jede der parallelen Seiten des Trapezes um die andere nach entgegengesetzten Seiten verlängert, und den Durchschnitt der Verbindungsgeraden mit der Mittellinie sucht, welche die parallelen Seiten halbirt.

Wenn nun die Bedingung gestellt ist, die Mauer solle einem Stabilitätscoefficienten σ entsprechend construirt werden, so macht man $oP = \sigma p$, im vorliegendem Falle, in welchem $\sigma = 3$ vorausgesetzt wurde, ist $oP = 3p = 3 K_1 L_1$ gemacht worden. Zeichnet man nun in bekannter Weise das Seilpolygon, indem man durch den Durchschnittspunkt a , in welchem der Erddruck P das Gewicht E des kleinen Erdprismas FBB_1 trifft, eine mit Pe Parallele bis zum Durchschnitte b_1 mit dem Gewichte G_1 der Mauer zieht und dann ferner durch b_1 eine Parallele $b_1 O_1$ zu Pg_1 im Kräftepolygon legt. Diese Gerade $b_1 O_1$, welche die Richtung der Resultirenden aus $\sigma P, E$ und G_1 darstellt, trifft die Mauerkante in O_1 und die unterste Fuge außerhalb der Mauer, woraus ohne weiteres folgt, daß die gewählte Dicke der Mauer nicht genügt. Nimmt man daher, ebenfalls beliebig, eine größere Mauerstärke an, begrenzt etwa die Mauer nach dem

Profil $C_2 D_2$, und wiederholt dieselbe Construction, indem man nunmehr das Gewicht G_2 des Mauerkörpers $ABC_2 D_2$ durch die Strecke eg_2 im Kräftepolygon darstellt, so erhält man das Seilpolygon $ab_2 O_2$. Da hier die in der Richtung $b_2 O_2$ wirkende Resultirende die Grundfläche AD_2 innerhalb der Mauer schneidet, so folgt, daß die gewählte Mauerdicke unnötig stark ist, denn der gestellten Bedingung zufolge soll für den σ fachen Erddruck gerade die Stabilitätsgrenze erreicht werden, d. h. die Stützlinie gerade durch die Außenkante der Grundfläche gehen.

Die der Aufgabe entsprechende äußere Mauerbegrenzung CD wird daher zwischen $C_1 D_1$ und $C_2 D_2$ gelegen sein. Um diese Begrenzung jetzt schnell festzustellen, kann man nach Culmann *) sich der sogenannten Fehlercurve bedienen, von welcher im vorliegenden Falle O_1 und O_2 zwei Punkte sind. Denkt man sich nämlich für alle möglichen zwischen $C_1 D_1$ und $C_2 D_2$ angenommenen, mit diesen parallelen Begrenzungen die Stützlinien construirt und deren Durchschnittspunkte O mit den zugehörigen vorderen Mauerflächen aufgesucht, so legen alle diese Durchschnitte zwischen O_1 und O_2 eine gewisse Curve fest, und derjenige Punkt, in welchem diese Curve die Grundfläche AD_2 schneidet, entspricht offenbar der vorliegenden Aufgabe. Man erhält nun hier das Resultat genau genug, wenn man diese sogenannte Fehlercurve zwischen der kleinen Strecke $O_1 O_2$ als Gerade ansieht, d. h. man erhält im Durchschnittspunkte D der Geraden $O_1 O_2$ mit der Grundfläche den Punkt, durch welchen die Begrenzung der vorderen Mauerfläche DC unter der vorgeschriebenen Neigung zu legen ist. Legt man diese untere Breite $AD = 1,73$ m zu Grunde, und bestimmt hierfür das Gewicht der Mauer $G = eg$ und den Schwerpunkt derselben in S , so erhält man mit Hilfe des Kräftepolygons $Poeg$ ein Seilpolygon abD , welches allerdings durch die äußere Mauerkante D geht, als Beweis, daß die ermittelte Mauerstärke der gestellten Bedingung eines Stabilitätscoefficienten gegen Umfalten gleich σ entspricht.

Will man auch den Stabilitätscoefficienten σ' für das Gleiten der Mauer auf der horizontal angenommenen Lagerfuge AD ermitteln, so hat man unter Annahme des einfachen Erddruckes gleich op das Kräftepolygon $poeg$ zu Grunde zu legen und hiernach das Seilpolygon abJ zu verzeichnen. Die Lagerfuge wird demnach in J von der resultirenden Kraft R unter einem Winkel gegen die Normale getroffen, welcher Winkel durch ogp gegeben ist. Trägt man an og in g die Gerade gP' unter dem Reibungswinkel für die Steine in AD auf einander an, so erhält man in oP' diejenige Größe, welche der Erddruck annehmen müßte, bevor die Grenze der Stabilität in Hinsicht des Gleitens erreicht ist, und man findet den betreffenden Stabilitäts-

*) S. Culmann, Graphische Statik.

coefficienten für Gleiten durch das Verhältniß $\frac{OP}{OP'} = \sigma'$. Aus der Figur, in welcher für die Fuge AD gleichfalls ein Reibungswinkel $\rho = 38^\circ 40'$ angenommen und von der Cohäsion des Mörtels abgesehen ist, ergibt sich $\sigma' = 3,14$, also eine noch größere Stabilität gegen Gleiten, als gegen Umkanteln, so daß man keine Veranlassung haben wird, durch geneigte Lagerfugen die Stabilität gegen Gleiten zu vergrößern.

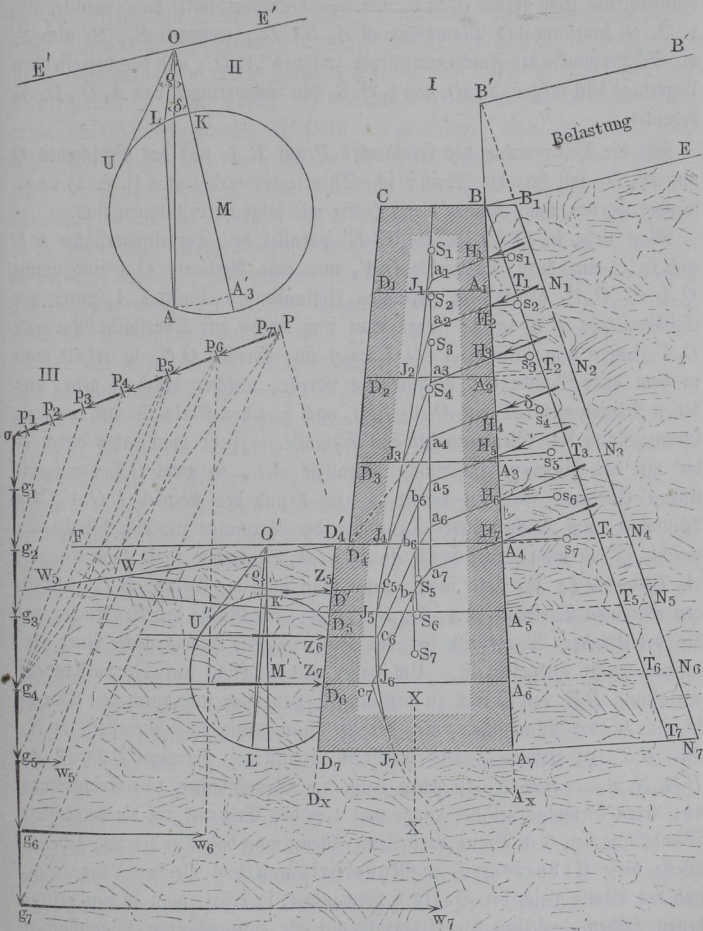
Der Abstand $JM = y$, in welchem die Stützlinie die Lagerfuge AD von deren Mitte M trifft, ergibt sich aus der Figur zu $0,05 AD$, folglich wird, da dieser Werth kleiner als $\frac{1}{6} b$ ist, die Fuge nur durch Druckkräfte beansprucht, deren Größe nach dem im vorhergehenden Paragraphen Angeführten (s. Fig. 40), leicht bestimmt werden kann, wenn man berücksichtigt, daß der auf die Lagerfuge AD kommende Verticaldruck durch die senkrechte Höhe gp_0 des Punktes p über demjenigen \bar{g} dargestellt wird. Es kann bemerkt werden, daß die geringe Größe von y im vorliegenden Falle hauptsächlich der nach rückwärts übergeneigten Stellung der Futtermauer zuzuschreiben ist, in Folge deren die Schwerlinie durch den Schwerpunkt S der Mauer zwischen M und A fällt, und es kann in Folge einer solchen Neigung der Futtermauer der Schnittpunkt J unter gewissen Verhältnissen selbst nach M oder sogar zwischen M und A fallen.

In derselben Art, wie hier für die Grundfläche der Mauer geschehen, kann man auch für jede beliebige Lagerfuge den Durchschnittpunkt der Mittelkraft aller der Kräfte bestimmen, welche auf das oberhalb dieser Fuge gelegene Mauerstück wirken. Denkt man sich diese Schnittpunkte sämmtlich durch einen fortlaufenden Curvenzug verbunden, so erhält man die Stützlinie, welche in ihrem Verlaufe die Stabilitätsverhältnisse und die Druckvertheilung für jedes Stück der Mauer in der angegebenen Weise zur Anschauung bringt. Dehnt man diese Construction auch auf das ganz im Erdinnern gelegene Fundament der Mauer aus, für welches man außer dem Erddrucke auf die hintere Seite auch den Erdschub auf die entgegengesetzte Seite zu berücksichtigen hat, so läßt sich auch leicht die Frage beantworten, wie tief man das Fundament in einem gegebenen Falle zu führen hat, um für die Standfläche desselben auf dem natürlichen Boden gewissen Bedingungen hinsichtlich der Druckvertheilung zu genügen. Hierfür mag in Fig. 43 noch ein Beispiel angeführt werden.

Es sei A_4BCD_4 das Profil einer Futtermauer, welche auf dem Fundamente $A_4D_4D_7A_7$ steht, und gegen welche sich rückwärts die durch die Ebene BE begrenzte Erdmasse lehnt, während die Oberfläche D_4F der Erde vor der Mauer horizontal begrenzt sein soll. Die Erdoberfläche BE soll ferner noch durch Pflaster, Gebäulichkeiten oder dazwischen abgelagerte Waaren einer zusätzlichen Belastung ausgesetzt sein, welche als eine gleichmäßig vertheilte Erdmasse von der oberen Begrenzung $B'B'$ parallel zu

BE gedacht werden kann. Es möge nun die Futtermauer durch eine beliebige Anzahl horizontaler Schnitte $A_1 D_1, A_2 D_2 \dots A_7 D_7$ in ebensoviele

Fig. 43.



viele einzelne Stücke zerlegt und es sollen die Gewichte der einzelnen Theile wie im vorigen Beispiele bestimmt werden. Demgemäß mögen die Abschnitte

$og_1, og_2 \dots og_7$ auf der Verticallinie im Kräftepolygon die Strecken sein, welche unter Annahme einer gewissen Basis b die Gewichte der einzelnen Mauerkörper darstellen, die oberhalb der gleichbezeichneten Fugen bis zur horizontalen Mauerkrone BC gelegen sind. Für die Mauer oberhalb des Fundaments seien ferner $S_1 S_2 S_3$ und S_4 die Schwerpunkte dieser Stücke, also z. B. S_3 derjenige des Mauerkörpers $A_3 B C D_3$, wogegen S_5, S_6 und S_7 die Schwerpunkte der Fundamentkörper zwischen $A_4 D'_4$ und der betreffenden Lagerfuge sein mögen, derart, daß z. B. S_6 den Schwerpunkt von $A_4 D'_4 D_6 A_6$ bedeutet.

Für die Bestimmung des Erddruckes P auf BA_7 und des Erdschubes Q auf $D'_4 D_7$ soll hier die Mohr'sche Theorie des Erddruckes (s. §. 4) angewendet werden, nach welcher diese Kräfte wie folgt zu bestimmen sind.

Man ziehe in II die Gerade $E' E'$ parallel der Terrainoberfläche BE und in O eine dazu Senkrechte OA'_3 und eine Verticale OA und mache $OA = OA'_3$ gleich dem normalen Abstände des Punktes A_3 unter der Erdoberfläche BE in I . Legt man nun an die zur Oberfläche Normale OA'_3 unter dem Winkel $A'_3 O U = \varrho$ eine Gerade OU , so erhält man in dem diese Gerade OU berührenden Kreise, welcher durch A geht, und dessen Mittelpunkt M auf OA'_3 liegt, nach §. 4 den Kreis für den unteren Grenzzustand des Gleichgewichts der Erdmasse. Zieht man daher durch A die mit der hinteren Wandfläche Parallele AL , so giebt OL den specifischen Erddruck für den Punkt A_3 in I und der Winkel LOA'_3 den Winkel δ , um welchen dieser Druck von der Normalen zur Wandfläche abweicht. Zieht man ferner durch $A_1 A_2 \dots A_7$ Senkrechte zu BA_7 und macht $A_3 T_3 = OL$, so erhält man, wenn man noch die Gerade BT_3 zieht in den einzelnen Dreiecken $BA_1 T_1, BA_2 T_2 \dots$ die Größe des Erddruckes auf die betreffenden Wandtheile für den Fall, daß die Erdoberfläche einer Belastung nicht ausgesetzt ist. Um daher mit Rücksicht auf die vorhandene Belastung BB' den Druck zu bestimmen, hat man nur durch den Durchschnit B' der Wandfläche mit der Belastungslinie eine Parallele $B' N_7$ mit BT_7 zu ziehen. Die hierdurch erhaltenen Trapeze $BB_1 N_1 A_1, BB_1 N_2 A_2 \dots BB_1 N_7 A_7$ geben dann die Grundflächen von Erdprismen an, deren Gewichte bei der Länge von 1 m den Erddruck auf die betrachtete Wandfläche von 1 m Breite darstellen. Wenn man daher in der angegebenen Weise diese Erdprismen in Mauerprismen von gleicher Länge 1 m, und der Breite gleich der Basis b verwandelt, so erhält man in den gefundenen Höhen derselben die Erddrucke auf die entsprechenden Wandflächen von der Krone B bis zu dem gleichbezeichneten Horizontalschnitte A . Die so ermittelten Strecken sind im Kräftepolygon III als $op_1, op_2, \dots op_7$ an die Verticale unter einem Winkel $KOL = \delta$ gegen die Normale zur Wandfläche $A_7 B$ angetragen. Auch ist es klar, daß man die Angriffspunkte

$H_1 H_2, \dots H_7$ dieser Erddrücke erhält, wenn man die Schwerpunkte $s_1 s_2 \dots s_7$ der besagten Trapeze normal auf die Wandfläche nach $H_1 H_3 \dots H_7$ projectirt. In diesen Punkten wirkt der Erddruck, wie schon erwähnt, unter dem Winkel δ gegen die Normale zur Wandfläche. Ebenso hat man den Erdschub gegen die Vorderfläche des Banketts $D'_4 D_7$ zu bestimmen, indem man durch irgend einen Punkt O' der horizontalen Erdoberfläche die Verticallinie OK' legt und gleich einer beliebigen Länge z macht, worauf man durch K' den Kreis zum Mittelpunkte M' legt, welcher die Gerade OU' berührt, die mit der Verticalen den Böschungswinkel $M'O'U' = \rho$ bildet. Von den beiden möglichen Kreisen gilt hier der größere, da es sich um den Erdschub handelt. Zieht man nun durch K' eine Parallele mit der Vorderfläche $D'_4 D_7$ des Banketts, welche den Kreis M' in L' schneidet, so erhält man in der Strecke $O'L'$ die Größe des specifischen Erddrucks in einer verticalen Tiefe $O'K' = z$ unter der Oberfläche, während der Winkel $M'O'L' = \delta'$ die Abweichung angebt, um welche der Erdschub gegen die Normale zu $D'_4 D_7$, und zwar nach oben gerichtet, geneigt ist. Zieht man daher in dem Punkte D' , welcher um z unter der Erdoberfläche liegt, eine Normale $D'W'$ zu $D'_4 D_7$ und macht $D'W' = O'L'$, und zieht man die Gerade $D'_4 W'$, so begrenzt die letztere zusammen mit der Wandfläche $D'_4 D_7$ und den in D_5, D_6, D_7 auf der Wandfläche Normalen diejenigen Dreiecke, welche dem Erdschube auf die Flächen $D'_4 D_5, D'_4 D_6, D'_4 D_7$ entsprechen. In der Figur ist des beschränkten Raumes wegen nur das Dreieck $D'_4 D_5 W_5$ vollständig gezeichnet, welches den Schub der Erde gegen die Fläche $D'_4 D_5$ darstellt. Die Verwandlung dieser Dreiecke liefert dann wieder die Strecken, welche im Kräftepolygon als $g_5 w_5, g_6 w_6, g_7 w_7$ in den betreffenden zugehörigen Punkten und der durch δ' festgesetzten Richtung angetragen sind.

Die Angriffspunkte $Z_5 Z_6 Z_7$ für den Erdschub liegen unter der Erdoberfläche F um $\frac{2}{3}z$, wenn z die Tiefe der zugehörigen Schnittfläche DA ist. Nunmehr läßt sich die Stützlinie leicht finden, wenn man für die einzelnen, je zwischen der Krone und den verschiedenen Lagerfugen enthaltenen Mauerstücke die Seilpolygone in der vorbeschriebenen Weise zeichnet. Diese Seilpolygone sind in der Figur mit $HabcJ$ bezeichnet, und es genügt, die Construction an einem einzigen, etwa $H_5 J_5$, zu erläutern. Man verlängert dabei die Kraft des Erddrucks in H_5 bis zum Durchschnitte a_5 mit dem durch S_4 gehenden Gewichte g_4 des Mauertheils BA_4 , zieht durch a_5 eine Parallele mit $p_5 g_4$ im Kräftepolygon bis zum Schnittpunkte b_5 mit der in S_5 anzunehmenden Schwerkraft g_5 des Fundamentstückes $A_4 A_5$. Von dem so erhaltenen zweiten Knoten b_5 des Seilpolygons zieht man nunmehr das nächste Seil parallel zu $p_5 g_5$ bis zum Durchschnitte c_5 mit dem Erdschube in Z_5 , und endlich durch c_5 eine Parallele zu $p_5 w_5$, wodurch man in J_5 den Punkt erhält, in welchem die Querschnittsfläche $A_5 D_5$ von der

refultirenden Kraft getroffen wird. Die Verbindung aller so erhaltenen Schnittpunkte $J_1 J_2 \dots J_7$ führt zu der gesuchten Stützlinie.

Man erkennt aus der Figur, daß, während die Stützlinie in der oberen Mauer BA_4 aus der ursprünglich verticalen Richtung bei S_1 , nach unten hin in Folge des zunehmenden Erddruckes P mehr und mehr der äußeren Mauerfläche CD_4 sich nähert, dieselbe im Fundamente durch den sehr schnell wachsenden Erdschub W wieder nach der Mitte hin gedrängt wird. Wollte man etwa die Bedingung stellen, daß die natürliche Bodenfläche, auf welcher die Mauer ruht, in allen Punkten gleichmäßig belastet werden soll, so hätte man offenbar das Fundament bis zu demjenigen Querschnitte $A_x D_x$ zu führen, in welchem die Stützlinie J mit der Mittellinie XX des Fundaments sich schneidet.

Um hier den Stabilitätscoefficienten für die Mauer BA_4 zu bestimmen, hat man nur D_4 mit a_4 durch eine Gerade zu verbinden und im Kräftepolygon durch den Punkt g_4 eine Parallele zu $D_4 a_4$ zu ziehen, welche die Richtung des Erddruckes in P schneidet. Man schließt daraus, daß der Erddruck gegen die Mauerfläche BA_4 die Größe oP annehmen muß, bevor die Grenze der Stabilität für die Fuge $A_4 D_4$ erreicht wird, so daß man den zugehörigen Stabilitätscoefficienten zu $\sigma = \frac{oP}{op_4}$ findet, welches Verhältniß aus der Figur sich im vorliegenden Falle zu 2,41 ergibt. Dieser Werth ist ebenso wie die in Bezug der Fig. 42 vorstehend angegebenen, einer im größeren Maßstabe gezeichneten Figur entnommen. Selbstredend wird ein graphisches Verfahren um so genauere Resultate ergeben, je größer der Maßstab ist, in welchem die Zeichnung ausgeführt ist. Bei der Prüfung der Verhältnisse von Futtermauern wird es in der Regel genügen, den Maßstab für die Zeichnung etwa zwischen $\frac{1}{20}$ und $\frac{1}{40}$ der natürlichen Größe anzunehmen, da diese Größe bei einigermaßen sorgfältiger Ausführung der Zeichnung eine Genauigkeit erzielen läßt, welche diejenige weit übertreffen dürfte, die bei der Ausführung von Mauerwerkskörpern erreichbar ist.

Anmerk. Der erste gründliche Schriftsteller über den Erddruck ist Coulomb, s. Théorie des machines simples par Coulomb. Weiter verfolgte diesen Gegenstand Brony in seinen Leçons sur la poussée des terres (1802); nächstdem findet man den Gegenstand gut und gedrängt bearbeitet in Navier's Leçons sur l'application de la mécanique etc., T. I, sowie in Persy's Cours de Stabilité des constructions. Ein besonderes Werk, in welchem auch die Beobachtungen und Theorien über den Erddruck aller seiner Vorgänger abgehandelt werden, lieferte Mayniel (1808) unter dem Titel: Traité expérimental etc. de la poussée des terres. Neue und in ziemlich großem Maßstabe ausgeführte Versuche sind von G. Martony de Kőszegh angestellt und in folgendem Werke veröffentlicht worden: Versuche über den Seitendruck der Erde, ausgeführt auf höchsten Befehl u. s. w. und verbunden mit den theoretischen Abhandlungen von

Coulomb und Français, Wien 1828. Das vollständigste Werk über den Erddruck u. s. w. hat Poncelet geliefert. Dasselbe ist aus dem *Mémorial de l'officier du génie* (1838) von Lahmeyer übersezt und unter dem Titel herausgegeben: Ueber die Stabilität der Erdbekleidungen und deren Fundamente, Braunschweig 1844. Gut und zum Theil eigenthümlich behandelt den Erddruck Mosely in seinen *Mechanical principles of Engineering and Architecture*, wovon Scheffler eine Uebersetzung geliefert hat. Auch in des Letzteren Werke: *Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eisernen Brücken*, 1857, findet sich der Gegenstand eingehend behandelt, ebenso wie in Hagen's *Handbuche der Wasserbaukunst* Thl. II. Ferner ist hier anzuführen: *Nouvelles Expériences sur la pousée des terres*, par Audé Paris 1849. Von neueren Schriften sind bereits im Vorstehenden die Arbeiten von Mohr und Winkler angeführt, welcher Letztere seinem Werke eine kritische Zusammenstellung der verschiedenen Theorien beigefügt hat. Außerdem sind hier die Arbeiten von Guilhelm in den *Annales des ponts et chaussées*, 1858, Levy, *Comptes rendus* LXX, 1870, Considère, *Ann. des ponts et chaussées*, 1870, Rankine, *Manual of civil engineering* 1865, J. Weyrauch, *Theorie des Erddrucks*, Wien 1881, und anderen, sowie das ausführliche Werk Rebhanns, *Theorie des Erddrucks und der Futtermauern* 1871, zu erwähnen. Die graphischen Methoden finden sich in Culmann's bekannter graphischer Statik. Von allgemeinen Lehrbüchern sind zu nennen Ott', *Baumechanik* 1870, und Holzhey, *Baumechanik*, 1879.