

noch weiterer Vergrößerung des Druckes n_2 wächst der horizontale Druck unter steter Beibehaltung der constanten Größe γy für den verticalen Druck, welcher nunmehr als $p_{2\min}$ auftritt.

Setzt man eine Neigung der Erdoberfläche unter der natürlichen Böschung voraus, so fällt bei der Ausföhrung der Construction in Fig. 6 die Tangente OU mit der Verticalen OA zusammen, und man erhält in diesem Falle nur einen einzigen Beröhrungskreis, Fig. 10; es giebt daher hier auch nur einen Grenzzustand. Die beiden Gleitflöchen AO und AB sind hier vertical und parallel zur Oberflöche gerichtet, und der Druck auf dieselben ist:

$$p_f = AO = BO = \gamma y.$$

Ferner ergibt sich aus (17) und (19):

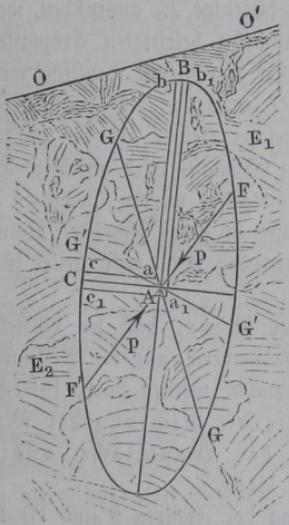
$$p_{\min} = OK = \gamma y \frac{1 - \sin \varrho}{\cos \varrho} = \gamma y \tan g \frac{90^\circ - \varrho}{2}$$

und aus (18) und (20):

$$p_{\max} = OL = \gamma y \frac{1 + \sin \varrho}{\cos \varrho} = \gamma y \tan g \frac{90^\circ + \varrho}{2}.$$

Druck der Erde gegen Stützmauern. Um nunmehr der vor- §. 5. stehenden Theorie gemöß den Erddruck gegen stützende Wände oder Futtermauern zu ermitteln, kann man folgende Betrachtung anstellen. Es sei CBF , Fig. 11, die Druckellipse für irgend einen Punkt A einer Erdmasse, deren Oberflöche OO' sei, so daß also für den vorauszusetzenden unteren Grenzzustand BA der Größe und Richtung nach den Druck p_{\max} und CA den Druck p_{\min} darstellt. Denkt man sich in den Richtungen BA und CA

Fig. 11.



durch je zwei unendlich nahe liegende Ebenen, wie ba, ca , zwei röhrenförmige oder prismatische Räume begrenzt, so wirkt innerhalb derselben auf die Begrenzungsflöchen ba, ca dieser Räume der Druck überall normal, also etwa so, als ob diese Räume mit Flüssigkeiten von bestimmter Dichte gefüllt sein würden. Während indessen bei einer Flüssigkeit der Druck nach allen Richtungen von gleicher Größe ist, so verursacht bei der Erdmasse die zwischen den Theilchen auftretende Reibung, daß in der Richtung CA schon der kleinere Druck p_{\min} ausreicht, um zusammen mit der Reibung dem eine Bewegung anstrebenden Drucke p_{\max} das Gleichgewicht zu halten. Man hat sich daher vorzustellen, daß die Druckkraft p_{\max} als eine active,

d. h. Bewegung anstrebende Kraft auftritt, während der Druck p_{min} einen passiven Widerstand vorstellt, welcher die Bewegung so lange verhindert, als er noch nicht unter den dem Grenzzustande entsprechenden Werth herabgesunken ist. Denkt man sich nun durch den Punkt A irgend welche Ebene AG gelegt, welche die ganze Erdmasse in zwei Theile E_1 und E_2 zerlegt, so ist zunächst deutlich, daß, wenn FA nach dem Vorhergehenden den Druck p auf diese Fläche der Richtung und Stärke nach darstellt, also die Erdmasse E_1 auf die Ebene AG mit einer Kraft $FA = +p$ drückend wirkt, die Erdmasse E_2 mit einer gleich großen entgegengesetzten Reaction $F'A = -p$ auf E_1 zurückwirkt. Man kann daher auch den Druck $-p$ der unteren Erdmasse E_2 als den passiven, durch die Wirkung der oberen Erdmasse E_1 hervorgerufenen Widerstand ansehen, und es ist klar, daß bei einer beliebigen Lage der betrachteten Trennungsebene AG diejenige Erdmasse in dem gedachten Sinne als activ angesehen werden muß, welche die gegen den Punkt A gerichtete Druckkraft p_{max} in sich enthält. Stellt man sich nun vor, die gedachte Trennungsebene werde durch eine feste Wandfläche ersetzt, so kann man die Erdmasse E_2 beseitigen, indem die feste Wand ebenso gut eine Reaction $-p = F'A$ gegen die von oben drückende Erdmasse auszuüben vermag, wie zuvor die Erdmasse E_2 . Wollte man dagegen die Erdmasse E_1 beseitigen, so würden die Verhältnisse wesentlich andere sein, als sie in der unbegrenzten Erdmasse stattfinden, denn die feste Stützmauer, welche wohl im Stande ist, einem auf sie von E_1 ausgeübten activen Drucke p eine gleiche Reaction $-p$ entgegenzusetzen, vermag offenbar nicht, den besagten Druck p der Erdmasse E_1 auf diejenige E_2 auszuüben, welcher Druck lediglich den Schwerkraften der nunmehr beseitigten Erdmasse E_1 seine Entstehung verdankt. Es wird dieses Verhältniß deutlich werden, wenn man z. B. die Trennungsebene AG etwa in AG' unter einem Winkel gegen den Horizont gelegt denkt, welcher kleiner als der natürliche Böschungswinkel ist. In der unbegrenzten Erdmasse wird auf diese Fläche ein bestimmter Druck p' von E_1 auf E_2 ausgeübt werden, wogegen nach Beseitigung von E_1 die verbleibende Erdmasse E_2 einer stützenden Wand in AG' offenbar nicht bedarf, sobald die Begrenzung AG' nicht steiler ist, als die natürliche Böschung.

Aus solchen Betrachtungen folgert daher Mohr, daß die vorstehende Theorie des Erddruckes in unbegrenzten Erdkörpern auf die Bestimmung des Wanddruckes gegen Stützmauern angewandt werden darf, so lange die Gerade, welche nach jener Theorie die Richtung der Maximalpressung gegen den Fußpunkt der Wandfläche angiebt, **innerhalb** des gestützten Erdkörpers liegt.

Hienach wird, wie aus der Betrachtung der Figuren 9 und 10 leicht ersichtlich ist, diese Theorie für verticale Stützflächen AG , Fig. 12, gültig

sein, so lange die Oberfläche GO des Terrains zwischen der Horizontalen GH und der aufsteigenden Ebene der natürlichen Böschung GO_1 gelegen ist, und wenn die Stützfläche AG , wie in Fig. 13, eine gewisse Neigung nach vorn (der Erdmasse abgewendet) hat, so ist die Theorie auch noch gültig bis zu einer gewissen abwärts gerichteten Neigung GO_2 der Erdmasse. Nur wenn die Stützfläche nach Fig. 14 eine der Erdmasse zu-gekehrte Neigung hat, ist die Zulässigkeit der Erddrucktheorie eine für die Lagen der Terrainfläche zwischen GO_1 und GO_2 beschränkte. Die Größe

Fig. 12.

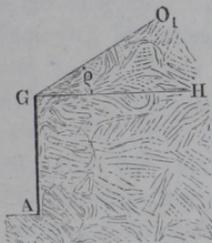


Fig. 13.

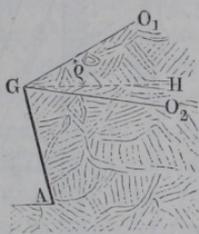
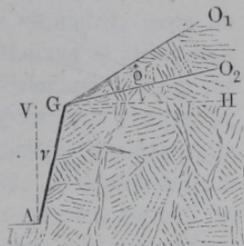


Fig. 14.



des Winkels O_1GO_2 für diesen Geltungsbereich hängt natürlich von der Neigung ν der Wand AG gegen die Verticale AV ab, und man ersieht aus der Figur 10, daß bei einer Zurückneigung der Wand um den Winkel $\nu = VAG = \frac{90^\circ - \rho}{2}$ eine Anwendbarkeit der vorstehenden Erddrucktheorie nur noch zulässig sein wird, wenn das Terrain unter der natürlichen Böschung GO_1 ansteigt (Fig. 14). Für die gewöhnlich in der Praxis vorkommenden Fälle, welche meistens den Figuren 12 und 13 entsprechen, kann daher die vorstehende Theorie des Erddruckes zu Grunde gelegt werden, in den Ausnahmefällen der Fig. 14 dagegen wird man sich der seitherigen Theorie des Prismas vom größten Drucke zur Ermittlung des Wanddruckes bedienen müssen, worüber im folgenden Paragraphen das Nähere enthalten ist.

Unter Zugrundelegung der vorstehend entwickelten Theorie des Erddruckes bestimmt sich nun die auf eine Futtermauer ausgeübte Druckkraft auf graphischem Wege in sehr einfacher Art, bei deren Darstellung hier ebenfalls im Wesentlichen die von Mohr angegebenen Constructionen zu Grunde gelegt sind. Es sei BC , Fig. 15 (a. f. S.), die dem Drucke der Erde ausgesetzte Fläche einer Futtermauer, und es sei $OC = y$ der normale Abstand der untersten Kante C von der ebenen Terrainfläche OO_1 der Erdmasse. Wählt man nun für die graphische Ermittlung das Gewicht γ der Cubikeinheit Erdmasse als Einheit für den Kräftemaßstab (s. Thl. I, Anhang), so stellt offenbar die durch O vertical gezogene Strecke $OA = OC$

zur Wandfläche, so erhält man in F den Angriffspunkt für die mit CD_1 parallele Mittelkraft P aller Einzelpressungen, welche Mittelkraft selbststrebend auch durch den Schwerpunkt des Dreiecks BCD_1 hindurchgeht.

Anstatt die Richtung des Erddruckes durch Antragen des Winkels δ an CD zu erhalten, könnte man auch diese Richtung direct finden, indem man den Durchmesser AH zieht, durch H und J eine Gerade legt und deren Durchschnitt N mit der Oberfläche OO_1 mit dem Durchschnitte E zwischen AJ und OM verbindet. Man erhält dann nach dem Vorhergehenden in EN die Richtung des Erddruckes auf die Wandfläche BC .

Die hier angegebene Construction behält noch ihre Gültigkeit, wenn die Oberfläche OO_1 der Erdmasse durch eine besondere Belastung Q gleichmäßig beschwert ist. In diesem Falle denke man sich diese Belastung Q durch das Gewicht einer ebenso schweren Erdmasse von der Höhe BB' dargestellt, deren durch B' gehende Begrenzung wegen der gleichmäßig vorausgesetzten Vertheilung der Last parallel zu OO_1 anzunehmen ist. Hierdurch wird in dem Gleichgewichtszustande der Erdmasse nichts weiter geändert, als daß für jeden Punkt der Wandfläche der in dem Vorhergehenden mit y bezeichnete normale Abstand von der Erdoberfläche um die Größe OO' vergrößert wird. Daher wird auch für jeden Punkt die mit diesem Abstände y proportionale Pressung um einen constanten von OO' abhängigen Werth vergrößert werden, welcher in $BB_1 = DD'$ gefunden wird, wenn man durch B' die Gerade $B'D'$ parallel zu BD zieht. Die Größe des nunmehr auf die ganze Mauer wirkenden Druckes, dessen Richtung durch die Belastung nicht geändert wird, ist jetzt durch das Trapez CBB_1D' dargestellt, dessen Schwerpunkt S' durch die zur Wandfläche Normale $S'F'$ in F' den Angriffspunkt des Erddruckes P' liefert. Die Figur läßt unmittelbar erkennen, daß durch die Belastung der Oberfläche nicht nur der Wanddruck im Verhältniß der Flächenräume CBD und CBB_1D' , sondern auch der Hebelarm im Verhältniß FC zu $F'C$ vergrößert wird.

Um den Abstand $CF' = a$ des Fußes C von dem Angriffspunkte F' des Erddruckes P' der belasteten Erde zu finden, setze man $CB = l$ und $BB' = l'$, sowie

$$\frac{CD}{CB} = \text{tang } \beta,$$

dann hat man für den Fußpunkt C die Momentengleichung:

$$\frac{l^2}{2} \text{tang } \beta \cdot \frac{l}{3} + ll' \text{tang } \beta \cdot \frac{l}{2} = \left(\frac{l^2}{2} + ll' \right) \text{tang } \beta \cdot a,$$

woraus

$$a = \frac{l^2 + 3ll'}{3l + 6l'} = \frac{l}{3} \frac{l + 3l'}{l + 2l'}$$

folgt, also zwischen $\frac{l}{3}$ für $l' = 0$ und $\frac{l}{2}$ für $l' = \infty$ liegend.

Verbindet man in der Figur den Punkt A mit dem Berührungspunkte U und V der Tangenten an den Kreis, so erhält man die Ebenen, in welchen der Erddruck den Reibungswinkel ϱ mit der Normalen zur Fläche bildet. Man erhält daher im vorliegenden Falle in AV die Richtung der Gleitfläche CG , d. h. derjenigen Ebene, in welcher bei einem Ausweichen der Mauer voraussichtlich ein Erdprisma BCG von der übrigen Erdmasse abgleiten wird. Dieser Gleitfläche kann man sich zur Ermittlung des Wanddruckes bedienen in dem Falle, in welchem die Oberfläche der Erdmasse, Fig. 16, nicht durch eine Ebene gebildet wird. Ist hier z. B. die Erdmasse oben durch $BDEF$ begrenzt, und kann man die Lage CF der Gleitfläche bestimmen, so findet man den Wanddruck genau wie in Fig. 15 angegeben, sobald man jetzt für die wirkliche Erdoberfläche $BDEF$ eine ideale ebene Begrenzung nach BG von solcher Neigung annimmt, daß die beiden Flächenräume CBG und $CBDEF$ gleich groß sind, weil von dem Gewichte des abrutschenden Prismas allein der Wanddruck abhängt. Zu dieser Bestimmung muß allerdings die Lage der Gleitfläche CF zuvörderst bekannt sein, welche nach dem Obigen wiederum von der Neigung der Linie BG abhängt, doch wird man leicht diese Lage mit genügender Schärfe ermitteln können, wenn man sie zuerst schätzungsweise annimmt, dann die Neigung BG ermittelt, und dann für diese Neigung nach Fig. 15 die wahre Gleitfläche bestimmt, um, wenn nöthig, eine entsprechende Correction vornehmen zu können.

Fig. 16.

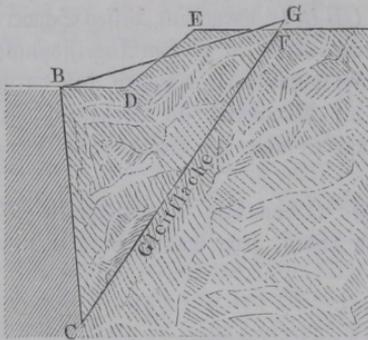
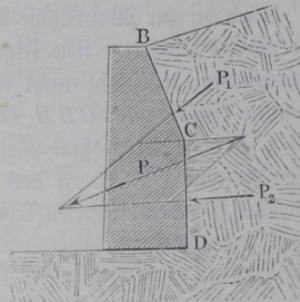


Fig. 17.



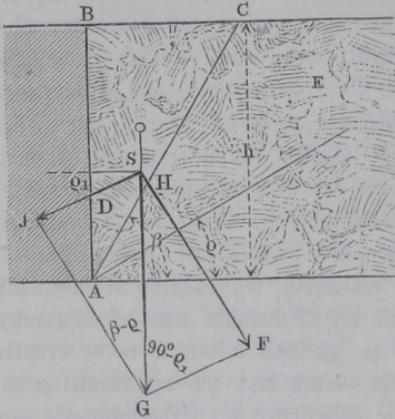
Wenn andererseits die Wandfläche nicht durch eine einzige Ebene begrenzt ist, sondern etwa nach Fig. 17 mehrere Parthien BC , CD von verschiedener Neigung enthält, so ergibt sich von selbst, daß man den gesammten Erddruck auf die Wandfläche nach bekannten Regeln als die Mittelkraft P aus den auf die einzelnen Wandtheile wirkenden Drücken P_1 und P_2 zu ermitteln hat.

Wenn man in der vorgedachten Art den Erddruck auf eine Wandfläche bestimmt, so findet man, daß derselbe, je nach der Lage der Wandfläche, um den mehr oder minder großen Winkel δ von der Normalen zur Wandfläche abweicht. Der Druck wirkt nur dann zur Wandfläche normal, wenn diese die Richtung von p_{max} in sich aufnimmt, wie dies z. B. nach Fig. 9 bei verticaler Wand und horizontaler Oberfläche der Fall ist. Andererseits erreicht der Abweichungswinkel δ einen um so größeren Werth, je mehr sich die Wandfläche einer Gleitfläche nähert, und beim Zusammenfallen beider wird $\delta = \rho$, wie dies nach Fig. 10 eintritt, wenn eine verticale Wandfläche eine Erdmasse mit natürlich geböschter Oberfläche stützt. Im Allgemeinen ist daher der Neigungswinkel des Erddruckes gegen die Normale zur Stützfläche kleiner als der Reibungswinkel ρ . Diesem Umstande zufolge hat man wohl Einwände gegen die Anwendbarkeit der allgemeinen Theorie des Erddruckes zur Bestimmung des Wanddruckes erhoben, welche darauf begründet sind, daß für den Fall des Ausweichens der Futtermauer an derselben ein Herabgleiten der Erdmasse stattfindet, demzufolge man annehmen muß, daß der Druck zwischen dieser Erdmasse und der Wandfläche von der Normalen der letzteren um den Reibungswinkel ρ_1 zwischen beiden, oder da derselbe meistens gleich dem der Erdmasse gesetzt werden darf, um den Winkel ρ abweicht. Demgemäß hat man wohl die Zulässigkeit der Erddrucktheorie nur auf diejenigen höchst seltenen Ausnahmefälle beschränken zu müssen geglaubt, in denen die Wandfläche mit einer Gleitfläche zusammenfällt. Diese Einwände hat schon Mohr durch die Bemerkung widerlegt, daß der gedachte Zustand des Ausweichens der Mauer nicht der bei Stabilitätsuntersuchungen allein in Frage kommende Gleichgewichtszustand der Ruhe, sondern vielmehr ein Zustand der Bewegung ist, und wenn für den letzteren durch die Bewegung selbst jene Richtung der zwischen der Wand und Erdmasse wirkenden Kraft auch bedingt wird, so kann daraus doch nicht geschlossen werden, daß schon vor der Bewegung diese Reibungswiderstände vorhanden waren. Auch aus den Resultaten der über den Erddruck angestellten Versuche läßt sich, insofern hierbei immer der Druck der Erdmasse bei beginnender Bewegung gemessen wird, in dieser Beziehung kein Beweis für die Richtigkeit des gedachten Einwandes herleiten. Man darf daher die hier angeführte Methode der Bestimmung des Erddruckes nach der allgemeinen Theorie desselben in allen den Fällen, für welche nach dem Obigen ihre Anwendbarkeit gezeigt wurde, als zuverlässig und sicher betrachten. Um indessen auch die bisher meist angewendete Bestimmungsart mittelst der Theorie vom Prisma des größten Druckes kennen zu lernen, soll diese Methode in den nächsten Paragraphen noch behandelt werden. Dies erscheint schon mit Rücksicht auf diejenigen Fälle erforderlich, für welche nach dem vorstehend Bemerkten die Anwendbarkeit der Erddrucktheorie nicht zu-

läufig ist, und für welche man den Wanddruck nach der Theorie von dem Prisma des größten Erddruckes wird bestimmen müssen.

§. 6. Das Prisma des grössten Erddruckes. Es sei in Fig. 18 eine Erd-

Fig. 18.



masse E durch eine verticale Futtermauer AB gestützt und vorausgesetzt, daß die letztere dem Erddrucke nicht genügenden Widerstand entgegensetzen kann, sondern nach der Seite ausweiche, so wird eine gewisse Erdmasse ABC herabgleiten. Ueber die Form dieser abgleitenden Masse ist nun etwas Bestimmtes nicht anzugeben, und man begnügt sich bei der folgenden Untersuchung damit, anzunehmen, daß die Erdmasse in einer ebenen Trennungsfäche AC abgleite. Zu dieser Annahme ist man veranlaßt, um die an sich schon sehr verwickelten Rechnungen überhaupt durchführen zu können, obwohl, wie oben bereits erwähnt wurde, die

Wahrscheinlichkeit eine viel größere ist, daß die Trennung der Erdmasse in einer gekrümmten Fläche erfolgt.

Setzt man eine ebene Trennungsfäche in AC voraus, so wird also ein dreiseitiges Prisma ABC auf der als feste Ebene zu denkenden Erdmasse E abrutschen und man kann dieses abgleitende Stück vom Gewichte G wie einen Keil ansehen, welcher einen gewissen Druck auf die Gleitfläche AC sowohl wie gegen die Wandfläche AB ausübt. Bei der gedachten Bewegung stellen sich Reibungswiderstände ebenfalls an beiden Flächen AC und AB ein, und man hat sich dann zu denken, daß die resultirende Druckkraft gegen jede dieser Flächen für den Zustand der beginnenden Bewegung um den entsprechenden Reibungswinkel von der Normalen zur Fläche abweicht. Für die Gleitfläche AC hat man den natürlichen Böschungswinkel ϱ der Erdmasse als Reibungswinkel anzunehmen, während der Winkel ϱ_1 für die Wand AB dem Reibungscoefficienten zwischen der Erde und der Mauerfläche entspricht. Dieser Winkel ϱ_1 wird von verschiedenen Autoren verschieden angegeben. Während nach den Versuchen von Audé für die Reibung von Sand an einer hölzernen Bekleidungs wand

$$\varphi_1 = \tan \varrho_1 = 0,6, \text{ also } \varrho_1 = 31^\circ$$

angenommen wird, ist nach Poncelet für grob behauenen Stein und verschiedene Erdarten φ_1 zwischen 0,51 und 0,34 schwankend. Jedenfalls darf