

Zur Theorie des Erddruckes auf Stützmauern

Autor(en): **Mohr, Otto**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **55/56 (1910)**

Heft 4

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-28741>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

sicht auf die Eignung für grosse Netze als allgemeines Postulat aufstellen dürfen. Die im Schosse der Sektion im Sinne der Wünschbarkeit einer Vereinbarung über die grundlegenden Fragen der technischen Einheit auch bezüglich der elektrischen Zugförderung abgegebenen Voten vermochten jedoch, angesichts der mit dem Einphasensystem zur Zeit allerdings noch spärlich vorliegenden Erfahrungen, nicht, die Versammlung zugunsten eines bestimmten Systems zu beeinflussen. W. K.

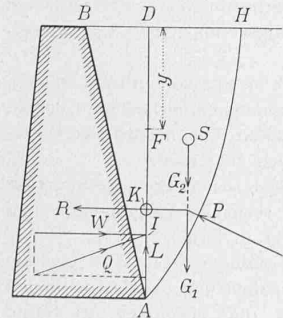
Zur Theorie des Erddruckes auf Stützmauern.

Von Professor Otto Mohr, Dresden.

Herr Dr.-Ing. Ritter ging in seiner Abhandlung (Nr. 15 d. Z.) von den zwei Annahmen aus, dass der Wanddruck E durch den Punkt C gehe, der das untere Drittel der Wandfläche begrenzt, und dass die Richtungslinie AH der Hauptdrücke eine von der lotrechten Geraden abweichende gekrümmte Form habe (Abbildung 8, S. 199 von Band LV). In Nr. 23 d. Z. (S. 315) habe ich bewiesen, dass die beiden Annahmen den Bedingungen des Gleichgewichtes widersprechen und daher unzulässig sind. Infolgedessen lässt Herr Ritter die erste Annahme fallen, sodass der Wanddruck E eine unbestimmte Lage erhält. Um die Unbestimmtheit zu ermässigen, wird eine weitere Annahme gemacht, die eigentlich nicht in eine Fussnote gehört, da sie von wesentlichem Einfluss ist. In der Fussnote auf S. 316 wird behauptet, die Richtungslinie AH verlaufe sehr steil, sodass sie in Abbildung 8 verzerrt werden musste, um ihre geringe Abweichung von der lotrechten Geraden erkennbar zu machen. Wenn eine bestimmte und zulässige Annahme über die Form der Kurve AH gemacht werden kann, dann ist die Aufgabe gelöst. Denn die Annahme bestimmt die Kräfte $p ds$, P , G und E , also auch den Winkel ω , an dessen Berechnung nach der Meinung des Herrn Ritter überhaupt nicht zu denken ist. Die willkürliche Annahme des Herrn Ritter hat zur Folge, dass der Wanddruck nahezu dieselbe Grösse und dieselbe Lage erhält wie nach der „naiven“ Theorie von Rankine, die angeblich das natürliche Empfinden verletzen soll. Um diesem Empfinden Rechnung zu tragen, will Herr Ritter aus den Ergebnissen seiner Theorie nur die *wagerechte* Seitenkraft des Wanddruckes entnehmen, während die ebenfalls durch die Theorie gegebene *lotrechte* Seitenkraft durch *Erddruckversuche* bestimmt werden soll. Dieses willkürliche Verfahren würde die ganze Theorie über den Haufen werfen und ihr jeden Wert nehmen. Wenn die Versuche eine andere Richtung des Wanddruckes ergeben wie die Theorie, dann sind entweder die Versuchsergebnisse falsch, oder die Theorie ist falsch, oder sie sind beide falsch. Letztere Möglichkeit bleibt auch dann bestehen, wenn es einem Erddruckforscher gelingt, seine Versuche mit seiner Theorie in Einklang zu bringen.

Im Vorstehenden wurde vorausgesetzt, die Annahme einer von der lotrechten Geraden abweichenden Richtungslinie AH sei zulässig. In Wirklichkeit ist sie *nicht* zulässig, weil sie den Gesetzen der Statik widerspricht. Wenn durch jeden Punkt des gestützten Erdkörpers eine Gleitfläche geht, dann ist der Rankine'sche Grenzzustand der einzig mögliche, wie sich aus der folgenden Gleichgewichts-Betrachtung ergibt. Auf den Erdkörper ADH , der von der lotrechten Ebene AD , der wagerechten Oberfläche DH und der Richtungslinie AH begrenzt wird, wirken die folgenden Kräfte: sein

Gewicht G , das in die beiden Teile G_1 und G_2 von den Grössen $G \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \frac{\varphi}{2})$ und $G [1 - \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \frac{\varphi}{2})]$ zerlegt werden kann, ferner der Erddruck P gegen die Fläche AH und der Erddruck Q gegen die Fläche AD , der in seinem Angriffspunkte J in die wagerechte Seitenkraft W und die lotrechte Seitenkraft L zerlegt wird. In Nr. 23 von Band LV d. Z. wurde bewiesen, dass die Resultante



¹⁾ Die von uns unter „Korrespondenz“ auf den Seiten 315 und 316 des letzten Bandes gebrachte Einsendung von Professor O. Mohr und Erwiderung von Dr. M. Ritter hat einen weitem Schriftwechsel zur Folge gehabt. Wir bringen diesen hier zum Abdruck, in der Meinung, damit die Kontroverse abzuschliessen.

Die Redaktion.

R der beiden Kräfte P und G_1 durch den Punkt K geht, der das untere Drittel der Fläche AD begrenzt. Die wagerechten Seitenkräfte gegen den Flächenteil DF von der Höhe y haben nach Gleichung 11 der Ritter'schen Abhandlung eine Resultante von der Grösse $\frac{1}{2} y^2 \gamma \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \frac{\varphi}{2})$. Die wagerechten Seitenkräfte gegen die Fläche AD verteilen sich also nach dem hydrostatischen Gesetze, folglich fällt der Punkt J mit dem Punkte K zusammen. Da sonach von der Gleichgewichtsgruppe R , W , L , G_2 die drei Kräfte R , W , L im Punkte K sich schneiden, so muss die vierte Kraft G_2 entweder gleich null sein oder auch durch den Punkt K gehen. Hieraus folgt, dass die Richtungslinie AH mit der lotrechten Ebene AD zusammenfällt, und das ist die kennzeichnende Eigenschaft des Rankine'schen Grenzzustandes.

Auf die Eingangsmerkungen der Ritter'schen Erwiderung über bedenkliche Schlussfolgerungen Rankines und deren Umkehrung gehe ich nicht ein, weil sie für mich unverständlich sind, und soweit ich erkennen kann, hier auch gar nicht in Betracht kommen.

Erwiderung

von Dr.-Ing. Max Ritter, Zürich.

Die vorstehende interessante Zuschrift erscheint für die Zukunft der Erddrucktheorie von so weittragender Bedeutung, dass eine eingehende Entgegnung meinerseits im Interesse der Sache nicht unterbleiben kann.

Zunächst muss ich freilich einige Irrtümer berichtigen, die sich eingeschlichen haben. Herr Professor Mohr sagt, ich sei in meiner Abhandlung von der Annahme ausgegangen, dass der Erddruck durch den Punkt C gehe, der das untere Drittel der Wandfläche begrenzt. Diese Behauptung ist dahin zu korrigieren: Ich wies eingangs darauf hin, dass der Erddruck durch den Punkt C geht, wenn die Gleitflächen einander *ähnlich* sind, bemerkte aber im Anschluss an die Schlussformel (11) ausdrücklich, dass die „eingangs erwähnte Vermutung“, die Gleitflächen seien ähnlich, ohne Belang ist. In der Tat hat die Ableitung der Formel (11) mit jener Vermutung (nicht Annahme) gar nichts zu tun.

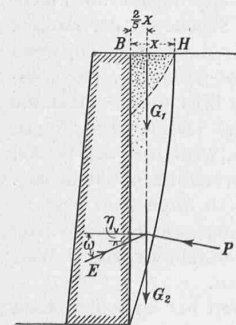
Weiter nimmt Herr Professor Mohr auf die Fussnote in meiner ersten Erwiderung Bezug, aus der er wirklich mehr herausliest, als in eine Fussnote gehört und auch darin enthalten ist. Von einer weiteren Annahme in dieser Fussnote kann gar keine Rede sein. Ich sagte, die Linie AH sei in den Abbildungen der Deutlichkeit halber verzerrt gezeichnet; sie verlaufe sehr steil und man könne die Verhältnisse hinreichend genau verfolgen, indem man dafür eine Parabel supponiere. Herr Professor Mohr interpretiert diese Bemerkung irrtümlicherweise dahin, ich hätte behauptet, man könne die Abweichung der Linie AH von der Lotrechten überhaupt nicht erkennen, wenn man sie nicht verzerrt zeichne; ferner, wenn eine Annahme über die Form der Kurve AH gemacht werden könne, dann sei die Aufgabe gelöst; man könne alsdann den Winkel ω berechnen. Ich nehme ohne weiteres an, dass Herrn Professor Mohr diese Behauptung *versehentlich* unterlaufen ist. Nein, wenn man für die Kurve AH eine Parabel supponiert, dann ist die Aufgabe noch nicht gelöst, denn man weiss ja nicht, wohin der Scheitel H der Parabel zu liegen kommt! Der Abstand BH lässt sich nur bestimmen, wenn man über den Winkel ω *willkürlich*, d. h. *auf Grund der Versuchsergebnisse* verfügt. Das am Schlusse dieser Erwiderung enthaltene Zahlenbeispiel wird hierüber keinen Zweifel lassen. Die Angst, dass die Theorie ihren Wert verlieren könnte, wenn man den Winkel ω den Versuchen entnimmt, ist also ausserordentlich überflüssig. Ich bin der Ansicht, dass die Theorie dadurch *ihren Wert erst erhält*, und dass eine Theorie, die wie die Rankine'sche für den Winkel ω einen bestimmten und von der Wirklichkeit abweichenden Wert liefert, überhaupt keinen praktischen Wert hat.

Die Rankine'sche Erddrucktheorie liefert bei lotrechter Wand und wagrechtem Gelände den Einfallswinkel $\omega = 0$; der Erddruck wirkt wagrecht. Dieses Resultat widerspricht dem natürlichen Empfinden und zwar nicht nur „angeblich“. Die frisch angeschüttete Erde „setzt“ sich; sie reibt sich bei dieser Bewegung an der Stützwand, wodurch unbedingt eine lotrechte Komponente des Erddruckes hervorgerufen wird. Eine Erdart, die sich nicht setzt, gibt es nicht. Die Versuche von Engesser und Müller-Breslau haben denn auch nicht $\omega = 0$ ergeben, sondern $\omega = 0,75 \varphi$ bzw. $\omega = 0,84 \varphi$, wo φ den Reibungswinkel der Erde bezeichnet. Herr Professor Mohr sagt dazu: „Wenn die Versuche eine andere Richtung des Erddruckes

ergeben, als die Theorie, dann sind entweder die Versuchsergebnisse falsch oder die Theorie ist falsch oder sie sind beide falsch.“ Ich erlaube mir die Bemerkung, dass die Versuchsergebnisse nie „falsch“ sind, sofern nicht triviale Messungsfehler vorliegen, die ich den betreffenden Erddruckforschern nicht zumute. Es kann sich vielmehr nur darum handeln, ob sich die Versuchsergebnisse auf die höhern Stützwände der Praxis übertragen lassen. Da sich aber die Erde um so stärker setzt, je höher sie geschüttet wird, so ist ohne weiteres klar, dass bei den höhern Stützwänden der Praxis ein grösserer Winkel ω auftritt, als die Versuche ergeben. Sehr richtig bemerkt Engesser zu seinen Versuchen: „Der Erddruck war unter rund zwei Drittel des Reibungswinkels ϱ geneigt. Bei den im grösseren Masstabe angestellten, direkten Versuchen von Müller-Breslau wurde der Winkel ω zu $0,8\varrho$ erhalten. Es steht zu erwarten, dass bei den weit grösseren Verhältnissen der Anwendung der Winkel ω noch weiter, unter Umständen bis zu seinem Grenzwerte ϱ steigen kann.“ Damit ist wohl meine Ansicht, dass die Rankine'sche Erddrucktheorie dem natürlichen Empfinden widerspricht, genügend belegt.

Was nun die in der obigen Zuschrift vorgelegte Gleichgewichtsbetrachtung anbetrifft, so stehe ich nicht an, ihre Richtigkeit anzuerkennen. Herr Professor Mohr hat in der Tat mit Hilfe der von mir gegebenen Gleichung (11) den Satz bewiesen, dass der Rankine'sche Spannungszustand vorliegen muss, wenn der Reibungswiderstand in jedem Punkte des Erdkörpers erschöpft ist. Daraus kann man in Verbindung mit den Versuchen schliessen, dass eben die letztgenannte Annahme nicht zutrifft; man kann aber nicht schliessen, dass meine Formel (11) ungültig sei, und ebensowenig, dass sie den Rankine'schen Spannungszustand zum Ausdruck bringe. Für die Gültigkeit dieser Formel genügt es vollständig, wenn sich die in der Nähe der Linie AH liegenden Erdteilchen im Grenzzustande befinden. Ueber den Zustand der in der untenstehenden Abbildung punktierten Erdteilchen, die oberhalb der von H ausgehenden Gleitfläche liegen, braucht man rein nichts vorauszusetzen. Man darf darnach die Gleichung $p = \gamma \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right) \cdot y$ nicht benützen, um die Spannungsverteilung in einer lotrechten Ebene AD zu erforschen. Zudem ist nicht einmal gesagt, dass sich die Gleitflächen in ihrer ganzen Länge ausbilden. Der Spannungszustand bleibt also unbestimmt, und nichts hindert, den Winkel ω den Versuchen zu entnehmen.

Durch diese Ueberlegung dürfte nun die Gültigkeit meiner Formel (11) einwandfrei erwiesen sein. Die Ansicht von Herrn Prof. Mohr, diese Formel gelte nur für den Rankine'schen Spannungszustand, ist also irrtümlich. Die Sympathie für diesen Spannungszustand erscheint mir übrigens, nachdem die Versuche vorliegen, rein unverständlich. Herr Prof. Mohr verweist in der ersten Zuschrift auf seine „Abhandlungen“, die ich mit hohem Genusse gelesen habe. Er kann aber wirklich nicht verlangen, dass ein praktisch tätiger Ingenieur sich die Ansicht auf Seite 234, die Voraussetzung der Rankine'schen Erddrucktheorie sei die „natürlichste“, zu eigen mache. Diese Ansicht ist nur geeignet, die Erddrucktheorie auf einen toten Punkt zu bringen, denn wer sich ihr anschliesst, wird über das Erddruckproblem keinen Augenblick weiter nachdenken da ja die „natürlichste“ aller Theorien bereits abgeleitet ist!



Zum Schlusse möge noch ein einfaches Beispiel Platz finden, das zur Klarstellung der Streitfrage beitragen soll. Es handle sich um eine lotrechte Stützwand. Der Reibungswinkel ϱ der Erde betrage rund 30° , der Einfallswinkel ω des Erddruckes sei aus Versuchen zu rund $0,8 \cdot 30^\circ = 24^\circ$ bestimmt worden. Für die Richtungslinie AH supponieren wir näherungsweise eine Parabel (vergl. Abbildung). Das Gewicht G des Erdprismas $ABH \cdot 1$ beträgt $G = \frac{2}{3} \gamma h x$; wir zerlegen es mit Herrn Prof. Mohr in $G_1 = \frac{2}{3} \gamma h x \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right)$ und $G_2 = \frac{2}{3} \gamma h x \left[1 - tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right)\right]$. Die Resultierende aus G_1 und P verläuft wagrecht. Die lotrechte Erddruckkomponente ist daher gleich G_2 ; es ist

$$\frac{1}{2} \gamma h^2 tg \omega \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right) = \frac{2}{3} \gamma h x \left[1 - tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right)\right]$$

woraus

$$x = \frac{3}{4} \frac{tg \omega \cdot tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right)}{1 - tg^2 \left(45^\circ - \frac{\varrho}{2}\right)} \cdot h = \frac{3 \cdot 0,445 \cdot 0,333}{4 \cdot 0,666} \cdot h = \frac{1}{6} h$$

folgt. Der Abstand η des Angriffspunktes des Erddruckes vom untern Drittel ergibt sich zu

$$\eta = \frac{2}{5} tg \omega x = \frac{2 \cdot 0,445}{5 \cdot 6} h = 0,03 h.$$

Man erkennt aus diesem Beispiel mit aller Deutlichkeit, dass die Linie AH sehr steil verläuft und dass man praktisch kaum einen Fehler begeht, wenn man den Erddruck einfach im untern Drittel angreifen lässt. Der vorliegende Spannungszustand weicht aber von dem Spannungszustand des seitlich unbegrenzten Erdkörpers wesentlich ab, da $\omega = 24^\circ$ ist.

Zürich, den 30. Juni 1910.

Internationaler Eisenbahnkongress-Verband.

VIII. Sitzung, Bern 1910.

In den Plenarsitzungen vom 14., 15. und 16. Juli wurden die Schlussfolgerungen aus der Behandlung der 20 Fragen¹⁾ auf Grund der Sektions-Anträge beraten und mit einigen Aenderungen zu Beschlüssen erhoben, womit der Hauptzweck der Sitzung formell erfüllt wurde. Wir werden den Wortlauf dieser Beschlüsse, denen trotz ihrer Unverbindlichkeit immerhin als Meinungsäusserung eines Kollegiums der Eisenbahnfachmänner der ganzen Welt grosse Bedeutung zukommt, anhand der Kongress-Zeitung unsern Lesern zur Kenntnis bringen. Für heute beschränken wir uns auf die Mitteilung, dass in der feierlichen Schlussitzung des Kongresses, unter Vermehrung der der Schweiz zukommenden Sitze um zwei, in die ständige Kommission gewählt wurden die Herren Rob. Winkler, Direktor im Eisenbahndepartement, und J. Flury, Vizepräsident der Generaldirektion der S. B. B., während Herr P. Weissenbach, als Präsident der VIII. Sitzung als lebenslangliches Mitglied in der Kommission verbleibt²⁾. Zur Uebernahme der nächsten Sitzung hatte sich Deutschland gemeldet und so wird diese im Jahre 1915 in Berlin stattfinden. Den Schluss der Generalversammlung bildeten die üblichen Dankesreden.

So wäre denn diese bedeutsame Tagung mit ihrem umfangreichen Apparat dank der allseitigen Anstrengungen der zunächst Beteiligten glücklich zu Ende geführt. Trotz des Wetters, das die meisten der Ausflüge gründlich verregnete, tragen unsere Gäste manchen schönen Eindruck und manche wertvolle Anregung mit nach Hause und mit Befriedigung können wir feststellen, dass unser Land und seine Eisenbahnen, insbesondere die S. B. B. im Empfang der Kongressteilnehmer hinter den andern Ländern nicht zurückgeblieben sind.

Die LI. Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure in Danzig.²⁾

Die diesjährige Hauptversammlung des Vereines deutscher Ingenieure, der ich im Auftrage und in Vertretung des schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins beigewohnt habe, war ausserordentlich stark besucht.

Etwa 840 Teilnehmer, worunter eine grössere Anzahl Damen, hatten die günstige Gelegenheit wahrgenommen, die Danziger Gegend, ihre Bauwerke, wissenschaftlichen Anstalten und industriellen Unternehmungen in bequemster Weise kennen zu lernen.

Zweifelloos wird diese Versammlung dazu beitragen, das Interesse für die technischen Anlagen sowie die reizenden Vergnügungs- und Erholungsorte in Danzig und Umgebung zu fördern.

Der Festausschuss hatte in mustergültiger Art für Abwechslung zwischen den rein geschäftlichen Aufgaben und den Darbietungen wissenschaftlicher, künstlerischer oder rein geselliger Art Sorge getragen.

Am 26. Juni fand zunächst der vom Westpreussischen Bezirksverein dargebotene Begrüssungsabend statt in den Räumen des Franziskaner-Klosters.

Am nächsten Vormittag folgte die erste Sitzung der Hauptversammlung, in welcher nach der Eröffnungsrede des Vorsitzenden, die Vertreter der Behörden und befreundeten Vereine Begrüssungsansprachen hielten.

Bei dieser Gelegenheit habe ich dem Verein deutscher Ingenieure das Interesse der schweizerischen Ingenieure und Architekten

¹⁾ Vergl. S. 10 dieses Bandes.

²⁾ Vergl. S. 22 dieses Bandes.