

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 81/82 (1923)  
**Heft:** 24

## **Inhaltsverzeichnis**

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

INHALT: Ueber den Sanddruck. — Das Kraftwerk Ritom der S. B. B. — Beitrag zur Didaktik des technischen Unterrichts. — Wettbewerb für die Kornhausbrücke in Zürich. — Nekrologie: John Eduard Brüstlein. O. Meister-Weidmann. — Miscellanea: Elektrifikation der französischen Bahnen. Schweizerische Schlepsschiffahrt-Genossenschaft. Neue Syphonanlagen des Catskill-Aquäduktes. Die Schweizerische

Naturforschende Gesellschaft. Internationaler Eisenbahnverband. Internationaler Chronometer-Wettbewerb. Ueberbrückung des Hundwilertobels. Ein Denkmal für Ingenieur Marc Séguin. Schweizerische Landwirtschaftliche Ausstellung Bern 1925. — Konkurrenzen: Neubau des Burgerspitals in Bern. Neubau für die Bezirksschule in Lenzburg. — Literatur. — S. T. S.

Band 81.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 24.

Ueber den Sanddruck.

Von Prof. Dr. Ph. Forchheimer, Wien.

Die Gesetze des Erddruckes sind, obwohl er seit zwei Jahrhunderten Gegenstand der Forschung bildet, heute noch wenig geklärt. Die wesentliche Ursache ist, dass sich in der einfachsten Fall Theorie und Experiment miteinander in Widerspruch zu stehen scheinen. Dieser einfachste Fall ist der des Druckes, den trockener, kohäsionsloser, von einer wagrechten Oberfläche begrenzter Sand auf eine senkrechte Mauer ausübt. Denkt man sich einen unendlichen Sandkörper mit wagrechter Oberfläche durch eine lotrechte Ebene geteilt, so übt offenbar der eine Halbkörper auf den andern einen wagrechten Druck aus, wonach in der betrachteten unendlichen Masse der Druck auf lotrechte Flächen wagrecht gerichtet ist. Ebenso klar ist es, dass hier wagrechte Flächen, die in der Tiefe  $z$  unter der Oberfläche liegen, wenn die Raumeinheit des Haufwerkes das Gewicht  $\sigma$  besitzt, unter einem senkrechten Drucke von der Grösse  $\sigma z$  pro Flächeneinheit stehen. Sinkt nun aus irgend einer Ursache der wagrechte Druck, über dessen Grösse bisher noch nichts gesagt wurde, so weit, dass er  $= \sigma z \operatorname{tg} \varphi$  wird, so muss, falls  $\varphi$  den Reibungswinkel von Sand auf Sand bezeichnet, eine Gleitbewegung vor sich gehen. Aus dieser einfachen Ueberlegung folgerte Rankine<sup>1)</sup> weiter, dass der Druck, den eine Sandmasse von wagrechter Oberfläche auf eine senkrechte Mauer von der Höhe  $h$  und der Breite  $b$  ausübt, wagrecht gerichtet sei und die Grösse habe:

$$H = \frac{1}{2} \sigma b h^2 \Phi = \frac{1}{2} \sigma b h^2 \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \frac{1}{2} \sigma b h^2 \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (1)$$

ferner, dass beim Nachgeben der Mauer sich eine Gleitebene von der Neigung  $\frac{90^\circ + \varphi}{2}$  bilde<sup>2)</sup>.

Der Widerstreit der Meinungen, der sich über die Gültigkeit der Rankine'schen Lehre entwickelte, werde hier übergangen und nur gesagt, dass ich im Jahre 1882 gezeigt habe<sup>3)</sup>, dass, wenn eine senkrechte oder vorgeneigte (d. h. gegen die Luft geneigte) ebene Wand wagrecht vorbewegt

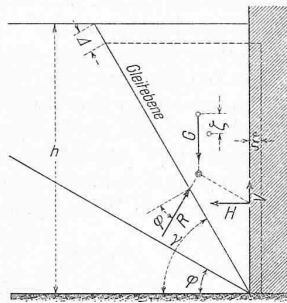


Abbildung 1.

denen ein Keil niedersinkt, ähnlich wie dies Abbildungen 3 und 4, allerdings für nassen Sand<sup>1)</sup>, zu erkennen geben. Die Versuche bestanden darin, dass ich abwechselnd ungefärbte und gefärbte Sandlagen an ein Holzklötzchen schichtete, dann das Klötzchen, also die Stützwand bewegte, geschmolzenes Paraffin in die durch die Bewegung umgestaltete Masse eingoss, das Paraffin erstarren liess und den fest gewordenen Körper entzweigte. Dabei zeigte es sich u. a., worauf bisher noch nicht aufmerksam gemacht wurde, dass in der Nähe der Seitenwände steilere Gleitflächen als im Innern entstehen, was bei der Verwertung des Verfahrens von V. J. Kurdjumoff<sup>2)</sup>, nämlich bei Ersatz einer Seitenwand durch eine Glaswand und photographischer Abbildung der Bewegung, zu berücksichtigen ist. Meine Versuche bestätigten also die Meinung Rankine's, die aber doch keine allgemeine Anerkennung fand, weil der Seitendruck damals noch nie so gross gefunden worden war, wie Gleichung (1) ihn angibt. Auch als Ad. Donath<sup>3)</sup> ein Verfahren anwandte, das ihm gestattete, verschieden grosse Bewegungen des Stützbrettes eintreten zu lassen, aus denen er auf das Drehmoment für die Bewegung o schliessen wollte, gelang es ihm nicht, das H der Gleichung (1) zu finden, das er erwartet hatte. Seine Stützwand war an ihrem Fusspunkte durch ein Scharnier befestigt und sein H berechnete er unter der Voraussetzung, dass diese wagrechte Kraft in der Höhe  $\frac{1}{3} h$  über dem Fusspunkte angreife. Er fand z. B., je nachdem er ausser den Seitenwänden, die den Sand seitlich begrenzten, zur Feststellung der Reibung an den Seitenwänden noch eine Mittelwand im Sand stehen hatte oder nicht, folgende Zahlen

	Mit Mittelwand				
Drehungswinkel der Wand	0' 14''	0' 28''	0' 42''	1' 03''	1' 17''
Moment des Sanddruckes cm kg	714,64	680,95	657,34	632,29	609,89
	Ohne Mittelwand				
Drehungswinkel der Wand	0' 17''	0' 29''	0' 42''	0' 57''	1' 06''
Moment des Sanddruckes cm kg	885,68	850,56	811,12	786,07	737,75

Das Endergebnis, zu dem Donath gelangte war, dass der Druck zwar wagrecht wirke, aber nur etwa 0,7 des theoretischen Wertes erreichte, oder dass

$$\Phi = 0,7 \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (2)$$

sei; den Reibungswinkel  $\varphi$  fand er zu  $33^\circ 42''$ .

Ähnliche und grössere Abweichungen zwischen  $\Phi$  und  $\operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$  fanden die anderen Experimentatoren, die alle mit größeren Vorrichtungen arbeiteten. Als es aber H. Müller-Breslau<sup>4)</sup> gelang, Messungen durchzuführen, bei

denen das Oberende einer 750 mm hohen, 1015 mm langen senkrechten Wand sich z. B. nur 0,0083 mm und das Unterende nur 0,0037 mm von der ursprünglichen Lage entfernte und die Drehung nur 0' 1,3'' betrug oder die

Bewegung auf ähnliche kleine Masse beschränkt blieb, ergab sich bei Messungen<sup>5)</sup>  $H = 135$  bis  $147,8$  kg statt der

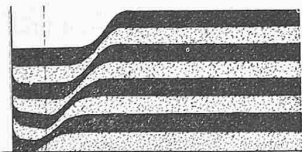


Abbildung 2.



Abbildung 3.

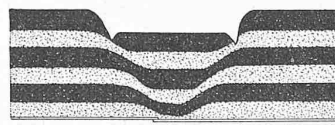


Abbildung 4.

wird, die entstehende Gleitebene (vgl. Abbildung 2) tatsächlich nahezu die berechnete Neigung aufweist. Es bilden sich sogar, wenn die Wand weniger als  $\frac{90^\circ + \varphi}{2}$  vorgeneigt ist, zwei Gleitebenen, beide nahezu von der Neigung  $\frac{90^\circ + \varphi}{2}$  eine nach vorn, die andere nach hinten ansteigend, zwischen

<sup>1)</sup> Phil. Transactions of the London Royal Society 1856/57. A manual of applies mechanics, London 1861.

<sup>2)</sup> Unter Neigung werde im vorliegenden Aufsatz immer der Winkel verstanden, den die betreffende Ebene mit der wagrechten Ebene einschliesst.

<sup>3)</sup> Z. d. österr. Ing.- u. Arch.V. 34 (1882) S. 111; 35 (1883) S. 103.

<sup>1)</sup> Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 37 (1893) S. 806. Bei den Versuchen mit nassem Sand bestand die Benetzung aus geschmolzenem Paraffin; die Verschiebung fand nämlich nach dem Paraffineinguss statt.

<sup>2)</sup> Civilingenieur 38 (1892) S. 292.

<sup>3)</sup> Zeitschrift für Bauwesen, 41 (1891) S. 491.

<sup>4)</sup> H. Müller-Breslau, Erddruck auf Stützmauern, Stuttgart 1906, S. 141, 145, 146, 147, 150.

<sup>5)</sup> Den Angaben Müller-Breslau's ist hier nach K. Skibinski, österr. Wochenschrift für den öffentl. Baudienst, 23 (1917) S. 208, als Widerstand an den Seitenwänden 10 bis 10,8 kg hinzugefügt.