

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 93/94 (1929)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Eine rein geometrische Darstellung der Coulombschen Erddruck-Theorie  
**Autor:** Pasternak, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-43340>

### **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:** 16.03.2025

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

INHALT: Eine rein geometrische Darstellung der Coulombschen Erddruck-Theorie. — Prodorite, ein säurebeständiger Beton. — Wettbewerb für eine reformierte Kirche mit Kirchengemeindehaus in Zürich-Unterstrass. — Ueber Parkettböden. — 1 D 2 Schnellzugslokomotive neuer Bauart der Oesterreichischen Bundesbahnen. — Korrespondenz: Zur ersten geschweissten Eisenbahn-Fachwerkbrücke, Chicopee-Falls. — Mitteilungen: Verspiegelte Glühlampen. Internationaler Kongress für Photo-

grammetrie, Zürich 1930. Ueber Brücken- und Ingenieurhochbau bei der Deutschen Reichsbahn im Jahre 1928. Schweizer. Technikerverband. Ausstellung „Gas und Wasser“ in Berlin. Weltkraft-Teilkonferenz über Wasserkraftausnutzung in Barcelona 1929. — Nekrologe: K. Leisinger-Näf. — Wettbewerbe: Umgestaltung des Barfüsserplatzes Basel. Neues Schlachthaus in Sitten. Schwimmbad in Interlaken. Kathol. Kirche Münster, Westf. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine. — Vortrags-Kalender.

Band 93

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 18

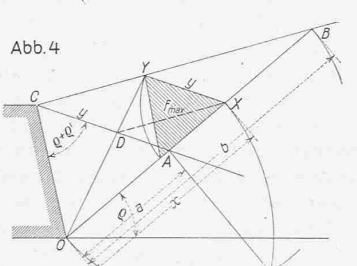
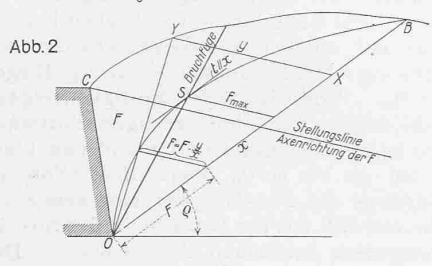
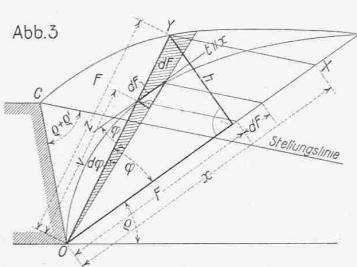
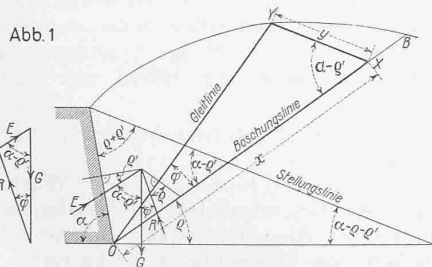
### Eine rein geometrische Darstellung der Coulombschen Erddruck-Theorie.

Von Dr. Ing. PETER PASTERNAK, Privatdozent an der E. T. H., Zürich.

In einem Vortrag am Zürcher Internationalen Kongress für technische Mechanik über „Elastische Grenzzustände“ hat Prof. Th. von Kärman<sup>1)</sup> u. a. gezeigt, dass die viel umstrittene elementare Erddruck-Theorie von *Coulomb* sowohl in der Lage der ungünstigsten Gleitfuge als auch in der Grösse des Erddruckes gar nicht so schlecht mit den Ergebnissen einer genaueren Theorie übereinstimmt, die von der Bedingung ausgeht, dass eine vorgegebene Wand eine singuläre Gleitlinie, d. h. die Umhüllende aller möglichen Gleitlinien bildet. Im Falle einer vertikalen Wand decken sich sogar praktisch die Ergebnisse beider Theorien. Diese nachträgliche Rechtfertigung der alten Theorie von kompetentester Seite ist umso erfreulicher, als die Praxis, trotz aller von Rankine, Mohr u. a. aufgedeckten Widersprüche, am bequemem Coulombschen Verfahren festgehalten hat. Poncelet, Rebhann, Winkler und Culmann haben die Coulombschen Ansätze so weit ausgebaut, dass man in jedem Fall den Erddruck auf rein zeichnerischem Wege bestimmen kann. Man muss es aber als einen Mangel empfinden, dass die hierfür grundlegenden Sätze von Rebhann und Poncelet auf analytischem Wege abgeleitet werden. Vor allem aber scheint es merkwürdig, dass die Culmannsche Erddrucklinie, die doch das einfachste und anschaulichste graphische Mittel zur Bestimmung von Bruchfuge und Erddruck im allgemeinsten Fall beliebiger Abgleichung der Hinterfüllung bietet, in keinen Zusammenhang mit den Sätzen von Rebhann und Poncelet gebracht ist.

Im folgenden soll gezeigt werden, dass gerade in der Culmannschen Linie das fehlende Glied für den einfachsten rein geometrischen Aufbau der ganzen Theorie zu suchen ist, indem diese Linie das unmittelbare Ablesen des Satzes von Rebhann gestattet. Die gewonnene Kürzung gegenüber der bisherigen Behandlung wird sich am deutlichsten ergeben, wenn wir die ganze Theorie auf dem jetzt lückenlosen geometrischen Wege zur Darstellung bringen.

<sup>1)</sup> Verhandlungen des zweiten Internationalen Kongresses für Technische Mechanik, Zürich 1926, Seite 23. Verlag Orell Füssli, Zürich und Leipzig, 1927. (Siehe Band 90, S. 183, 1. Oktober 1927. Red.)



1. *Der Coulombsche Ansatz.* Nach der Vorstellung Coulombs löst sich von der Hinterfüllung, im Augenblick des Nachgebens der Stützmauer, ein sogenanntes Bruchprisma ab, das längs einer ebenen, zwischen der hintern Mauerflucht und der Böschungslinie liegenden Bruch- oder Gleitlinie heruntergleitet. Beim Beginn der Bewegung halten sich am Bruchprisma Gleichgewicht: sein Gewicht  $G$ , die Gegenkraft zum Erddruck  $E$  auf die Mauer und die Resultierende  $R$  der in der Gleitfuge von der stehen gebliebenen Hinterfüllung auf das Bruchprisma wirkenden Gegendrücke. Nach der Theorie der Reibung muss im Augenblick des Gleitens die Wirkungslinie von  $E$  mit der Normalen zur Mauer den nach unten abgetragenen Reibungswinkel  $\varrho'$  (zwischen Erde und Mauer) und  $R$  mit der Normalen zur Gleitlinie den natürlichen Böschungswinkel  $\varrho$  der Hinterfüllung bilden.

Legt man durch die obere Ecke  $C$  des Mauerquerschnittes die sogenannte Stellungslinie, die mit der Mauerflucht  $OC$  den Winkel  $(\varrho + \varrho')$  einschliesst, und zur Stellungslinie die Parallele durch den Schnittpunkt  $Y$  der Bruchfuge mit der Erdabgleichung, bis zum Schnittpunkt  $X$  mit der Böschungslinie, so erkennt man durch Winkelvergleichung, dass das Kraftdreieck  $GER$  und das Dreieck  $OXY$  ähnlich sind. Daraus ergibt sich mit den Bezeichnungen der Abbildung 1 die Beziehung

$$E = G \frac{\gamma}{x} \dots \dots \dots (1)$$

Nach Coulomb ist die Gleitfuge so auszuwählen, dass  $E$  den Grösstwert annimmt.

2. *Die Culmannsche Erddrucklinie.* Es werde ein Mauerabschnitt von 1 m Tiefe betrachtet; dann ist  $G$  proportional zur Fläche  $F$  des Querschnittes  $OCY$  des Bruchprismas. Denkt man sich die Gl. (1) durch das spezifische Gewicht  $\gamma$  der Hinterfüllung dividiert, so erhält man

$$f = F \frac{\gamma}{x} \dots \dots \dots (2)$$

wo  $f$  eine dem Erddruck entsprechende Fläche ( $E = \gamma f$ ) bedeutet. Nach Culmann liegt es nahe, die Beziehung (2) im schiefwinkligen Koordinatensystem, gebildet von der Böschungslinie und der Parallelen zur Stellungslinie durch  $O$ , als stetige Kurve (bei stetiger Abgleichung) darzustellen. Dazu hat man die zu jeder beliebig gewählten Gleitlinie gehörenden (z. B. durch Planimetrieren bestimmten)  $F$ , von  $O$  aus, auf der Böschungslinie abzutragen, und durch die Endpunkte die Parallelen zur Stellungslinie bis zu den Schnittpunkten mit den zugehörigen Gleitlinien zu legen. Die so erhaltene Culmannsche Linie geht offenbar durch  $O$  und  $B$  (Schnittpunkt der Böschungslinie mit der Abgleichung der Hinterfüllung). Legt man an diese Linie die zur Böschungslinie parallele Tangente, so erhält man im Berührungspunkt  $S$  einen Punkt der ungünstigsten Gleitlinie und in der zugehörigen schiefwinkligen Ordinate  $f_{max}$ , so dass

$$E_{max} = \gamma f_{max} \dots \dots (2a)$$

3. *Der Satz von Rebhann.* An der Stelle  $S$  der Culmannschen Linie hat das Bogenelement die Länge  $dF$ ; denn es liegt parallel zur  $F$ -Axe. Wir betrachten in Abbildung 3 das zu diesem Element als Hypotenuse zugehörige unendlich kleine rechtwinklige Dreieck, das zwischen den begrenzenden Vektoren durch  $O$  liegt. Dieses Dreieck ist ähnlich zum endlichen, in der Abbildung 3 ebenfalls

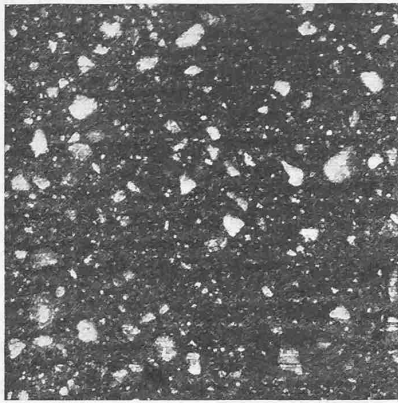


Abb. 1. Gefüge von Prodorite, Masstab 1 : 2.

hervorgehobenen Dreieck. Man hat also, wenn  $v$  die Länge des Vektors bedeutet,

$$\frac{dF}{v \, d\varphi} = \frac{z}{h} \quad \dots \quad (3)$$

Der Abbildung entnimmt man unmittelbar:

$$v = F \frac{z}{x} \quad \frac{dF}{d\varphi} = \frac{z^2}{2}$$

Diese Werte, in Gleichung (3) eingesetzt, ergeben

$$F = \frac{h \, x}{2} \quad \dots \quad (3a)$$

d. h. die Bruchfuge ist so einzulegen, dass der Querschnitt des Bruchprismas inhaltsgleich wird mit dem Dreieck begrenzt von der Bruchfuge, der Böschungslinie und der Parallelen zur Stellungslinie. Das ist der bis jetzt auf einem Umwege analytisch abgeleitete Satz von Rebhann.

4. Die Konstruktion von Poncelet bei ebener Abgleichung der Hinterfüllung. Nach dem Satz von Rebhann ist die Bruchfuge so einzulegen, dass  $\triangle OCY$  und  $\triangle OXY$  inhaltsgleich werden. Da diese Dreiecke dieselbe Grundlinie  $OY$  haben, müssen die parallelen Strecken  $CD$  (wo  $D$  Schnittpunkt der Stellungslinie mit der Bruchfuge) und  $XY$  auch gleich gross sein. Es muss also auch  $DX$  parallel  $CB$  verlaufen, sodass in der Abb. 4 nun unmittelbar abgelesen werden kann.

$$x : b = OD : OY = a : x, \quad x = \sqrt{ab} \quad \dots \quad (4)$$

woraus die bekannten Konstruktionen für die Bruchfuge und die Erddruckfläche  $f_{\max}$  folgen.

### Prodorite, ein säurebeständiger Beton.

Von Prof. Dr. M. ROŠ, Direktor der E. M. P. A.

Prodorite, dessen Erfindung Dr. M. Lévy, Ingenieur-Chemiker in Genf zu verdanken ist, ist ein Baumaterial von steinartiger Beschaffenheit, ähnlich dem Beton, wobei nicht der Portlandzement, sondern ein aus einem Sondermaterial nach einem Sonderverfahren gewonnenes Teerpech von hoher Schmelztemperatur das Bindemittel bildet (Abb. 1). Seine Erzeugung, die auch auf dem Bauplatz vorgenommen werden kann, erfolgt im warmen Zustande bei einer Temperatur von etwa  $270^\circ \text{C}$ . Nach erfolgtem Erkalten erhält die Masse ihre endgültige, mit dem Alter unveränderliche, hervorragende Festigkeitsqualität. Wärme bis  $+70^\circ \text{C}$  und Kälte bis  $-18^\circ \text{C}$  üben keinen nachteiligen Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften aus. Der einmal erhärtete und erkaltete Prodorite, dessen Verfestigung und Erhärtung vorwiegend auf physikalischen Prozessen beruhen, schwindet nicht mehr. Als ganz hervorragende Eigenschaft des Prodorites ist seine Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse von Mineral- und organischen Säuren<sup>1)</sup>, von Alkalien verschiedenster Art, von sauren Bodenarten oder solchen hoher Austausch-Azidität, von kalkarmen und freie, aggressive Kohlensäure enthaltenden Gewässern, sowie von vielen andern Chemikalien.

<sup>1)</sup> Eine Ausnahme bilden nur gewisse hochkonzentrierte Mineralsäuren, z. B. Salpeter- und Schwefelsäure.

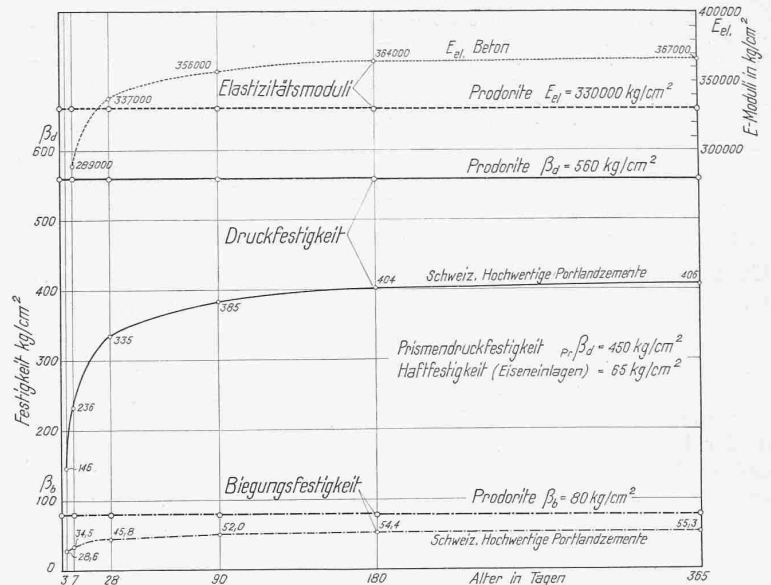


Abb. 2. Würfel-Druckfestigkeiten, Biegezugfestigkeiten und Elastizitätsmoduli von Prodorite im Vergleich zu denen von Beton (300 kg/m<sup>3</sup> Zementlösung, plastische Konsistenz, feuchte Luftlagerung). Prismen  $12 \times 12 \times 36$  cm.

Dem Bauwesen stehen heute mehrere Arten dieses Materials zur Verfügung. *Prodorite I* weist hohe mechanische Festigkeiten auf. Das vorwiegend gebrochene Sand-Kiesmaterial, von zweckmässiger Kornabstufung, besteht aus säurefestem Quarz oder Porphyr. Es ist gegen chemische Einflüsse von Säuren, Alkalien und Chemikalien aller Art sehr widerstandsfähig. *Prodorite II* weist praktisch die gleichen Festigkeitseigenschaften wie *Prodorite I* auf. Zur Verwendung gelangt ausgesuchtes, reines, natürliches Sand-Kiesmaterial in geeigneter granulometrischer Zusammensetzung. *Prodorite II* ist gegen chemische Einflüsse geringerer Aktivität (saure Bodenarten, Gips- und Magnesiawasser, Fäkalien, Abwasser von Kanalisationen, Milchsäure) widerstandsfähig. *Prodorite B* besitzt nicht die hohe Festigkeitsqualität der *Prodorite I* und *II*, leistet aber der mechanischen Abnutzung hohen Widerstand. *Spezial-Prodorite-Kitte*, die zum Zusammenbau an Ort und Stelle, zur Fugendichtung und zu Reparaturarbeiten dienen.

In den Jahren 1927 bis 1928 wurden an der Eidg. Materialprüfungsanstalt in Zürich Versuche über die technischen Eigenschaften des Prodorites durchgeführt, die sich auf Prodorite als Baumaterial (Prismen  $12 \times 12 \times 36$  cm und armierte Balken  $15 \times 20 \times 150$  cm), als gepresste Platten ( $30 \times 30 \times 3,6$  cm) und als Rohre (Durchmesser 30 und 70 cm) bezogen. Ferner wurde das Material in der Materialprüfungsanstalt des Schweiz. Elektrotechnischen Vereins in Zürich auf seinen elektrischen Isolationswiderstand und seine elektrische Durchschlags-Spannung geprüft. Aus all diesen Untersuchungen lassen sich nachfolgende Schlüsse ziehen:

1. Das Raumbgewicht des Prodorites beträgt, je nach *Prodorite*-Art,  $r = 2,24$  bis  $2,36$ .

2. Die Mittelwerte der Festigkeiten betragen: Würfel-druckfestigkeit  $560 \text{ kg/cm}^2$ , Prismendruckfestigkeit  $450 \text{ kg/cm}^2$ , Biegezugfestigkeit  $80 \text{ kg/cm}^2$ , Ringzugfestigkeit (Innendruck)  $40 \text{ kg/cm}^2$ , Haftfestigkeit von Eiseneinlagen  $65 \text{ kg/cm}^2$ .

Wärme bis  $70^\circ \text{C}$  und Kälte bis  $-18^\circ \text{C}$  üben keinen nachteiligen Einfluss auf die Festigkeitseigenschaften des Prodorites aus. Streuung: Druckfestigkeit  $\pm 20\%$ , Biegezugfestigkeit  $\pm 30\%$ . Prodorite weist festigkeitseigenschaften auf, die diejenigen eines hochwertigen Portlandzementbeton mit  $300 \text{ kg/m}^3$  Zementdosierung und von plastischer Konsistenz um 40 bis 50% übertreffen (Abb. 2).

3. Die Erschöpfung der Tragfähigkeit von armierten *Prodorite*-Konstruktionen fällt mit der Erreichung der Streckgrenze der Armierungseisen zusammen (Abb. 3 bis 5). Die sichtbare Rissbildung, bei auf Biegung beanspruchten