

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 78 (1960)  
**Heft:** 38

**Artikel:** Beitrag zur Theorie der Erddrücke auf das Tunnelmauerwerk  
**Autor:** Houska, Jaromir  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-64958>

#### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### **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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### **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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 21.02.2026

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

## Beitrag zur Theorie der Erddrucke auf das Tunnelmauerwerk

DK 624.191.6

Von Ing. Jaromir Houska, Oberassistent, Techn. Hochschule, Prag (Tschechoslowakei)

In den März-Heften dieses Jahrganges der Schweizerischen Bauzeitung wurde eine Reihe von interessanten Aufsätzen [Lit. 1] über den Bau des Donnerbühl-Tunnels in Bern veröffentlicht. Sehr lehrreich ist die Gegenüberstellung der gemessenen und der berechneten Erddrucke auf den Tunnel bei einer nicht zu hohen Ueberlagerungsschicht. Die Vergrösserung der wirklich gemessenen gegenüber den berechneten Werten der waagerechten Seitendrücke ist, wie die Verfasser richtig betonen, auf die zu kleinen Verschiebungen des Bodens zurückzuführen.

Ich habe versucht, diese Tatsachen auch in die mathematische Verarbeitung der Theorie einzuführen und die Terzaghi-Methode etwas in entsprechender Richtung abzuändern, damit die rechnerischen Ergebnisse der Wirklichkeit näherkommen. Der Grundgedanke beruht im folgenden:

Wenn bei irgendeiner Vortriebsart des Tunnels (z. B. der Schild-Methode) der Boden verhindert wird, die zur Ausbildung des plastischen Grenzzustandes in der umgebenden Erdmasse notwendigen Verschiebungen auszuüben, werden nur örtliche Störungen (Gleitbewegungen) entstehen, und nicht ein Vollbruch, der erst die vollständige Wirkung des Scherwiderstandes des Bodens bedingt. Deswegen weisen auch die diesmal nur vermuteten seitlichen Gleitkeile grössere Widerstandsfähigkeit gegen die senkrechte Belastung auf; daraus ergibt sich allerdings auch die Erhöhung der seitlichen Erddrücke.

Diese Umstände können mathematisch näherungsweise durch die nachstehenden Voraussetzungen ausgedrückt werden:

1. Die Scherfestigkeit  $s$  des Bodens wird auf zwei Drittel ihres vollen Wertes herabgesetzt, und zwar infolge nur örtlicher Scherbrüche (und nicht eines Vollbruches), ähnlich wie es Terzaghi [2] bei der Berechnung der Grenztragfähigkeit des Baugrundes im Falle örtlicher Scherbrüche empfiehlt. Es ist deshalb

$$(1) \quad s' = \frac{2}{3}s \quad \text{oder}$$

$$(1a) \quad \operatorname{tg} \varphi' = \frac{2}{3} \operatorname{tg} \varphi \quad \text{und}$$

$$(1b) \quad c' = \frac{2}{3}c$$

Hier sind:  $s$  = Scherfestigkeit des Bodens,  $\varphi$  = Winkel der inneren Reibung,  $c$  = Haftfestigkeit (Kohäsion).

2. Die senkrechten Gleitflächen über dem Tunnelscheitel werden nicht an den äusseren Enden der Gleitkeile, sondern in der halben Breite derselben vorausgesetzt. Eine ähnliche Annahme gibt Klein [3] für den Fall der Erddrucke auf Grabenleitungen an, wenn die Verfüllung neben den Röhren im Graben verlässlich und gut verdichtet ist und deshalb auch grössere Lasten übernehmen kann.

3. Ein gewisser Teil der Belastung, die sich durch die Scherfestigkeit des Bodens in den senkrechten Gleitflächen aus dem Gebiete über dem Tunnelscheitel nach beiden Seiten hinter die Gleitflächen überträgt (Gewölbewirkung), wird — wieder wegen grösserer Steifigkeit (Unverschieblichkeit) der Gleitkeile — auf dieselben zurückgeführt, und diese werden somit mehr belastet.

Das ursprüngliche Terzaghi-Rechnungsverfahren [2] (Bild 1) gibt folgende Gleichungen an:

für senkrechte Scheiteldrücke:

$$(2) \quad \sigma_z =$$

$$\frac{\gamma b_1 - c}{K \operatorname{tg} \varphi} \left[ 1 - \exp \left( -K \frac{H}{b_1} \operatorname{tg} \varphi \right) \right] + q \exp \left( -K \frac{H}{b_1} \operatorname{tg} \varphi \right)$$

für waagerechte Seitendrücke:

$$(3) \quad \sigma_x = (\sigma_z + \gamma z) \operatorname{tg}^2 \alpha - 2c \operatorname{tg} \alpha$$

Hier sind (laut Bild 1):

 $\gamma$  = Raumgewicht des Bodens, $H$  = Ueberlagerungshöhe des Tunnels, $q$  = gleichförmige Belastung der Geländeoberfläche, $K$  = Beiwert, ungefähr gleich 1, $z$  = Tiefe unter dem Tunnelscheitel, $2b_1$  = Breite des «Senkunggrabens» über dem Tunnel; für den Kreisquerschnitt gilt:

$$(4) \quad b_1 = r (\sec \alpha + \operatorname{tg} \alpha) = r [\cos \alpha + \operatorname{tg} \alpha (1 - \sin \alpha)]$$

 $r$  = Halbmesser des Tunnels,

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$$

Im dritten Absatz des oben erwähnten Aufsatzes [1, S. 171] werden die Seitendrücke aus einer etwas abgeänderten Gleichung berechnet; die senkrechte Belastung der seitlichen Gleitkeile wird gleich dem Gewichte der ganzen Ueberlagerungsschicht angenommen, während bei Terzaghi — wie aus Gl. (3) ersichtlich ist — diese Belastung nur vom senkrechten Scheiteldruck  $\sigma_z$  gebildet wird. Die Gleichung von Prof. Bonnard<sup>1)</sup> laut unseren Bezeichnungen lautet:

$$(5) \quad \sigma_x = p_2 = \gamma (H + r) \operatorname{tg}^2 \alpha - 2c \operatorname{tg} \alpha$$

Mit der Einführung der drei früher besprochenen Voraussetzungen bekommen die Gleichungen diese Form:

Die senkrechten Scheiteldrücke:

$$(6) \quad \sigma_z =$$

$$\frac{\gamma b_1' - c'}{K \operatorname{tg} \varphi'} \left[ 1 - \exp \left( -K \frac{H}{b_1'} \operatorname{tg} \varphi' \right) \right] + q \exp \left( -K \frac{H}{b_1'} \operatorname{tg} \varphi' \right)$$

<sup>1)</sup> In dieser Gleichung (Seite 171 der SBZ) ist ein Druckfehler, denn im zweiten Gliede auf der rechten Seite der Gleichung fehlt der Faktor 2.

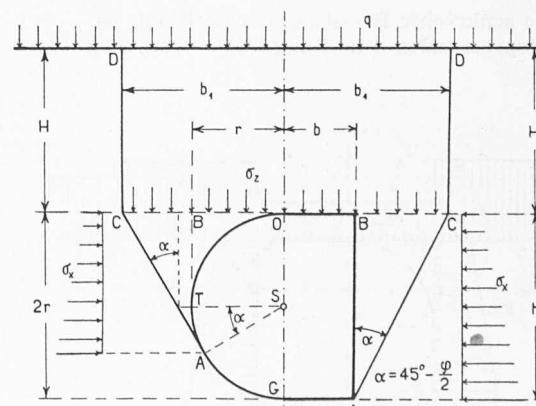


Bild 1. Schema für die Berechnung der Erddrücke für den kreisrunden und rechteckigen Tunnelquerschnitt nach Terzaghi

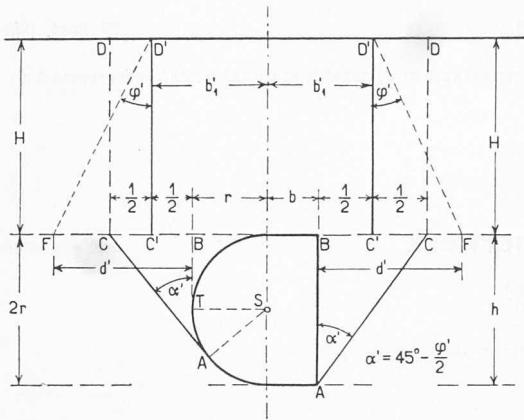


Bild 2 (links). Schema für die Berechnung der Erddrücke für den kreisrunden und rechteckigen Tunnelquerschnitt im Falle, dass in der umgebenden Erdmasse kein plastischer Grenzzustand entsteht

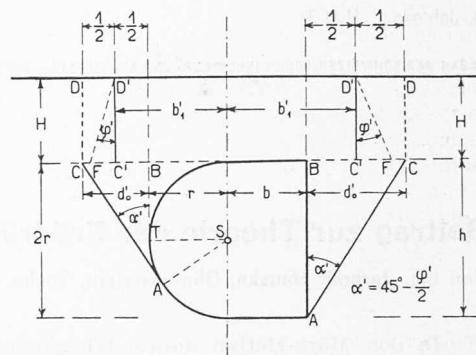


Bild 3 (rechts). Dasselbe wie im Bild 2 für niedrigere Ueberlagerungshöhen

Die Werte  $\varphi'$  und  $c'$  sind aus Gl. (1a) und (1b) zu entnehmen; die «wirkende Grabenbreite»  $2b_1'$  ist mit folgender Beziehung gegeben (Bild 2):

$$(7) \quad b_1' = \frac{r}{2} (1 + \sec \alpha' + \tan \alpha')$$

wo wieder  $\alpha' = 45^\circ - \frac{\varphi'}{2}$

Die zusätzliche Belastung der Gleitkeile  $\sigma'$ , die sich auf die Strecke  $d'$  (bzw.  $d'_0$ ) verteilt, geht aus der Beziehung hervor (Bild 4):

$$S' = r(\sigma - \sigma_z) = d' \sigma'$$

wo  $\sigma = \gamma H$ ; daraus

$$(8) \quad \sigma' = (\sigma - \sigma_z) \frac{r}{d'}$$

Die Strecke  $d'$  kann leicht aus Bild 2 abgeleitet werden

$$(9) \quad d' = \frac{r}{2} (\sec \alpha' + \tan \alpha' - 1) + H \tan \varphi'$$

Wenn die Ueberlagerungsschicht zu niedrig ist (Bild 3), d. h.

$$\text{wenn } H \tan \varphi' < \frac{r}{2} (\sec \alpha' + \tan \alpha' - 1)$$

setzen wir anstatt  $d'$  den Wert  $d'_0$  ein:

$$(9a) \quad d'_0 = r (\sec \alpha' + \tan \alpha' - 1)$$

Die waagerechten Seitendrücke in der Tiefe  $z$  unter dem Tunnelscheitel sind

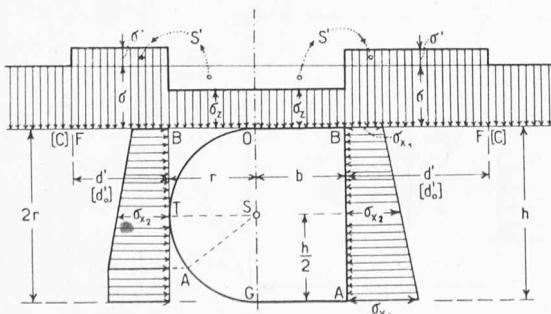
$$(10) \quad \sigma_x = (\sigma + \sigma' + \gamma z) \tan^2 \alpha' - 2c' \tan \alpha'$$

und in der Mitte der Seitenwand

$$(11) \quad \sigma_{x2} = [\gamma(H + r) + \sigma'] \tan^2 \alpha' - 2c' \tan \alpha'$$

Hier sei noch bemerkt, dass die Gleichung (10) nur bis zum Berührungs punkte  $A$  der Gleitfläche mit dem Tunnelumfang ihre Geltung behält. Unterhalb dieser Höhe bleiben die Seitendrücke unverändert, worauf schon Krynow seinerzeit [4] hingewiesen hat.

Die senkrechte Belastung der Gleitkeile ist — gegenüber der entsprechenden Gleichung (5) — um den Wert  $\sigma'$  erhöht.



Zum Schluss möchte ich nochmals betonen, dass die neue Theorie nur ein Näherungsverfahren darstellt, das keine Ansprüche auf Exaktheit macht. Der Verfasser ist sich der physikalischen und kinematischen Widersprüche der angenommenen Voraussetzungen bewusst; doch hat er versucht, trotz diesen Ungenauigkeiten mit dem neuen Verfahren der Wirklichkeit näherzukommen.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Schweizerische Bauzeitung 78. Jg., 1960, H. 10 ff.: fünf Aufsätze über den Bau des Donnerbühl-Tunnels in Bern, von *R. Desponds, D. Bonnard und E. Recordon, F. chaud und O. J. Rescher, P. Kipfer und H. Wanzenried, H. Ruppaner*. Namentlich: *D. Bonnard und E. Recordon: Experimentelle Untersuchung des Erddruckes auf den Tunnel*, S. 168 bis 171.
- [2] *K. Terzaghi: Theoretical soil mechanics*. J. Wiley, New York, 1943.
- [3a] *G. K. Klein: Berechnung der im Boden eingebetteten Röhren* (russisch). Gosstrojizdat Moskau, 1951.

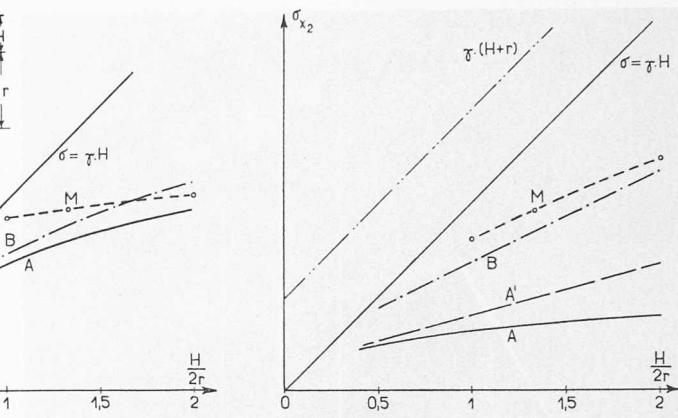


Bild 5. Vergleich zwischen den errechneten (*A, A'* und *B*) und den gemessenen (*M*) Erddrücken auf den Tunnel

[3b] *G. K. Klein: Baumechanik der losen Körper* (russisch). Gosstrojizdat Moskau, 1956.

[4] *D. P. Krynine: Pressure on the lining of circular tunnels in plastic soils*. Proc. ASCE, May 1944; Translations, paper No. 2252, S. 1048 bis 1082.

Adresse des Verfassers: Ing. Jaromír Houska, Trojanova 13, Prag.

Tabelle zum Vergleich der Rechnungsverfahren (Bezeichnungen im Text)

$\varphi^\circ$	H	2b	$\sigma_z/\gamma H$			$\sigma_{x1}/\gamma H$					$\sigma_{x2}/\gamma H$					$\sigma_{x3}/\gamma H$				
			A	B	C	A	A'	B	C	C'	A	A'	B	C	C'	A	A'	B	C	C'
30	0,5	1,2	0,886 0,877	0,905 0,894	2,1 1,9	0,299 0,292		0,511 0,507	71 74	53 51	0,629 0,626 0,677		0,983 0,978	57 56	47 47	0,962 0,959 1,000		1,454 1,450	51 51	45 45
		0,8	0,867 0,846	0,882 0,875	1,7 3,3	0,289 —		0,504 —	75 —	50 —	0,622 0,615		0,975 1,008	57 64	46 51	0,956 —		1,447 —	51 —	45 —
	1	1,2	0,790 0,774	0,821 0,803	3,9 3,7	0,263 0,258		0,540 0,535	105 107	60 59	0,430 0,425 0,500		0,777 0,771	81 82	55 54	0,597 0,591 0,667		1,012 1,007	70 70	52 51
		0,8	0,756 0,723	0,780 0,775	3,2 7,2	0,252 —		0,529 —	110 —	57 —	0,419 0,408		0,765 0,812	83 99	53 62	0,585 —		1,000 —	71 —	50 —
1,5	1,2	1,2	0,708 0,688	0,749 0,725	5,8 5,4	0,236 0,229		0,549 0,541	133 136	63 61	0,347 0,340 0,444		0,705 0,700	103 106	59 58	0,458 0,452 0,556		0,863 0,855	89 89	55 54
		0,8	0,663 0,624	0,696 0,688	5,4 10,6	0,221 —		0,534 —	142 —	58 —	0,332 0,319		0,690 0,719	108 125	56 62	0,443 —		0,848 —	92 —	53 —
	2	1,2	0,638 0,614	0,684 0,656	7,2 6,8	0,213 0,205		0,552 0,545	159 166	64 62	0,299 0,288 0,417		0,670 0,662	124 130	61 59	0,379 0,371 0,500		0,788 0,780	108 110	58 56
		0,8	0,587 0,543	0,622 0,615	6,0 13,2	0,196 —		0,535 —	173 —	59 —	0,279 0,264		0,653 0,680	134 158	57 63	0,362 —		0,771 —	113 —	54 —
35	0,5	1,2	0,860 0,847	0,883 0,870	2,7 2,7	0,233 0,230		0,450 0,446	93 94	66 65	0,504 0,500 0,542		0,856 0,854	70 71	58 58	0,775 0,771 0,813		1,261 1,260	63 64	55 55
		0,8	0,832 0,815	0,854 0,852	2,7 4,5	0,225 —		0,444 —	97 —	64 —	0,496 0,491		0,849 0,880	71 79	57 62	0,766 —		1,256 —	64 —	55 —
	1	1,2	0,744 0,725	0,785 0,763	5,5 5,5	0,202 0,196		0,473 0,467	134 138	75 72	0,337 0,332 0,406		0,675 0,670	100 102	66 65	0,472 0,466 0,542		0,879 0,872	86 87	62 61
		0,8	0,700 0,673	0,742 0,731	6,0 8,6	0,190 —		0,460 —	142 —	70 —	0,325 0,318		0,662 0,690	104 117	63 70	0,460 —		0,865 —	88 —	60 —
1,5	1,2	1,2	0,649 0,625	0,700 0,672	7,8 7,5	0,176 0,169		0,478 0,471	172 179	76 74	0,266 0,260 0,362		0,613 0,606	130 133	69 67	0,356 0,350 0,452		0,748 0,741	110 112	66 64
		0,8	0,597 0,565	0,639 0,634	7,1 12,0	0,162 —		0,464 —	186 —	71 —	0,252 0,244		0,599 0,621	138 154	66 72	0,342 —		0,734 —	115 —	62 —
	2	1,2	0,571 0,545	0,627 0,596	9,8 9,3	0,155 0,148		0,479 0,471	212 218	77 74	0,222 0,216 0,339		0,580 0,573	161 165	71 69	0,290 0,283 0,406		0,680 0,675	135 139	67 66
		0,8	0,515 0,480	0,560 0,555	8,8 15,6	0,140 —		0,464 —	231 —	71 —	0,207 0,198		0,565 0,590	173 198	67 74	0,275 —		0,666 —	142 —	64 —