

Lockergesteine

Porosität, Porenanteil	$n = \frac{V_{Poren}}{V_{Total}} = 1 - \frac{\gamma_{trocken}}{\rho_s}$	$n_{Sand} \approx 0.5$
Porenzahl	$e = \frac{V_{Feststoff}}{V_{Poren}} = \frac{n}{1-n}$	ρ_s : Korndichte
Lagerungsdichte	$D = \frac{n_{max}-n}{m_{gesaettigt}}$	
Wassergehalt	$w = \frac{m_{trocken}}{V_{Wasser}} = \frac{n_{wassergefuellt}}{n}$	$w_{Lehm} = [0.15,0.4]; w_{Kies} = [0.03,0.08]$
Sättigungszahl, -grad	$S_r = \frac{V_{Poren}}{V_{Wasser}}$	
Ungleichförmigkeitszahl	$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	d_{60} : Fraktion bei $\phi 60\text{mm}$
Krümmungszahl	$c_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10}d_{60}}$	$c_c = 2.25$: Idealkurve (Fullerkurve)
Raumlast, Raumbgewicht	$\gamma = \frac{m}{V}$	
Raumlast mit Auftrieb	$\gamma' = \gamma_{gesaettigt} - \gamma_{Wasser}$	

Böschungen

Normalspannung	$\sigma(\theta) = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos(2\theta)$	β : Böschungswinkel θ : Reibungswinkel
Scherspannung	$\tau(\theta) = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin(2\theta)$	$\theta_{Kiessand} = 35^\circ; \theta_{bindige\ Böden} = 20^\circ$
Vertikalspannung	$\sigma_z = \rho_{Boden} g z - \rho_{Fluid}$	$c, \tau = \left[\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$: Kohäsion
Bruchkriterium	$\tau = c + \tau \tan(\theta)$	$c_{org. Böden} = 5; c_{Kiessand} = 0$
Sicherheitsbeiwert	$v = \frac{F_{rueckaltend}}{F_{treibend}}$	Stabil falls: $v > 1$
- Kohäsionslos	$v = \frac{\tan(\theta)}{\tan(\beta)}$	A : Reibungsfläche
- mit Kohäsion	$v = \frac{cA + \rho g V \cos(\beta) \tan(\theta)}{\rho g V \tan(\beta)}$	h_w : maximale Wassertiefe in Kluft
- wassergefüllt, mit Koh.	$v = \frac{cA + (\rho g V \cos(\beta) - \frac{A \rho_w g h_w}{2}) \tan(\theta)}{\rho g V \tan(\beta) + \frac{A Kluft \rho_w g h_w}{2}}$	

Setzungen

Einflussfaktor	$J_z = \frac{\Delta \sigma_z}{q}$	m : Zusatzmasse, A : Belastete Fläche $J_z(l, b, z) = [\%]$: aus Tabelle
Zusatzbelastung	$\Delta \sigma = \frac{F}{A}$	d : Schichtdicke
Setzung	$S = \frac{J_z \Delta \sigma d}{M_s}$	$M_s = \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$: Setzungsbeiwert der Schicht

J_z [%]	$\frac{a}{b}$								
		1	1.5	2.0	3.0	5.0	10	20	100
$\frac{z}{b}$	0.0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	0.1	898	928	937	943	944	945	945	945
	0.2	694	757	788	813	824	826	826	826
	0.3	557	621	663	705	730	738	739	739
	0.4	470	529	571	622	660	675	677	677
	0.6	362	412	448	500	553	585	590	590
	0.8	289	336	367	413	469	513	523	524
	1.0	234	279	308	348	399	450	465	467
	1.2	191	235	261	297	343	396	416	419
	1.4	158	199	224	257	298	350	374	378
	1.6	131	169	194	224	261	311	338	344
1.8	111	145	169	197	231	277	306	314	
2.0	94	125	148	175	206	249	279	288	
2.5	65	90	108	133	159	195	225	238	
3.0	47	67	82	104	128	158	186	202	
4.0	28	40	51	68	88	111	134	155	
5.0	18	27	34	47	65	84	103	125	
7.0	10	14	19	26	38	54	67	89	
10	5	7	9	14	21	33	43	61	
20	1	2	2	4	6	11	16	28	

ρ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$		
	Min.	Max.
Bimsstein	600	950
Kohle	1200	1400
Kreide	1400	1600
Salz	2100	2200
Gips	2200	2300
Tonstein	2000	2600
Sandstein	1950	2570
Quelltuff	2200	2550
Feuerstein	2450	2550
Kalkstein	2200	2800
Tonschiefer	2500	2600
Quarzit	2600	2650
Gneis	2600	2650
Granit	2600	2750
Mergel	2650	2750
Anhydrit	2600	2800
Kalkmarmor	2700	2750
Glimmerschiefer	2600	2900
Serpentinit	2600	2950
Diorit	2800	3000
Dolomit	2800	2950
Basalt	2750	3200

Festgesteine

Spannung allgemein	$\sigma = \frac{F}{A} = -P$	$\sigma = [\text{Pa}]$
Young Modul	$E_Y = \frac{\Delta\sigma_{\text{elastisch}}}{\Delta\varepsilon_{\text{elastisch}}}$	$E_Y = [\text{Pa}]$: Steigung Längsdehnung elast.
Verformungsmodul	$E_V = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$	$E_V = [\text{Pa}]$: Steigung Längsdehnung
Steifemodul	$E_S = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_{\text{plastisch}}}$	
Poisson's Zahl	$\nu = \frac{\varepsilon_{\text{radial}}}{\varepsilon_{\text{axial}}}$	$\varepsilon = [\%]$: Verformung
Zerstörungsarbeit	$W_Z = \int_0^{\varepsilon_{\text{max}}} \sigma d\varepsilon$	→ Approximieren durch zwei Dreiecke
Maximalbelastung	$\sigma_u = UCS = \sigma_{\text{Bruch}}$	$W_Z = \left[\frac{\text{J}}{\text{m}^3}\right]$
Spaltzugfestigkeit	$\sigma_z = \frac{2\sigma_{\text{Bruch}}}{\pi dl}$	d : Durchmesser, l : Länge
Zähigkeit	$Z = \frac{\sigma_u}{\sigma_z}$	sehr spröde: $Z > 20$; sehr zäh: $Z < 5$
Bruchkriterium	$\tau = c + \tau \tan(\theta)$	$c_{\text{org. Böden}} = 5$; $c_{\text{Kiessand}} = 0$
Normalkraft	$\sigma_N = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \cos(2\varphi)$	φ : Winkel zw. σ_1 und Flächennormalen
Scherkraft	$\sigma_S = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin(2\varphi)$	

Tunnel

Vertikalspannung	$\sigma_V = \gamma z = \rho g z$	σ_1 : regionale Hauptspannung
Verhältnis der Spannung	$\sigma_H = k \sigma_V$	k : Verhältnis der H zur V Spannung
Maximalspannung	$\sigma_{t,max} = 3\sigma_1 - \sigma_3$	
Radius plastische Zone	$\frac{r_{\text{plastic}}}{r_{\text{Tunnel}}} = 1.25 \left(\frac{\sigma_u}{\sigma_1}\right)^{-0.57}$	a : Abstand Punkt Tunnelzentrum
Bergschlageinfluss	$r_s = 1.25 \left(\frac{3\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_u}\right) - 0.51$	r : Tunnelradius
Druckhaft	$\sigma_1 = \gamma z \geq 0.5\sigma_u$	$\varphi = 0 \rightarrow$ nach rechts
Spannung Wand	$\sigma_r(\varphi) = \frac{\sigma_V}{2} (2(1+k) + 4(1-k) \cos(2\varphi))$	
Verformung Wand	$u_r(\varphi) = \frac{\sigma_V r}{4 \left(\frac{E_Y}{2(1+\nu)}\right)} ((1+k) - (1-k)(3-4\nu) \cos(2\varphi))$	
Tangentialspannung	$\sigma_a(\varphi) = \frac{\sigma_V}{2} \left((1+k) \left(1 + \frac{r^2}{a^2}\right) + (1-k) \left(1 + 3\frac{r^4}{a^4}\right) \cos(2\varphi) \right)$	