

Formelsammlung Bauphysik

1. Wärmeschutz

Physikalische Größen

Wärme

$$Q = m \cdot c \cdot (\Theta_1 - \Theta_2)$$

Wärmestrom

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

Wärmestromdichte

$$q = \frac{1}{A} \cdot \frac{Q}{t}$$

Wärmeleitungsgleichung

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial t} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2}$$

Transmissionsgrad

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi_0}$$

Absorptionsgrad

$$\alpha = \frac{\Phi_\alpha}{\Phi_0}$$

Reflexionsgrad

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi_0}$$

$$\tau + \alpha + \rho = 1$$

Stefan-Boltzmann-Gesetz

schwarzer Strahler

$$\Phi_s = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

realer Strahler

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Strahlungsfluss zwischen festen Körpern

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Plancksches Strahlungsgesetz

$$d\Phi_s = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{A}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} d\lambda$$

Wiensches Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\max} \cdot T = b$$

thermische Ausdehnung

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \cdot \Delta T$$

mechanische Spannung

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Hookesches Gesetz

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Technische Größen

Wärmedurchlasswiderstand

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

für mehrschichtiges Bauteil

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i}$$

Wärmedurchlasskoeffizient

$$\Lambda = \frac{\lambda}{d}$$

Wärmedurchgangswiderstand

$$R_T = R_{Si} + R + R_{Se}$$

Wärmedurchgangskoeffizient

$$U = \frac{1}{R_T}$$

Wärmestromdichte

$$q = \frac{\Theta_i - \Theta_e}{R_T}$$

mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
für nebeneinander liegende Bereiche

$$U_m = \frac{1}{R_{T,m}} = \frac{1}{A} \cdot \sum_{j=1}^k \frac{A_j}{R_{T,j}}$$

Wärmespeichervermögen

bezogen auf das Volumen

$$Q_S = c \cdot \rho$$

bezogen auf die Fläche

$$Q_S = c \cdot \rho \cdot d$$

Wärmeeindringkoeffizient

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$$

Temperaturleitfähigkeit

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

$$g = \tau + q_i$$

2. Feuchteschutz

Physikalische Größen

Zustandsgleichung des idealen Gases

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T = m \cdot R_{Gas} \cdot T$$

absolute Luftfeuchtigkeit

$$c = \frac{m}{V}$$

relative Luftfeuchtigkeit

$$\varphi = \frac{c}{c_s} = \frac{p}{p_s}$$

Oberflächenspannung

$$\sigma = \frac{\Delta W}{\Delta A}$$

Kapillardruck

$$p = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \alpha}{r}$$

kapillare Steighöhe

$$h_{\max} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \alpha}{\rho_w \cdot g \cdot r}$$

Diffusionsstrom

$$I = \frac{m}{t}$$

Diffusionsstromdichte

$$g = \frac{m}{A \cdot t}$$

Diffusionsstromdichte von Wasserdampf in Luft

$$g = \frac{D_D}{R_{H_2O} \cdot T} \cdot \frac{p_1 - p_2}{d}$$

erstes Ficksches Gesetz

$$g = -D \cdot \frac{\Delta c}{d}$$

zweites Ficksches Gesetz

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(g) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D \cdot \frac{dc}{dx} \right)$$

Technische Größen

Feuchtegehalt eines Baustoffs

$$u_m = \frac{m_w}{m_B}$$

kapillare Steighöhe von Baustoffen

$$h_{\max} = \frac{15mm^2}{r}$$

Wasseraufnahmekoeffizient

$$w = \frac{m}{A \cdot \sqrt{t}}$$

Dampfdiffusionskoeffizient

$$D_D = 0.083 \cdot \frac{p_0}{p_L} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1.81}$$

Diffusionsstromdichte in porösen Medien

$$g = \frac{p_i - p_e}{Z_T}$$

Diffusionsdurchlasswiderstand

$$Z = \frac{R_{H_2O} \cdot T}{D_D} \cdot \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot d_i$$

Diffusionsdurchlasskoeffizient

$$\Delta = \frac{1}{Z}$$

wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

$$s_D = \sum_{i=1}^n \mu_i \cdot d_i$$

Diffusionsdurchgangswiderstand

$$Z_T = Z + Z_{\beta i} + Z_{\beta e} \approx Z$$

3. Schallschutz

Physikalische Größen

Kreisfrequenz

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

harmonische Schwingung

$$x(t) = \hat{x} \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0)$$

schwach gedämpfte Schwingung

$$x(t) = \hat{x} \cdot e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Amplitudenverhältnis für die erzwungene Schwingung

$$\frac{\hat{x}}{\hat{u}} = \frac{\omega_0^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}}$$

Schwebungsfrequenz

$$f_s = \frac{f_1 - f_2}{2}$$

Ausbreitungsgeschwindigkeit von Wellen

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Wellenzahl

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ungedämpfte Welle

$$u(x, t) = u_0 \cdot \cos(\omega t - kx)$$

gedämpfte Welle

$$u(x, t) = u_0 \cdot e^{-\mu x} \cdot \cos(\omega t - kx)$$

Bedingung für konstruktive Interferenz

$$\varphi = n \cdot 2\pi$$

Bedingung für destruktive Interferenz

$$\varphi = (2n + 1) \cdot \pi$$

Brechungsgesetz

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Technische Größen

Schallgeschwindigkeit in festen Körpern

stabförmige Körper

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

unbegrenzte Körper

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho} \cdot \frac{1-\mu}{(1+\mu) \cdot (1-2 \cdot \mu)}}$$

Schallschnelle

$$v = \frac{p}{\rho \cdot c}$$

Schalldruck

$$p = \rho \cdot c \cdot v$$

effektiver Schalldruck

$$p_{\text{eff}} = \frac{p_m}{\sqrt{2}}$$

Schallintensität

$$I = p \cdot v$$

Schallleistung

$$P = p \cdot v \cdot A$$

Pegel

$$L = 10 \cdot \lg\left(\frac{k}{k_0}\right)$$

Schallpegeldifferenz

$$D = L_1 - L_2$$

Bergersches Massengesetz

$$R = 20 \cdot \lg\left(\frac{\pi \cdot f \cdot m_A}{\rho \cdot c}\right) - 3\text{dB}$$

Koinzidenzfrequenz für homogene Platte

$$f_s = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m_A}{B'}} \approx 60 \cdot \frac{1}{d} \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

Resonanzfrequenz zweischaliger Bauteile

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{E}{a} \cdot \left(\frac{1}{m_{A_1}} + \frac{1}{m_{A_2}}\right)}$$

Schallabsorptionsgrad

$$\alpha = \tau + \delta$$

$$\rho + \alpha = 1$$

äquivalente Schallabsorptionsfläche

$$A = 0.163 \frac{V}{T}$$

4. Mathematische Formeln

$$\cos x + \cos y = 2 \cos \frac{x+y}{2} \cos \frac{x-y}{2}$$

$$A_{\text{Kugel}} = 4\pi r^2$$

Werte und Konstanten

1. Wärmeschutz

Physikalische Konstanten

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c = 300000 \frac{km}{s}$
Boltzmann-Konstante	$k_B = 1,3806504 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$
Plancksches Wirkungsquantum	$h = 6,62606896 \cdot 10^{-34} J \cdot s$
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma = 5.670400 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
Wiensche Konstante	$b = 2.8977685 \cdot 10^{-3} m \cdot K$

Technische Konstanten

Wärmedurchlasswiderstand für ruhende Luftschicht >40 mm	$R = 0.17 m^2 K/W$
--	--------------------

Bemessungswerte der Wärmeübergangswiderstände

Bauteil	$R_{Si} [m^2 K/W]$	$R_{Se} [m^2 K/W]$
Außenwand	0.13	0.04
Außenwand mit hinterlüfteter Außenhaut, Abseitenwand zum nicht wärme gedämmten Dachraum		0.13
Wohnungstrennwand, Treppenraumwand, Wand zwischen fremden Arbeitsräumen, Trennwand zu dauernd unbeheiztem Raum, Abseitenwand zum wärme gedämmten Dachraum		0.04
an das Erdreich grenzende Wand		0

2. Feuchteschutz

Physikalische Konstanten

allgemeine Gaskonstante

$$R = 8314 \text{ J}/(\text{kmol} \cdot \text{K})$$

spezifische Gaskonstante von Wasserdampf

$$R_{H_2O} = 462 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Oberflächenspannung von Wasser gegen feuchte Luft

$$\sigma = 0.0741 \text{ N/m}$$

Tabellenwerte

$$\frac{R_{H_2O} \cdot T}{D_D} = 1.5 \cdot 10^6 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m} \cdot \text{h}}{\text{kg}}$$

$$\text{Wasserdampf-sättigungsdruck } p_s = a \cdot \left(b + \frac{\Theta}{100} \right)^n$$

	$-20^\circ\text{C} < \Theta < 0^\circ\text{C}$	$0^\circ\text{C} < \Theta < 30^\circ\text{C}$
<i>a</i>	4.689 Pa	288.68 Pa
<i>b</i>	1.486	1.098
<i>n</i>	12.3	8.02

$$\text{Taupunkttemperatur } \Theta_s = \phi^{1/8.02} \cdot (109.8 + \Theta_L) - 109.8$$

Taupunkttemperatur der Luft in Abhängigkeit von der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit der Luft

Lufttemperatur in °C	Taupunkttemperatur in °C bei einer relativen Luftfeuchte von													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

Wasserdampf­­sättigungsdruck bei Temperaturen von 30,9°C bis -20,9°C nach DIN 4108

Temperatur in °C	Wasserdampf­­sättigungsdruck in Pascal (Pa)									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
30	4244	4269	4294	4319	4344	4369	4394	4419	4445	4469
29	4006	4030	4053	4077	4101	4124	4148	4172	4196	4219
28	3781	3803	3826	3848	3871	3894	3916	3939	3961	3984
27	3566	3588	3609	3631	3652	3674	3695	3717	3793	3759
26	3362	3382	3403	3423	3443	3463	3484	3504	3525	3544
25	3169	3188	3208	3227	3246	3266	3284	3304	3324	3343
24	2985	3003	3021	3040	3059	3077	3095	3114	3132	3151
23	2810	2827	2845	2863	2880	2897	2615	2932	2950	2968
22	2645	2661	2678	2695	2711	2727	2744	2761	2777	2794
21	2487	2504	2518	2535	2551	2566	2582	2598	2613	2629
20	2340	2354	2369	2384	2399	2413	2428	2443	2457	2473
19	2197	2212	2227	2241	2254	2268	2283	2297	2310	2324
18	2065	2079	2091	2105	2119	2132	2145	2158	2172	2185
17	1937	1950	1963	1976	1988	2001	2014	2028	2039	2052
16	1818	1830	1841	1854	1866	1878	1889	1901	1914	1926
15	1706	1717	1729	1739	1750	1762	1773	1784	1795	1806
14	1599	1610	1621	1631	1642	1653	1663	1674	1684	1695
13	1498	1508	1518	1528	1538	1548	1559	1569	1578	1588
12	1403	1413	1422	1431	1441	1451	1460	1470	1479	1488
11	1312	1321	1330	1340	1349	1358	1367	1375	1385	1394
10	1228	1237	1245	1254	1262	1270	1279	1287	1296	1304
9	1148	1156	1163	1171	1179	1187	1195	1203	1211	1218
8	1073	1081	1088	1096	1103	1110	1117	1125	1133	1140
7	1002	1008	1016	1023	1030	1038	1045	1052	1059	1066
6	935	942	949	955	961	968	975	982	988	995
5	872	878	884	890	896	902	907	913	919	925
4	813	819	825	831	837	843	849	854	861	866
3	759	765	770	776	781	787	793	798	803	808
2	705	710	716	721	727	732	737	743	748	753
1	657	662	667	672	677	682	687	691	696	700
0	611	616	621	626	630	635	640	645	648	653
0	611	605	600	595	592	587	582	577	572	567
-1	562	557	552	547	543	538	534	531	527	522
-2	517	514	509	505	501	496	492	489	484	480
-3	476	472	468	564	461	456	452	448	444	440
-4	437	433	430	426	423	419	415	412	408	405
-5	401	398	395	391	388	385	382	379	375	372
-6	368	365	362	359	356	353	350	347	343	340
-7	337	336	333	330	327	324	321	318	315	312
-8	310	306	304	301	298	296	294	291	288	286
-9	284	281	279	276	274	272	269	267	264	262
-10	260	258	255	253	251	249	246	244	242	239
-11	237	235	233	231	229	228	226	224	221	219
-12	217	215	213	211	209	208	206	204	202	200
-13	198	197	195	193	191	190	188	186	184	182
-14	181	180	178	177	175	173	172	170	168	167
-15	185	164	162	161	159	158	157	155	153	152
-16	150	149	148	146	145	144	142	141	139	138
-17	137	136	135	133	132	131	129	126	127	126
-18	125	124	123	122	121	120	118	117	116	115
-19	114	113	112	111	110	109	107	106	105	104
-20	103	102	101	100	99	98	97	96	95	94

3. Schallschutz

Physikalische Konstanten

Schallgeschwindigkeit in Luft

$$c \approx (331.5 + 0.6 \cdot \Theta / ^\circ\text{C}) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Dichte der Luft bei 20°C

$$\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$$

Technische Konstanten

Bezugsschalldruck

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$