

Formelsammlung Bauphysik



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Brandschutz

Abbrand

$$x = t \cdot v$$

x = Abbrandlänge in mm

v = Abbrandgeschwindigkeit in mm/min

t = Branddauer in min

Kriterium für die Einordnung von Stahlbauteilen nach DIN 4102

$$\frac{U}{A} \leq 300 \text{ m}^{-1}$$

U = Umfang in m (Feuerberührter Umfang bei Bekleidung mit Plattenwerkstoffen)

A = Querschnittsfläche des Stahlbauteils in m^2

Schallschutz

Nachhallzeit:

$$T_n = 0,163 \cdot \frac{V}{A}$$

$$A = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \alpha_i$$

T_n = Nachhallzeit in Sekunden

V = Raumvolumen in m^3

A = äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2

S = Bauteiloberfläche in m^2

α = Schallabsorptionsgrad

Schalldämmmaß für zusammengesetzte Bauteile

$$R'_{w,R,res} = -10 \cdot \log \left(\frac{1}{S_{ges}} \cdot \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R'_{w,R,i}} \right)$$

$R'_{w,R,res}$ = resul. bewertetes Luftschalldämmmaß in dB

S_i = Einzelflächen in m^2

S_{ges} = Gesamtflächen in m^2 (Summe aller Einzelflächen)

$R'_{w,R,i}$ = bewertetes Luftschalldämmmaß des Einzelbauteils in dB

n = Anzahl der Einzelbauteile

Formel für Skelettbauverfahren

$$R'_{w,R} = -10 \cdot \log \left(10^{-0,1 \cdot R_{w,R}} + \sum_{i=1}^n 10^{-0,1 \cdot R'_{L,w,R,i}} \right)$$

$R'_{w,R}$ = Rechenwert des resultierenden bewerteten Schalldämm-Maßes des trennenden Bauteils in dB

$R_{w,R}$ = Rechenwert des bewerteten Schalldämmmaßes des trennenden Bauteils ohne Längsleitung über flankierende Bauteile in dB

$R'_{L,w,R}$ = Rechenwert des bewerteten Schalllängsdämmmaßes des flankierenden Bauteils in dB

n = Anzahl der flankierenden Bauteile (im Regelfall $n=4$)

Der Nachweis wird erfüllt, wenn:

$$vorh R'_{w,R} \geq erf. R'_{w,R}$$

Formel für Berechnung mittlerer flächenbezogener Massen

Korrekturwert $K_{L,1}$ bei flankierenden Bauteilen mit **biegesteifen** trennenden Bauteilen

$$m'_{L,mittel} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m'_{L,i}$$

$m'_{L,mittel}$ = mittlere flächenbezogene Masse in kg/m^2

$m'_{L,i}$ = flächenbezogene Masse des i -ten nicht verkleideten, massiven flankierenden Bauteils ($i=1$ bis n) in kg/m^2

n = Anzahl der nicht verkleideten, massiven flankierenden Bauteile

Korrekturwert $K_{L,1}$ bei flankierenden Bauteilen mit **biegeweichen** trennenden Bauteilen

$$m'_{L,Mittel} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m'_{L,i})^{-2,5} \right]^{-0,4}$$

$m'_{L,mittel}$ = mittlere flächenbezogene Masse in kg/m^2

$m'_{L,i}$ = flächenbezogene Masse des i -ten nicht verkleideten, massiven flankierenden Bauteils ($i=1$ bis n) in kg/m^2

n = Anzahl der nicht verkleideten, massiven flankierenden Bauteile

Nachweisverfahren für Schalldämmung in Massivbauten:

Trennendes Bauteil	einschalig, biegesteif (z.B. Mauerwerk)	einschalig, biegesteif, mit biegeweicher Vorsatzschale	zweischalig, biegesteif	Massive Decken	zweischalig, zwei biegeweiche Schalen	Holzbalkendecken
$R'_{w,R}$	Tabelle 1	Tabelle 8	Tabelle 1 + 12 dB	Tabelle 12	Tabelle 9, Tabelle 10	Tabelle 19
$m'_{L,mittel}$	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m'_{L,i}$				$\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m'_{L,i})^{-2,5} \right]^{-0,4}$	
$K_{L,1}$	Tabelle 13				Tabelle 14	
$K_{L,2}$	entfällt	Tabelle 15	entfällt	Tabelle 15, falls schwimmender Estrich oder Holzfußboden	Tabelle 15	entfällt

Resultierendes $R'_{w,R} = R'_{w,R(300)} + K_{L,1} (+ K_{L,2})$

Wärmeschutz

Wärmeleitfähigkeit einer Bauteilschicht

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{A \cdot t \cdot \Delta\theta}$$

λ = Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K) Q = Wärmemenge in J
 d = Schichtdicke in m A = Bauteil-Querschnittsfläche in m²
 $\Delta\theta$ = Temperaturunterschied zwischen den Grenzflächen der Schicht in K

Wärmedurchlasswiderstand

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

R = Wärmedurchlasswiderstand in m²K/W
 d = Schichtdicke in m
 λ = Wärmeleitfähigkeit in W/(m·K)

Wärmedurchgangswiderstand

$$R_T = R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_{...}}{\lambda_{...}} + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{si}$$

R_T = Wärmedurchgangswiderstand in m²K/W
 R_{se}, R_{si} = innerer, äußerer Wärmeübergangswiderstand in m²K/W

U-Wert

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

U = Wärmedurchgangskoeffizient in W/(m²K)

Wärmestromdichte

$$\left(\frac{Q}{A \cdot t} \right) = U \cdot \Delta\theta$$

$\Delta\theta = (\theta_i - \theta_e)$ = Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenraum in K

U-Wertberechnung nach dem genauen Verfahren:

Bauteil in Abschnitte unterteilen z.B. Bereich A-Dämmung, Bereich B-Sparren

Flächenanteile

$$f_a = \frac{l_a}{(l_b + l_a)}; \quad f_b = 1 - f_a$$

f_n = Flächenanteil Bereich n

Oberer Grenzwert:

$$R'_T = \frac{1}{\frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}}}$$

Unterer Grenzwert:

$$R''_T = R_{se} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{si}$$

$$R_i = \frac{1}{\frac{f_a}{R_{ia}} + \frac{f_b}{R_{ib}}}$$

Mittelwert des oberen und unteren Grenzwerts:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2}$$

Temperaturverlauf

$$\frac{\Delta\theta_n}{R_n} = \frac{(\theta_i - \theta_e)}{R_T}$$

$\Delta\theta_n = (\theta_{n-1} - \theta_n) =$ Temperaturabfall über Bauteil n mit Wärmewiderstand R_n

$$\theta_n = \theta_{n-1} - R_n \cdot U \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_{si} = \theta_i - R_{si} \cdot U \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Feuchteschutz

Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

$$s_d = \mu \cdot d$$

$s_d =$ diffusionsäquivalente Luftschichtdicke in m

$\mu =$ Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl -

$d =$ Dicke der Schicht in m

Wasserdampfpartialdruck

$$p_i = p_{si} \cdot \Phi_i$$

$p_i =$ Wasserdampfpartialdruck in Pa

$p_{si} =$ Wasserdampf-sättigungsdruck in Pa

$\Phi_i =$ relative Luftfeuchtigkeit

Tauwassermenge

$$m_{w,T} = t_T \cdot (g_i - g_e)$$

$t_T =$ Dauer der Tauperiode

$g_i =$ Wasserdampf-Diffusionsstromdichte in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h})$, von raumseitiger Bauteiloberfläche bis zur Tauwasserebene

$g_e =$ Wasserdampf-Diffusionsstromdichte in $\text{kg}/(\text{m}^2\text{h})$, von außenseitiger Bauteiloberfläche bis zur Tauwasserebene

$m_{w,T} =$ Tauwassermenge in kg

$$g_i = \frac{p_i - p_{sw}}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{di}}$$

$p_{sw} =$ Wasserdampf-sättigungsdruck in der Tauwasserebene in Pa

$s_{di} =$ wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke der Baustoffschichten zwischen innenseitiger Bauteiloberfläche und Tauwasserebene in m

$$g_e = \frac{p_{sw} - p_e}{1,5 \cdot 10^6 \cdot s_{de}}$$

$s_{de} =$ wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke der Baustoffschichten zwischen Tauwasserebene und außenseitiger Bauteiloberfläche in m

Tabelle A.3 — Klimabedingungen für die Beurteilung der Tauwasserbildung und Verdunstung im Inneren von Bauteilen

Klima	Temperatur	Relative Luftfeuchte	Wasserdampf-teildruck	Dauer		
	θ	ϕ	p	t		
	$^{\circ}\text{C}$	%	Pa	d	h	s
Tauperiode von Dezember bis Februar						
Innenklima	20	50	1 168	90	2 160	$7\,776 \cdot 10^3$
Außenklima	-5	80	321			
Verdunstungsperiode von Juni bis August ^a						
Wasserdampfdruck Innenklima			1 200	90	2 160	$7\,776 \cdot 10^3$
Wasserdampfdruck Außenklima			1 200			
Sättigungsdampfdruck im Tauwasserbereich:			1 700			
— Wände, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen; Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen						
— Dächer, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abschließen			2 000			

^a In der Verdunstungsperiode werden im Rahmen des Perioden-Bilanzverfahrens nicht die Temperaturen und Luftfeuchten, sondern nur die gerundeten Wasserdampfdrücke als Klima-Randbedingung vorgegeben.

Tabelle A.2 — Wasserdampf­­sättigungsdruck im Temperaturbereich von 30,9°C bis –20,9°C

Ganz- zahlige Werte	Temperatur θ , in °C									
	Dezimalwerte									
	,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
	Wasserdampf­­sättigungsdruck									
	p_s Pa									
30	4 244	4 269	4 294	4 319	4 344	4 369	4 394	4 419	4 445	4 469
29	4 006	4 030	4 053	4 077	4 101	4 124	4 148	4 172	4 196	4 219
28	3 781	3 803	3 826	3 848	3 871	3 894	3 916	3 939	3 961	3 984
27	3 566	3 588	3 609	3 631	3 652	3 674	3 695	3 717	3 793	3 759
26	3 362	3 382	3 403	3 423	3 443	3 463	3 484	3 504	3 525	3 544
25	3 169	3 188	3 208	3 227	3 246	3 266	3 284	3 304	3 324	3 343
24	2 985	3 003	3 021	3 040	3 059	3 077	3 095	3 114	3 132	3 151
23	2 810	2 827	2 845	2 863	2 880	2 897	2 915	2 932	2 950	2 968
22	2 645	2 661	2 678	2 695	2 711	2 727	2 744	2 761	2 777	2 794
21	2 487	2 504	2 518	2 535	2 551	2 566	2 582	2 598	2 613	2 629
20	2 340	2 354	2 369	2 384	2 399	2 413	2 428	2 443	2 457	2 473
19	2 197	2 212	2 227	2 241	2 254	2 268	2 283	2 297	2 310	2 324
18	2 065	2 079	2 091	2 105	2 119	2 132	2 145	2 158	2 172	2 185
17	1 937	1 950	1 963	1 976	1 988	2 001	2 014	2 027	2 039	2 052
16	1 818	1 830	1 841	1 854	1 866	1 878	1 889	1 901	1 914	1 926
15	1 706	1 717	1 729	1 739	1 750	1 762	1 773	1 784	1 795	1 806
14	1 599	1 610	1 621	1 631	1 642	1 653	1 663	1 674	1 684	1 695
13	1 498	1 508	1 518	1 528	1 538	1 548	1 559	1 569	1 578	1 588
12	1 403	1 413	1 422	1 431	1 441	1 451	1 460	1 470	1 479	1 488
11	1 312	1 321	1 330	1 340	1 349	1 358	1 367	1 375	1 385	1 394
10	1 228	1 237	1 245	1 254	1 262	1 270	1 279	1 287	1 296	1 304
9	1 148	1 156	1 163	1 171	1 179	1 187	1 195	1 203	1 211	1 218
8	1 073	1 081	1 088	1 096	1 103	1 110	1 117	1 125	1 133	1 140
7	1 002	1 008	1 016	1 023	1 030	1 038	1 045	1 052	1 059	1 066
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	464	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