

**Warmteweerstand**

1. De warmteweerstand  $R_m$  van een vlakke homogene laag wordt berekend uit:

$$R_m = d/\lambda \quad [m^2K/W]$$

$d$  : dikte van laag [m]  
 $\lambda$  : labda waarde c.q. warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal van de laag [W/mK]

2. De warmteweerstand  $R_{sp}$  van een vlakke luchtspouw is afhankelijk van de breedte van de spouw en de richting van de warmtestroom. De warmteweerstand varieert van 0 m<sup>2</sup> K/W (breedte 0 mm) tot 0,23 m<sup>2</sup> K/W (300 mm spouw, omlaaggerichte warmtestroom). Voor een spouw met een breedte van 100 mm, en een horizontale warmtestroom bedraagt de warmteweerstand 0,18 m<sup>2</sup> K/W. (Getallen ontleend aan § 6.4.1 van NPR 2068:2002.)

3. De warmteweerstand  $R_c$  van een uit n lagen opgebouwde vlakke constructie wordt bepaald uit:

$$R_c = R_{m1} + R_{m2} + \dots + R_{mn} \quad [m^2K/W]$$

4. De overgangsweerstanden  $R_{si}$  en  $R_{se}$  zijn in de meeste gevallen  $R_{si} = 0,13$  m<sup>2</sup>K/W en  $R_{se} = 0,04$  m<sup>2</sup>K/W. In de onderstaande tabel staat een volledig overzicht van de te hanteren overgangsweerstanden, ontleend aan NEN 1068:2001.

	overgangsweerstand buitenzijde $R_{si}$ (m <sup>2</sup> K)/W	overgangsweerstand binnenzijde $R_{se}$ (m <sup>2</sup> K)/W
vloeren bij een naar boven gerichte warmtestroom	0,10	0,10
vloer boven buitenlucht	0,17	0,04
vloeren boven onverwarme ruimte of kruipruimte	0,17	0,17
daken met hellingshoek met horizontaal $\leq 75^\circ$	0,10	0,04
overige constructies grenzend aan buitenlucht	0,13	0,04
overige constructies	0,13	0,13

5. De totale warmteweerstand  $R_{tot}$  van een constructie wordt bepaald uit:

$$R_{tot} = R_{se} + R_c + R_{si} \quad [m^2K/W]$$

**U-waarde**

6. De warmtedoorgangcoëfficiënt U van een constructie wordt berekend uit:

$$U = 1 / R_{tot} \quad [W/m^2K]$$

**Warmtetransmissie door een constructie**

7. Voor de stationaire warmtetransmissie q door een constructie geldt:

$$q = U ( T_i - T_e ) \quad [W/m^2]$$

$T_i$  : binnentemperatuur [°C]  
 $T_e$  : buitentemperatuur [°C]

**Temperatuurverdeling**

8. De meest algemene relatie die gebruikt kan worden bij de berekening van de plaatselijke materiaaltemperatuur in een constructie luidt:

$$T_x = \frac{T_e \cdot A + T_i \cdot B}{A + B} \quad [°C]$$

Hierin zijn A en B te bepalen uit constructieafmetingen en labda- en alfawaarden.

9. In de vlakke, uit één of meer lagen opgebouwde constructie, geldt:

A : de gezamenlijke warmteweerstand tussen de gegeven locatie en de binnentemperatuur  
 B : idem, met buitentemperatuur

Hier zijn de temperatuurverschillen,  $T_x - T_e$  en  $T_i - T_x$ , dus recht evenredig met de te overbruggen warmteweerstanden.

Voor de temperatuur op het binnenoppervlak,  $T_{io}$  geldt dan:

$$A = R_{si} \text{ en } B = R_{tot} - R_{si} \quad [m^2K/W]$$

zodat:

$$T_{io} = \frac{T_e \cdot R_{si} + T_i ( R_{tot} - R_{si} )}{R_{tot}} \quad [°C]$$

of, na enige omwerking met voorgaande formules

$$T_{io} = T_i - U ( T_i - T_e ) \cdot R_{si} \quad [°C]$$

**Temperatuurfactor**

Een praktische getalswaarde voor een koudebrug kan men vinden in

$$f = (T_{i0} - T_e) / (T_i - T_e) \quad [-]$$

**Warmtetransmissie van een gebouw (uitgebreide methode)**

De warmtetransmissie van een gebouw kan met behulp van NEN 1068:2001 en NPR 2068:2002 worden bepaald.

10. De warmteverliescoëfficiënt  $H_T$  van een gebouw wordt bepaald door:

$$H_T = L_D + L_S + H_U \quad [W/K]$$

- $L_D$  : warmteverlies tussen verwarmde binnenruimte en buitenlucht [W/K]
- $L_S$  : warmteverlies via de begane grondvloer [W/K]
- $H_U$  : warmteverlies via onverwarmde ruimten [W/K]

11. Warmteverlies  $L_D$  tussen verwarmde binnenruimte en buitenlucht wordt bepaald door:

$$L_D = \sum A_i U_i + \sum l_k \psi_k \quad [W/K]$$

- $A_i$  : oppervlakte van scheidingsconstructie i [m<sup>2</sup>]
- $U_i$  : warmtedoorgangscoefficiënt van scheidingsconstructie i [W/m<sup>2</sup>K]
- $l_k$  : lengte lineaire thermische brug k [m]
- $\psi_k$  : lineaire warmtedoorgangscoefficiënt van de thermische brug k [W/mK]

12. Warmteverlies via begane grondvloer  $L_S$

$$L_S = a (A_{rand} U_{rand} + A_{midden} U_{midden} + \sum P_i \psi_{gr;i}) + \sum P_i (\psi_{e;i} + 180 \epsilon) \quad [W/K]$$

- $a$  : weegfactor, voor woningbouw 0.6, voor utiliteitsbouw variabel (6.4.2 NEN 2916) [-]
- $A_{rand}$  : oppervlakte randzone vloer (5 m) [m<sup>2</sup>]
- $U_{rand}$  : warmtedoorgangscoefficiënt randzone [W/m<sup>2</sup>K]
- $A_{midden}$  : oppervlakte middenzone vloer [m<sup>2</sup>]
- $U_{midden}$  : warmtedoorgangscoefficiënt middenzone [W/m<sup>2</sup>K]
- $P$  : omtrek begane grondvloer [m]
- $\psi_{gr}$  : lineaire warmtedoorgangscoefficiënt naar de grond (-0,1 W/mK) [W/mK]
- $\psi_e$  : lineaire warmtedoorgangscoefficiënt naar de buitenlucht (0,9 W/mK) [W/mK]
- $\epsilon$  : oppervlakte ventilatieopeningen kruipruimte (0,0012 m<sup>2</sup>/m) [m<sup>2</sup>/m]

13. Warmteverlies via onverwarmde ruimten  $H_U$

$$H_U = L_{u,b} \quad [W/K]$$

- $L_{u,b}$  : warmteverlies tussen verwarmde en aangrenzende onverwarmde ruimte [W/K]
- $b$  : reductiefactor [-]

**Warmtetransmissie van een gebouw (verkorte methode)**

14. De warmteverliescoëfficiënt  $H_T$  van een gebouw wordt bepaald door:

$$H_T = L_D + L_S + H_U \quad [W/K]$$

- $L_D = \sum A_i (U_i + 0,1)$  [W/K]
- $L_S = a(A_{rand} U_{rand} + A_{midden} U_{midden} - 0,1 P) + 1,1 P$  [W/K]
- $H_U = 0$  (transmissieverlies via onverwarmde ruimte wordt beschouwd als transmissieverlies direct naar buiten)

**Warmtecapaciteit**

15. De warmtecapaciteit  $C_n$  van een materiaallaag n wordt berekend uit:

$$C_n = \rho_n c_n d_n \quad [J/m^2K]$$

- $\rho_n$  : (rho) dichtheid van het materiaal [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_n$  : soortelijke warmte van het materiaal [J/kg K]
- $d_n$  : dikte van laag n [m]

**Warmteaccumulatie**

16. De hoeveelheid in laag n geaccumuleerde warmte  $Q_n$  volgt uit:

$$Q_n = C_n (T_{n,gem} - T_{ref}) \quad [J/m^2]$$

- $T_{n,gem}$  : de gemiddelde temperatuur van laag n [°C]
- $T_{ref}$  : de referentietemperatuur waarbij de hoeveelheid warmte (gemakshalve) op nul wordt gesteld [°C]

**Convectief warmtetransport**

17. Indien van een bepaalde stof j een zeker volume wordt verplaatst vindt een convectief warmtetransport plaats ter grootte van:

$$Q_j = \rho_j c_j V_j (T_{j,gem} - T_{ref}) \quad [J]$$

- $V_j$  : volume [m<sup>3</sup>]
- $T_{j,gem}$  : de gemiddelde temperatuur van de stof [°C]

**Ventilatieverliezen**

18. Toepassing van de vergelijking uit 17 geeft voor de warmteverliezen bij een constante ventilatie van 1 m<sup>3</sup> per uur, met  $p = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ,  $c = 1000 \text{ J/kg K}$  en  $T_i - T_a = 1^\circ\text{C}$ :

$$Q_{vent} = \frac{1}{3} \text{ W/K per m}^3/\text{h}$$

**Absolute luchtvochtigheid**

1. De hoeveelheid waterdamp in de lucht kan zowel worden uitgedrukt in g/m<sup>3</sup> - als waterdampconcentratie - of worden beschreven via de bijdrage die de waterdamp levert aan de totale luchtdruk - de (partiële) (water)-dampspanning in Pa. De werkelijke dampconcentratie c en de werkelijke dampspanning p zijn naar keuze een maat voor de absolute luchtvochtigheid.

Het verband tussen dampspanning, p en dampconcentratie, c luidt:

$$p = R_d \cdot T_k \cdot c \quad [\text{Pa}]$$

- R<sub>d</sub> : gasconcentratie voor waterdamp, 461 [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>K]
- T<sub>k</sub> : de temperatuur in Kelvin (Celsius + 273,15) [K]
- c : dampconcentratie, hier uitdrukken in [kg/m<sup>3</sup>]

2. De maximale waarden, die dampconcentratie en dampspanning kunnen bereiken, c<sub>s</sub> resp. p<sub>s</sub>, zijn als functie van de luchttemperatuur gegeven in de dampspanningstabel.

**Relatieve vochtigheid**

3. De relatieve vochtigheid φ - meetbaar en voelbaar - is gedefinieerd als:

$$\varphi = \frac{c}{c_s} \cdot 100 \text{ of } \varphi = \frac{p}{p_s} \cdot 100 \quad [\%]$$

4. Vice versa geldt uiteraard:

$$c = \frac{\varphi \cdot c_s}{100} \text{ of } p = \frac{\varphi \cdot p_s}{100} \quad [\text{kg/m}^3]$$

5. Uit de vochtproductie P<sub>v</sub> in gram per uur en het verlies volume V<sub>l</sub> in m<sup>3</sup>/uur is via onderstaande vergelijking de relatieve vochtigheid in een ruimte te bepalen.

$$\varphi = \left( \frac{P_v}{V_l} + \frac{\varphi_e c_{se}}{100} \right) \cdot \frac{100}{c_{si}} \quad [\%]$$

- P<sub>v</sub> : vochtproductie [g/h]
- V<sub>l</sub> : ventilatievolume [m<sup>3</sup>/h]
- φ<sub>e</sub> : rel. vochtigheid buiten [%]
- c<sub>se</sub> : maximaal te bereiken dampconcentratie bij de buitentemperatuur [g/m<sup>3</sup>]
- c<sub>si</sub> : maximaal te bereiken dampconcentratie bij de binnentemperatuur [g/m<sup>3</sup>]

**Vochtproductie**

6. Ter illustratie worden de volgende tabellen inzake waterdampproductie gegeven:

in gemiddeld gezin	gram per keer
koken	2000
kleding wassen	2000
vaat wassen	300
baden, douchen	300
vloer dwellen	300

de gemiddelde mens	gram per uur
in rust	40 - 50
zittend (bij 14°C)	~ 30
zittend (bij 26°C)	~ 70
bij kantoorwerk	100 - 120
bij lichamenteel werk	150 - 200
bij zware arbeid	~ 400

**Dampweerstand**

7. De (water)damp(diffusie) weerstand, Z<sub>n</sub> van een vlakke homogene laag n wordt bepaald uit:

$$Z_n = 5,3 \cdot 10^9 \cdot \mu_n \cdot d_n \quad [\text{m/s}]$$

- μ<sub>n</sub> : de mu-waarde van het materiaal, diffusieweerstandsgetal [-]
- d<sub>n</sub> : de dikte van laag n [m]
- een μ<sub>n</sub>-waarde van 20 m geldt als sterk dampremmend.

8. Bij een vlakke, gelaagde constructie kunnen de afzonderlijke μ<sub>n</sub>-waarden van de lagen worden opgeteld volgens:

$$Z_{\text{tot}} = 5,3 \cdot 10^9 (\mu_1 d_1 + \mu_2 d_2 + \dots) \quad [\text{m/s}]$$

9. Als dampovergangsweerstanden zijn aan te houden:

$$Z_i = 40 \cdot 10^6 \text{ (binnen)} \quad [\text{m/s}]$$

$$Z_e = 7 \cdot 10^6 \text{ (buiten)} \quad [\text{m/s}]$$

**Damptransport**

10. De hierboven vermelde dampweerstand behoren uitsluitend in combinatie met dampspanningsverschillen te worden gehanteerd, volgens:

$$g = \frac{p_1 - p_2}{Z} \quad [\text{kg/m}^2\text{s}]$$

- Z : (totale) dampweerstand van materiaal tussen twee vlakken [m/s]
  - p : werkelijke dampspanning [Pa]
  - g : dampstroomdichtheid [kg/m<sup>2</sup>s]
- opmerking: 1 kg/m<sup>2</sup>s = 86,4 · 10<sup>6</sup> g/m<sup>2</sup> per etmaal.

11. De hoeveelheid g<sub>con</sub>, die op een oppervlak condenseert valt te berekenen uit:

$$g_{\text{con}} = \frac{p_i - p_{\text{so}}}{40 \cdot 10^6} \quad [\text{kg/m}^2\text{s}]$$

- p<sub>i</sub> : de werkelijke dampspanning binnen [Pa]
  - p<sub>so</sub> : de maximale dampspanning die bereikt kan worden bij de oppervlaktetemperatuur [Pa]
- Op gladde niet vochtdoorlatende oppervlakken kan ca. 20 g/m<sup>2</sup> waterdamp condenseren zonder storende druppelvorming.

**Brandoverslag tussen gevelopeningen met normalen onder een scherpe hoek**

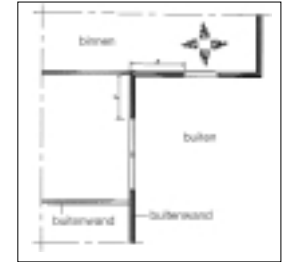
Met onderstaande vuistregels is de 'veilige afstand' te bepalen die tussen twee gevels onder een rechte hoek nodig is om brandoverslag door straling te voorkomen. Voor gevels met normalen onder een scherpe hoek geldt de met de vuistregels bepaalde 'veilige afstand' als veilige benadering.

**Geen brandoverslag indien:**

WBDBO 60 minuten:  $\sqrt{x^2 + y^2} \geq 4,00 \text{ m}$

WBDBO 30 minuten:  $\sqrt{x^2 + y^2} \geq 2,45 \text{ m}$

x en y zijn de kleinste afstanden in meters tussen de kniklijn en een willekeurig punt in de gevelopeningen (zie figuur).



Deze vuistregels zijn alleen geldig voor afmetingen binnen de volgende grenzen:

- brandcompartiment: breed: 7,2 - 86,4 m; diep: 5,4 m tot 12,6 m en hoog 2,7m - 3,3 m
- aantal en afmetingen van gevelopeningen (omgerekend naar een segmentbreedte van 3,6 m) een opening: breed: 1,6 m tot segmentbreedte en hoog: 1,0 m tot 1,8 m

**Brandoverslag vanuit dakopeningen naar gevelopeningen**

In onderstaande tabel is de 'veilige afstand' in meters gegeven die horizontaal gemeten tussen dakopeningen en een hoger opgaande gevel nodig is om brandoverslag door straling te voorkomen. De veilige afstand is met de volgende vuistregel uit NEN 6068:2001 bepaald:

$$x_1 = 4 A/P + 2 \quad x_2 = 10$$

- x<sub>1</sub> en x<sub>2</sub> : de horizontale (veilige) afstand in m
- A : de oppervlakte van de dakopening in m<sup>2</sup>, afgerond op twee decimalen
- P : de omtrek van de dakopening in m, afgerond op twee decimalen

De 'veilige afstand' is alleen afhankelijk van de afmetingen van de dakopeningen en bedraagt ten minste twee meter (voor kleine dakopeningen) en ten hoogste tien meter (voor zeer grote dakopeningen).

**Veilige afstand tussen dakopening en hoger opgaande gevel**

breedte dakopeningen in m	lengte dakopening in m				
	0,50	1,00	2,00	5,00	20,00
0,50	2,50	2,67	2,80	2,91	2,98
1,00	2,67	3,00	3,33	3,67	3,90
2,00	2,80	3,33	4,00	4,86	5,64
5,00	2,91	3,67	4,86	7,00	10,00

BRON: NEN 6068: december 2001 en NPR 6091:1995

Warmtedoorgangscoefficienten van ramen,  $U_w$ , in (W/m<sup>2</sup>K) volgens NPR 2068: 2002

glas	$U_{gl}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	kozijn, met $U_{fr}$ W/(m <sup>2</sup> K)			
		2,4 hout of kunststof	3,8 metaal thermisch onderbroken	7,0 metaal	
enkel glas	5,8	5,2	5,4	6,2	
meenvoudig glas	3,3	3,3	3,6	4,5	
	3,2	3,2	3,6	4,4	
	3,0	3,0	3,4	4,2	
	dubbel glas	2,8	2,9	3,3	4,1
	2,6	2,8	3,2	4,0	
	2,4	2,6	3,1	3,9	
	2,2	2,5	2,9	3,7	
	HR glas	2,0	2,3	2,8	3,6
	1,8	2,2	2,6	3,5	
	HR+ glas	1,6	2,0	2,5	3,3
	1,4	1,9	2,4	3,2	
	HR++ glas	1,2	1,8	2,2	3,0
	1,0	1,6	2,1	2,9	
	0,9	1,5	2,0	2,8	
	0,7	1,4	1,9	2,7	
0,5	1,3	1,7	2,5		

Waarin  $U_{gl}$  is de U-waarde van het glas in W/(m<sup>2</sup>K)  
 $U_{fr}$  is de U-waarde van het kozijn in W/(m<sup>2</sup>K)  
 Interpoleer rechtlijnig voor tussenliggende waarden.

Definitie categorieën hoogrendementsglas (HR-glas)

categorie	samenstelling glas glas-spouw-glas [mm]	maximum U-waarde [W/m <sup>2</sup> K]	minimale LTA-waarde
HR	4 - 12 - 5	2,0	0,70
HR +	4 - 15 - 5	1,6	0,70
HR ++	4 - 15 - 5	1,2	0,70

Neutraal zonwerend isolatieglas

In deze tabel is een beknopt overzicht gegeven van isolatieglas met neutrale zon-reflecterende coatings. Alleen glassoorten met een LTA (lichttoetredingsfactor) groter of gelijk aan 0,60 en een ZTA (zontoetredingsfactor) kleiner of gelijk aan 0,40 zijn opgenomen.

Merknaam	LTA	ZTA	LR <sub>bu</sub>	LR <sub>bi</sub>	R <sub>a</sub>	spouw- vulling	U-waarde [W/m <sup>2</sup> K]
Cool-like SKN 165	0,60	0,30	0,15	0,12	-	argon	1,2
Stopray Safir 61/32	0,61	0,32	0,15	-	-	argon	1,2
Luxguard superneutraal	0,63	0,32	0,14	-	94	lucht	1,4 <sup>1)</sup>
Iglas Rinosol HP66/33	0,66	0,33	0,15	0,16	92	argon	1,1 <sup>1)</sup>
Euroglas Combi Neutral 62/33	0,62	0,33	0,14	0,13	93	argon	1,0 <sup>1)</sup>
Combi Neutral 62/33	0,62	0,33	0,14	0,13	-	argon	1,2
Ipsol Natura 66/34	0,66	0,34	0,11	0,12	95	argon	1,1 <sup>1)</sup>
Stopray Elite	0,67	0,37	0,14	0,15	97	argon	1,2
Cool-Lite SKN 172	0,66	0,38	0,09	-	96	argon	1,3
Viracon VE1-2M	0,70	0,38	0,10	0,11	-	lucht	1,6
Ariplak DAG 66	0,66	0,38	0,09	0,11	-	lucht	1,6
Stopray Cristal 61/40	0,61	0,40	0,18	0,13	-	argon	1,3
Combi Neutral 70/40	0,70	0,40	0,12	0,13	94	argon	1,3

U-waarde op basis van de opbouw 6-12-6  
<sup>1)</sup> spouwbreedte 16 mm

Verklaring afkortingen:

- LTA = lichttoetredingsfactor
- ZTA = zontoetredingsfactor
- LR<sub>bu</sub> = lichtreflectie naar buiten
- LR<sub>bi</sub> = lichtreflectie naar binnen
- R<sub>a</sub> = kleurweergave-index volgens DIN 6169. Maat voor de verkleuring veroorzaakt door het glas (referentiewaarde is een opening zonder glas. De R<sub>a</sub> hiervan is gesteld op 100)

Dampremmende lagen

materiaal	dikte (mm)	μ
Estrich (15 mm) met bitumen	15,00	155
Bitumenpapier (enkelzijdig)	0,15	580
Bitumenpapier (dubbelzijdig)	0,30	3000
Latexverf	-	1500
Olieverf	0,03	3000-8000
Glasvlies	2,0	4000-60000
Gebitumineerd karton met kunststof tussenlaag	0,80	3500
p.v.c. folie	0,1	9000-45000
Polyethen-folie	0,1	45000-140000
Polyethyleen folie (tape)	0,1	65000
Polyethyleen folie	0,3	34000
2x dakleer + 3 bitumenlagen	5,0	70000
Polyesterfolie	0,1	14000
Polystyreenfolie	0,1	40000
Asbesthoudende bitumineuze dakbedekking	-	2300
Asfaltbitumen vilt (vilt 500 g/m <sup>2</sup> ; bit.1 kg/m <sup>2</sup> )	-	5000-23000
Asfaltbitumen op glasvezelbasis	-	20000-90000
Teenvilt	-	75000

Dampspanningstabel

temp. [°C]	Ps [Pa]	C <sub>max</sub> [g/m <sup>3</sup> ]
70	31179	198,1
69	29849	190,1
68	28574	182,4
67	27345	175,0
66	26162	167,9
65	25021	161,1
64	23923	154,5
63	22865	148,1
62	21850	141,9
61	20870	135,9
60	19930	130,2
59	19025	124,9
58	18155	119,6
57	17320	114,4
56	16517	109,3
55	15748	104,3
54	15010	99,6
53	14302	95,2
52	13620	91,0
51	12968	87,0
50	12342	83,0
49	11743	79,0
48	11168	75,3
47	10620	71,8
46	10093	68,5
45	9590	65,4
44	9107	62,5
43	8645	59,6
42	8205	56,7
41	7784	53,8
40	7381	51,15
39	6997	48,6
38	6630	46,2
37	6280	43,9
36	5945	41,7

temp. [°C]	Ps [Pa]	C <sub>max</sub> [g/m <sup>3</sup> ]
35	5627	39,56
34	5323	37,54
33	5033	35,62
32	4757	33,77
31	4496	32,02
30	4245	30,34
29	4007	28,73
28	3782	27,21
27	3567	25,75
26	3363	24,36
25	3169	23,05
24	2985	21,78
23	2811	20,55
22	2645	19,43
21	2488	18,35
20	2340	17,28
19	2198	16,30
18	2065	15,37
17	1938	14,47
16	1818	13,65
15	1706	12,85
14	1599	12,07
13	1498	11,35
12	1403	10,65
11	1313	10,01
10	1229	9,40
9	1148	8,82
8	1072	8,27
7	1002	7,76
6	935	7,28
5	872	6,83
4	814	6,40
3	758	5,99
2	706	5,59
1	657	5,21

temp. [°C]	Ps [Pa]	C <sub>max</sub> [g/m <sup>3</sup> ]
0	611	4,84
- 1	563	4,48
- 2	517	4,14
- 3	476	3,82
- 4	437	3,53
- 5	401	3,26
- 6	368	3,01
- 7	337	2,77
- 8	309	2,55
- 9	283	2,34
- 10	260	2,15
- 11	237	1,98
- 12	217	1,82
- 13	199	1,67
- 14	181	1,53
- 15	165	1,41
- 16	151	1,29
- 17	137	1,18
- 18	124	1,08
- 19	113	0,99
- 20	103	0,90

Thermohygrische waarden

materiaal	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	λ [W/mK]		c [J/kgK]	μ [-]
		droog	nat		
<b>metalen</b>					
aluminium	2800	204	204	880	∞
koper	9000	372	372	390	∞
lood	12250	35	35	130	∞
staal, ijzer	7800	52	52	530	∞
zink	7200	110	110	390	∞
<b>natuursteen</b>					
basalt, graniet	3000	3,5	3,5	840	∞
hardsteen, marmer	2700	2,5	3,0	840	∞
zandsteen	2600	1,6	1,8	840	-
<b>metselsteen</b>					
baksteen	1600 - 1900	0,6 - 0,7	0,9 - 1,2	840	9 - 13
betonsteen	1400 - 1600	0,6 - 0,75	-	840	7 - 8
	800 - 1200	0,4 - 0,5	-	840	5 - 6
kalkzandsteen	1900	0,9	1,4	840	12
	1000 - 1400	0,5 - 0,7	-	840	6 - 7
<b>beton</b>					
grindbeton	2300 - 2500	2,0	2,0	840	25 - 33
lichtbeton	1600 - 1900	0,7 - 0,9	1,2 - 1,4	840	8 - 14
	1000 - 1300	0,35 - 0,5	0,5 - 0,8	840	6 - 7
	300 - 700	0,12 - 0,23	-	840	4 - 5
bimbeton	1000 - 1400	0,35 - 0,5	0,5 - 0,95	840	6 - 11
	700 - 1000	0,23 - 0,35	-	840	5 - 6
isolatie beton	300 - 700	0,12 - 0,23	-	840	4 - 6
cellenbeton	1000 - 1300	0,35 - 0,5	0,7 - 1,2	840	6 - 9
	400 - 700	0,17 - 0,23	-	840	4 - 6
slakkenbeton	1600 - 1900	0,45 - 0,70	0,7 - 1,0	840	10 - 13
	1000 - 1300	0,23 - 0,30	0,35 - 0,5	840	6 - 8
<b>anorganisch</b>					
gipsplaat	800 - 1400	0,23 - 0,45	-	840	5 - 6
gipskarton	900	0,20	-	840	13
glas	2500	0,8	0,8	840	∞
*schuimglas	150	0,04	-	840	∞
*mineraalwol	35 - 200	0,04	-	840	1 - 2
tegels	2000	1,2	1,2	840	28
<b>pleisters</b>					
cement	1900	0,9	1,5	840	17
kalk	1600	0,7	0,8	840	11
gips	1300	0,5	0,8	840	6
<b>organisch</b>					
*kurk (geëxp.)	100 - 200	0,04 - 0,045	-	1760	5 - 30
linoleum	1200	0,17	-	1470	1800
rubber	1200 - 1500	0,17 - 0,3	-	1470	9000
vezelplaat	200 - 400	0,08 - 0,12	-	2100	3
viasschevenplaat	300 - 700	0,09 - 0,17	-	1880	8 - 20(?)
<b>hout</b>					
hardhout	800	0,17	0,23	1880	100 - 200(?)
naaldhout	550	0,14	0,17	1880	100(?)
multiplex	700	0,17	0,23	1880	10 - 20(?)
hardboard	1000	0,3	-	1680	(?)
zachtboard	300	0,08	-	2100	(?)
spaanplaat	500 - 1000	0,1 - 0,3	-	1880	3 - 10
houtspaan...plaat	350 - 700	0,1 - 0,2	-	1470	4 - 10

\* isolatiematerialen

Thermohygrische waarden

materiaal	ρ [kg/m³]	λ [W/mK]		c [J/kgK]	μ [-]
		droog	nat		
<b>kunststoffen</b>					
polyester (GVP)	1200	0,17	-	1470	9000
polyetheen,polypropreen	930	0,17	-	1470	9000
polymethylmetacrylaat	1200	0,17	-	1470	9000
polyvinylchloride	1400	0,17	-	1470	9000
<b>kunstfoamschuimen</b>					
*PS-schuim, geëxp.	10 - 40	0,035	-	1470	15 - 200
*idem, geëxtrudeerd	30 - 40	0,03	-	1470	250
*PUR-schuim (freon)	30 - 150	0,025 - 0,035	-	1470	60 - 80
*fenolharsschuim	25 - 200	0,035	-	1470	90 - 250
*PVC-schuim	20 - 50	0,035	-	1470	90 - 250
<b>spouwvulling</b>					
*spouwvullisolatie	20-100	0,05	-	1470	(?)
<b>bitumina</b>					
asfalt 10 mm	2100	0,7	-	840	3000
bitumen 0,3 mm koud	1050	0,2	-	1840	500
bitumen 0,3 mm warm	1050	0,2	-	1840	5000
<b>water</b>					
water	1000	0,58		4200	-
ijs	900	2,2		2300	-
sneeuw, vers	80 - 200	0,1 - 0,2		(?)	-
sneeuw, oud	200 - 800	0,5 - 1,8		2300	-
<b>lucht</b>					
lucht	1,2	0,023		1000	-
<b>aarde</b>					
bosgrond, humus	1450	0,8		1840	-
klei met zand	1780	0,9		840	-
vochtige zandgrond	1700	2,0		840	-
zand(droog)	1600	0,3		840	-
<b>vloerbedekking</b>					
estrich	2000	1,4 - 1,8		(?)	-
plavuizen	2000	1,5		(?)	-
parket	800	0,17 - 0,27		1880	-
nylon vilt tapijt	-	0,05		(?)	-
tapijt (met schuimrubber)	-	0,09		(?)	-
kurk	200	0,06 - 0,07		(?)	-
wol	400	0,07		1880	-

\* isolatiematerialen

Toelichting

- ρ : dichtheid [kg/m³]
- λ : warmtegeleidingscoëfficiënt [W/mK]
- c : soortelijke warmte [J/kgK]
- μ : diffusieweerstandsfactor [-]
- droog : condities voornamelijk bepaald door binnenklimaat
- nat : condities bepaald door vocht of buitenklimaat

Opmerking

1. waarden gelden bij in de bouw gebruikelijke temperaturen; bij hoge temperatuur neemt isolatiewaarde af.
2. interpoleren naar rho-waarde.
3. leveranciers beschikken vaak over goede onderzoeksrapporten.

Netto-verbrandingswaarden

Materiaal	Netto-verbrandingswaarde MJ/kg
Aluminium	29 <sup>1)</sup>
Asfaltbitumen	40
Board:- zacht	17
Board:- hard	19
Huisbrandolie	42
Hout:- vuren	19
Hout:- eiken	17
Houtwolcement	0,8-2
Kapok	17
Katoen	17
Kunststoffen:	
- fenolformaldehyde (PF)	28
- polyamide (nylon) (PA)	33
- onverzadigde polyester (UP)	31
- polyetheen (PE)	43
- polymethylmethacrylaat (PMMA)	39
- polystyreen (PS)	40
- polyvinylchloride (PVC)	17
- epoxyhars (EP)	31
- polypropreen (PP)	45
- polyurethaan (PU R)	28
Kurkplaten	20
Leerdoek	20
Linoleum	20
Papier (karton)	17
Petroleum	44
Rubber	38
Stro	15
Wol	21
Overige materialen	40

1) de netto verbrandingswaarde voor aluminium geldt niet voor profielen (bouwproducten), maar voor aluminiumpoeder (in opslag).