

Temperatuurverloop in een constructie

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: ir Peter Erdsieck; ir. Ruud van Herpen

1 Temperatuurverloop in een constructie

De warmteweerstand van een (uitwendige) scheidingsconstructie is opgebouwd uit de warmteweerstand van de afzonderlijke materiaallagen. Een eventuele luchtspouw wordt daarin feitelijk ook als materiaallaag beschouwd. Wanneer de warmteweerstand (R_c) van een constructie bekend is, is ook de totale warmteweerstand lucht-op-lucht (R_i ; rekening houdend met de overgangsweerstanden aan de binnenzijde en de buitenzijde van de constructie) bekend. Hieruit volgt automatisch de warmtedoorgangscoefficiënt ($U = 1/R_i$). Bij een gegeven temperatuurverschil over de constructie kan dan de warmtestroomdichtheid berekend worden:

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

Bij een vast temperatuurverschil over de constructie is de warmtestroomdichtheid door elke materiaallaag in de constructie even groot. Immers, als dat niet het geval zou zijn, zou er geen energiebalans zijn en zou de constructie van binnen opwarmen of afkoelen.

De warmtestroomdichtheid door een constructie kan ook geschreven worden als:

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

$$q = (T_{o,i} - T_{o,e}) / R_c \quad [W/m^2]$$

Hierin is:

$T_{o,i}$:	binnenoppervlaktetemperatuur
$T_{o,e}$	buitenoppervlaktetemperatuur
T_i	binnenluchttemperatuur
T_e	buitenluchttemperatuur

Zo kan dus ook de warmtestroomdichtheid (q) door materiaallaag m geschreven worden als:

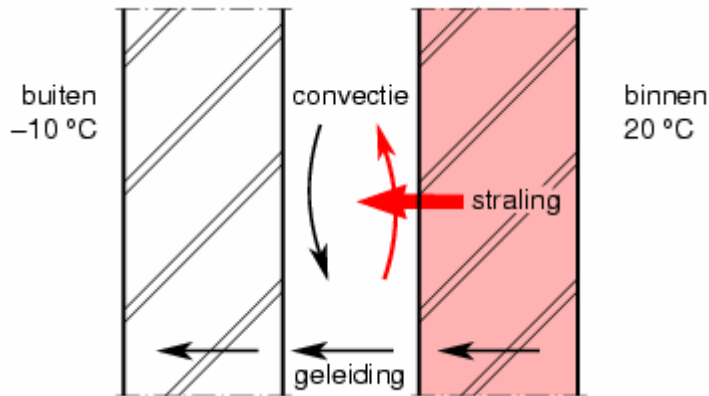
$$q = \Delta T_m / R_m \quad [W/m^2]$$

Hierin is:

ΔT_m	temperatuurverschil over de materiaallaag
R_m	warmteweerstand van de materiaallaag

De warmtestroomdichtheden zijn door elke materiaallaag even groot. De temperatuursprong over een materiaallaag is dus evenredig met de warmteweerstand van de betreffende materiaallaag. Daarmee ligt het temperatuurverloop in een constructie vast.

Voor de ongeïsoleerde spouwmuurconstructie van figuur 1 bedraagt de U-waarde 1,54 W/(m²K). Bij een binnenluchttemperatuur van 20 °C en een buitenluchttemperatuur van -10 °C is de warmtestroomdichtheid dan 46,2 W/m² (= 30 * 1,54). De warmtestroomdichtheid door het binnenspouwblad is uiteraard even groot. Dit resulteert in een temperatuurverschil over het binnenspouwblad van $\Delta T_m = q R_m = 46,2 * 0,15 = 6,9$ °C.

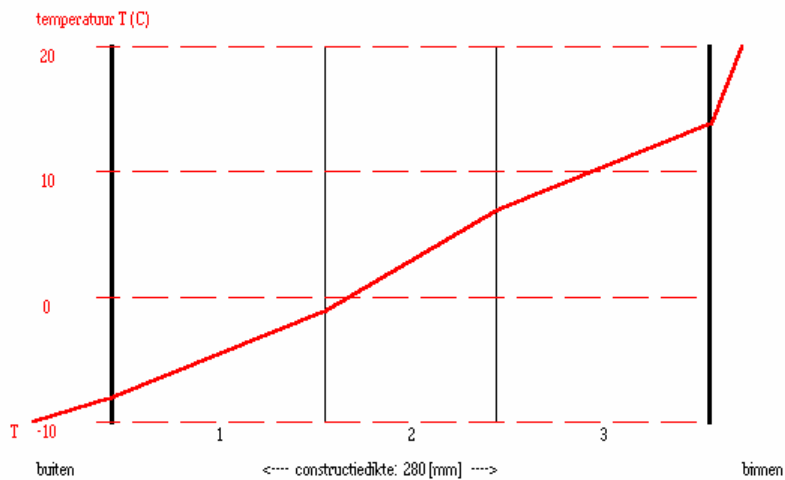


figuur 1. warmtestromen door een ongeïsoleerde spouwmuur; de warmtestroom is door elke constructielaag even groot

Voorbeeld 1

In de tabel is de berekening gegeven van het temperatuurverloop in de constructie van Figuur 1. Voor de warmteweerstand van de ongeïsoleerde spouw is 0,18 m²K/W aangehouden (niet of zwak geventileerde luchtlaag conform NEN 1068). De warmteweerstand van de totale constructie komt hiermee op 0,48 m²K/W. De binnenluchttemperatuur bedraagt 20 °C, de buitenluchttemperatuur is -10 °C.

materiaal	R_m [m ² K/W]	ΔT [K]	T [°C]
(binnenlucht)			20
binnenovergang	0,13	6,00	
binnenoppervlak			14,00
3. metselwerk	0,15	6,92	
Materiaalscheiding			7,08
2. ongeïsoleerde spouw	0,18	8,31	
materiaalscheiding			-1,23
1. metselwerk	0,15	6,92	
buitenoppervlak			-8,15
buitenovergang	0,04	1,85	
(buitenlucht)			-10
totaal	0,65	30,0	

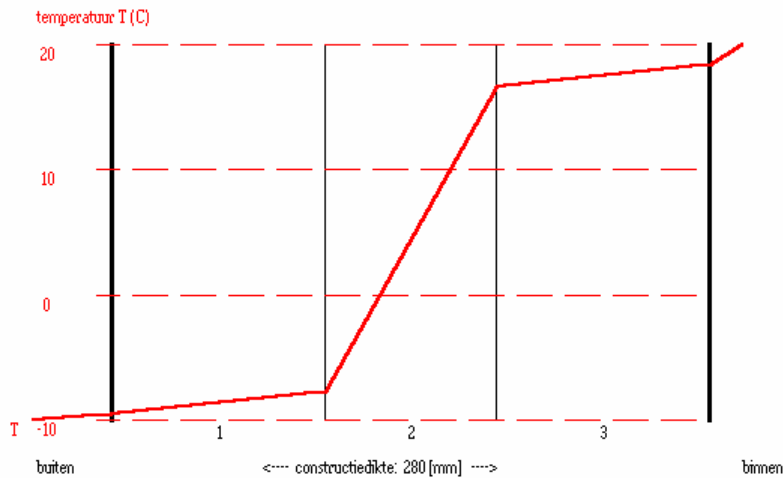


figuur 2. temperatuurverloop in de ongeïsoleerde spouwmuurconstructie van voorbeeld 1

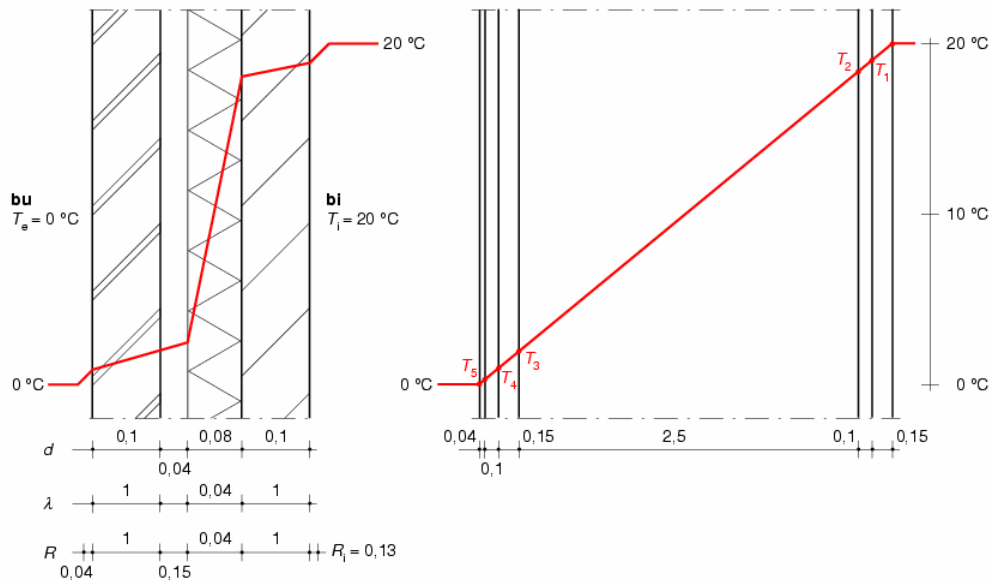
Voorbeeld 2

In de tabel is de berekening gegeven van het temperatuurverloop in de constructie van Figuur 1, waarbij in de spouw nu isolatie is aangebracht met een warmteweerstand van $2,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ (80 mm isolatie met $\lambda = 0,04 \text{ W/(m.K)}$). De warmteweerstand van de totale constructie komt hiermee op $2,30 \text{ m}^2\text{K/W}$. Een warmteweerstand voor de totale constructie van $R_c = 2,50 \text{ m}^2\text{K/W}$ wordt bij de gegeven spouwbreedte bereikt wanneer de warmtegeleidingscoëfficiënt van de isolatie $\lambda = 0,036 \text{ W/(m.K)}$ bedraagt.

materiaal	R_m [$\text{m}^2\text{K/W}$]	ΔT [K]	T [$^{\circ}\text{C}$]
(binnenlucht)			20
binnenovergang	0,13	1,58	
binnenoppervlak			18,42
3. metselwerk	0,15	1,82	
materiaalscheiding			16,60
2. geïsoleerde spouw	2,0	24,29	
materiaalscheiding			-7,69
1. metselwerk	0,15	1,82	
buitenoppervlak			-9,51
buitenovergang	0,04	0,49	
(buitenlucht)			-10
totaal	2,47	30,0	



figuur 3. temperatuurverloop in de geïsoleerde spouwmuurconstructie van voorbeeld 2



Spouwmuur, warmteweerstand en temperatuurverloop

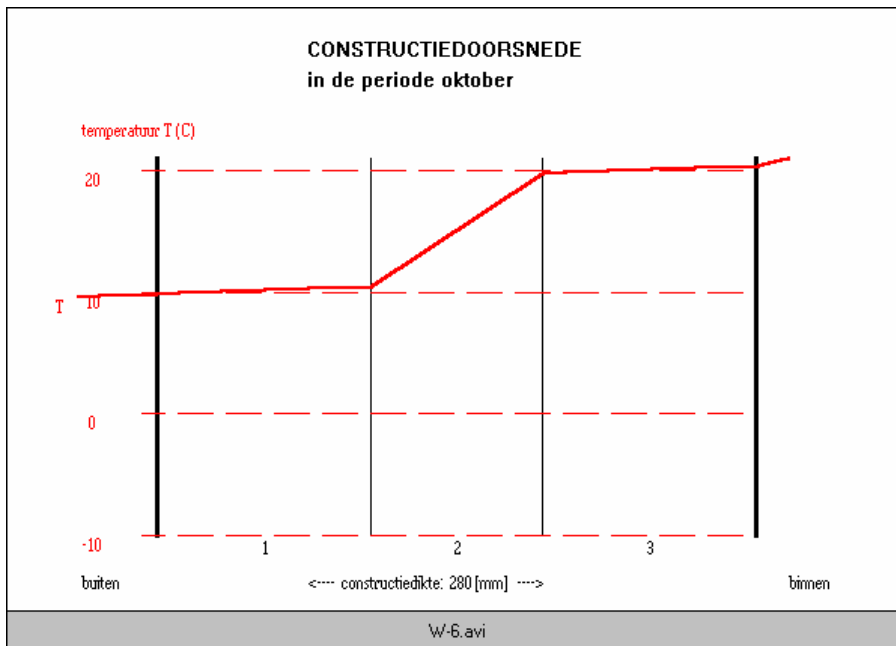
figuur 4. nog een voorbeeld van het temperatuurverloop door een geïsoleerde spouwmuurconstructie (luchtspouw niet geheel gevuld met isolatiemateriaal).
In de linker doorsnede is horizontaal de dikte van de constructie uitgezet, in de rechter doorsnede is dit de warmteweerstand. Het temperatuurverloop is evenredig met de warmteweerstand.

In de voorgaande voorbeelden is het temperatuurverloop weergegeven bij vaste randcondities over de constructie. Wanneer de randcondities (binnenlucht- en buitenluchttemperaturen) variëren, kan niet met een stationaire berekening worden volstaan, omdat dan de warmtecapaciteit van de materiaallagen een rol gaat spelen. Dit is het vermogen van de materiaallagen om warmte op te nemen of af te staan, als een tijdelijke warmtebuffer.

De warmtebuffering speelt vooral een rol bij relatief kortdurende fluctuaties. In een etmaalcyclus (dag-/nachtsituatie) is deze rol nog duidelijk merkbaar. De warmtebuffering heeft in dat geval invloed op de energiebalans. In een week- of maandcyclus speelt de

warmtebuffering vrijwel geen rol meer. Met week- respectievelijk maandgemiddelde binnen- en buitenluchttemperaturen mag dus stationair worden gerekend.

De constructie uit voorbeeld 2 is in de AVI-clip van figuur 5 doorgerekend met Nederlandse maandgemiddelde buitenluchtcondities. De gemiddelde binnenluchttemperatuur is constant verondersteld op 21 °C. In de constructiedoorsnede wordt in tijdstappen van een maand het temperatuurverloop weergegeven (rode lijn).



figuur 5. het temperatuurverloop door de spouwmuurconstructie bij maandgemiddelde Nederlandse klimaatcondities.

2 Praktijkwaarden warmtegeleidingscoëfficiënt van isolatiematerialen

Isolatiematerialen zijn opgebouwd uit losse of aaneengesloten cellen, waarin zich lucht of een ander gas bevindt. Doordat de cellen niet of slechts beperkt zijn verbonden, staat de lucht in de cellen stil. Hierdoor wordt de warmtegeleidingscoëfficiënt van stilstaande lucht benaderd. De warmtegeleidingscoëfficiënt van (stilstaande) lucht bedraagt $\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$. Voor de meest gangbare traditionele isolatiematerialen ligt de warmtegeleidingcoëfficiënt tussen 0,035 en 0,055 $\text{W}/(\text{m.K})$.

Als uitgangspunt voor de berekening van de warmteweerstand kan niet de in het laboratorium bepaalde λ -waarde worden gebruikt. Deze waarde (λ_D) is gemeten in droge toestand van het materiaal, zonder rekening te houden met de veroudering ervan. In de praktijk zijn de λ -waarden minder goed dan deze λ_D . Ook de uitvoering speelt hierin nog een rol. Er kunnen naden tussen de isolatieplaten aanwezig zijn. Bij een omgekeerde dakconstructie kunnen de isolatieplaten op de dakbedekking zelfs in een waterfilm van hemelwater liggen.

Om met de vocht- en verouderingsinvloeden rekening te houden, wordt een rekenwaarde (λ) gebruikt. Hiervoor moet de λ_D worden vermenigvuldigd met een factor die afhankelijk is van het type materiaal.