

Warmteweerstand en warmtedoorgangscoefficiënt van een constructie

Kenniskbank Bouwfysica

Auteur: ir. Peter Erdsieck

1 Berekenen van de warmteweerstand van een constructie

In deze module wordt uitgelegd hoe de warmteweerstand van een constructie zonder spouw en van een constructie met spouw moet worden berekend. De warmteoverdracht tussen twee punten van ongelijke temperatuur kan tot stand komen door:

- geleiding (transport door een materiaal zoals hout, steen en isolatiemateriaal);
- convectie (transport als gevolg van stroming van water of lucht);
- straling (transport door elektromagnetische straling tussen twee oppervlakken).

1.1 Warmteweerstand van een constructie zonder spouw

Bij warmtetransport door een constructie zonder spouw is alleen sprake van geleiding. Het uitrekenen van de warmteweerstand is hierdoor relatief eenvoudig. De eenheid van warmteweerstand is $\text{m}^2\text{K/W}$. De vergelijking voor de warmteweerstand is:

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

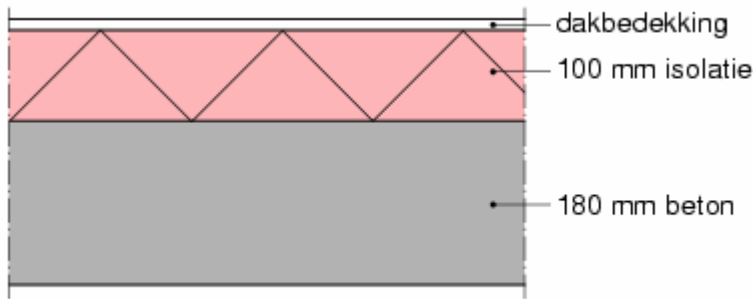
Hierbij is:

R_m	warmteweerstand van een materiaallaag
d	dikte van de materiaallaag
λ	warmtegeleidingcoëfficiënt van het materiaal

Zoals kan worden afgeleid uit de vergelijking, neemt de R-waarde evenredig toe met de dikte van de materiaallaag (d). Bij gelijkblijvende dikte neemt de R-waarde toe als een materiaal met een kleinere warmtegeleidingscoëfficiënt ($\lambda = \text{lambda}$) wordt toegepast. Een muurtje van betonsteen met een dikte van 0,1 m en een warmtegeleidingscoëfficiënt van 1,3 W/mK heeft een warmteweerstand van $0,1 / 1,3 = 0,08 \text{ m}^2\text{K/W}$. Bij een verdubbeling van de dikte tot 0,2 m stijgt de warmteweerstand naar 0,15 ($0,2 / 1,3$). Als bij een dikte van 0,1 m baksteen als materiaal wordt toegepast ($\lambda = 0,65 \text{ W/mK}$), dan wordt de warmteweerstand eveneens 0,15 ($0,1 / 0,65$). Wanneer een constructie is opgebouwd uit slechts een laag, is de warmteweerstand van de volledige constructie (R_c) gelijk aan de R-waarde van deze ene laag. De warmteweerstand van een constructie opgebouwd uit diverse lagen wordt bepaald door de warmteweerstand van de verschillende materiaallagen. Analoog aan de elektriciteitsleer is de warmteweerstand van alle lagen samen, gelijk aan de som van de warmteweerstand van de afzonderlijke lagen. De warmteweerstand R_c van de volledige constructie is dan gelijk aan $R_{m1} + R_{m2} + \dots + R_{mx}$.

Voorbeeld 1

In de tabel is de berekening gegeven van de warmteweerstand van de constructie (R_c) uit figuur 1. Door de toepassing van isolatiemateriaal met een dikte van 100 mm en een λ van 0,04 W/mK komt de warmteweerstand van de totale constructie uit op 2,61 $\text{m}^2\text{K/W}$.

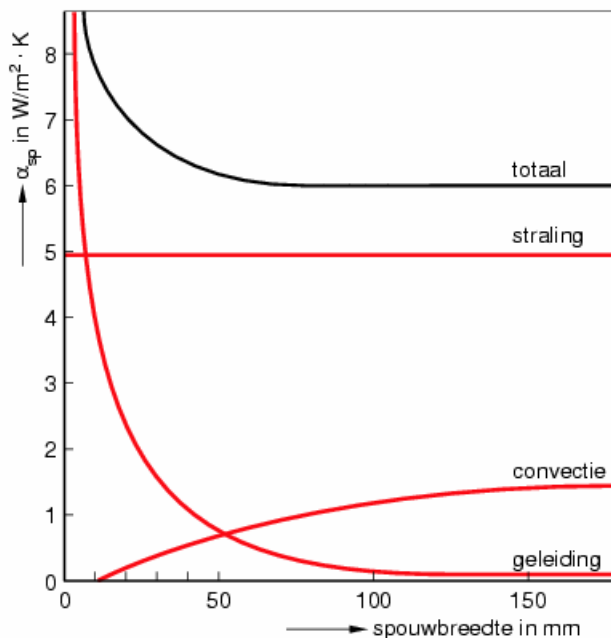


figuur 1. verticale doorsnede van een geïsoleerd betondak

materiaal	(d) [m]	λ [W/mK]	$R_m = d / \lambda$ [m^2K/W]
betondak	0,18	2,0	0,09
isolatiemateriaal	0,10	0,04	2,50
dakbedekking	0,008	0,9	0,01
totaal, R_c			2,60

1.2 Warmteweerstand van een constructie met spouw

De berekening van de warmteweerstand wordt wat uitgebreid als zich tussen een van de lagen van een constructie een spouw bevindt. In een spouw is sprake van drie vormen van warmteoverdracht. Het gaat hierbij om overdracht via geleiding, convectie en straling. In figuur 2 is de bijdrage per overdrachtsvorm uitgezet tegen de breedte van de spouw.



figuur 2. warmteoverdracht in een verticale spouw bij verschillende breedten van de spouw

Uit de figuur blijkt dat de warmteoverdracht door geleiding in een spouw gering is, bij een spouwbreedte van 50 mm of meer; de reden hiervoor is, dat de warmtegeleidingcoëfficiënt van lucht klein is ($\lambda =$ circa 0,025 W/mK).

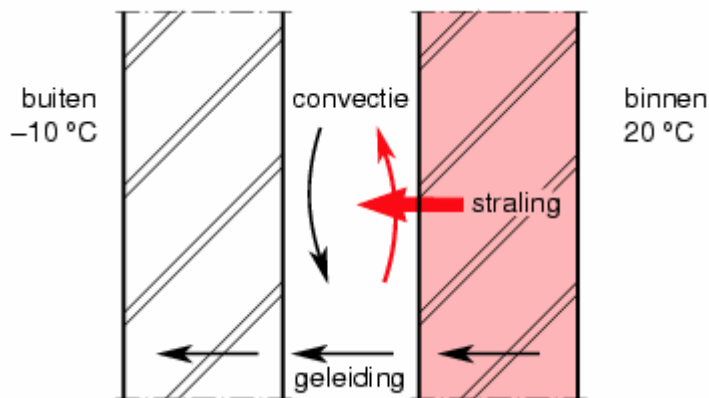
De warmtegeleidingscoëfficiënt door convectie is afhankelijk van de luchtbewegingen in de spouw die ontstaan door temperatuurverschillen. Hoe breder de spouw is, hoe groter over het algemeen de luchtbewegingen en hoe groter daardoor de warmteoverdracht tussen de beide spouwbladen.

De warmteoverdracht door straling in een spouw is afhankelijk van de oppervlakte-eigenschappen van de beide spouwbladen. De warmteoverdracht is onafhankelijk van de spouwbreedte. Door het aanbrengen van folie met een lage afgifte van stralingswarmte (lage emissiefactor), zoals aluminiumfolie, kan de warmteoverdracht door straling worden verkleind. In de praktijk is het effect van aluminiumfolie in een spouw vaak kleiner dan verondersteld. Dit komt onder andere doordat de folie aangetast wordt (bij voorbeeld door inwerking van cementwater) of op den duur vervuild (bij voorbeeld door stof).

Uit figuur 2 blijkt dat de warmteoverdracht door een verticale luchtspouw van 20 mm of meer 6 tot 7 W/m²K bedraagt. Zoals in paragraaf 2 nader wordt toegelicht, is de warmteweerstand omgekeerd evenredig aan de warmteoverdracht. De warmteweerstand van de spouw (R_{spouw}) komt hiermee op circa 1/6 (0,17) à 1/7 (0,14) m²K/W.

Voorbeeld 2

In de tabel is de berekening gegeven van de warmteweerstand van de constructie (R_c) uit figuur 3. Voor de warmteweerstand van de spouw is een vaste waarde van 0,17 m²K/W aangehouden. De warmteweerstand van de totale constructie komt hiermee op 0,47 m²K/W. Dit ligt aanzienlijk onder de vereiste waarde voor nieuwbouw van 2,5 m²K/W.



figuur 3. verticale doorsnede van een ongeïsoleerde spouwmuur

materiaal	(d) [m]	λ [W/mK]	$R_m = d / \lambda$ [m ² K/W]
metselwerk	0,1	0,65	0,15
spouw	0,05		0,17
metselwerk	0,1	0,65	0,15
totaal, R_c			0,47

Door de spouw te vullen met isolatiemateriaal, wordt warmteoverdracht tussen de spouwbladen door straling en door convectie onmogelijk gemaakt. De warmteoverdracht heeft nu alleen plaats via geleiding door het isolatiemateriaal. Als de breedte van de spouw 80 mm bedraagt en deze helemaal gevuld wordt met isolatiemateriaal met een λ van 0,04 W/mK, dan stijgt de warmteweerstand van de constructie naar 1,55 m²K/W.

materiaal	(d) [m]	λ [W/mK]	$R_m = d / \lambda$ [m ² K/W]
metselwerk	0,1	0,65	0,15
isolatie in spouw	0,09	0,04	2,25
metselwerk	0,1	0,65	0,15
totaal, R_c			2,55

1.3 Berekenen praktijkwaarden warmteweerstand

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 λ van stilstaande lucht benaderd. De λ van (stilstaande) lucht = 0,025 W/mK. Voor de meeste gangbare traditionele materialen ligt de warmtegeleidingscoëfficiënt tussen 0,035 en 0,050 W/mk. Als uitgangspunt voor de berekening van de warmteweerstand kan niet de λ afkomstig van laboratoriummetingen worden gebruikt. Deze waarde is gemeten bij droge toestand van het materiaal (λ_{dr}). In de praktijk zijn de λ -waarden minder goed dan deze λ_{dr} . Dit wordt veroorzaakt door naden, vocht, koudebruggen, bouwfouten en dergelijke. Om de invloed hiervan mee te nemen, moet voor berekeningen van de warmteweerstand een rekenwaarde (λ) worden gebruikt. Hiervoor moet de λ_{dr} worden vermenigvuldigd met een factor die afhankelijk is van het type materiaal. Deze factoren worden gegeven in NEN 1068.

2 Berekenen van de warmtedoorgang door een constructie

In het Bouwbesluit worden eisen gesteld aan de R_c -waarden van de dichte delen van de gebouwschil. De hoeveelheid warmte die door een constructie heen gaat, is omgekeerd evenredig aan de warmteweerstand. Hoe groter de warmteweerstand, hoe kleiner de warmtestroom dus. Er blijkt wat dit betreft een grote overeenkomst met de elektriciteitsleer. Ook bij de elektriciteitsleer geldt dat bij een grotere weerstand de "stroom" kleiner wordt.

We kijken nu eerst naar de warmtedoorgang bij een temperatuurverschil van 1 K. De warmtedoorgang wordt uitgedrukt in de warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde). De eenheid van de warmtedoorgangscoefficiënt is W/(m²K). Zoals gezegd wordt de U-waarde bepaald door de warmteweerstand. De totale warmteweerstand is echter niet gelijk aan de warmteweerstand van de constructie (R_c) alleen. Voor de totale warmteweerstand moet de R_c worden vermeerderd met de zogenaamde overgangsweerstanden. De overgangsweerstanden worden gevormd door de warmteoverdracht van de binnenlucht naar het binnenoppervlak en van het buitenoppervlak naar de buitenlucht. Deze overgang van lucht op materiaal en van materiaal weer op lucht levert een zekere warmteweerstand op; dit wordt de overgangsweerstand genoemd. De overgangsweerstanden worden bepaald door de warmteoverdracht ten gevolge van straling en convectie. De convectie is o.a. afhankelijk van de luchtsnelheid langs het oppervlak. Buiten zal er door de wind een grotere warmteoverdracht door convectie plaatshebben dan binnen. De overgangsweerstand aan de buitenzijde is daardoor kleiner dan de overgangsweerstand aan de binnenzijde.

Omdat de luchtsnelheid niet constant is, wordt gewerkt met genormaliseerde waarden. Voor de overgangsweerstand buiten (R_e) wordt een waarde van 0,04 m²K/W aangehouden. Voor de overgangsweerstand binnen (R_i) wordt een waarde van 0,13 m²K/W aangehouden. Voor vloeren die niet aan de buitenlucht grenzen gelden andere waarden. Hierbij kunnen twee situaties worden onderscheiden:

1. warmtestroom naar boven: $R_i = 0,10$;
2. warmtestroom naar beneden: $R_i = 0,17$.

De R_c -waarde, vermeerderd met de overgangsweerstanden wordt de 'warmteweerstand lucht op lucht' (R_l) genoemd: $R_l = R_e + R_c + R_i$. De warmtedoorgangscoefficiënt of U-waarde, uitgedrukt in $W/(m^2K)$, is de reciproke van deze warmteweerstand lucht op lucht. De U-waarde geeft aan hoe groot de warmtestroom is door een constructie bij een temperatuurverschil van 1 K en per m^2 oppervlak.

Voor de geïsoleerde spouwmuur uit voorbeeld 2, met een R_c van $2,55 m^2K/W$, bedraagt de U-waarde:

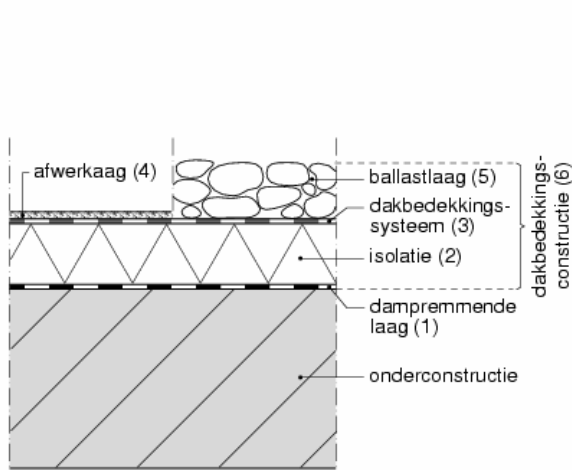
$$U = 1 / (0,04 + 2,55 + 0,13) = 1 / 2,72 = 0,37 W/(m^2K).$$

In de volgende tabel is voor verschillende isolatiedikte R_c , R_l en U-waarde gegeven. Uit de tabel blijkt dat het effect van extra isolatiedikte afneemt naarmate een constructie beter geïsoleerd is.

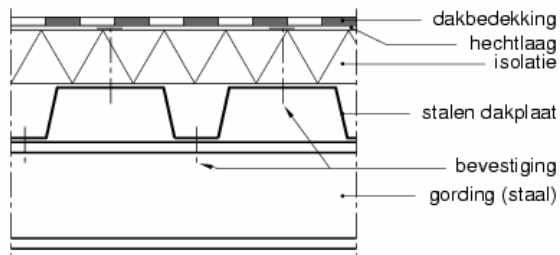
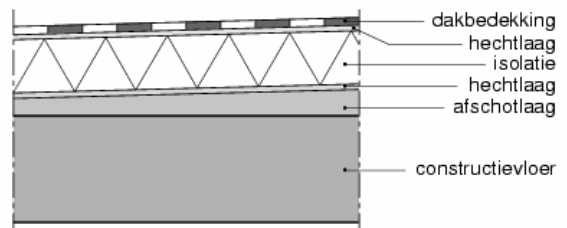
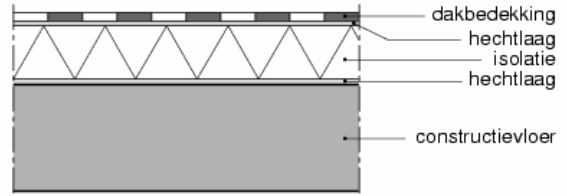
(spouw)muur met isolatie	warmteweerstand (R_c in m^2K/W)	warmteweerstand lucht op lucht (R_l in m^2K/W)	warmtedoorgangscoefficient (U in $W/(m^2K)$)	afname warmtedoorgangscoefficient (ΔU in $W/(m^2K)$)
50 mm isolatie	1,3	1,47	0,70	-
100 mm isolatie	2,6	2,77	0,36	0,34
150 mm isolatie	3,9	4,07	0,25	0,11
200 mm isolatie	5,1	5,27	0,19	0,06

EXTRA FIGUREN:

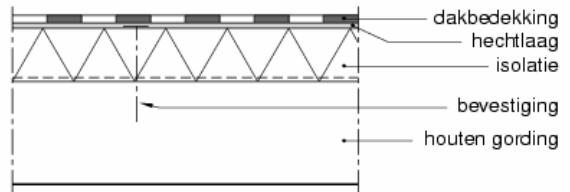
Ad figuur 1:



1 steenachtige plattendakconstructie



2 plattendakconstructie met stalen damwandprofiel



3 houten plattendakconstructie

Enkele constructies voor platte daken