

2. Waar te beginnen met isoleren en hoe zwaar

Energie besparen begint met verminderen van de vraag. Voor een gebouw/woning betekent dat isoleren en als het koud is, niet meer ventileren dan nodig is en zo mogelijk warmteterugwinning uit de ventilatielucht toepassen.

Bij nieuwbouw zijn er minimale eisen voor de isolatiewaarde, maar het is altijd interessant om verder te gaan en een optimale isolatiewaarde te vinden waarbij er evenwicht is tussen investeringskosten en de energiekosten in de gebruiksfase.

Ook bij bestaande bouw kun je proberen het optimum te vinden, maar meestal bepaalt de aanwezige situatie al wat mogelijk is. Verder is het niet zinvol om heel kleine oppervlakken ook erg zwaar te willen isoleren als dat problemen met zich meebrengt. Immers een klein vlak geeft sowieso weinig warmteverlies betrokken op het gebouw als geheel. Je kunt prioriteiten stellen.

Een en ander wordt hieronder met behulp van een voorbeeld toegelicht.

Berekening van H_T - warmteverliescoëfficiënt voor transmissie

De algemene eenheid waarin een hoeveelheid energie wordt uitgedrukt is de joule [J].

Het warmteverlies door een constructie wordt uitgedrukt in joule per seconde per m² constructie.

De grootte J/s heeft als eigen naam watt [W] gekregen.

De grootte voor warmteverlies door een m² constructie wordt daarmee W/m².

Hoe groter het temperatuurverschil over een constructie hoe groter het warmtetransport. Daarnaast hebben de eigenschappen van de constructie daarop natuurlijk een grote invloed.

De kwaliteit t.a.v. warmtetransport voor een constructie wordt beschreven door de U-waarde, de “warmtedoorgangscoefficiënt” uitgedrukt in W/m².K ofwel warmtestroom (energie) per seconde door een m² constructie bij een temperatuurverschil tussen binnen en buiten van 1 K (1 °C).

Bij natuurkundige verbanden wordt de absolute temperatuur gebruikt uitgedrukt in kelvin [K].

De graden op die schaal zijn even groot als op de schaal van Celcius, alleen begint deze schaal bij het absolute nulpunt (-273 °C). Als het om een temperatuurverschil gaat is heeft dit dezelfde waarde, of het nu uitgedrukt wordt in K of in °C.

De U-waarde wordt berekend uit de warmteweerstand van de constructie inclusief de overgangsweerstanden die beschrijven hoe de warmte vanuit het vertrek op de constructie wordt overgedragen en daarna weer vanaf de constructie aan de buitenomgeving. Voor de overgangsweerstanden wordt voor de meeste gevallen een getalswaarde van 0,17 m².K/W aangehouden. In formulevorm volgt daarom voor de U-waarde: $U = 1 / (R_c + 0,17)$ [W/m².K].

Voor wie meer hierover wil weten, zie de bijlage “Thermische isolatie van buitenwanden en daken”.

Voor vloeren die niet aan de buitenlucht grenzen, maar boven een kruipruimte of kelder liggen of die rechtstreeks op de bodem liggen gelden meer complexe afleidingen om het warmteverlies en een equivalente U-waarde te bepalen.

Voor een vloer boven kruipruimte op zich geldt $U_{\text{vloer}} = 1 / (R_c + 0,34)$ [W/m².K]. Bij een vloer direct op zand is dat $U_{\text{vloer}} = 1 / (R_c + 0,21)$ [W/m².K]. Maar het warmtetransport via de kruipruimte en de omringende grond maakt het ingewikkeld.

Bij de ontmoeting van constructiedelen (vloer/gevel, gevel/dak, dichte geveldelen/ramen) treden vaak extra warmteverliezen op (koudebruggen). De normen (zoals NTA8800) geven berekeningsmethodes voor deze “lineaire warmteverliezen”. In het kader van deze notitie worden deze extra warmteverliezen verwaarloosd. Koudebruggen komen wel aan de orde i.v.m. schimmelvorming e.d.

Het kengetal voor het totale warmteverlies door transmissie vanuit een gebouw (H_T) kan op de volgende manier worden beschreven:

$$H_T = A_{\text{gevel}} \cdot U_{\text{gevel}} + A_{\text{dak}} \cdot U_{\text{dak}} + 0,5 \cdot A_{\text{vloer}} \cdot U_{\text{vloer}}^* \quad [\text{W/K}]$$

De U-waarde geeft het warmteverlies per m^2 . Deze wordt hier vermenigvuldigd met de oppervlakte (m^2) van het betreffende deel van de gebouwmhulling. Alle onderdelen kunnen overigens nog uit meerdere delen bestaand met elk een eigen oppervlakte. Denk hierbij aan de gevel waar sowieso een onderscheid tussen dichte delen en ramen (met kozijnen) nodig is.

* Het warmteverlies door een begane grondvloer is een ingewikkelde zaak zoals hiervoor beschreven. Om toch makkelijk te kunnen rekenen wordt een factor 0,5 toegevoegd die dit min of meer in rekening brengt.

Met een voorbeeld wordt een en ander nu toegelicht.

Beschouw een eengezinswoning (rijtjeshuis) met plat dak.						
(foto alleen voor de beeldvorming)						
bestaande situatie 1965						
Voorgevel noord, achtergevel (tuin) zuid.						
Verwaarloos warmte uitwisseling met buren.						
Voorgevel/achtergevel van binnenuit gezien elk 22 m^2						
						
		f	R_c	U	A	f.A.U
		factor	($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)	($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	(m^2)	(W/K)
Voorgevel:	ramen dubbelglas	1		3,00	6	18,0
	voordeur enkelglas	1		4,00	2	8,0
	dichte gedeelte	1	0,38	1,82	14	25,5
Achtergevel:	ramen	1		3,00	8	24,0
	achterdeur	1		4,00	2	8,0
	dichte gedeelte	1	0,38	1,82	12	21,8
dak:		1	1,6	0,56	45	25,4
b.g. vloer:						
	boven kruipruimte	0,5	0,35	1,69	45	38,1
						$H_T = 168,8$

In deze situatie kan op alle fronten een grote verbetering worden bereikt.

De woning is in de jaren 1980-1990 voorzien van spouwmuur na-isolatie en van een van de eerste versies beter isolerend glas. Ook is in de deuren dubbelglas geplaatst.

Beschouw een eengezinswoning (rijtjeshuis) met plat dak. (foto alleen voor de beeldvorming)							
1985 na-isolatie spouwmuur, vloerisolatie en beter glas							
Vorgevel noord, achtergevel (tuin) zuid.							
Verwaarloos warmte uitwisseling met buren.							
Vorgevel/achtergevel van binnenuit gezien elk 22 m ²							
		f	R _c	U	A	f.A.U	
		factor	(m ² .K/W)	(W/m ² .K)	(m ²)	(W/K)	
Vorgevel:	ramen HR ⁺	1		1,80	6	10,8	
	voordeur	1		2,00	2	4,0	
	spouwmuur na-isol.	1	1,45	0,69	14	9,7	
Achtergevel:	ramen HR ⁺	1		1,80	8	14,4	
	achterdeur	1		2,00	2	4,0	
	dichte gedeelte	1	1,45	0,69	12	8,3	
dak:		1	6	0,16	45	7,3	
b.g. vloer:							
	boven kruipruimte	0,5	3,5	0,27	45	6,1	
					H _T =	64,5	



Ten opzichte van de oorspronkelijk situatie is er een enorme verbetering gerealiseerd.
Het warmteverlies door transmissie is tot 40% van de oorspronkelijk waarde terug gebracht.

Daarnaast kan eventueel aan de binnenzijde van de dichte geveldelen nog isolatie worden aangebracht. Bijvoorbeeld 50 mm pir (kunststofschuim, met een gipskartonplaat).

4

Inmiddels is er vacuümglas verkrijgbaar met een U=waarde van $0,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Vrij prijzig, maar het helpt wel.

Beschouw een eengezinswoning (rijtjeshuis).

(foto alleen voor de beeldvorming)

2020 buitenspouwblad weg, buitenisolatie en vacuümglas.

Voorgevel noord, achtergevel (tuin) zuid.

Verwaarloos warmte uitwisseling met burens.

Voorgevel/achtergevel van binnenuit gezien elk 22 m^2



		f	R_c	U	A	f.A.U
		factor	($\text{m}^2\cdot\text{K/W}$)	($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)	(m^2)	(W/K)
Voorgevel:	ramen vacuümglas	1		0,70	6	4,2
	voor deur	1		1,00	2	2,0
	dichte gedeelte	1	6	0,16	14	2,3
Achtergevel:	ramen	1		0,70	8	5,6
	achter deur	1		1,55	2	3,1
	dichte gedeelte	1	6	0,16	12	1,9
dak:		1	6	0,16	45	7,3
b.g. vloer:	boven kruipruimte	0,5	6	0,16	45	3,6
					$H_T =$	30,0

Dit betreft een goed geïsoleerd huis. Duidelijk is dat de ramen, die hier niet eens zoveel m^2 's in beslag nemen en waarbij de beste kwaliteit glas is toegepast het grootste aandeel blijven vormen in het warmteverlies. Het verder isoleren van de dichte delen (buitenisolatie) levert t.o.v. het totale warmteverlies niet heel veel extra op ($3,4 \text{ W/K}$ t.o.v. de situatie met spouwmuurvulling en binnenisolatie). Uiteraard wordt dit wel meegenomen als het huis als geheel van een nieuwe omhulling wordt voorzien, "nul op de meter renovatie".

Op de bladzijde hierna is een overzicht van de vier varianten opgenomen waarin het aandeel van de verschillende onderdelen van de gebouw in het warmteverlies door transmissie duidelijk is te zien.

Overzicht varianten

Beschouw een eengezinswoning (rijtjeshuis).						
(foto alleen voor de beeldvorming)						
Varianten						
1 bestaande situatie 1965						
2 1985 na-isolatie spouwmuur, vloerisolatie en beter glas						
3 2020 spouwvulling, binnenisolate (50 mm) en vacuumglas.						
4 2020 buitenspouwblad weg, buitenisolate en vacuumglas.						
Waarden voor f.A.U en H_T [W/K]			A	1	2	3
			(m ²)	f.A.U	f.A.U	f.A.U
						4
Voorgevel:	ramen		6	18	11	8
	voordeur		2	8	4	2
	dichte gedeelte		14	25	10	4
Achtergevel:	ramen		8	24	14	11
	achterdeur		2	8	4	3
	dichte gedeelte		12	22	8	4
dak:			45	25	7	7
b.g. vloer: boven kruipruimte			45	38	6	6
						4
$H_T =$				169	64	46
						30
kopgevel				73	28	12
						7
$H_T =$				242	92	57
						37



Kopgevels eindwoningen

Het hiervoor getoonde overzicht is ook de kopgevel van de eindwoning meegenomen. Wat betreft het isoleren van een eindwoning geldt natuurlijk een heel ander verhaal t.a.v. de kopgevel. Deze heeft in het besproken voorbeeld een oppervlakte van minstens 40 m². Het warmteverlies hiervan is zodanig dat daar altijd moet worden geprobeerd zo goed mogelijk te isoleren, als het niet aan de buitenkant kan, dan maar binnen.

Vooroorlogse woningen - steensmuren

Wat hiervoor is bekeken t.a.v. het isoleren van gevels geldt uiteraard ook voor vooroorlogse woningen met steensmuren. Isoleren is hier extra belangrijk omdat steensmuren door de zeer beperkte warmteweerstand ook zeer koude binnenoppervlakken hebben, waardoor er een extreme kans op schimmelvorming bestaat en bij erg weinig ventilatie zelfs kans op oppervlaktecondensatie. Zie voor het verhelpen, of beter nog voorkomen van condensatie en schimmelvorming de afzonderlijke notitie.

De eigenschappen van een spouwmuur, vergeleken met die van een enkelsteensmuur komen ongeveer op het volgende neer:

Type muur	Oorspronkelijke situatie		met na-isolatie*	
	R_c in $m^2.K/W$	U in $W/m^2.K$	R_c in $m^2.K/W$	U in $W/m^2.K$
Enkelsteensmuur	0,200	2,70	2,1	0,45
Spouwmuur	0,375	1,85	1,8	0,50

* binnenisolatie 50 mm pir c.q. navulling 50 mm spouw (globale, redelijk positieve waarden).

En uiteraard kunnen in beide gevallen betere isolatiewaarden bereikt worden met extra binnen- of buitenisolatie. Bij oudere woningen zal men vaak om het stadsgezicht niet aan te tasten terug deinzen voor buitenisolatie, hoewel dat bouwfysisch verre is te prefereren boven binnenisolatie. Zie hiervoor de afzonderlijke notitie.

Koudebruggen, schimmelvorming en oppervlaktecondensatie

Enerzijds leiden koudebruggen tot extra warmteverlies en moeten daarom zoveel mogelijk worden voorkomen, c.q. verholpen. Nog veel belangrijker echter zijn de lage oppervlaktetemperaturen die aan de binnenzijde kunnen ontstaan als het buiten koud is. Lagere temperaturen leiden tot een hogere relatieve luchtvochtigheid en zogenaamde wateractiviteit. Bij de relatieve vochtigheid gaat het om de lucht in de buurt van bijvoorbeeld de buitenmuur, de wateractiviteit is net zoets, maar dan in de eerste laag van de buitenmuur. Als die wateractiviteit hoger wordt neemt de kans op houtrot bij in de muur opgelegde balken toe én de kans op schimmelvorming aan het oppervlak en in de constructie. Als de oppervlaktetemperatuur van de constructie nog lager wordt, kan ook oppervlaktecondensatie ontstaan met als gevolg vervuiling en ander ongemak (natte plekken).

Zie hiervoor de afzonderlijke notitie "Isolatie, ventilatie, condensatie en schimmelvorming".

Delft, 27 december 2019 / 1 april 2020

Kees (ir. A.C.) van der Linden

Deze notitie is er één van een serie

1. Energiebesparing en binnenklimaat - alles hangt met elkaar samen
2. Waar te beginnen met isoleren en hoe zwaar ...
3. Isolatie, ventilatie, condensatie en schimmelvorming
4. Binnenisolatie van buitenmuren

Warmtetransmissie en energiegebruik

Een veel gebruikte grootheid voor de thermische kwaliteit van een bouwconstructie is de U-waarde.

Deze waarde geeft aan hoe groot het warmteverlies is per m² muur en per graad

temperatuurverschil tussen binnen en buiten. De eenheid is W/m².°C.

Officieel moet er in plaats van "°C" eigenlijk de SI-eenheid "K" (kelvin) staan. Maar dat maakt hier niet uit. Niettemin hanteren we hierna de officiële grootheid W/m².K.

Het enige verschil tussen °C en K is dat het nulpunt van de schaal anders ligt.

De stapjes op de schaal zijn even groot. Er geldt 0 °C = 273 K. Het nulpunt van de Kelvin schaal (0 K of -273 °C) noemt men ook wel het "absolute nulpunt".

Om een idee te krijgen, staan hieronder de U-waarden van enkele constructies.

Daarachter staat ook hoeveel W/m² er door de gevel aan warmte verloren gaat bij 30 °C

temperatuurverschil (binnen 20 °C en buiten -10 °C). Dit zijn de omstandigheden waarbij de benodigde maximale capaciteit van de verwarming wordt berekend.

Ook is aangegeven hoeveel m³ aardgas er jaarlijks nodig is om het energieverlies te compenseren.

constructie	R _c *	U *	bij ΔT=30°C	bij ΔT=13°C **
	m ² .K/W	W/m ² .K	W/m ²	m ³ _{aeq} /m ² per jaar
enkel glas		5,7	171	42,8
dubbel glas		3,0	90	22,5
HR ⁺⁺ glas (U = 1,0 - 1,2)		1,1	33	8,3
Drievoudig HR ⁺⁺ glas (U = 0,5 - 0,9)		0,7	21	5,3
ongeïsoleerde muur 50 mm spouw	0,39	1,78	53,5	13,4
na-geïsoleerde spouwmuur	1,50	0,60	17,9	4,5
geïsoleerde spouwmuur nwbouw	1,82	0,50	15,1	3,8
muur geïsoleerd huidige eisen	5,00	0,19	5,8	1,5
muur op "passief huis" niveau ***	8,00	0,12	3,7	0,9
* R _c is de warmteweerstand van de constructie zelf				
Bij de U-waarde worden ook de overgangsweerstanden betrokken: U = 1 / (R _c + 0,17)				
** Gemiddeld temperatuurverschil tussen binnen en buiten in het stookseizoen ca. 13°C				
Het jaarlijks energiegebruik (stookseizoen 214 dagen van 24 uur en 3600 s) wordt gevonden uit:				
U x temperatuurverschil x tijd / warmteopbrengst gas per m ³ [netto opbrengst gas ca. 31,7 MJ/m ³]				
zodat G = 214.24.3600.13.U/31,7 = ca. 7,5.U m ³ _{aeq} /m ²				
*** waarden tot 10 m ² .K/W en hoger komen voor				

Benodigde isolatiedikte

Het bepalen van de isolatiewaarde van een constructie begint met het berekenen van de warmteweerstand van de afzonderlijke lagen van de constructie. Daarvoor zijn naast de dikte van de laag met name de eigenschappen van het materiaal van belang. Hoe goed een materiaal de warmte geleidt, wordt aangegeven met de "warmtegeleidingscoëfficiënt" (λ). Deze wordt uitgedrukt in W/m.K: hoeveel watt (joule per seconde) er door een laag materiaal van 1 meter dikte gaat bij 1 °C temperatuurverschil tussen beide oppervlakken.

De warmteweerstand van een laag geeft juist aan hoe veel weerstand het warmtetransport door die laag ondervindt: $R = d/\lambda$ [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$].

Hoe dikker de laag en hoe lager de warmtegeleidingscoëfficiënt van het materiaal, hoe hoger de warmteweerstand. Zie de tabel hierna voor enkele voorbeelden.

materiaal	λ	dikte (d)	R
	W/m.K	m	$\text{m}^2/\text{K} \cdot \text{W}$
aluminium	200	0,002	0,00001
staal	50	0,001	0,00002
beton	2	0,20	0,100
kalkzandsteen (buiten)	1,5	0,105	0,070
Kalkzandsteen (binnen)	1	0,105	0,105
baksteen (buiten)	1	0,105	0,105
baksteen (binnen)	0,6	0,105	0,175
gipsblokken	0,4	0,07	0,175
gipskartonplaat	0,25	0,012	0,048
triplex	0,17	0,018	0,106
Spaanplaat	0,15	0,018	0,120
vurenhout	0,14	0,022	0,157
na-isolatiematerialen (alle typen)	0,045	0,05	1,11
geëxpandeerd polystyreenschuim	0,035	0,05	1,43
geëxtrudeerd polystyreenschuim	0,027	0,05	1,85
polyurethaanschuim	0,023	0,05	2,17
geëxpandeerd polystyreenschuim	0,035	0,12	3,43
geëxtrudeerd polystyreenschuim	0,027	0,12	4,44
polyurethaanschuim	0,023	0,12	5,22

Uit deze tabel wordt duidelijk dat alleen echte isolatiematerialen een substantiële warmteweerstand leveren.

In de huidige (2015) bouwregelgeving wordt voor nieuwbouw een warmteweerstand van buitengevels gevraagd van tenminste $R_c = 4,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Voor een dak respectievelijk een vloer grenzend aan een kruipruimte of de grond zijn de waarden $R_c = 6 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ respectievelijk $R_c = 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Dat lukt dus nooit zonder een substantiële isolatielaag.

Koudebruggen

In het Duits heten koudebruggen “Wärme brücken”. Dat woord geeft in feite iets beter aan wat er aan de hand is. Het is een plaats in de constructie waar een groot warmteverlies optreedt.

Bijvoorbeeld door een uitkragende betonvloer bij een verder goed geïsoleerde spouwmuur. Ook de afstandhouders bij dubbelglas (randoplossing) vormen een koudebrug die, met name bij ruiten met kleine afmetingen, behoorlijke invloed kan hebben. Bij de eerste dubbelglasruiten waren deze afstandhouders van metaal. Nu wordt steeds meer kunststof met een betere warmte-isolatie gebruikt.

Op het fenomeen koudebruggen wordt in een afzonderlijke bijlage dieper ingegaan.