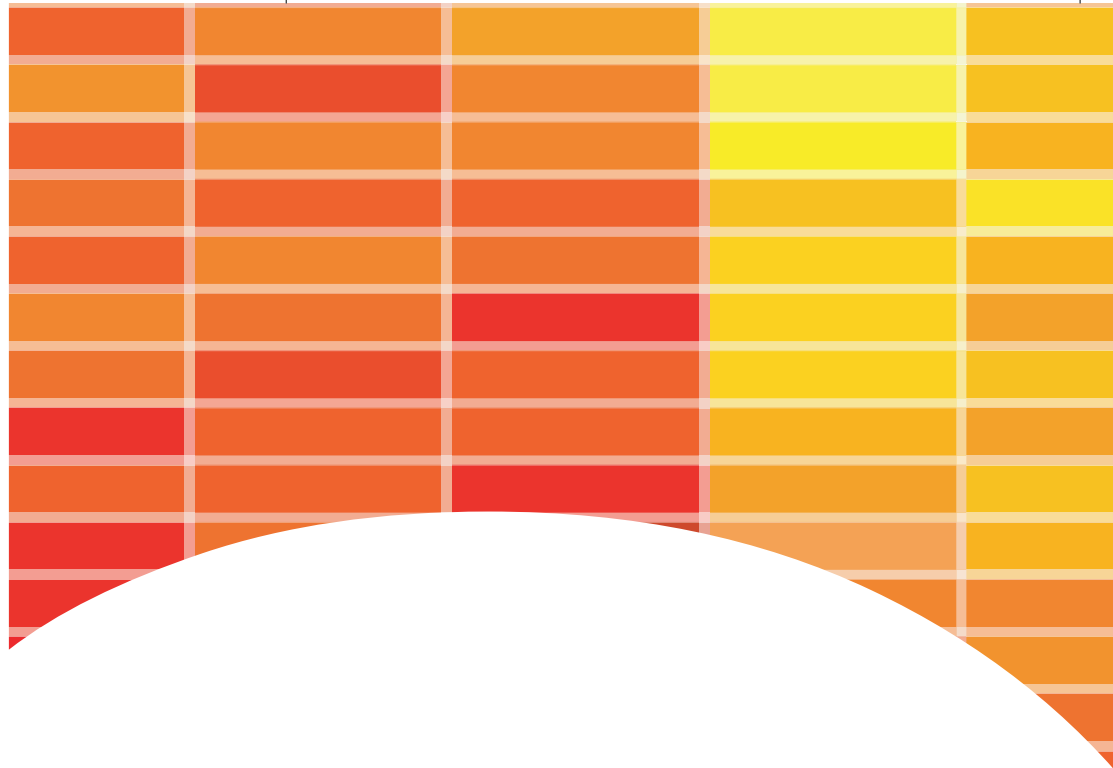
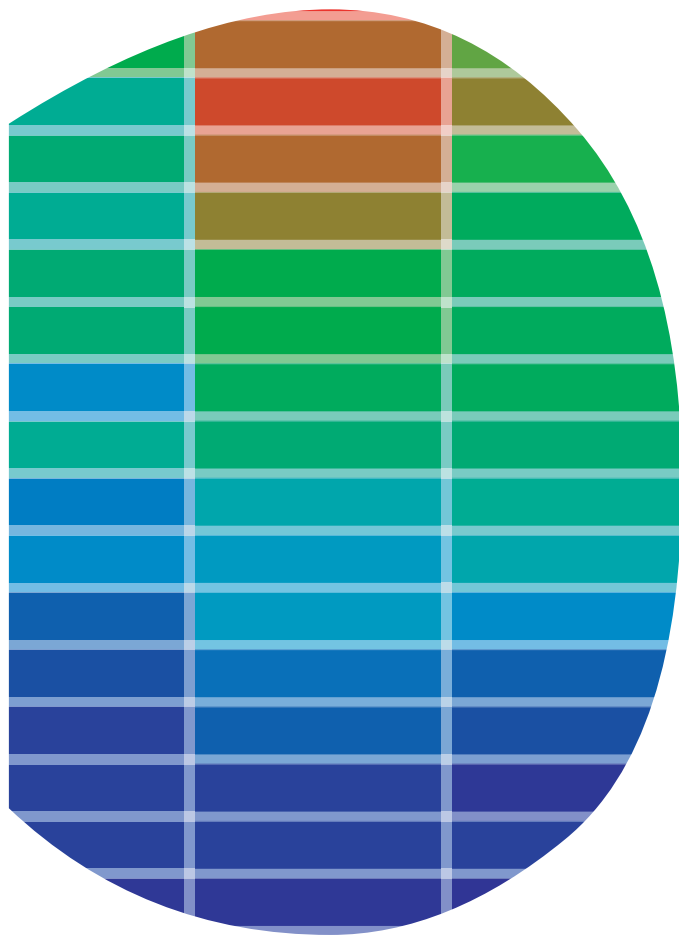




Muren uit baksteenmetSELWERK

bepaling van de thermische isolatie



1	Inleiding	5
2	Wettelijke verplichtingen	6
2.1	Regelgeving	6
2.2	Vlaams gewest	6
2.2.1	Toepassingsgebied	6
2.2.2	Eisen	7
2.3	Waals gewest	9
2.3	Brussels gewest	9
3	Stationaire grootheden en berekening	11
3.1	Korte inhoud	11
3.2	De warmtegeleidbaarheid λ	11
3.2.1	Het begrip	11
3.2.2	De warmtegeleidbaarheid λ van metselwerk	12
3.2.3	De warmtegeleidbaarheid λ van isolatiematerialen	14
3.2.4	De warmtegeleidbaarheid λ van bepleisteringen	16
3.3	De warmtedoorgangscoefficiënt U	17
3.3.1	Algemeen	17
3.3.2	Correctie voor een slechte uitvoering van de isolatiematerialen	19
3.3.3	Correctie voor de spouwvakken	19
3.4	Het globaal warmte-isolatiepeil K	21
3.4.1	Het beschermd volume, de aangrenzende onverwarmde ruimte, de warmteverliesoppervlakte en de volumecompactheid	21
3.4.2	De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt $U_{m,T}$ van een gebouw	22
3.4.3	Berekening van het K-peil van de globale warmte-isolatie van een gebouw	24
3.5	Concrete bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt U	25

3.6	Rekenvoorbeeld - bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt	27
4	Warmtecapaciteit - traagheid	30
5	De impact van warmte-isolatie op vochtproblemen	33
5.1	Wat is condensatie?	33
5.2	Oppervlaktecondensatie	33
5.2.1	Probleemstelling	33
5.2.2	Remedie	33
5.3	Inwendige condensatie	35
5.3.1	Probleemstelling	35
5.3.2	Remedie	35
6	Detaillering	36
6.1	Het belang van luchtdichtheid	36
6.2	Het gevolg van koudebrugwerking	36
6.3	Uitvoeringsdetails	36
6.3.1	Aansluiting met de fundering	37
6.3.2	Aansluiting met een hellend dak	37
6.3.3	Aansluiting met een plat dak	39
6.3.4	Gevelopeningen	40
7	tabellen	43
7.1	λ -waarden	43



De energiecrisis in de jaren 70 veroorzaakte een explosie van studies om energiebesparende maatregelen op te stellen, ondermeer voor gebouwen.

Er werden berekeningen opgesteld om het warmtebehoud van woongebouwen in cijfers om te zetten, afhankelijk van de netto-energiebehoefte, de oriëntatie van het gebouw, het silhouet, het totaal raamoppervlak en warmtewinsten, en winter- of zomerregime.

Deze berekeningen hielden rekening met de 3 vormen van warmtetransport: geleiding door een materiaal (bvb. een isolatieplaat), convectie of transport van warmte door verplaatsing van warme en koude lucht, en ten slotte warmtestraling van een wand naar de ruimte. Omdat deze berekeningen heel ingewikkeld en omslachtig zijn, heeft men een norm ontwikkeld met een vereenvoudigde methode op basis van de stationaire isolatieprestatie van de bouwdelen (ramen, muren, daken en vloeren): **prNBN B 62-301 (2007): Warmte-isolatieprestatie van gebouwen - Globaal warmte-isolatiepeil (K-peil) van een gebouw.** *Samen met de prNBN B 62-002 (2007), geeft deze aan op welke manier de warmtedoorgangscoefficiënt U van een wand en het globale K-peil van een gebouw moeten bepaald worden, rekening houdend met de compactheid van de woning en het voorkomen van koudebruggen.*

De eenvoud van berekenen heeft geprimeerd op de niet-correcte basis waarop de isolatie-prestatie van de bouwdelen rust; de thermische wisselwerking binnen-buiten is immers geen stationair, maar een dynamisch gegeven. Door deze keuze voor eenvoud komen de thermische kwaliteiten van het massieve baksteen-metselwerk dat de warmte kan opslaan en weer afgeven, echter niet tot hun recht.

De laatste jaren is energie meermaals voor het oog van de wereld gebracht wat zich internationaal geuit heeft in de Kyoto-akkoorden. In Europa werd de energieprestatierichtlijn (Richtlijn 2002/91/EG van het Europees parlement en de raad van 16 december 2002) uitgevaardigd. Deze Europese richtlijn diende uiterlijk op 4 januari 2006, drie jaar na de publicatiedatum in het publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, omgezet te worden in nationale wetgeving. Voor België betekent dit een omzetting in de drie verschillende gewesten, aangezien energiebeleid een gewestelijke materie is.

2.1 Regelgeving

De richtlijn van 16 december 2002 voorziet in eisen betreffende:

- een methode voor de berekening van de geïntegreerde energieprestatie van gebouwen, die o.a. rekening houdt met de oriëntatie van het gebouw, ventilatie, ingebouwde lichtinstallatie, ...
- de toepassing van minimumeisen voor de energieprestatie van nieuwe gebouwen
- de toepassing van minimumeisen voor de energieprestatie van bestaande grote gebouwen die een ingrijpende renovatie ondergaan
- de energieprestatiecertificering van gebouwen
- de regelmatige keuring van stookketels en kamerbehandelingssystemen in gebouwen evenals de beoordeling van de verwarmingsinstallatie indien deze stookketels bevat die ouder zijn dan 15 jaar.¹

Naast de gestelde eisen aan het globaal warmte-isolatiepeil, het zogenaamde K-peil, worden eveneens eisen gesteld aan, het globale energieprestatiepeil, het veelbesproken E-peil. Met dit E-peil kent men een waarde toe aan het energieverbruik van een woning, waardoor de verschillende woningen aan de hand van dit cijfer met elkaar vergeleken kunnen worden qua energieprestatie. Hoe lager dit E-peil hoe lager het energieverbruik van de woning.

In België zijn de drie gewesten bevoegd op het vlak van energieprestatie van gebouwen. De implementatie van deze Europese richtlijn gebeurt dus op gewestelijk niveau.

In Vlaanderen is met de goedkeuring en de publicatie van het EPB-decreet van 22 december 2006 het regelgevende kader van de energieprestatieregelgeving vervolledigd.² In Wallonië en het Brussels Gewest zijn een decreet (18/04/07) en een ordonnantie (01/06/07) uitgevaardigd, maar zijn de toepasbare eisen nog in de maak.

2.2 Vlaams Gewest

2.2.1 Toepassingsgebied

Bij nieuwbouw, herbouw en ontmanteling moet het ganse gebouw voldoen aan de EPB-eisen. Voor een gedeeltelijke herbouw of uitbreiding zijn de eisen enkel van toepassing op het nieuwe deel.

1. WTCB publicaties: WTCB-Contact nr.7 (3-2005)
2. EPB-nieuwsbrief N°2007/01 (april)-An.1

Er zijn geen EPB-eisen voor:

- renovatie of verbouwing (zonder herbouw of uitbreiding) van een beschermd monument
- renovatie of verbouwing (zonder herbouw of uitbreiding) van een bestaand gebouw dat deel uitmaakt van een beschermd landschap, stads- of dorpsgezicht

2.2.2 Eisen

De geldende eisen voor het Vlaams gewest worden weergegeven in tabel 1, overgenomen van de site www.energiesparen.be van de Vlaamse overheid.³

EPB-eisen (eisen op het vlak van ENERGIEPRESTATIE en BINNENKLIMAAT)		BESTEMMING			
		wonen	kantoor en school	andere specifieke bestemming	industrie
AARD VAN HET WERK					
nieuwbouw herbouw ontmanteling gedeeltelijke herbouw met een BV groter dan 800 m ³ * gedeeltelijke herbouw met minstens één wooneenheid* uitbreiding met een BV groter dan 800 m ³ * uitbreiding met minstens één wooneenheid* * de EPB-eisen zijn enkel van toepassing op het nieuw gebouwde deel	thermische isolatie	maximaal K 45 (gebouw) en maximale U-waarden of minimale R-waarden	maximaal K 45 (gebouw) en maximale U-waarden of minimale R-waarden	maximaal K 45 (gebouw) en maximale U-waarden of minimale R-waarden	maximaal K 55 (gebouw) of maximale U-waarden of minimale R-waarden
	energieprestatie	maximaal E 100 (wooneenheid)	maximaal E 100 (eenheid van bestemming)	-	-
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen en beperken van risico op oververhitting (wooneenheid)	minimale ventilatievoorzieningen	minimale ventilatievoorzieningen	minimale ventilatievoorzieningen
gedeeltelijke herbouw met een BV kleiner dan of gelijk aan 800 m ³ en zonder wooneenheden uitbreiding met een BV kleiner dan of gelijk aan 800 m ³ en zonder wooneenheden	thermische isolatie	maximale U-waarden of minimale R-waarden (voor nieuwe delen)			
	energieprestatie	-			
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen (voor nieuwe delen)			
verbouwing	thermische isolatie	maximale U-waarden of minimale R-waarden (voor verbouwde en nieuwe delen)			
	energieprestatie	-			
	binnenklimaat	ventilatie: minimale toevoeropeningen (bij vervanging van ramen)			
functiewijziging met een BV groter dan 800 m ³	thermische isolatie	maximaal K 65 (gebouw of deel van gebouw dat functiewijziging ondergaat)			
	energieprestatie	-			
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen (gebouw of deel van gebouw dat functiewijziging ondergaat)			

Tabel 1: Overzicht eisen op het vlak van energieprestatie en binnenklimaat voor het Vlaams gewest

Naast de energieprestatie worden eveneens eisen gesteld aan het binnenklimaat van gebouwen. Nu worden eisen opgelegd qua verluchting en binnenklimaat van een woning.

Het ventilatiesysteem moet voldoen aan de norm NBN D50-001. Bovendien moet ook het risico op oververhitting beperkt worden. De individuele U-waarden, berekend volgens de norm prNBN B62-002 mogen de waarden weergegeven in tabel 2 niet overschrijden:

3. www.energiesparen.be

Constructieonderdelen	U _{max} (W/m ² K)	R _{min} (m ² K/W)	
Vensters	2.5 ⁽¹⁾ en U _{g,max} = 1.6 ⁽²⁾		1
Buitenmuur	0.6		2
Muren in contact met de grond		1.0 ⁽³⁾	3
Gemene muur naar buurgebouw	1		4
Daken en plafonds	0,4		5
Vloeren op volle grond, boven een kruipruimte of boven een kelder buiten het beschermde volume, ingegraven keldervloeren	0.4 ⁽⁴⁾ of	1.0	6
Vloer in contact met de buitenomgeving	0.6		7
Deuren en poorten (met inbegrip van kader)	2.9 ⁽⁵⁾		8
Vloer tussen twee beschermde volumes	1		9

Tabel 2: Maximale U-waarden voor gebouwcomponenten ⁴

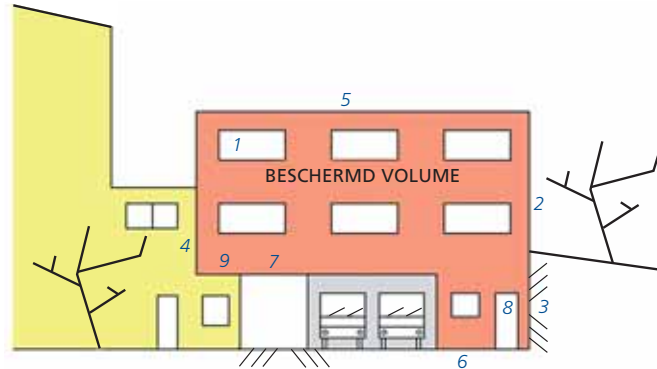
(1)/(2) De maximale U-waarde voor het venster in zijn totaliteit-de combinatie van glas, raamprofiel, afstandshouder en eventuele ventilatietoeverroosters-bedraagt 2.5 W/m²K. Bovendien is het gebruik van verbeterde isolerende beglazing verplicht. De centrale U-waarde van de beglazing moet lager zijn dan of gelijk aan 1.6 W/m²K. Die maximale centrale U-waarde is ook van toepassing bij gordijngevels.

(3) Voor opake scheidingsconstructies (muren, vloeren of hellende scheidingsconstructies) in contact met de volle grond, een kruipruimte of een onverwarmde kelder wordt de R-waarde berekend. De totale R-waarde wordt berekend vanaf het binnenoppervlak van de scheidingsconstructie tot het contactoppervlak met de volle grond, de kruipruimte of de onverwarmde kelder. Het opgelegde minimum is 1.0 m²K/W.

(4) Voor deze scheidingsconstructies wordt de U-waarde of de R-waarde berekend volgens de Europese norm EN ISO 13370.

(5) De maximale U-waarde voor deuren en poorten geldt voor bouwprojecten waarvoor de aanvraag tot stedenbouwkundige vergunning wordt ingediend op of na 1 januari 2007.

4. www.energiesparen.be



De eisen betreffend maximale U-waarden, aangegeven in tabel 2, gelden voor nieuwbouw als in sommige gevallen bij verbouwing. In geval van verbouwing gelden de eisen indien het nieuw gebouwde toegevoegde deel een beschermd volume heeft dat kleiner of gelijk is aan 800m^3 en als deze uitbreiding geen extra wooneenheden toevoegt.

2.3 Waals gewest

De Europese richtlijn van 16 december 2002 is omgezet naar regionale wetgeving met het decreet van 18 april 2007. De geldende eisen voor het K-peil en het E-peil worden vastgelegd in het arrest, dat waarschijnlijk voltooid zal zijn midden 2008.

2.4 Brussels gewest

De Europese richtlijn van 16 december 2002 is omgezet naar regionale wetgeving met de ordonnantie van 1 juni 2007. Net zoals in het Waalse gewest zijn de geldende eisen nog niet vastgelegd, maar worden verwacht in de loop van 2008.



3.1 Korte inhoud

Bij de verplichte berekening van het globale K-peil wordt gebruik gemaakt van de norm prNBN B 62-301. Deze is opgesteld voor een stationaire toestand, wat betekent dat de temperatuur van de buitenomgeving en de temperatuur van de binnenomgeving niet veranderen in de tijd.

Hierdoor wordt de berekening van de thermische weerstand van een wand fel vereenvoudigd, het globale K-peil wordt vrij makkelijk gevonden.

Eerst leest men in een aantal tabellen uit dit handboek de warmtegeleidbaarheid λ af van alle gebruikte materialen van elke wand. Deze gegevens worden vervolgens samengebracht om de warmteweerstand van de volledige wand te bepalen.

Wanneer dit voor alle buitenwanden van het gebouw gebeurd is, kan het globale K-peil van het gebouw bepaald worden dat moet beantwoorden aan de opgelegde eisen.

3.2 De warmtegeleidbaarheid λ

3.2.1 Het begrip

De warmtegeleidbaarheid λ van een materiaal is de hoeveelheid warmte die in stationaire toestand door het materiaal gaat, per eenheid van oppervlakte per tijdseenheid en per eenheid temperatuurgradiënt in dit materiaal, in W/mK.

λ_{ue} is de rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid van een materiaal in een buitenwand, die door regeninslag, door oppervlakte- en blijvende inwendige condensatie of door opstijgend vocht nat kan worden. (bvb. gevelsteen) Ook voor materialen die dampdicht ingebouwd worden en vocht kunnen bevatten.

λ_{ui} is de rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid in een buitenwand, beschermd tegen vocht en condensatie, en in een binnenwand.

3.2.2 De warmtegeleidbaarheid λ van metselwerk

De λ_U -waarde van de wand in metselwerk (bestaande uit de bakstenen en de mortelvoegen) wordt bepaald als volgt:

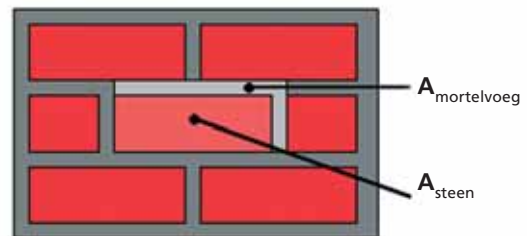
$$\lambda_U = \frac{\lambda_{U\text{steen}} A_{\text{steen}}}{(A_{\text{steen}} + A_{\text{mortelvoeg}})} + \frac{\lambda_{U\text{mortelvoeg}} A_{\text{mortelvoeg}}}{(A_{\text{steen}} + A_{\text{mortelvoeg}})} \quad (\text{W / m.K}) \quad (3.1)$$

waarin:

$\lambda_{U\text{steen}}$ en $\lambda_{U\text{mortelvoeg}}$ de warmtegeleidingscoëfficiënt van respectievelijk de baksteen en de mortelvoeg

A_{steen} het zichtoppervlak van de baksteen

$A_{\text{mortelvoeg}}$ het zichtoppervlak van de mortelvoeg



De verhouding van de oppervlakte van de steen over de totale oppervlakte van steen en mortelvoeg ($A_{\text{steen}} / (A_{\text{steen}} + A_{\text{mortelvoeg}})$) en de verhouding van de oppervlakte van de mortelvoeg over de totale oppervlakte van steen en mortelvoeg ($A_{\text{mortelvoeg}} / (A_{\text{steen}} + A_{\text{mortelvoeg}})$) worden gegeven in tabel 9.

Voor de λ_U -waarde van de mortelvoeg kan de waarde voor cementmortel gebruikt worden die in de norm prNBN B 62-002 (bijlage A tabel A.12) gegeven wordt:

Volumegegewicht ρ (kg/m ³)	λ_{Ui} (W/mK)	λ_{Ue} (W/mK)
1800	1.0	1,5

Tabel 3 Warmtegeleidbaarheid voor cementmortel

Voor de λ_U -waarde van de baksteen wordt een onderscheid gemaakt tussen gecertificeerde (draager van een kwaliteitsmerk: BENOR of gelijkwaardig) stenen en niet-gecertificeerde stenen:

De λ_U -waarden van de gecertificeerde stenen worden opgegeven in de technische documentatie van de fabrikant, of indien deze niet voorhanden is, kunnen volgende tabelwaarden uit de norm prNBN B 62-002 (bijlage A tabel A.3) gehanteerd worden. Ook de λ_U -waarden van de niet-gecertificeerde bakstenen worden weergegeven.

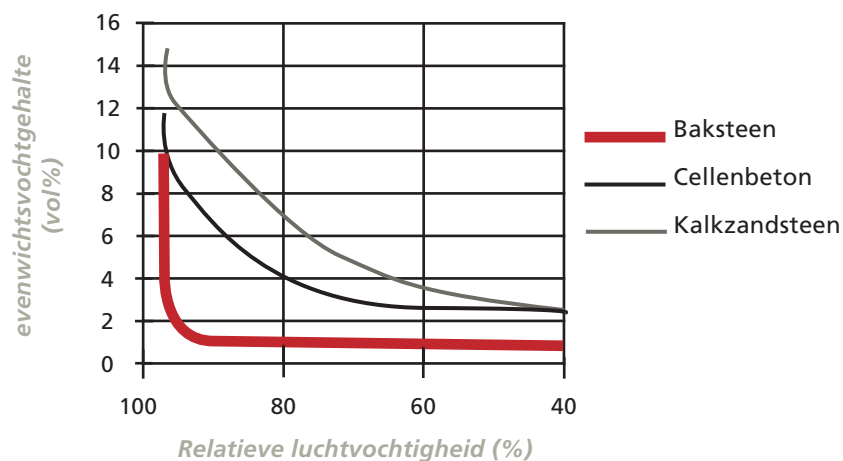
Baksteen Volumegewicht ρ (kg/m ³)	Gecertificeerd		Niet-gecertificeerd	
	λ_{U_i} (W/mK)	λ_{U_e} (W/mK)	λ_{U_i} (W/mK)	λ_{U_e} (W/mK)
≤ 700	0,20	0,39	0,22	0,43
≤ 800	0,23	0,45	0,25	0,49
≤ 900	0,26	0,51	0,28	0,56
≤ 1000	0,29	0,57	0,32	0,63
≤ 1100	0,32	0,64	0,35	0,70
≤ 1200	0,35	0,70	0,39	0,77
≤ 1300	0,39	0,76	0,42	0,84
≤ 1400	0,43	0,85	0,47	0,93
≤ 1500	0,46	0,91	0,51	1,00
≤ 1600	0,50	0,99	0,55	1,09
≤ 1700	0,55	1,08	0,60	1,19
≤ 1800	0,59	1,16	0,65	1,28
≤ 1900	0,64	1,27	0,71	1,40
≤ 2000	0,69	1,35	0,76	1,49
≤ 2100	0,74	1,46	0,81	1,61

Tabel 4: Warmtegeleidbaarheid voor gecertificeerde en niet-gecertificeerde bakstenen

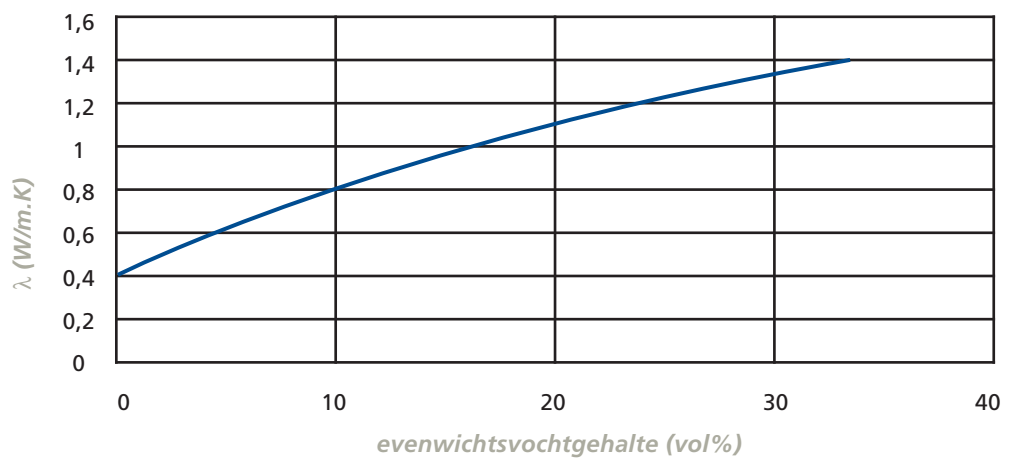
Noot: Indien het metselwerk bestaat uit gelijkde stenen en de voegbreedte bedraagt minder dan 3 mm, mogen bovenstaande tabellen gebruikt worden voor de λ_U -waarde van de volledige wand in metselwerk, waarbij de voegen verwaarloosd worden.

Invloed van het evenwichtsvochtgehalte (vol%)

Het evenwichtsvochtgehalte is het percentage water door het materiaal in evenwichtstoestand vastgehouden bij een bepaalde relatieve luchtvochtigheid.



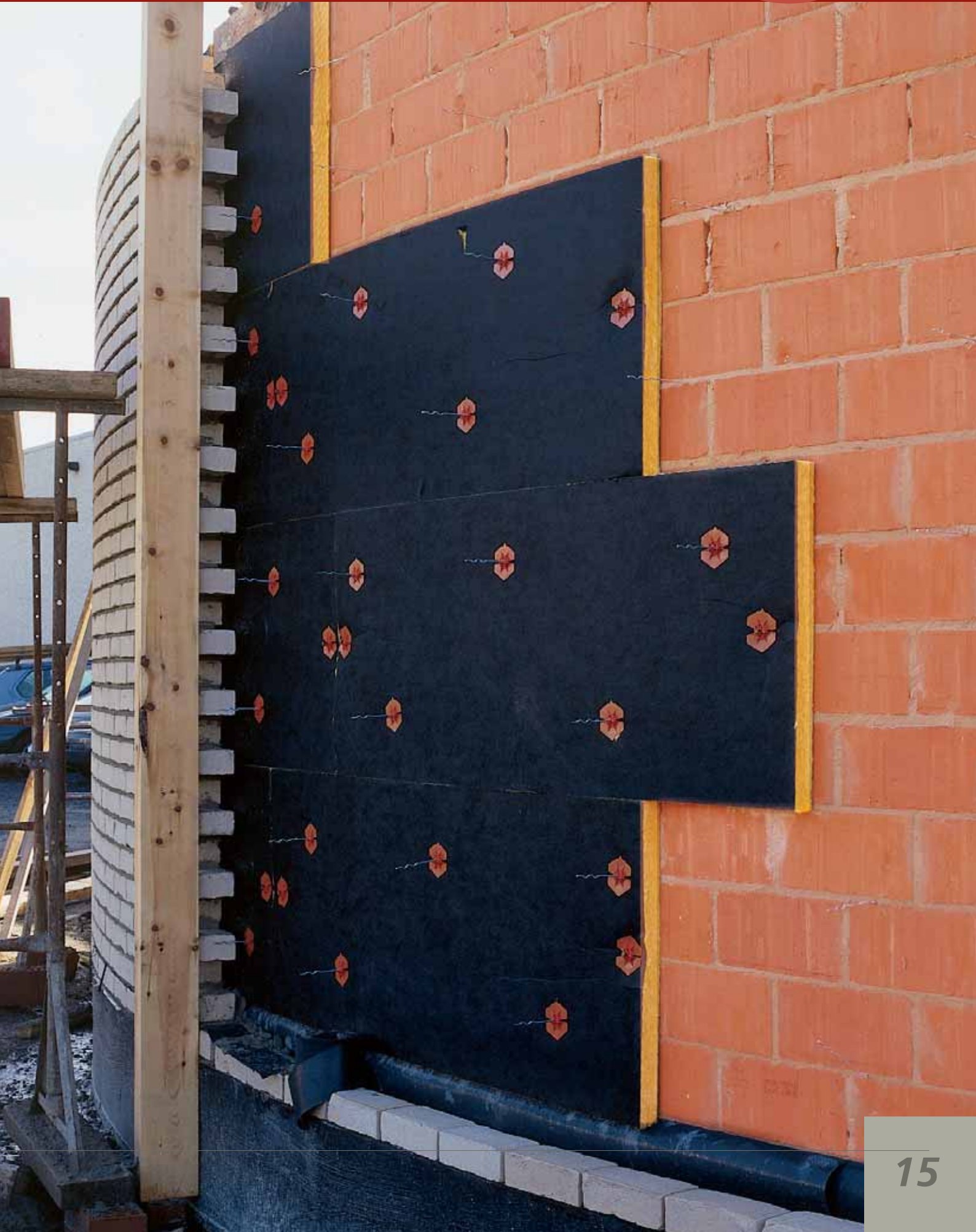
Deze waarde heeft zijn belang voor het thermisch gedrag van metselwerk aangezien water een goede warmtegeleider is. Hoe minder water in de steen, hoe beter zijn thermische eigenschappen behouden blijven.



Baksteen heeft door zijn specifieke poriënstructuur het laagste evenwichtsvochtgehalte van alle metselstenen. Hierdoor blijft snelbouwmetselwerk praktisch altijd droog.

3.2.3 De warmtegeleidbaarheid λ van isolatiematerialen (prNBN B62-002 bijlage A tabel A.14a)

De isolatiematerialen worden in de norm prNBN B 62-002, zoals baksteen, ingedeeld volgens gecertificeerde en niet-gecertificeerde materialen. De λ_U -waarden van de gecertificeerde materialen worden opgegeven in de technische documentatie van de fabrikant, of indien deze niet voorhanden is, kunnen de tabelwaarden uit de norm prNBN B 62-002 gehanteerd worden. Deze λ_U -waarden worden eveneens gegeven op de website van de keuringsinstelling BUTgb (Belgische Unie voor de technische goedkeuring in de bouw) www.butgb.be. Een gebruik in buitencondities is niet voorzien.



Isolatiemateriaal	Gecertificeerde materialen	Niet-gecertificeerde materialen
	λ_{ui} (W/mK)	
Kurk (platen) (ICB)	-	0,050
Minerale wol (platen of dekens) (MW)	0,031-0,044	0,050
Geëxpandeerd polystyreen (platen) (EPS)	0.031-0,045	0,050
Geëxtrudeerd polyethyleen (platen) (PEF)	0.035-0,045	0,050
Fenolschuim (platen) (PF)	0,022-0,038	0,045*
Polyurethaan (beklede platen) (PUR/PIR)	0,023-0,029	0,035
Geëxtrudeerd polystyreen (platen) (XPS)	0,028-0,038	0,045
Cellulair glas (platen) (CG)	0,038-0,050	0,055
Geëxpandeerd perliet (platen) (EPB)	0,052-0,055	0,060
Geëxpandeerd vermiculiet(platen)	-	0,090

Tabel 5: Warmtegeleidbaarheid voor gecertificeerde en niet-gecertificeerde isolatiematerialen (fabrieksmatig vervaardigde isolatiematerialen)

* Enkel van toepassing op fenolschuim met gesloten cellen

3.2.4 De warmtegeleidbaarheid λ van bepleisteringen (prNBN B62-002 bijlage A tabel A.12)

	Volumegewicht ρ (kg/m ³)	λ_{ui} (W/mK)	λ_{ue} (W/mK)
Cementpleister	1800	1,00	1,50
Kalkpleister	1600	0,80	1,20
Gipspleister	1300	0,57	-

Tabel 6: Warmtegeleidbaarheid van bepleisteringen

3.3 De warmtedoorgangscoefficiënt U

3.3.1 Algemeen

De warmtedoorgangscoefficiënt U van een wand is de hoeveelheid warmte die elke seconde per vierkante meter oppervlakte door een wand gaat bij een temperatuurverschil van 1 °C tussen de omgevingen aan beide zijden van die wand, in W/m²K.

De warmtedoorgangscoefficiënt U van een ondoorschijnend gebouwelement wordt berekend met volgende formule:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{in W/m}^2\text{K} \quad (3.2)$$

waarin:

R_T de totale warmteweerstand is van een wand (bestaande uit verschillende wanddelen) van omgeving tot omgeving in m².K/W.

De warmteweerstand R van een homogeen wanddeel wordt berekend als volgt:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \text{in m}^2\text{K/W} \quad (3.3)$$

waarin:

d de dikte van het wanddeel

λ de warmtegeleidbaarheid van het beschouwde materiaal

De totale warmteweerstand R_T van een samengestelde wand is dan de som van warmteweerstanden van elk homogeen wanddeel, met bijvoorbeeld voor een niet-geventileerde spouwmuur:

$$R_T = R_e + \frac{d_{\text{gevel}}}{\lambda_{\text{gevel}}} + R_a + \frac{d_{\text{iso}}}{\lambda_{\text{iso}}} + \frac{d_{\text{snelbouw}}}{\lambda_{\text{snelbouw}}} + \frac{d_{\text{bepleistering}}}{\lambda_{\text{bepleistering}}} + R_i \quad \text{in m}^2\text{K/W} \quad (3.4)$$

waarin:

R_e de weerstand van het luchtlaagje dat vastgehouden wordt tegen het buitenoppervlak van de wand.

Voor verticale wanden is $R_e = 0,04$ m²K/W (prNBN B62-002 tabel 1)

R_i de weerstand van het luchtlaagje dat vastgehouden wordt tegen het binnenoppervlak van de wand.

Voor verticale wanden is $R_i = 0,13$ m²K/W (prNBN B62-002 tabel 1)

R_a de warmteweerstand van een luchtspouw. Deze waarde is afhankelijk van de verluchttingsgraad van de luchtspouw:

Bij een niet-verluchte spouw vanaf 20 mm breedte, waarin zich minder dan 500 mm² verluchttingsopeningen per lopende m metselwerk bevinden: $R_a = 0,170 \text{ m}^2\text{K/W}$ (prNBN B62-002 tabel 3)

Bij een matig verluchte spouw, met minder dan 1500 mm² verluchttingsopeningen per lopende m metselwerk, halveert de waarde: $R_a = 0,085 \text{ m}^2\text{K/W}$

Bij een sterk verluchte spouw, met meer dan 1500 mm² verluchttingsopeningen per lopende m metselwerk, wordt de totale warmteweerstand berekend door:

- de totale warmteweerstand van de luchtlaag en van alle lagen van het gebouwelement tussen de luchtlaag en de buitenomgeving te verwaarlozen;
- en waarbij de waarde voor R_{se} vervangen wordt door R_{si} .

In tabel 7 worden voorbeelden, afgeleid uit de norm prNBN B62-002, gegeven van het minimum en het maximum aantal stootvoegen per steenformaat en per verluchttingsgraad.

Aantal open stootvoegen			
<i>Verluchttingsgraad</i>	<i>Steenformaat</i>	<i>Minimum aantal</i>	<i>Maximum aantal</i>
Niet verluchte spouw	M50	-	2 per 3 m
	M65	-	2 per 4 m
Matig verluchte spouw	M50	3 per 4 m	2 per m
	M65	3 per 5 m	7 per 4 m
	M90	1 per 2 m	4 per 3 m
Sterk verluchte spouw	M50	5 per 2 m	-
	M65	2 per m	-
	M90	3 per 2 m	-

Tabel 7: Verluchttingsgraad van spouwen

3.3.2 Correctie voor een slechte uitvoering van de isolatiematerialen

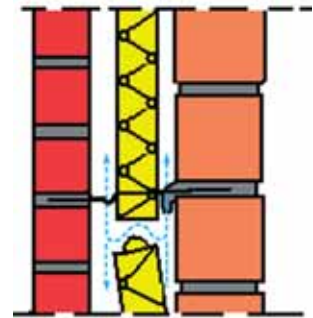
In de technische goedkeuringen (ATG) wordt een correctie, afkomstig uit de STS 08.82, op de warmteweerstand van de isolatielaag toegepast om rekening te houden met plaatsingstoleranties.

Deze correctie bestaat uit volgende vermindering van de **warmteweerstand** van de isolatie:

$$R_{\text{iso}} = d_{\text{iso}} / \lambda_{\text{iso}} - 0,1 \text{ (m}^2\text{K/W)} \quad (3.5)$$

Een tweede correctie wordt toegepast voor luchtspleten of holten in de isolatielaag. Deze kunnen aanleiding geven tot een aanzienlijk verlies van de warmteweerstand. Isolatieplaten moeten goed tegen elkaar aansluiten om te vermijden dat koude lucht aan de binnenzijde van de platen raakt.

Dit wordt in rekening gebracht met een toeslag op de **warmtedoorgangscoefficiënt** met een factor ΔU_g . Voor een uitvoering conform aan de technische goedkeuring mag $\Delta U_g = 0$ gesteld worden.



3.3.3 Correctie voor de spouwhaken

De spouwhaken vormen kleine puntkoudebruggen die door hun beperkte afmetingen slechts een klein verlies aan warmte betekenen. Het effect van deze bevestigingen kan altijd nauwkeurig berekend worden door numerieke berekeningen volgens NBN EN ISO 10211. In bepaalde gevallen kan echter een vereenvoudigde rekenmethode toegepast worden, waarbij het effect van de mechanische bevestigingen bepaald wordt door de correctieterm ΔU_f die volgens prNBN B62-002 als volgt berekend wordt:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_1} \left(\frac{R_{U,ins}}{R_{T,h}} \right)^2 \quad (3.6)$$

waarin: α correctiecoëfficiënt

λ_f warmtegeleidbaarheid van de mechanische bevestiging (bv. voor staal 50W/mK)

n_f aantal mechanische bevestigingen per m²

A_f sectie van 1 mechanische bevestiging

d_1 lengte van de bevestiging

$R_{U,ins}$ warmteweerstand van de isolatie die door een mechanische bevestiging doorboord wordt

$R_{T,h}$ totale warmteweerstand van het gebouwelement, zonder rekening te houden met enige koudebrugwerking



3.4 Het globaal warmte-isolatiepeil K

Het globaal warmte-isolatiepeil K van een gebouw met volumecompactheid C wordt uitgedrukt als het honderdvoud van de verhouding van de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van dat gebouw tot de gemiddelde $U_{m,T}$ -waarde van het basistoetspeil K100 berekend bij eenzelfde compactheid.

3.4.1 Het beschermd volume, de aangrenzende onverwarmde ruimte, de warmte-verliesoppervlakte en de volumecompactheid

De berekening van het globale warmte-isolatiepeil gebeurt volgens de norm *prNBN B 62-301: Warmte-isolatieprestatie van gebouwen – Globaal warmte-isolatiepeil (K-peil) van een gebouw*, waarin de volledige berekeningswijze wordt opgenomen.

Werkwijze: Achtereenvolgens berekent men

- Het beschermd volume V (m^3)

is het totale volume dat men thermisch wil beveiligen tegen warmteverliezen.

De berekening gebeurt aan de hand van de **buiten**afmetingen van het gebouw. Het beschermd volume bevat dus naast het ingesloten luchtvolume, ook het volume van alle wanden die behoren tot de verliesoppervlakte en van alle overige binnenwanden.

Een scheidingswand met een verschillend beschermd volume zoals een naburig gebouw hoort slechts voor de helft van zijn dikte bij het beschermd volume.

De kelder wordt meestal niet opgenomen in het beschermd volume (niet geïsoleerd).

Garages en zolders kan men al dan niet mee opnemen in het beschermd volume, afhankelijk van de wijze waarop geïsoleerd wordt.

- Een aangrenzende onverwarmde ruimte (AOR)

is een thermische bufferruimte die de warmteoverdracht tussen de ruimten binnen het beschermd volume en de buitenomgeving in bepaalde mate beperkt.

Een voorbeeld van een AOR is een onverwarmde (ongekoelde) aangebouwde veranda.

Onverwarmde ruimten die onder het beschermd volume gelegen zijn en waarvan het laagste peil onder het maaiveld ligt (bv. een kruipruimte) worden nooit als een AOR beschouwd.

- De warmteverlies-oppervlakte A_T (m^2)

is de som van alle oppervlakken die het beschermd volume vormen vb. gevels, daken, vloeren, ramen,.....

De wanden die de scheiding vormen tussen twee verschillende beschermde volumes worden niet in deze A_T opgenomen. Bijvoorbeeld: scheidingsmuur tussen twee woningen, vloer tussen twee appartementen binnen hetzelfde gebouw. Bij de berekening van de oppervlakten die tot het verliesoppervlak behoren, wordt steeds gebruik gemaakt van buitenafmetingen. De oppervlakten van deuren en vensters worden bepaald volgens de regels van prNBN B62-002 wat betreft het gebruik van dagmaten of van totale afmetingen.

– Volumecompactheid C (m)
$$C = \frac{V}{A_T} \quad (3.7)$$

De geometrische vorm met de minste warmteverliezen is de bol, vanwege de minimale verhouding van het oppervlak tegenover de inhoud. Compacter kan niet.

De thermisch meest gunstige vorm voor woningen is de kubus, dus een zo regelmatig mogelijke vorm, zonder uitsprongen.

3.4.2 De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt $U_{m,T}$ van een gebouw

De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt $U_{m,T}$ van een gebouw is de verhouding van de totale warmteoverdrachtcoëfficiënt H_T en de totale verliesoppervlakte A_T van het beschermd volume van dat gebouw.

$$U_{m,T} = \frac{H_T}{A_T} = \frac{H_D + H_g + H_U}{A_T} \quad (3.8)$$

H_T : de totale warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie van een gebouw (W/K)

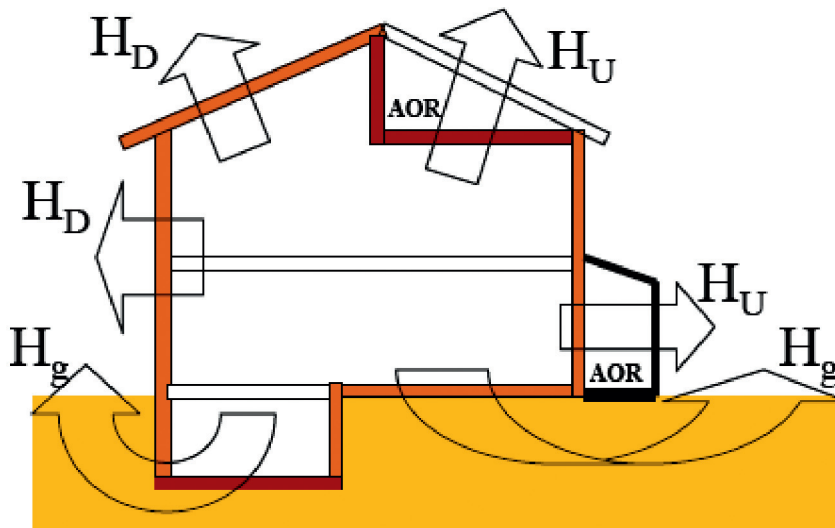
A_T : de verliesoppervlakte (m²)

H_D : de directe warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie doorheen alle gebouwelementen die de rechtstreekse scheiding vormen tussen de verwarmde (gekoelde) ruimten en de buitenomgeving, met inbegrip van alle koudebruggen

H_g : de warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie doorheen alle gebouwelementen die de scheiding vormen tussen de verwarmde (gekoelde) ruimten en de grond, met inbegrip van koudebruggen

H_U : de warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie doorheen alle gebouwelementen die de scheiding vormen tussen de verwarmde (gekoelde) ruimten en de buitenomgeving via aangrenzende onverwarmde ruimten

De verschillende termen van de totale warmteoverdrachtscoëfficiënt H worden verduidelijkt op de volgende figuur overgenomen uit prNBN B62-301⁵.



De term H_D rekent naast de U -waarden van de verschillende bouwelementen eveneens de lineaire en de punkkoudebruggen in. De norm prNBN B62-002 geeft in bijlage G en H met behulp van figuren verschillende types van mogelijke koudebruggen. Eveneens worden waarden bij ontstentenis opgegeven waarmee een handberekening eenvoudig kan uitgevoerd worden. Een voorbeeld wordt weergegeven in de volgende figuur overgenomen uit de norm prNBN B62-002⁶.

DAKRANDEN (vervolg)							
R9		R10		R11		R12	
$\Psi_e = -0,05$	$\Psi_l = 0,15$	$\Psi_e = 0,00$	$\Psi_l = 0,20$	$\Psi_e = 0,05$	$\Psi_l = 0,25$	$\Psi_e = 0,15$	$\Psi_l = 0,40$

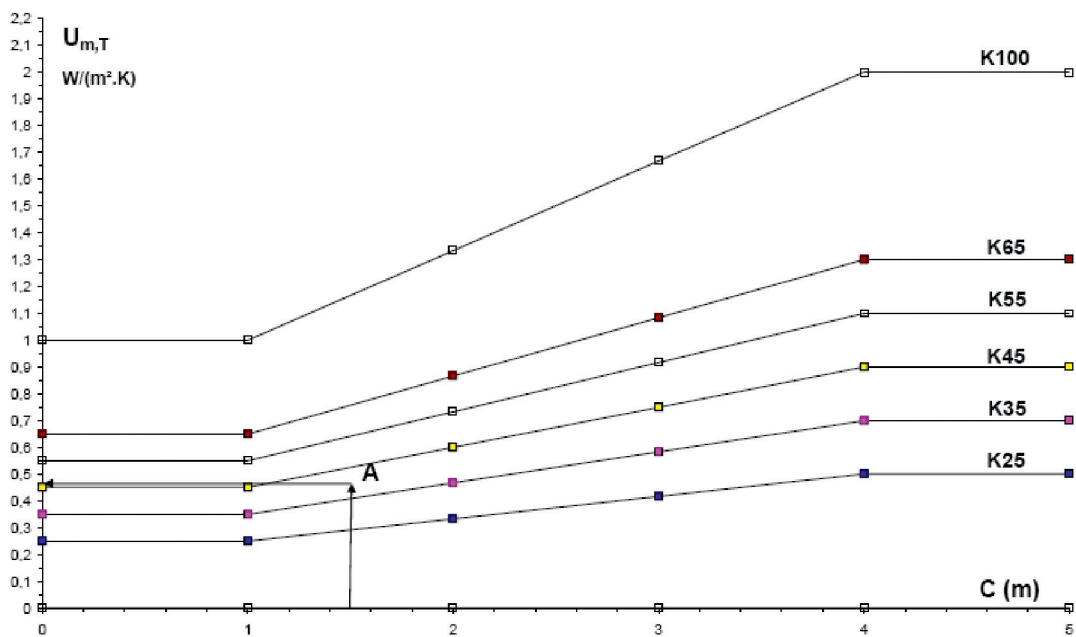
5. prNBN B62-301: Warmte-isolatieprestatie van gebouwen Globaal warmte-isolatiepeil (K-peil) van een gebouw januari 2007

6. prNBN B62-002: Thermische prestaties van gebouwen-Berekening van de warmtedoorgangcoëfficiënten (U -waarden) van gebouwcomponenten en bouwelementen-Berekening van de warmteoverdrachtscoëfficiënten door transmissie (HT-waarde) en ventilatie (Hv-waarde) 2^e uitgave 2007

3.4.3 Berekening van het K-peil van de globale warmte-isolatie van een gebouw

De berekening van dit peil is afhankelijk van de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt $U_{m,T}$ en de volumecompactheid zoals volgende uitdrukkingen en figuur aangeven. ⁷

Indien $V/A_T \leq 1$	$K = 100 \cdot U_{m,T}$	
Indien $1 < V/A_T < 4$	$K = \frac{300 \cdot U_{m,T}}{(V/A_T + 2)}$	
Indien $V/A_T \geq 4$	$K = 50 \cdot U_{m,T}$	(3.9)



7. prNBN B62-301: Warmte-isolatieprestatie van gebouwen Globaal warmte-isolatiepeil (K-peil)

3.5 Concrete bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt U

Stap 1 Keuze van de formule voor de **totale warmteweerstand** R_T

van de wand uit tabel 8:

Wandtype	R_T
<i>Buitenwanden:</i>	
- Spouwgevel met niet-verluchte spouw (gevelmetselwerk, spouw, isolatie, snelbouwmetselwerk, bepleistering)	$0,04 + R_{\text{gevel}} + 0,17 + R_{\text{iso}} +$ $R_{\text{snelbouw}} + R_{\text{bepleist}} + 0,13$
- Spouwgevel met matig verluchte spouw (gevelmetselwerk, spouw, isolatie, snelbouwmetselwerk, bepleistering)	$0,04 + R_{\text{gevel}} + 0,085 + R_{\text{iso}}$ $+ R_{\text{snelbouw}} + R_{\text{bepleist}} + 0,13$
- Spouwgevel met sterk verluchte spouw (gevelmetselwerk, spouw, isolatie, snelbouwmetselwerk, bepleistering)	$0,13 + R_{\text{iso}} + R_{\text{snelbouw}} + R_{\text{bepleist}} + 0,13$
- Gevel met buitenbepleistering (buitenbepleistering, isolatie, snelbouwmetselwerk, bepleistering)	$0,04 + R_{\text{buiten}} + R_{\text{iso}} + R_{\text{snelbouw}} + R_{\text{bepleist}}$ $+ 0,13$
Wandtype	R_T
<i>Scheidingswanden:</i>	
- Geïsoleerde scheidingsmuur tussen twee woningen (bepleistering, snelbouwmetselwerk, isolatie, snelbouwmetselwerk, bepleistering)	$0,13 + R_{\text{bepleist}} + R_{\text{snelbouw}} + R_{\text{iso}}$ $+ R_{\text{snelbouw}} + R_{\text{bepleist}} + 0,13$
- Niet-geïsoleerde scheidingsmuur tussen twee woningen (bepleistering, snelbouwmetselwerk, niet-verluchte spouw, snelbouwmetselwerk, bepleistering)	$0,13 + R_{\text{bepleist}} + R_{\text{snelbouw}}$ $+ 0,17 + R_{\text{snelbouw}} + R_{\text{bepleist}} + 0,13$
Wandtype	R_T
<i>Binnenwanden:</i>	
- Tussen twee lokalen (bepleistering, snelbouwmetselwerk, bepleistering)	$0,13 + R_{\text{bepleist}} + R_{\text{snelbouw}}$ $+ R_{\text{bepleist}} + 0,13$

Tabel 8: De totale warmteweerstand R_T voor verschillende wandtypes

Stap 2 Eens de formule voor R_T vastgelegd, wordt de **isolatieweerstand van de wanddelen** berekend als de verhouding van de dikte van een wanddeel over zijn λ -waarde (vb. warmteweerstand van het snelbouwmetselwerk: $R_{\text{snelbouw}} = d_{\text{snelbouw}} / \lambda_{\text{snelbouw}}$ van het gevelmetselwerk: $R_{\text{gevel}} = d_{\text{gevel}} / \lambda_{\text{gevel}} \dots$).

Deze λ -waarden van de wanddelen zijn gegeven in hoofdstuk 3.2 De warmtegeleidbaarheid λ .

Voor de λ -waarde van het metselwerk moet het aandeel van de voegen en van de steen gekend zijn t.o.v. het totale oppervlak volgens formule (3.1). Onderstaande tabel geeft de verhouding van deze oppervlakten.

Voegtype	Bedvoeg 12 mm		Kopse voeg en bedvoeg van 12 mm		Bedvoeg 6mm		Kopse voeg en bedvoeg 6 mm		Bedvoeg 3 mm	
	steen	voeg	steen	voeg	steen	voeg	steen	voeg	steen	Voeg
18,8x8,8x5 (M50)	0,81	0,19	0,76	0,24	0,89	0,11	0,87	0,13	1,00	0,00
18,8x8,8x6,5 (M65)	0,84	0,16	0,79	0,21	0,92	0,08	0,89	0,11	1,00	0,00
18,8x8,8x8,8 (M90)	0,88	0,12	0,83	0,17	0,94	0,06	0,91	0,09	1,00	0,00
21x10x5 (WF)	0,81	0,19	0,76	0,24	0,89	0,11	0,87	0,13	1,00	0,00
21x10x6,5 (WDF)	0,84	0,16	0,80	0,20	0,92	0,08	0,89	0,11	1,00	0,00
28,8x8,8x8,8	0,88	0,12	0,84	0,16	0,94	0,06	0,92	0,08	1,00	0,00
28,8x8,8x13,8	0,92	0,08	0,88	0,12	0,96	0,04	0,94	0,06	1,00	0,00
28,8x8,8x18,8	0,94	0,06	0,90	0,10	0,97	0,03	0,95	0,05	1,00	0,00
28,8x8,8x23,8	0,95	0,05	0,91	0,09	0,98	0,02	0,96	0,04	1,00	0,00
28,8x13,8x8,8	0,88	0,12	0,84	0,16	0,94	0,06	0,92	0,08	1,00	0,00
28,8x13,8x13,8	0,92	0,08	0,88	0,12	0,96	0,04	0,94	0,06	1,00	0,00
28,8x13,8x18,8	0,94	0,06	0,90	0,10	0,97	0,03	0,95	0,05	1,00	0,00
28,8x13,8x23,8	0,95	0,05	0,91	0,09	0,98	0,02	0,96	0,04	1,00	0,00
28,8x18,8x8,8	0,88	0,12	0,84	0,16	0,94	0,06	0,92	0,08	1,00	0,00
28,8x18,8x13,8	0,92	0,08	0,88	0,12	0,96	0,04	0,94	0,06	1,00	0,00
28,8x18,8x18,8	0,94	0,06	0,90	0,10	0,97	0,03	0,95	0,05	1,00	0,00
28,8x18,8x23,8	0,95	0,05	0,91	0,09	0,98	0,02	0,96	0,04	1,00	0,00
59,8x13,8x18,8	0,94	0,06	0,92	0,08	0,97	0,03	0,96	0,04	1,00	0,00
59,8x18,8x18,8	0,94	0,06	0,92	0,08	0,97	0,03	0,96	0,04	1,00	0,00

Tabel 9: Aandeel van voegen en steen t.o.v. de totale oppervlakte volgens formule 3.1

Deze formule (3.1) voor de λ -waarde van het metselwerk is reeds uitgerekend voor een aantal vaak voorkomende formaten en wordt achteraan gegeven.

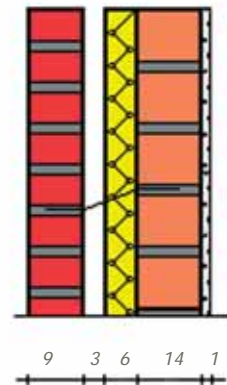
Stap 3 Uitwerking van de formule voor de totale warmteweerstand en de inverse nemen ($U = 1/R_T$).
Vergeet de eventuele correctie niet om de spouwhaakjes in rekening te brengen.

Om u werk te besparen heeft de federatie een eenvoudige rekenmodule ontwikkeld in Excel ter bepaling van de U-waarde van een spouwmuur. Deze is vrij beschikbaar op de website: www.baksteen.be

3.6 Rekenvoorbeeld – bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt U

Spouwmuur met gedeeltelijk geïsoleerde en matig verluchte spouw

- Gevelbaksteen formaat M 65 (18,8x8,8x6.5) met volumegewicht 1500 kg/m^3 , houder van een BENOR-merk, vermeteld met kopvoeg en bedvoeg van 12 mm cementmortel
- Matig verluchte spouw
- Isolatie in minerale wol met dikte van 6 cm, houder van een ATG
- Snelbouwmetselwerk (28.8x13.8x13.8) met volumegewicht 1100 kg/m^3 houder van een BENOR-merk
- Binnenbepleistering in gips met dikte van 1 cm



Stap 1 keuze van de formule voor de totale warmteweerstand van de wand uit tabel 8:

$$0,04 + R_{\text{gevel}} + 0,085 + R_{\text{iso}} + R_{\text{snelbouw}} + R_{\text{bepleist}} + 0,13$$

Stap 2 bepaling van de warmteweerstand van de wanddelen (R_{gevel} , R_{iso} , R_{snelbouw} , R_{bepleist})

■ $R_{\text{gevel}}?$

$$d_{\text{gevel}} = 8,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{gevel}} \quad \begin{array}{l} \text{Aandeel steen: } 0,79 \text{ (tabel 9)} \\ \text{Aandeel voeg: } 0,21 \text{ (tabel 9)} \\ \lambda \text{ van de steen: } 0,91 \text{ W/mK (tabel 4)} \\ \lambda \text{ van de voeg: } 1,5 \text{ W/mK (tabel 3)} \end{array}$$

$$\rightarrow \lambda_{\text{gevel}} = 0,91 \times 0,79 + 1,5 \times 0,21 = 1,03 \text{ W/mK}$$

$$\rightarrow R_{\text{gevel}} = d_{\text{gevel}} / \lambda_{\text{gevel}} = 0,085 \text{ m}^2\text{K/W}$$

■ $R_{\text{iso}}?$

$$d_{\text{iso}} = 6 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{iso}} = 0,041 \text{ (tabel 5)}$$

$$\rightarrow R_{\text{iso}} = d_{\text{iso}} / \lambda_{\text{iso}} = 0,1 \text{ m}^2\text{K/W} = 1,363 \text{ m}^2\text{K/W (zie formule 3.5)}$$

■ $R_{\text{snelbouw}}?$

$$d_{\text{snelbouw}} = 13,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{snelbouw}} \quad \begin{array}{l} \text{Aandeel steen: } 0,92 \text{ (tabel 9)} \\ \text{Aandeel voeg: } 0,08 \text{ (tabel 9)} \\ \lambda \text{ van de steen: } 0,32 \text{ W/mK (tabel 4)} \\ \lambda \text{ van de voeg: } 1,0 \text{ W/mK (tabel 3)} \end{array}$$

$$\rightarrow \lambda_{\text{snelbouw}} = 0,32 \times 0,92 + 1,0 \times 0,08 = 0,374 \text{ W/mK}$$

$$\rightarrow R_{\text{snelbouw}} = d_{\text{snelbouw}} / \lambda_{\text{snelbouw}} = 0,369 \text{ m}^2\text{K/W}$$

■ $R_{\text{bepleist}}?$

$$d_{\text{bepleist}} = 1 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\text{bepleist}} = 0,57 \text{ (tabel 6)}$$

$$\rightarrow R_{\text{bepleist}} = d_{\text{bepleist}} / \lambda_{\text{bepleist}} = 0,018 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Stap 3 Uitwerking van de formule voor de totale warmteweerstand en de inverse nemen.

$$R_T = 0,04 + 0,085 + 0,085 + 1,363 + 0,369 + 0,018 + 0,13 = 2,090 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\rightarrow U = 1/R_T = 0,478 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Dit wordt vermeerderd met de correctie voor de spouwhaakjes:

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_1} \left(\frac{R_{U,ins}}{R_{T,h}} \right)^2 = 0,8 \frac{50 \times 1,3 \times 10^{-5} \times 5}{0,06} \left(\frac{1,363}{2,090} \right)^2 = 0,018 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (zie formule 3.6)}$$

De uitvoering van de isolatie is conform de technische goedkeuring:

$$\Delta U_g = 0$$

De gecorrigeerde U-waarde wordt tenslotte:

$$\rightarrow U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_g = 0,497 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Bij de wettelijk verplichte berekening van de warmteweerstanden en het globale K-peil volgens prNBN B 62-301 is steeds verondersteld dat de temperaturen en warmtestromen niet veranderen in de tijd. In werkelijkheid zal de moeilijk te voorspellen buitentemperatuur in ons klimaat fluctueren, bijvoorbeeld dag- en nachtregime, zomer en winter, ...

Het gevolg is dat de warmteweerstand R niet de enige grootte is die het energieverbruik van een woning bepaalt.

Vergelijken we bijvoorbeeld een niet-geïsoleerd kasteel in natuursteen met een werfkeet, beide gebouwen met wanden met dezelfde warmteweerstand. Hoewel de warmteweerstand gelijk is, zal het in de zomer behaaglijk koeler zijn in het kasteel. De massieve wanden zullen de warmte opstapelen om deze 's avonds, wanneer zij welkom is, terug af te geven. Dit verschijnsel neemt toe naarmate de **capaciteit** van de wand verhoogt.

$$\text{Capaciteit} = \rho c V \text{ met } \begin{array}{l} \rho \text{ het volumegewicht in kg/m}^3 \\ c \text{ de specifieke warmtecapaciteit, } 840 \text{ à } 920 \text{ J/kgK voor snelbouw} \\ V \text{ het volume materiaal in m}^3 \end{array}$$

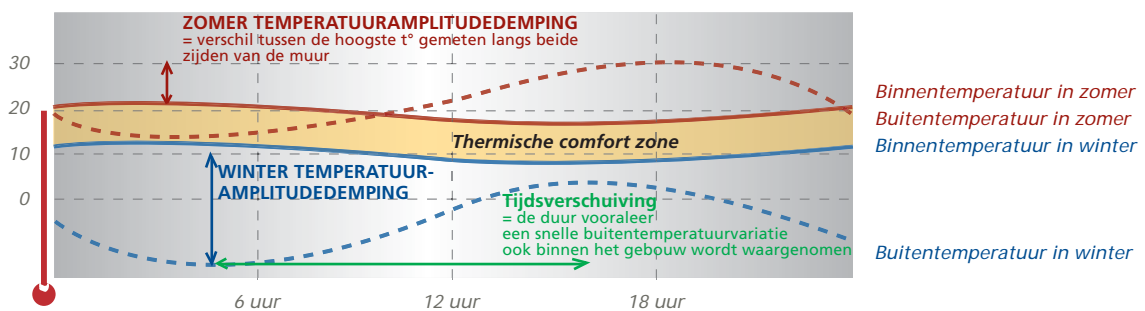
Een grote warmtecapaciteit wordt bekomen door zware bouwelementen te gebruiken die de warmte gemakkelijk opnemen en bijgevolg een hoge warmtegeleiding λ hebben. Hieruit volgt onmiddellijk de praktische beperking, een grote warmtegeleiding betekent hoge warmteverliezen. Het kasteel zal in de zomer aangenaam koel zijn, maar in de winter te kil omdat de isolatie te zwak is of m.a.w. de warmtegeleiding te groot. Om capaciteef te bouwen heeft men nood aan een materiaal met voldoende massa, de warmtegeleiding mag echter niet te hoog oplopen. Met ons klimaat is het ideale compromis in dit geval snelbouwmetselwerk.

Wij kunnen ons daarenboven gemakkelijk voorstellen dat een korte weersverandering, bijvoorbeeld de zon die een kwartier lang door een wolkendek priemt, niet gemerkt wordt in het kasteel. Anders is het gesteld met de lichte werfkeet, die onmiddellijk zal reageren op de straling en de zonnewarmte binnen laat. De werfkeet wordt oververhit.

Een **dynamische warmteweerstand** geeft aan in welke mate warmte door een wand gaat tengevolge van veranderende temperaturen. Hoe groter deze dynamische weerstand, des te kleiner deze warmtestroom en des te kleiner ook de warmteverliezen in de winter. Een hoge dynamische warmteweerstand bekomt men door zware materialen te gebruiken met beperkte warmtegeleiding.

Uit ondervinding weten wij dat temperatuursverschillen buiten, bijvoorbeeld tussen het middaguur en de avond, aanleiding geven tot duidelijk voelbare temperatuursverschillen in de werfkeet. Deze

verschillen worden uitgedempt door de massa van het kasteel. Deze eigenschap wordt de **temperatuuramplitudedemping** genoemd. Een temperatuuramplitudedemping van 15 bijvoorbeeld zorgt, zonder dat verwarming nodig is, dat een temperatuursverschil buiten van 45°C (bvb. 50°C op een donkere gevel 's middags en afkoeling tot 5°C 's nachts) uitgedempt wordt tot een verschil van 3°C. Deze binnentemperaturen zullen in het kasteel dus ook wijzigen maar gedempt en met een zekere vertraging. Inderdaad bezitten massieve wanden een thermische traagheid, zodat de stijging van de buitentemperatuur op het middaguur zich met een **tijdsverschuiving** van tien tot twaalf uur voor doet, wanneer zij niet meer hinderlijk is. Ook hier is een materiaal nodig met voldoende massa zonder dat de warmtegeleiding te hoog oploopt.



Deze eigenschappen op een rijtje gezet voor een spouwmuur in baksteenmetselwerk:

- een uitstekende warmtecapaciteit ($\rho \pm 150\text{kg/m}^3$): de eigenschap van een wand om warmte op te slaan om deze later opnieuw af te geven wanneer de omgevingstemperatuur daalt.
- een goede dynamische warmteweerstand ($> 5 \text{ m}^2\text{K/W}$): de weerstand die de warmte ondervindt om door de wand te gaan bij een wisselende buitentemperatuur.
- een belangrijke temperatuuramplitudedemping ($>> 15$): de verhouding tussen het grootste temperatuurverschil dat in één dag optreedt gemeten aan de buitenzijde van de wand en het grootste temperatuurverschil aan de binnenzijde van de wand
- een gevoelige tijdsverschuiving (10 à 12 uur): de duur vooraleer een snelle buitentemperatuurvariatie ook binnen het gebouw wordt waargenomen.



5.1 Wat is condensatie?

Lucht kan slechts een beperkte hoeveelheid vocht in zich opnemen in de vorm van damp. De hoeveelheid vocht in de lucht t.o.v. wat maximaal in de lucht mag zitten wordt gekenmerkt door de relatieve luchtvochtigheid.

Condensatie doet zich voor bij een relatieve luchtvochtigheid van 100 %, het vochtgehalte in de lucht is zo hoog opgelopen dat het peil bereikt is waarop niet nog meer vocht in de lucht kan opgenomen worden. De lucht is verzadigd met damp. Dit teveel aan vocht wordt uit de lucht verwijderd door neer te slaan, of m.a.w. te condenseren tot water.

Een belangrijke eigenschap is dat lucht meer vocht kan opnemen naarmate zijn temperatuur hoger is. Vandaar bijvoorbeeld de dauw 's morgens; de temperatuur van de buitenlucht gaat 's nachts dalen en de lucht kan dus minder vocht opnemen. Al snel zit teveel vocht in de buitenlucht. Dit wordt uit de lucht verwijderd door te condenseren.

5.2 Oppervlaktecondensatie

5.2.1 Probleemstelling

Vele voorbeelden kunnen aangehaald worden waaruit blijkt dat waterdamp uit de lucht condenseert of neerslaat op koude oppervlakken. Denken we aan het koude vensterglas van de keuken dat aandampt wanneer veel damp geproduceerd wordt bij het koken. Dit condens heeft geen schadelijke gevolgen op een vensterglas, echter wel op beschilderde wanden of wanden bekleed met behang die minder bestand zijn tegen water. Deze binnenbekleding hoeft niet doorweekt te zijn opdat schade zich voordoet, een hoge luchtvochtigheid op zich resulteert reeds in schimmelgroei.

5.2.2 Remedie

Koude wandoppervlakken moeten vermeden worden. Dit bereikt men door een doeltreffende isolatie zonder koudebruggen, waardoor men de aanwezigheid van koude binnenoppervlakken uitsluit.

De vochtige binnenlucht moet af en toe ververs worden met buitenlucht die minder vocht in zich draagt, ventileren dus.



5.3 Inwendige condensatie

5.3.1 Probleemstelling

Condensatie kan daarnaast ook plaatsvinden in het inwendige van de wand, wanneer inwendige delen van de wand op een lage temperatuur staan en in aanraking komen met de vochtige lucht van binnen. Deze vorm van condensatie doet zich in ons klimaat voor bij lage buitentemperaturen en dus voornamelijk in de wintermaanden. Het condensatiewater kan naar binnen migreren en op zijn beurt de binnenbekleding aantasten. Bijkomend gevolg is meestal dat de efficiëntie van de vochtig geworden isolatielaag vermindert.

5.3.2 Remedie

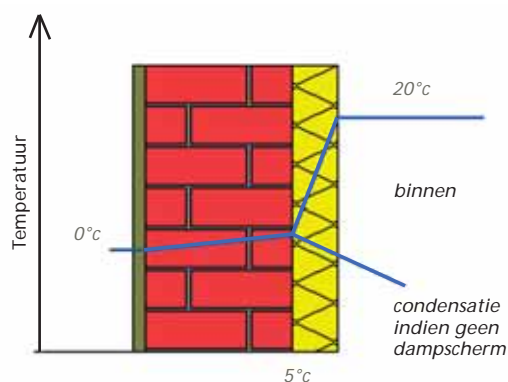
Men moet vermijden dat de vochtige lucht in contact komt met een koud oppervlak. Een zo groot mogelijk deel van de wand moet dus warm gehouden worden. Hiervoor wordt de isolatie zo ver mogelijk aan de buitenzijde van de wand geplaatst.

Tevens wordt het vocht of m.a.w. de damp zo veel mogelijk tegengehouden. Hiervoor plaatst men de dampremmende materialen zo dicht mogelijk aan de binnenzijde van de wand.

Bij een spouwmuur bijvoorbeeld, wordt de damp tegengehouden door de bepleistering en het snelbouwmetselwerk, de isolatie houdt het snelbouwmetselwerk en de bepleistering warm.

De dampremmende laag zit in dit geval terecht aan de binnenzijde van de isolatie.

Volgende muurconstructies zijn onderhevig aan inwendige condensatie:



–Alle wanden met binnenisolatie. Als oplossing wordt een dampscherm (= een laag met hoge dampweerstand) aangebracht aan de binnenzijde van de isolatie. Let wel, perforaties van dit dampscherm, doorboringen voor elektriciteit bvb. zijn uit den boze.

–Een spouwmuur die geveerd is (met dampdichte verf) en niet geventileerd, evenals een niet-geventileerde gevel die bestaat uit geglazuurde stenen. Voor deze muurconstructies is het belangrijk dat bovenaan en onderaan open stootvoegen worden voorzien die een ventilatie van de spouw mogelijk maken.

–Wanden die niet luchtdicht zijn. De koude buitenlucht zal rond de isolatie heen de wand afkoelen.

6.1 Het belang van luchtdichtheid

In de uiteengezette berekeningen (in prNBN B 62-301) en de beschouwingen rond inwendige condensatie werd stilzwijgend aangenomen dat geen lucht door de wand stroomt. Dit betekent dat het warmteverlies door geleiding gebeurt en het vochttransport door het trage diffusieproces.

Indien hieraan niet voldaan is, zal convectie optreden, d.w.z. dat warmte en vocht zullen meegevoerd worden met de lucht die door de wand stroomt. Dit is oorzaak van grotere warmteverliezen en risico's op condens.

Een luchtdichte afwerking van de wand is bijgevolg onontbeerlijk. Deze is reeds gewaarborgd door het aanbrengen van de binnenbepleistering.

6.2 Het gevolg van koudebrugwerking

Met koudebrugwerking wordt een zone in het gebouw bedoeld waar de isolatie doorbroken wordt door materialen die de warmte goed geleiden en bijgevolg een thermische brug vormen tussen binnen- en buitenomgeving. Het gevolg is een verlies aan warmte, maar tevens een kouder wandoppervlak binnen de vertrekken. Wanneer de temperatuur van dit wandoppervlak voldoende laag is, treedt hier oppervlaktecondensatie of schimmelvorming op.

Een correct detail (met temperatuurfactor $\tau \geq 0,8$) verhindert dat dit zich voordoet.

De details die het gevoeligste zijn voor koudebrugwerking worden hieronder besproken.

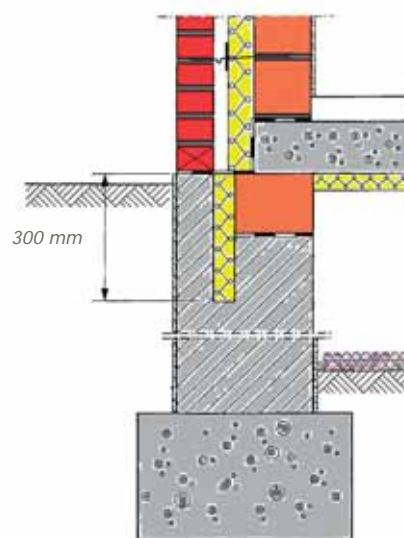
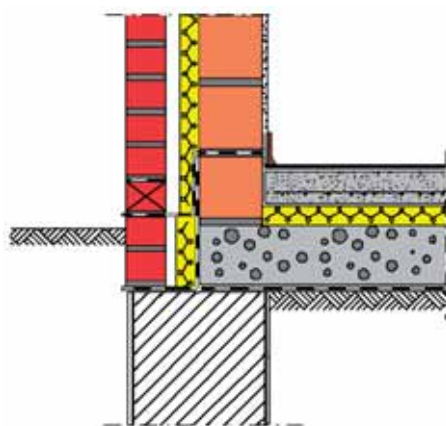
6.3 Uitvoeringsdetails

De hiernavolgende uitvoeringsdetails zijn gebaseerd op de technische voorlichting nr. 186, 191, 196, 202, 219 en 225 van het WTCB en de informatiebrochure van de BUtgb.

6.3.1 Aansluiting met de fundering

De isolatie mag niet onderbroken worden.

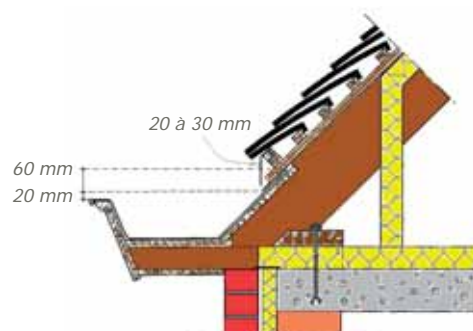
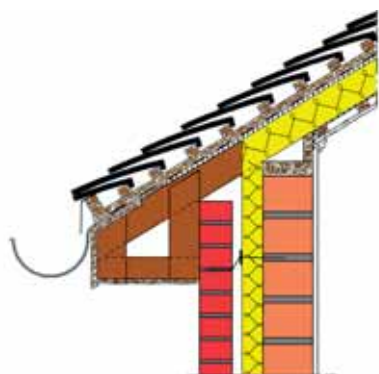
De continuïteit van de isolatie wordt verzekerd door een isolerende snelbouwsteen aan de voet van de dragende binnenwand.



6.3.2 Aansluiting met een hellend dak

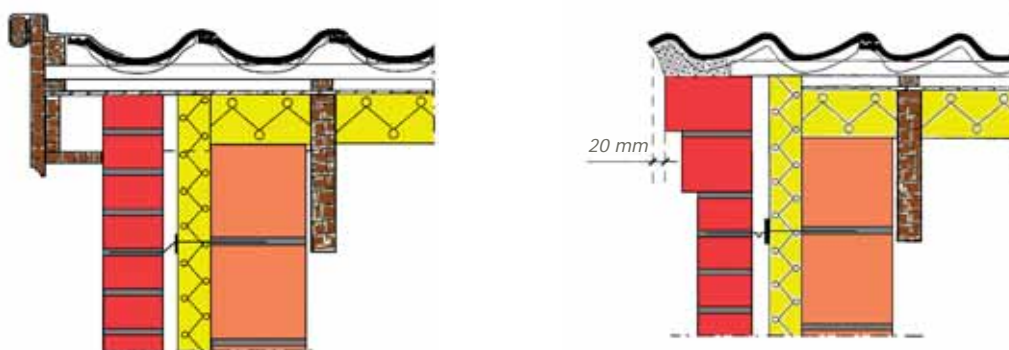
6.3.2.1 Voet

Men kan opteren voor een isolatie van de vloer van de zolder of voor een dakisolatie.



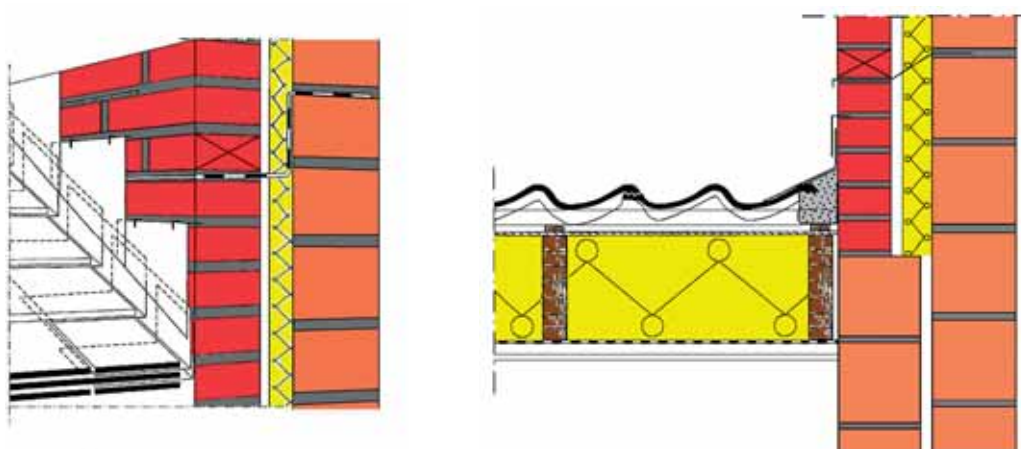
6.3.2.2 Zijrand

Er moet absoluut vermeden worden dat water vanuit het gevelmetselwerk naar de binnenmuur geleid wordt. Hiertoe worden de spouwhaakjes afhellend naar buiten toe geplaatst, ofwel wordt een spouwhaak met druipneus gebruikt. De druipneus kan eventueel ook worden aangebracht op de clip die de isolatie vastklemt.



6.3.2.3 Opgaande wand

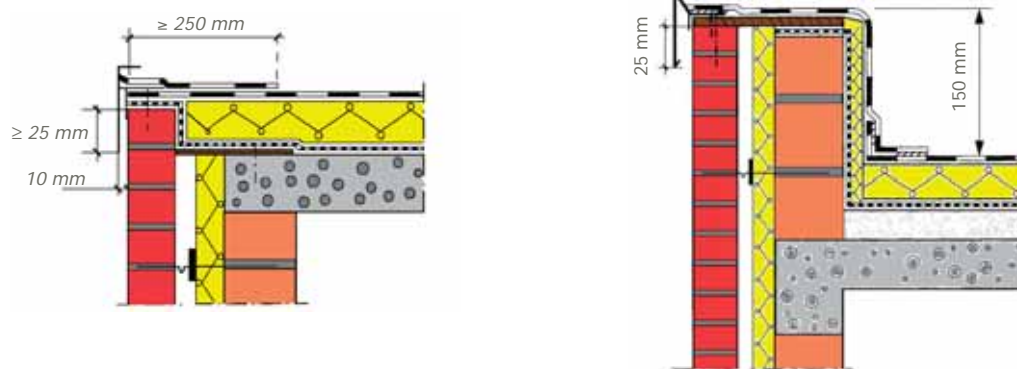
De isolerende snelbouwblok zorgt ook hier voor de continuïteit van de isolatie. Om de helling van het dak te volgen moet in trappen gewerkt worden, aangezien de waterkerende laag het water langs de horizontale voeg moet wegvoeren uit de spouw.



6.3.3 Aansluiting met plat dak

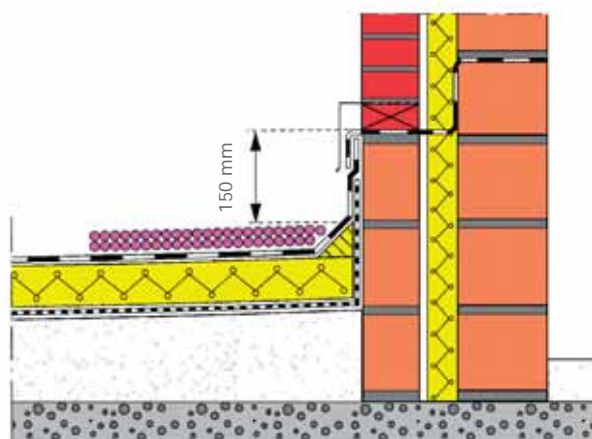
6.3.3.1 rand

Hier wordt een onderscheid gemaakt tussen een plat dak met zwakke helling weg van de rand en een plat dak met sterke helling weg van de rand. Bij de sterke helling ($\geq 10\%$) kunnen het overlopen van water op de gevel en stagnatie van water zich niet voordoen. Een opstand is bijgevolg niet nodig. Een opstand in isolerende snelbouw zorgt voor een continuïteit van de isolatielaag.



6.3.3.2 Opgaande wand

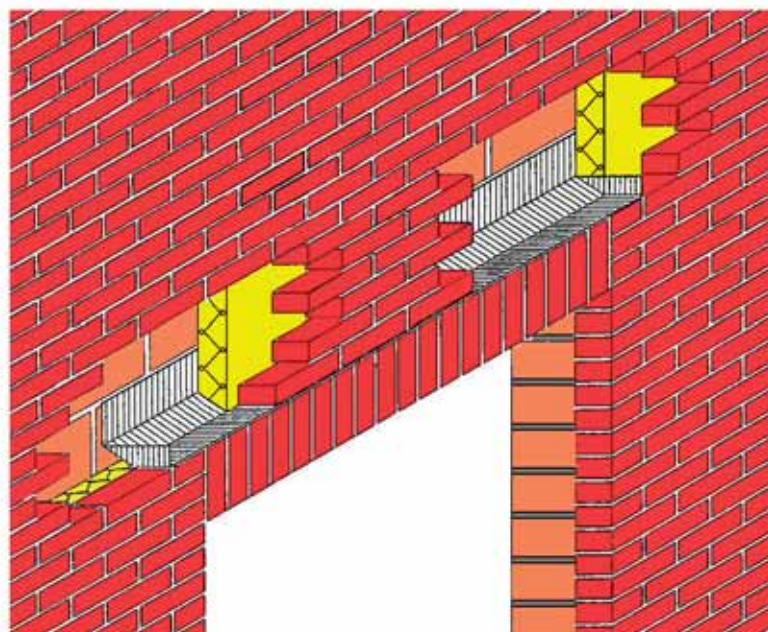
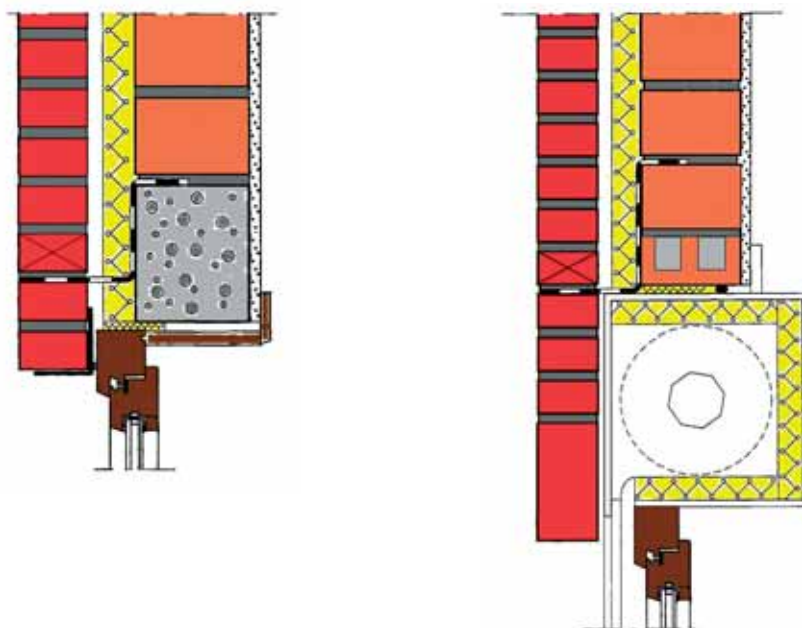
De zone onder het waterkerend membraan dient steeds zorgvuldig geïsoleerd te worden. Zoniet ontstaat een horizontale koudebrug. De isolerende snelbouw verzorgt de continuïteit van de isolatie.



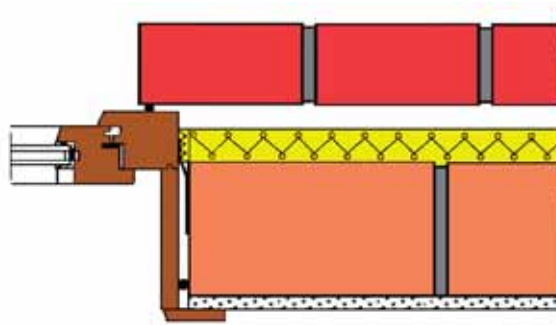
6.3.4 Gevelopeningen

6.3.4.1 Latei

De soepele voegen zijn noodzakelijk om een goede luchtdichtheid te verzekeren. Het waterdicht membraan moet strak gespannen worden, zodat het geen zak vormt waarin water kan blijven staan. De uiteinden van het waterkerende membraan worden opgeplooid om te vermijden dat het water op die plaats tot de isolatielaag zou doordringen.

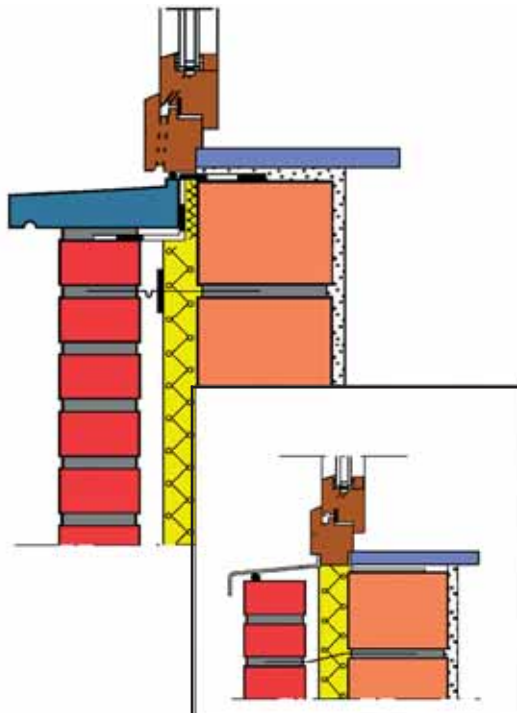


6.3.4.2 Raamneg



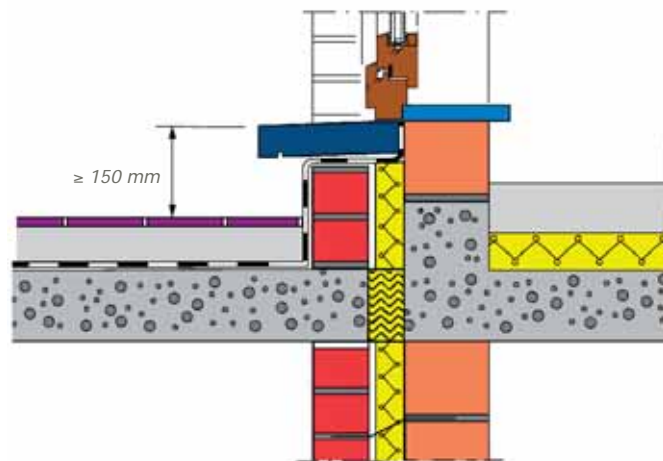
6.3.4.3 Vensterdorpel

Het isolatiemateriaal achter de dorpel zorgt ervoor dat de koudebrug vermeden wordt, terwijl de waterkering het water opvangt dat door eventuele voegen of aan het uiteinde van de dorpel zou doorsijpelen. Ook hier is het aangewezen de randen van de waterkering op te plooiën.

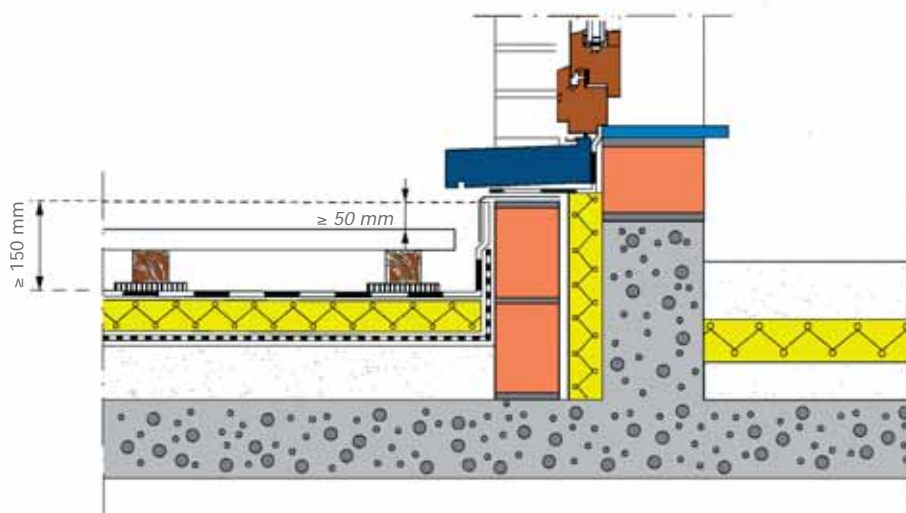


6.3.4.4 Deurdorpel aan terras

De isolatie kan doorlopen doordat het balkon aan de structuur verankerd wordt met een systeem met thermische snede. Een soepele voeg wordt aangebracht tussen de bovenste gevelsteen en het uitkragend balkon, zodat een lichte doorbuiging van dit laatste geen aanleiding kan geven tot scheurvorming in het metselwerk.



Bij het dakterras draagt de isolerende snelbouw de dorpel terwijl hij tevens zorgt voor een continuïteit van de isolatie.





7.1 λ -waarden

λ_{U1} (W/mK) van metselwerk met gecertificeerde snelbouwsteen met kopse voeg en bedvoeg van 12 mm (BENOR)

Volumegewicht ρ (kg/m ³)	Formaat - lengte x hoogte van de steen in mm		
	288x88	288x138	288x188
≤ 700	0,313	0,285	0,271
≤ 800	0,339	0,312	0,298
≤ 900	0,364	0,338	0,325
≤ 1000	0,389	0,365	0,352
≤ 1100	0,415	0,391	0,380
≤ 1200	0,440	0,418	0,407

λ_{U1} (W/mK) van metselwerk met niet-gecertificeerde snelbouwsteen met kopse voeg en bedvoeg van 12 mm

Volumegewicht ρ (kg/m ³)	Formaat - lengte x hoogte van de steen in mm		
	288x88	288x138	288x188
≤ 700	0,330	0,303	0,289
≤ 800	0,356	0,329	0,316
≤ 900	0,381	0,356	0,343
≤ 1000	0,415	0,391	0,380
≤ 1100	0,440	0,418	0,407
≤ 1200	0,474	0,453	0,443



λ_{ue} (W/mK) van metselwerk met gecertificeerde gevelsteen met kopse voeg en bedvoeg van 12 mm (BENOR)

	Formaat - lengte x hoogte van de steen in mm		
	M50 188x50	M65 188x65	M90 188x88
≤ 1400	1,007	0,984	0,961
≤ 1500	1,053	1,032	1,011
≤ 1600	1,113	1,095	1,077
≤ 1700	1,182	1,167	1,152
≤ 1800	1,242	1,230	1,218
≤ 1900	1,362	1,317	1,309
≤ 2000	1,386	1,381	1,376
≤ 2100	1,470	1,468	1,467

λ_{ue} (W/mK) van metselwerk met niet-gecertificeerde gevelsteen met kopse voeg en bedvoeg van 12 mm (BENOR)

	Formaat - lengte x hoogte van de steen in mm		
	M50 188x50	M65 188x65	M90 188x88
≤ 1400	1,068	1,048	1,027
≤ 1500	1,121	1,103	1,085
≤ 1600	1,189	1,175	1,160
≤ 1700	1,265	1,254	1,243
≤ 1800	1,333	1,325	1,318
≤ 1900	1,424	1,421	1,417
≤ 2000	1,492	1,492	1,492
≤ 2100	1,583	1,587	1,591



