

Rapport E.2009.0794.01.R001

Stichting Warm Bouwen

Warm Bouwen onderzoek

Status: DEFINITIEF

Adviseurs voor bouw, industrie, verkeer, milieu en software

NL^{IND}INGENIEURS

info@dgm.nl
www.dgm.nl

Van Pallandtstraat 9-11, Postbus 153
NL-6800 AD Arnhem
T +31 (0)26 351 21 41
F +31 (0)26 443 58 36

Eisenhowerlaan 112, Postbus 82223
NL-2508 EE Den Haag
T +31 (0)70 350 39 99
F +31 (0)70 358 47 52

Morra 2, Postbus 671
NL-9200 AR Drachten
T +31 (0)512 52 23 24
F +31 (0)512 52 25 19

Geerweg 11, Postbus 640
NL-6130 AP Sittard
T +31 (0)46 411 39 30
F +31 (0)46 411 39 31



Colofon

Rapportnummer:	E.2009.0794.01.R001	
Plaats en datum:	Arnhem, 16 december 2010	
Versie:	002	Status: DEFINITIEF
Opdrachtgever:	Stichting Warm Bouwen de heer M. Karthaus Noordeinde 142-B 2514 GP DEN HAAG	
Contactpersoon:	de heer M. Karthaus Telefoon: 070 363 21 48 Fax: 070 392 20 90 E-mail: miel@warmbouwen.nl	
Uitgevoerd door:	DGMR Bouw B.V. Informatie: ing. P. (Paulien) Guijt E-mail: pqu@dgmr.nl Telefoon: 026 351 21 41 Fax: 026 443 58 36	
Auteur(s):	ing. P. (Paulien) Guijt	
Eindverantwoordelijke: Voor deze:	ir. P.J. (Paul) van Bergen ir. F.W.M. (Frank) Lambregts	
Verwerkt door:	RLO LVE	

©DGMR Bouw B.V. Alle rechten voorbehouden. Wilt u (delen van) dit rapport kopiëren of vermenigvuldigen, vraagt u dan schriftelijk toestemming daarvoor bij DGMR Bouw B.V.

Inhoudsopgave	Pagina
1. INLEIDING.....	4
2. PLAN VAN AANPAK.....	5
3. UITGANGSPUNTEN.....	6
3.1 Opbouw gevel	6
3.2 Temperaturen.....	7
3.3 Modelling dynamische berekening.....	8
4. RESULTATEN	10
4.1 Statische berekening warmtestroom zomerseizoen	10
4.2 Statische berekening warmtestroom stookseizoen.....	13
4.3 Statische berekening equivalente R _c -waarde.....	14
4.4 Dynamische berekening equivalente R _c -waarde	15
5. CONCLUSIE	17

Bijlage 1: Resultaten dynamische berekening basis gevel (zonder waterleidingen)

Bijlage 2: Resultaten dynamische berekening warm bouwen gevel

1. Inleiding

Ten behoeve van het project "Warm Bouwen" zijn door DGMR Bouw B.V. berekeningen uitgevoerd naar de isolatiewaarden van de gevel. In het warm bouwen concept zijn de gesloten geveldelen aan de binnenzijde voorzien van een klimaatplaat. In deze klimaatplaat zijn aluminium kernleidingen gevuld met water opgenomen. Het water wordt met een bepaalde temperatuur door de leidingen rondgepompt.

In een traditionele gevel wordt het warmteverlies door de gesloten geveldelen bepaald door het temperatuurverschil tussen binnen en buiten en de warmteweerstand van de materialen waaruit de gevel is opgebouwd. Door de aanwezigheid van de watervoerende laag wordt in de gevel warmte toe- en afgevoerd. Hierdoor gedraagt een gesloten gevel met watervoerende laag zich anders dan een traditionele gevel.

DGMR heeft een onderzoek uitgevoerd naar het verloop van de temperatuur van de warm bouwen gevel en de daarbij optredende energieverliezen bij verschillende buitentemperaturen. Daarnaast is bepaald wat de equivalente R_c -waarde is van de gevel, die gebruikt kan worden voor invoer van een energieprestatieberekening (EPC-berekening).

2. Plan van aanpak

Het onderzoek voor de warm bouwen gevel (WB-gevel) bestaat uit twee delen:

- Bepaling van de transmissieverliezen voor winterse en zomerse temperaturen.
- Bepaling van de equivalente R_c -waarde voor een EPC-berekening door middel van een statische en dynamische berekening.

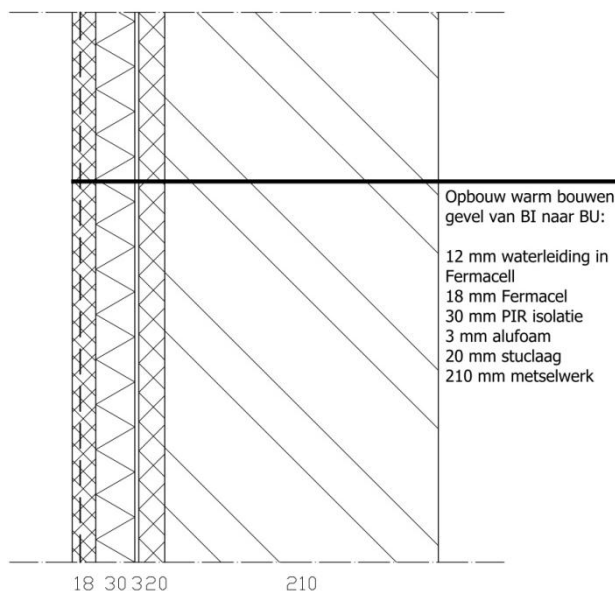
Voor de bepaling van de warmtestroom over een warm bouwen gevel zijn vereenvoudigde transmissieverliesberekeningen uitgevoerd, waarbij onderscheid is gemaakt in winterse en zomerse buitentemperaturen. Bij deze statische berekeningen is voor elke temperatuur (per graad) de warmtestroom door de constructie berekend. Voor het winterseizoen zijn de buitentemperaturen tussen de -10 en 15 graden Celsius beschouwd. Voor het zomerseizoen zijn buitentemperaturen tussen de 15 en 30 graden Celsius aangehouden.

De equivalente R_c -waarde van de WB-gevel is door middel van een statistische en een dynamische berekening bepaald. Voor de statische berekening is een warmteverliesberekening voor het stookseizoen in een jaar uitgevoerd met maandgegevens parallel aan de energieprestatieberekening. Deze maandgegevens bestaan uit buitentemperaturen en tijdsduur van de maand. Voor een meer nauwkeurige benadering is een dynamische warmteverliesberekening van de gevel gemaakt waarbij is uitgegaan van de uurlijkse buitentemperatuurgegevens voor het stookseizoen van het klimaatjaar 1995. Met behulp van een computermodel (VOLTRA) is het dynamisch temperatuurverloop en de warmtestroom door de gevel berekend.

3. Uitgangspunten

3.1 Opbouw gevel

Voor de beoordeling is uitgegaan van een gevelopbouw (van binnen naar buiten) volgens figuur 1. In de Fermacell beplating zijn de waterleidingen aan de rechterzijde van de stippellijn gelegen.



Figuur 1: Opbouw gevel warm bouwen

In tabel 1 staan de materialen met toegepaste dikte en warmtegeleidingsweerstand uit de gevel weergegeven.

Tabel 1

Gevelopbouw (van buiten naar binnen)

omschrijving	dikte [mm]	warmtegeleidingcoëfficiënt [W/mK]
metselwerk	210	1.000
sierpleister (kalkpleister)	20	0.700
aluminium foam	03	0.050
Ecotherm isolatie (PIR)	30	0.023
Fermacell beplating (exclusief leidingen)*	18	0.320
aluminium kernleidingen gevuld met water, opgenomen in Fermacell	12	n.v.t.

* in de statische berekening is een gemiddelde dikte van de beplating aangehouden van 16 mm.

De warmteweerstand van de constructie (zonder waterleidingen) wordt volgens de volgende formule bepaald:

etc.

waarbij R_c = warmteweerstand van de constructie [$m^2 K/W$]

R_1 etc. = warmteweerstand per materiaal [$m^2 K/W$]

en wordt bepaald door $R = d / \lambda$, waarbij d = dikte van het materiaal [m] en λ = warmtegeleidingcoëfficiënt van een materiaal.

Voor de basis gevelopbouw (zonder waterleidingen) is op basis van bovengenoemde uitgangspunten en een statische berekening een R_c -waarde berekend van $1.65 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

De totale warmteweerstand (R_t) van de gevel (lucht op lucht) wordt bepaald door:

waarbij R_t = totale warmteweerstand (lucht op lucht) [$\text{m}^2 \text{ K/W}$]
 R_c = warmteweerstand van de constructie [$\text{m}^2 \text{ K/W}$]
 R_i = warmteweerstand interieur: buitenzijde constructie = $0.13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
 R_e = warmteweerstand exterieur: binnenzijde constructie = $0.04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

Tevens geldt dat de warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) wordt bepaald door:

waarbij U = warmtedoorgangscoefficiënt [$\text{W/m}^2 \text{ K}$]
 R_t = totale warmteweerstand (lucht op lucht) [$\text{m}^2 \text{ K/W}$].

Voor de gevelopbouw van de basis gevel (zonder waterleidingen) is op basis van bovengenoemde uitgangspunten een R_t -waarde berekend van $1.82 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. De warmtedoorgangscoefficiënt (U) van de constructie zonder waterleidingen is $0.55 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Voor de warmteovergangswaarde in de WB-gevel naar de waterlaag is in de berekeningen $r_{\text{water}} = 0.0025 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ aangehouden.

3.2 Temperaturen

Door DGMR is in het voorjaar van 2009 een vereenvoudigde analyse gemaakt van de energiebalans van het warm bouwen concept voor een SenterNovem referentietussenwoning. Hierbij is een statische analyse uitgevoerd met behulp van NEN 5128:2004. Deze analyse is opgenomen in de notitie met het kenmerk E.2009.0410.00.N001 met datum 10 juli 2009. Uit de analyse blijkt dat de verwarmingsbehoefte van de woning in de maanden mei tot en met september beperkt of niet aanwezig is. Derhalve wordt uitgegaan van een stookseizoen in de maanden januari tot en met april en oktober tot en met december.

Het water in de wand heeft een gemiddelde temperatuur van 18°C in het stookseizoen en 16.5°C in de zomermaanden.

Voor de binnentemperatuur in de zomermaanden is 23°C aangehouden.

Doordat de equivalente R_c -waarde wordt gebruikt voor de energieprestatieberekening, zijn een aantal uitgangspunten uit de NEN 2916:2004 "*Energieprestatie van utiliteitsgebouwen – Bepalingsmethode*" aangehouden.

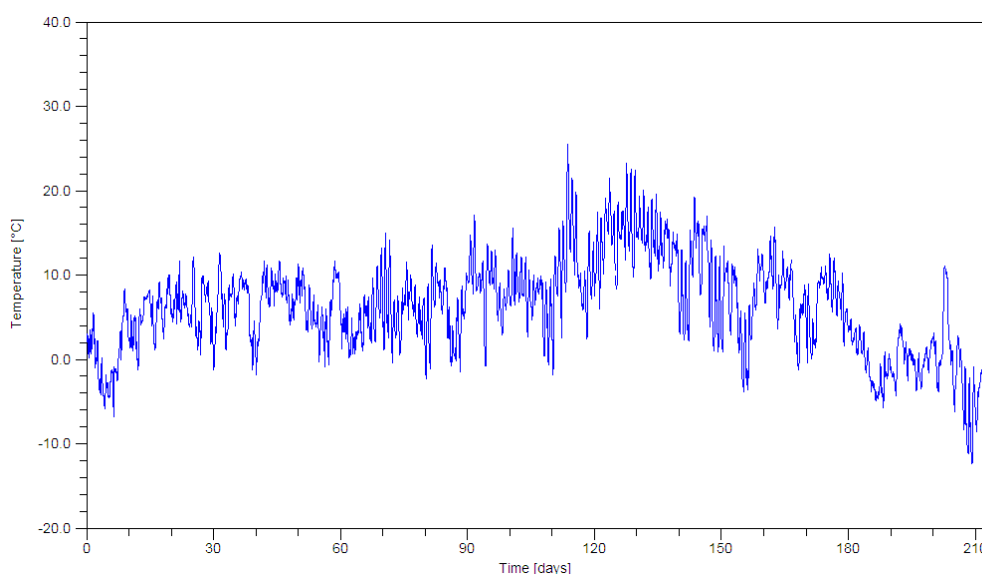
- Voor de binnentemperatuur in het stookseizoen is 19°C aangehouden.
- Voor de buitentemperaturen van de statische berekening zijn de maandgemiddelde temperaturen aangehouden. In tabel 2 zijn de getalswaarden van de buitentemperaturen voor de maanden januari tot en met april en oktober tot en met december aangegeven waarbij de tijdsduur in megaseconden is opgegeven.

Voor de dynamische berekening is voor het stookseizoen gerekend met de uurlijkse buitentemperaturen van het veel gebruikte klimaatjaar 1995. In tabel 2 is in de laatste kolom aangegeven wat de gemiddelde temperaturen voor de maanden in het stookseizoen zijn voor het klimaatjaar 1995. In figuur 2 is de buitentemperatuur als functie van de tijd (stookseizoen) weergegeven. De bijbehorende berekeningsduur is 211 dagen.

Tabel 2

Maandgemiddelde buitentemperaturen stookseizoen

maand	tijd [Ms] volgens NEN 2916	buitentemperatuur [°C] volgens NEN 2916	buitentemperatuur [°C] volgens jaar 1995
januari	2.678	2.5	3.8
februari	2.419	2.7	6.7
maart	2.678	5.6	5.5
april	2.592	8.0	9.2
oktober	2.678	11.2	12.7
november	2.592	6.0	6.8
december	2.678	3.4	-0.9



Figuur 2: Buitentemperatuur in stookseizoen van 1995

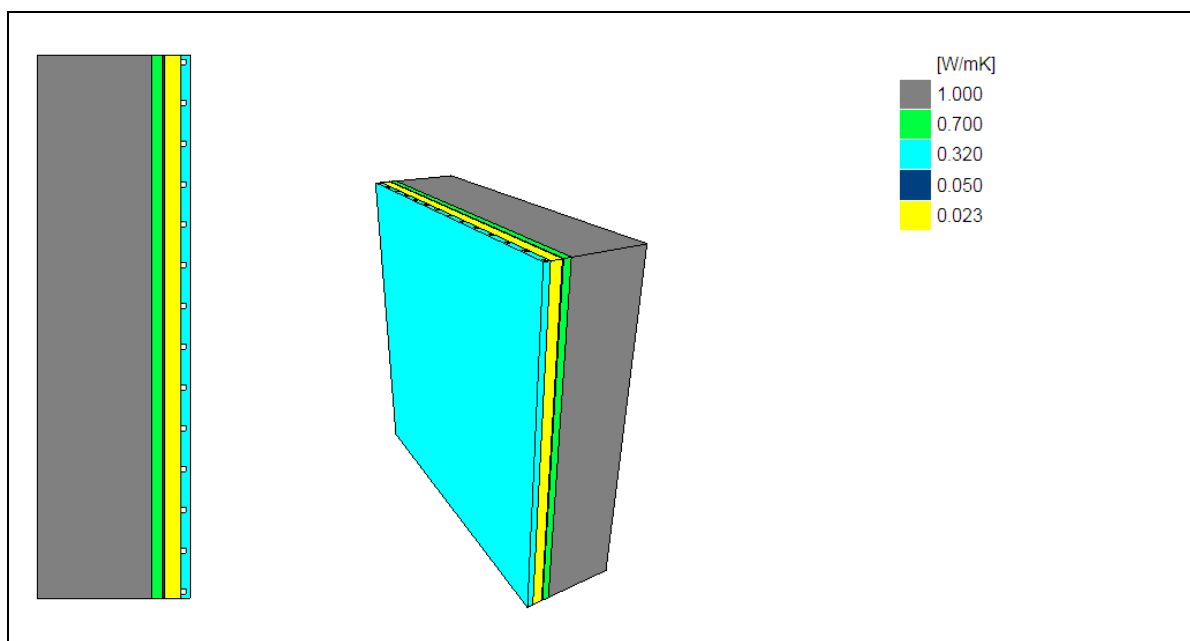
Opgemerkt wordt dat net als in een EPC-berekening volgens NEN 2916, geen rekening is gehouden met zinstraling op de gesloten geveldelen.

3.3 Modelling dynamische berekening

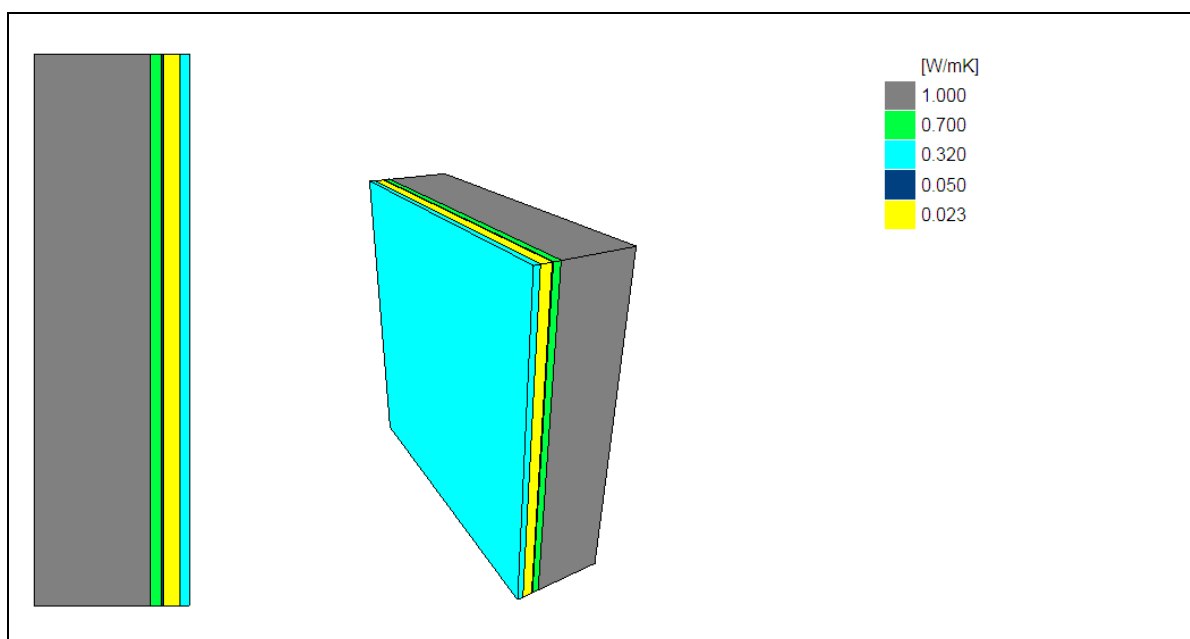
Om de equivalente R_c -waarde te kunnen bepalen zijn er twee verschillende modellen gemaakt van de gevel:

- Eén model van de basis gevel (exclusief waterleidingen).
- Eén model van de warm bouwen gevel (inclusief waterleidingen).

Voor de opbouw van de gevel in de modellen is uitgegaan van figuur 1. De gevels in de modellen hebben de afmeting van 1.0 x 1.0 m². In het model zijn de waterleidingen gemodelleerd als vierkanten met een oppervlakte van 110 mm² en een hart-op-hart afstand van 175 mm. In de figuren 3 en 4 staan de modellen met de verschillende materialen en bijbehorende warmtegeleidingcoëfficiënten weergegeven.



Figuur 3: Doorsnede en totale gevel van berekeningsmodel gevel warm bouwen (inclusief waterleidingen)



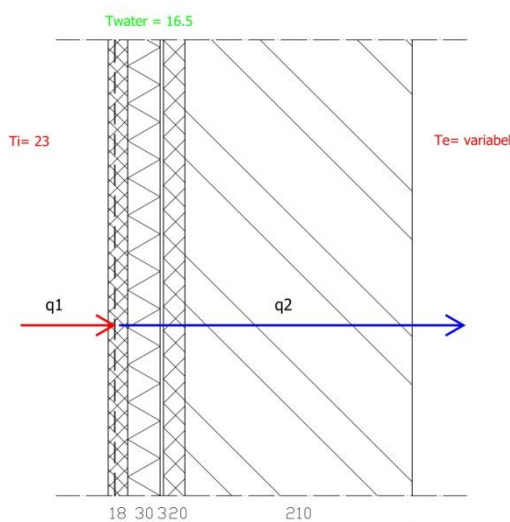
Figuur 4: Doorsnede en totale gevel van berekeningsmodel gevel basis (exclusief waterleidingen)

Bij de dynamische berekeningen is gebruikgemaakt van het programma Voltra van Physibel, versie 6.1.

4. Resultaten

4.1 Statische berekening warmtestroom zomerseizoen

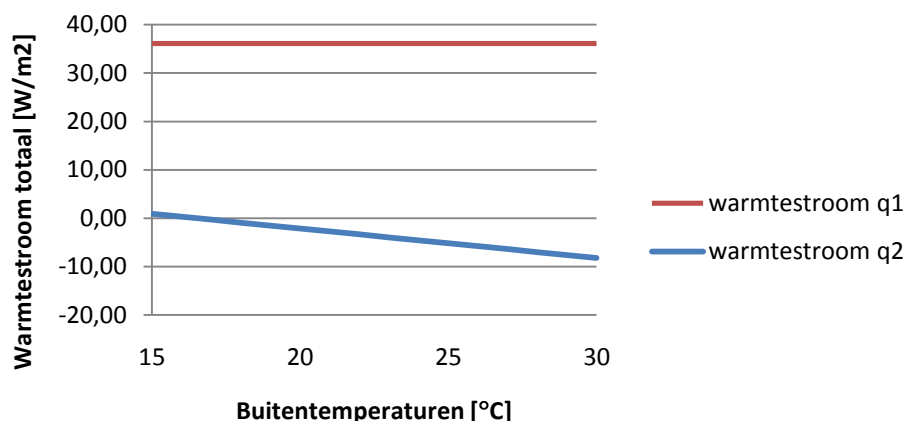
Voor de berekening van de warmtestroom van de constructie bij de verschillende buitentemperaturen in de zomer is een statische berekening gemaakt. In figuur 5 is de doorsnede van de gevel met de twee verschillende optredende warmtestromen weergegeven. Ook zijn in figuur 5 de verschillende temperaturen aangegeven. Voor de buitentemperatuur is gerekend van 15°C tot en met 30°C. In figuur 5 geeft q_1 de warmtestroom weer van binnen ($T_i = 23^\circ\text{C}$) naar de waterleidingen ($T_{\text{water}} = 16.5^\circ\text{C}$). De warmtestroom van buiten (variabele buitentemperatuur) naar de waterleidingen of omgekeerd, afhankelijk van het temperatuurverschil, wordt weergegeven door q_2 .



Figuur 5: Warmtestroom in de constructie

In grafiek 1 en tabel 3 worden de resultaten van de berekening van de warmtestroom in W/m^2 voor verschillende buitentemperaturen weergegeven.

Grafiek 1 warmtestroom zomerseizoen



Tabel 3

Warmtestroom bij verschillende buitentemperaturen, zomerseizoen

buitentemperatuur [°C]	q1, warmtestroom [W/m²]	q2, warmtestroom* [W/m²]
15	36.11	0.91
16	36.11	0.30
17	36.11	-0.30
18	36.11	-0.91
19	36.11	-1.52
20	36.11	-2.13
21	36.11	-2.74
22	36.11	-3.35
23	36.11	-3.96
24	36.11	-4.57
25	36.11	-5.17
26	36.11	-5.78
27	36.11	-6.39
28	36.11	-7.00
29	36.11	-7.61
30	36.11	-8.22

* Negatieve waarde is een warmtestroom naar binnen.

Warmtewinst gedurende zomerseizoen

Een wezenlijk onderdeel van Warm Bouwen is het opslaan van de beschikbare warmte in de zomer. Dit wordt gedaan door gedurende het zomerseizoen de binnenruimtes te koelen. Hiermee wordt zowel de warmte uit de binnenruimtes, als de warmte die toetreedt via de gevel afgevoerd en opgeslagen. In tabel 3 is de grootte weergegeven van enerzijds de warmtestroom vanuit de binnenruimtes naar de watervoerende laag (q1) en anderzijds van de warmtestroom van buiten naar de watervoerende laag (q2) bij een continu gemiddelde binnentemperatuur van 23°C en een gemiddelde watertemperatuur in de waterleiding van 16.5°C.

De maximale hoeveelheid warmte die op grond van bovenstaande berekeningen afgevoerd kan worden gedurende het zomerseizoen (mei tot en met september) is op statische wijze bepaald voor zowel de warmtestroom van buiten naar de watervoerende laag als de warmtestroom van binnen naar de watervoerende laag.

De totale warmtestroom die optreedt van buiten naar de watervoerende laag is verwaarloosbaar. Alleen in juli is de maandgemiddelde temperatuur (conform EPC methodiek, zie tabel 4) van de buitenlucht hoger dan de watertemperatuur in de waterleiding waardoor er een kleine warmtestroom naar binnen optreedt. In de overige vier maanden is er nog steeds sprake van een lagere gemiddelde buitentemperatuur waardoor er net als in het stookseizoen sprake is van een warmtestroom naar buiten.

Bij de beschouwing van de warmtewinst is er alleen gekeken naar de maandgemiddelde buitenluchttemperatuur (conform EPC methodiek). Het effect van zonnewarmtewinst, door zonnestraling die direct op de gevel valt, wordt daarbij niet meegenomen. Hier moet nader onderzoek naar gedaan worden. In paragraaf 4.4 staan de resultaten van een dynamische berekening waarbij rekening is gehouden met uurlijkse waarden voor de buitentemperatuur. Deze zouden gecombineerd moeten worden met zoninstralingsgegevens (per oriëntatie) om de optredende warmtewinst van buiten naar de watervoerende laag te berekenen.

Tabel 4

Maandgemiddelde buitentemperaturen zomerseizoen

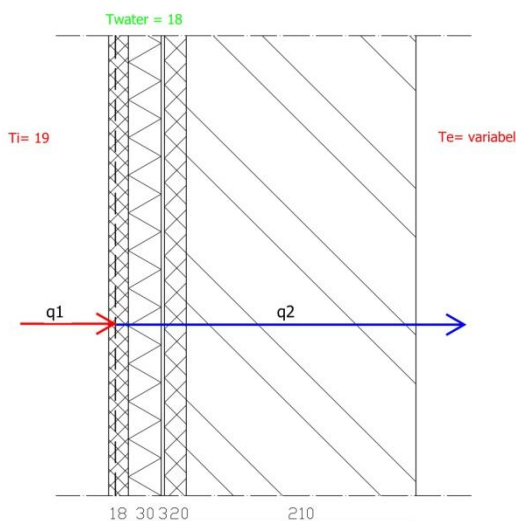
maand	tijd [Ms] volgens NEN 2916	buitentemperatuur [°C] volgens NEN 2916
mei	2.678	11.9
juni	2.592	15.5
juli	2.678	17.0
augustus	2.678	16.4
september	2.592	13.8

De hoeveelheid warmte die onttrokken kan worden uit de ruimte is afhankelijk van de gemiddelde binnentemperatuur. Deze is opnieuw afhankelijk van de interne warmteproductie en de zonnewarmtewinst. Ook door toevoer van warme buitenlucht (bij hogere buitentemperaturen) kan warmte naar de binnenruimtes toestromen. De maximale hoeveelheid warmte gedurende het zomerseizoen bedraagt in theorie bij een gemiddelde vaste binnentemperatuur van 23°C circa 100 MJ/m² per maand. Gedurende het zomerseizoen van vijf maanden is dit in theorie dus maximaal 0.5 GJ. Dit is circa 30-50% van de warmteopbrengst van een zonnecollector, afhankelijk van het type collector. De genoemde warmtewinst kan in de praktijk echter niet gerealiseerd worden. De werkelijke warmtewinst is lager maar kan niet direct bepaald worden door de (interne) afhankelijkheid van de warmte/koudebalans. Pas in een situatie van warmtewinst, een intern overschot aan warmte, kan er warmte afgevoerd worden zonder dat de binnentemperatuur daalt.

Voor de beschouwing van de beschikbare hoeveelheid warmte moet een dynamische berekening gemaakt worden van een gebouw waarbij zowel wordt gekeken naar het warmteverlies als de warmtewinst.

4.2 Statische berekening warmtestroom stookseizoen

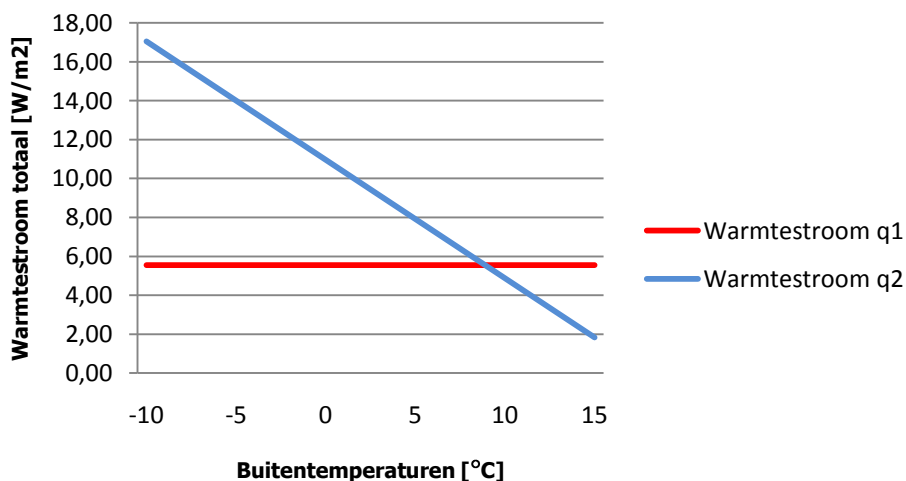
Voor de berekening van de warmtestroom van de constructie bij de verschillende buitentemperaturen in het stookseizoen is een statische berekening gemaakt. In figuur 6 is de doorsnede van de gevel met de twee verschillende optredende warmtestromen weergegeven. Ook zijn in de figuur de verschillende temperaturen aangegeven. Voor de buitentemperatuur is gerekend van -10°C tot en met 15°C. In de figuur geeft q1 de warmtestroom weer van binnen ($T_i = 19^\circ\text{C}$) naar de waterleidingen ($T_{\text{water}} = 18^\circ\text{C}$). De warmtestroom van de waterleidingen naar buiten (variabele buitentemperatuur) wordt weergegeven door q2.



Figuur 6: Warmtestroom in de constructie

In grafiek 2 en tabel 5 worden de resultaten van de berekening van de warmtestroom in W/m^2 voor verschillende buitentemperaturen weergegeven.

Grafiek 2 warmtestroom stookseizoen



Tabel 5

Warmtestroom bij verschillende buitentemperaturen, stookseizoen

buitentemperatuur [°C]	q1, warmtestroom [W/m ²]	q2, warmtestroom [W/m ²]
-10	5.56	17.04
-9	5.56	16.43
-8	5.56	15.83
-7	5.56	15.22
-6	5.56	14.61
-5	5.56	14.00
-4	5.56	13.39
-3	5.56	12.78
-2	5.56	12.17
-1	5.56	11.56
0	5.56	10.96
1	5.56	10.35
2	5.56	9.74
3	5.56	9.13
4	5.56	8.52
5	5.56	7.91
6	5.56	7.30
7	5.56	6.70
8	5.56	6.09
9	5.56	5.48
10	5.56	4.87
11	5.56	4.26
12	5.56	3.65
13	5.56	3.04
14	5.56	2.43
15	5.56	1.83

4.3 Statische berekening equivalente R_c-waarde

Om de equivalente R_c-waarde te bepalen is van het stookseizoen (oktober tot en met april) de totale warmtestroom [W/m²] uitgerekend. Dit is gedaan voor twee typen gevels: de warm bouwen gevel (WB-gevel) en de gevel zonder waterlaag, de zogenaamde EPC-gevel. Bij beide berekeningen zijn de temperaturen en tijdsduren volgens de energieprestatieberekening (zie tabel 2) aangehouden.

De verhouding tussen beide gevels in warmtestroom geeft de verhouding tussen de U-waarden van de gevels weer. Doordat de U-waarde van de EPC-gevel bekend is, kan de equivalente U-waarde van de warm bouwen gevel voor de energieprestatieberekening worden bepaald.

Uit de statische berekeningen volgt dat de verhouding tussen de warmtestroomdichtheden en daarmee tevens de U-waarden van de constructie voor het totale stookseizoen (in seconden) het volgende is:

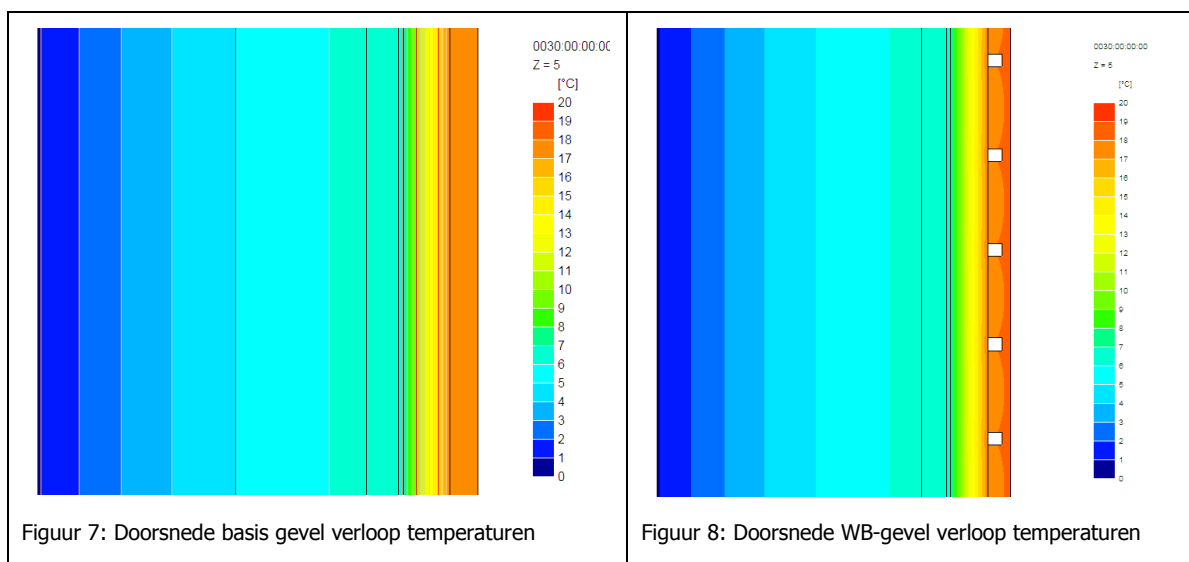
$$\frac{W_{\text{tot stookseizoen warm bouwen}}}{W_{\text{tot stookseizoen gevel EPC}}} = \frac{U_{\text{equivalent warm bouwen}}}{U_{\text{gevel EPC}}} = \frac{0.42}{0.55} = 0.758$$

De U-waarde van de gevel zonder watervoerende laag is 0.55 W/m²K. De equivalente U-waarde van de warm bouwen gevel is 0.42 W/m²K. De equivalente R_c-waarde van de warm bouwen gevel wordt daarmee berekend op 2.23 m²K/W.

In grafiek 3 zijn de resultaten van de statische (en dynamische berekening) per maand gesommeerd weergegeven.

4.4 Dynamische berekening equivalente R_c-waarde

Om het dynamisch verloop van de buitentemperaturen mee te nemen is met het simulatieprogramma Voltra een berekening gemaakt. Voor deze berekening zijn de uurlijkse klimaatgegevens van het klimaatjaar 1995 gebruikt. Ook voor deze berekening is enkel gekeken naar het stookseizoen: de maanden januari tot en met april en de maanden oktober tot en met december. In de figuren 7 en 8 is het verloop van temperaturen door de gevelconstructies van beide modellen op dag 30 van het jaar 1995 weergegeven. In de bijlagen is de uitvoer van alle uren van beide modellen weergegeven.



Een vergelijking tussen de warmtestromen van de verschillende modellen levert een verhoudingsgetal voor de U-waarden op waarmee op vergelijkbare wijze in paragraaf 4.3, de equivalente R_c-waarde kan worden bepaald.

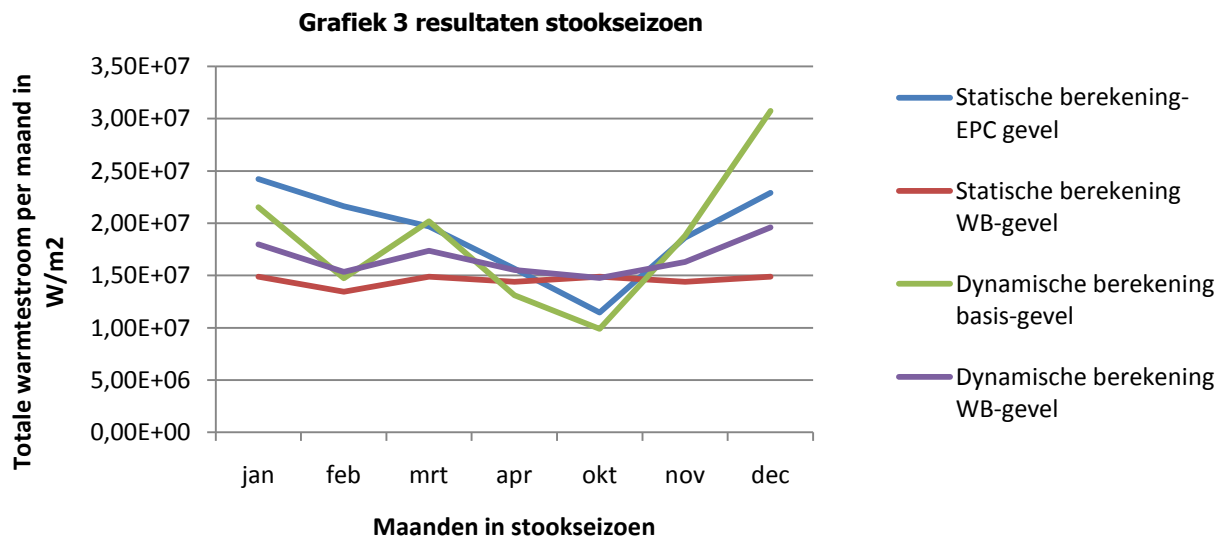
Doordat de U-waarde van de basis gevel bekend is (zie paragraaf 3.1), kan de equivalente U-waarde van de WB-gevel voor de energieprestatieberekening worden bepaald. Uit de dynamische berekeningen volgt dat de verhouding tussen de warmtestroomdichtheden en

daarmee tevens de U-waarden van de constructie voor het totale stookseizoen (in seconden) het volgende is:

$$\frac{W_{\text{tot stookseizoen warm bouwen}}}{W_{\text{tot stookseizoen gevel BASIS}}} = \frac{U_{\text{equivalent warm bouwen}}}{U_{\text{gevel BASIS}}} = \frac{0.497}{0.55} = 0.905$$

De U-waarde van de gevel zonder watervoerende laag is 0.55 W/m²K. De equivalente U-waarde van de warm bouwen gevel is 0.497 W/m²K. De equivalente R_c-waarde van de warm bouwen gevel wordt daarmee berekend op 1.84 m²K/W. In grafiek 3 zijn de resultaten van de statische en dynamische berekening per maand gesommeerd weergegeven.

Het verschil tussen de bepaalde equivalente R_c-waarde volgens de statische en dynamische berekeningen is onder andere te verklaren door het verschil in gemiddelde buitentemperaturen, zie tabel 2.



5. Conclusie

In opdracht van de stichting Warm Bouwen zijn door DGMR Bouw B.V. berekeningen uitgevoerd naar de isolatiewaarden en warmteverliezen van een warm bouwen gevel. In het warm bouwen concept zijn de gesloten geveldelen aan de binnenzijde voorzien van een klimaatplaat. In deze klimaatplaat zijn aluminium kernleidingen gevuld met water opgenomen. Het water wordt met een bepaalde temperatuur door de leidingen rondgepompt.

Voor de bepaling van de warmteverliezen zijn de warmtestromen door de gevel voor een zomer en wintersituatie berekend.

Naast de bepaling van de warmteverliezen is de equivalente R_c -waarde voor de energieprestatieberekening door middel van een statische en dynamische berekening bepaald. In tabel 6 zijn de berekende R_c -waarde van de warm bouwen gevel weergegeven waarbij de R_c -waarde van de constructie zonder waterleidingen ook is opgenomen.

Tabel 6

Resultaten R_c -waarden

basis (zonder waterleidingen)	equivalente R_c-waarde op basis van statische berekening	equivalente R_c-waarde op basis van dynamische berekening
1.65 m ² K/W	2.23 m ² K/W	1.84 m ² K/W

Arnhem, 16 december 2010
DGMR Bouw B.V.