

### 3 Berekeningen

#### 3.1 Bouwfysische berekeningen

##### 3.1.1 Uitgangspunten

Met behulp van het computerprogramma Bouwfysica THERMA, laatste versie, is een bouwfysische controleberekening (semi-dynamisch) uitgevoerd van de bestaande dakbedekkingsconstructie. De gehanteerde klimaatcondities in de berekening zijn onderstaand weergegeven.

- Buitenklimaat; statistisch bepaalde gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid, per decade (gegevens KNMI over 25 jaar).
- Binnenklimaat; statistisch bepaalde gemiddelde temperatuur en luchtvochtigheid, per decade uitgaande van klimaatklasse II.

De indeling van de klimaatklassen is in onderstaande tabel weergegeven.

*Tabel 1 – Indeling klimaatklassen*

Klimaatklasse	Mate van dampproductie	Temperatuur	Dampdruk $P_i$ in Pa ( $N.m^{-2}$ )
I	condities heersend in ruimten zonder of met zeer geringe dampproductie	18 °C (+ / - 2 °C)	1080 (+ / - 386)
II	condities heersend in ruimten met geringe dampproductie	20 °C (+ / - 2 °C)	1320 (+ / - 324)
III	condities heersend in ruimten met matige dampproductie	22 °C (+ / - 2 °C)	1430 (+ / - 342)
IV	condities heersend in ruimten met hoge dampproductie	30 °C (+ / - 2 °C)	2500 (+ / - 220)

Opdrachtnr. : 09-B-0609/54 Blad: 65

Datum : 2012.01.27 Van 86 bladen

Voor alle vertrekken is uitgegaan van bovengenoemde klimaatklasse. Mogelijk dat enkele ruimten in mindere mate verwarmd worden (garagebedrijf) waardoor het verschil in energieverlies en CO<sup>2</sup> uitstoot, door het aanvullend isoleren zoals weergegeven in 3.1.4, minder groot is.

De bestaande dakbedekkingsconstructie van dakvlak 1 en 10 is als volgt samengesteld:

Afwerking : grind, dik 30 mm;  
Dakbedekkingssysteem : teer en bitumen, dik 8 mm;  
Isolatie : cellenbetontegels, dik 70 mm;  
Onderconstructie : betonvloer.

De bestaande dakbedekkingsconstructie van dakvlak 2 is als volgt samengesteld:

Afwerking : grind, dik 30 mm;  
Dakbedekkingssysteem : teermastiek, dik 4 mm;  
Isolatie : geëxpandeerd kurk, dik 40 mm;  
Onderconstructie : betonvloer.

De bestaande dakbedekkingsconstructie van dakvlak 3 is als volgt samengesteld:

Dakbedekkingssysteem : bitumen, dik 6 mm;  
Isolatie : polyurethaan (PUR) hardschuim isolatieplaten, dik 80 mm;  
Onderconstructie : staal.

De bestaande dakbedekkingsconstructie van dakvlak 4 is als volgt samengesteld:

Dakbedekkingssysteem : teer en bitumen, dik 8 mm;  
Onderconstructie : beton en zandcement.

De bestaande dakbedekkingsconstructie van dakvlak 5 en 6 is als volgt samengesteld:

Dakbedekkingssysteem : teer en bitumen, dik 8 mm;  
Onderconstructie : bimsbeton.

De bestaande dakbedekkingsconstructie van dakvlak 7 is als volgt samengesteld:

Dakbedekkingssysteem : bitumen, dik 8 mm;  
Isolatie : geëxpandeerd polystyreen (EPS), dik 50 mm;  
Dampremmende laag : bitumen, dik 2 mm;  
Onderconstructie : cellenbeton.

De bestaande dakbedekkingsconstructie van dakvlak 8 is als volgt samengesteld:

Afwerking : parelgrind, dik 20 mm;  
Dakbedekkingssysteem : bitumen, dik 8 mm;  
Isolatie : geëxpandeerd polystyreen (EPS), dik 50 mm;  
Dampremmende laag : bitumen, dik 2 mm;  
Onderconstructie : cellenbeton.

De bestaande dakbedekkingsconstructie van dakvlak 9 is als volgt samengesteld:

Dakbedekkingssysteem : bitumen, dik 6 mm;  
Isolatie : polyurethaan (PUR) hardschuim isolatieplaten, dik 70 mm;  
Onderconstructie : staal, dik 0,75 mm.

Voor de dikte van de betonnen onderconstructie is een aanname gedaan. De eventuele (plafond) afwerking onder de draagconstructie is niet in de berekening meegenomen.

### 3.1.2 Resultaten

In tabel 2 t/m 9 zijn de meest relevante resultaten van de bouwfysische berekening weergegeven.

*Tabel 2 - Resultaten bouwfysische berekening bestaande situatie dakvlak 1 en 10*

Omschrijving	Resultaat	Waardering
R <sub>c</sub> -waarde	0,36 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	onvoldoende
Inwendige condensatie (buitenste condenslaag)	64,5 g.m <sup>-2</sup>	goed
Droging (buitenste condenslaag)	257,2 g.m <sup>-2</sup>	goed

*Tabel 3 - Resultaten bouwfysische berekening bestaande situatie dakvlak 2*

Omschrijving	Resultaat	Waardering
R <sub>c</sub> -waarde	0,93 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	onvoldoende
Inwendige condensatie (buitenste condenslaag)	135,2 g.m <sup>-2</sup>	matig
Droging (buitenste condenslaag)	226,0 g.m <sup>-2</sup>	goed

*Tabel 4 - Resultaten bouwfysische berekening bestaande situatie dakvlak 3*

Omschrijving	Resultaat	Waardering
R <sub>c</sub> -waarde	2,75 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	goed
Inwendige condensatie (buitenste condenslaag)	0,4 g.m <sup>-2</sup>	goed
Droging (buitenste condenslaag)	232,9 g.m <sup>-2</sup>	goed

*Tabel 5 - Resultaten bouwfysische berekening bestaande situatie dakvlak 4*

Omschrijving	Resultaat	Waardering
R <sub>c</sub> -waarde	0,08 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	onvoldoende
Inwendige condensatie (buitenste condenslaag)	n.v.t.	goed
Droging (buitenste condenslaag)	n.v.t.	goed

*Tabel 6 - Resultaten bouwfysische berekening bestaande situatie dakvlak 5 en 6*

Omschrijving	Resultaat	Waardering
R <sub>c</sub> -waarde	0,28 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	onvoldoende
Inwendige condensatie (buitenste condenslaag)	368 g.m <sup>-2</sup>	slecht
Droging (buitenste condenslaag)	1425,7 g.m <sup>-2</sup>	goed

*Tabel 7 - Resultaten bouwfysische berekening bestaande situatie dakvlak 7 en 8*

Omschrijving	Resultaat	Waardering
R <sub>c</sub> -waarde	1,85 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	onvoldoende
Inwendige condensatie (buitenste condenslaag)	21,2 g.m <sup>-2</sup>	goed
Droging (buitenste condenslaag)	34,7 g.m <sup>-2</sup>	goed

*Tabel 8 - Resultaten bouwfysische berekening bestaande situatie dakvlak 9*

Omschrijving	Resultaat	Waardering
R <sub>c</sub> -waarde	2,40 m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup>	onvoldoende
Inwendige condensatie (buitenste condenslaag)	0,2 g.m <sup>-2</sup>	goed
Droging (buitenste condenslaag)	261,7 g.m <sup>-2</sup>	goed

### 3.1.3 Toelichting berekening

#### ***Thermische aspecten van het dak***

De huidige R<sub>c</sub>-waarde van de daken varieert van 0,08 m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup> tot 2,75 m<sup>2</sup>.K.W<sup>-1</sup>. De waarde-  
ring voor de meeste daken is onvoldoende wanneer niet wordt voldaan aan de nieuwbouweis  
van het Bouwbesluit  $R_c \geq 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ .

#### ***Hygrische aspecten van het dak***

De huidige dakbedekkingsconstructies functioneren hygrisch gezien over het algemeen redelijk  
tot goed. Er is op de daken een extra drogingscapaciteit. Is in de zomerperiode de droging meer  
dan er in de winterperiode condenseert, dan wordt dit als goed gewaardeerd. Alleen op dakvlak  
5 en 6 kan wel in de winterperiode overlast in de binnenruimte ontstaan doordat er een aanzien-  
lijke hoeveelheid condensatie tegen de onderzijde van de dakvloer kan optreden. Aangezien  
het een garage betreft zal het echter niet direct tot problemen leiden.

De bouwfysische berekening is als bijlage 2 toegevoegd aan deze rapportage.

### 3.1.4 Rendementsberekeningen

Er zijn berekeningen uitgevoerd voor het dak met een hogere warmteweerstand door de isolatiedikte te verhogen. Er is een keuze gemaakt voor een verhoogde warmteweerstand van de dakbedekkingsconstructie van  $R_c \geq 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ ,  $R_c \geq 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  en  $R_c \geq 5,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ .

De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabellen waarin wordt aangegeven tot welke besparing een dergelijke verhoging van de warmteweerstand leidt.

Tabel 9 a– Energiebesparing dakvlak 1 en 10 ten opzichte van bestaande situatie

Gebouw functie	Oppervlak betreffende dakvlak in [m <sup>2</sup> ]	Warmteweerstand bestaande situatie in [m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> ]	Energieverlies bestaand in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij R <sub>c</sub> =2,5 in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij R <sub>c</sub> =3,5 in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij R <sub>c</sub> =5,0 in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar
bedrijfsruimte	1342	0,36	497,1	92,0	64,6	47,2
Energiebesparing t.o.v. bestaande situatie in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar				405,1	432,5	449,9

Tabel 9 b – Reductie dakvlak 1 en 10 op de kosten en CO<sub>2</sub> uitstoot

Verhogen van de warmteweerstand van het dak tot	R <sub>c</sub> =2,5	R <sub>c</sub> =3,5	R <sub>c</sub> =5,0
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar per m <sup>2</sup>	14,686	15,444	116,066
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar	19.416	20.726	21.561
besparing in € per jaar per m <sup>2</sup>	€ 9,69	€ 10,35	€ 10,76
besparing in € per jaar	€ 13.008,76	€ 13.886,32	€ 14.445,58
vermindering CO <sub>2</sub> uitstoot in kg per jaar	34.366	36.685	38.162

Tabel 10 a– Energiebesparing dakvlak 2 ten opzichte van bestaande situatie

Gebouw functie	Oppervlak betreffende dakvlak in [m <sup>2</sup> ]	Warmteweerstand bestaande situatie in [m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> ]	Energieverlies bestaand in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij R <sub>c</sub> =2,5 in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij R <sub>c</sub> =3,5 in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij R <sub>c</sub> =5,0 in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar
bedrijfsruimte	80	0,93	321,1	89,5	64,6	47,2
Energiebesparing t.o.v. bestaande situatie in [MJ·m <sup>-2</sup> ] per jaar				141,6	166,5	193,9

*Tabel 10 b – Reductie dakvlak 2 op de kosten en CO<sub>2</sub> uitstoot*

Verhogen van de warmteweerstand van het dak tot	Rc=2,5	Rc=3,5	Rc=5,0
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar per m <sup>2</sup>	5,060	5,947	6,569
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar	405	476	526
besparing in € per jaar per m <sup>2</sup>	€ 3,39	€ 3,98	€ 4,40
besparing in € per jaar	€ 271,22	€ 318,76	€ 352,10
vermindering CO <sub>2</sub> uitstoot in kg per jaar	716	842	930

*Tabel 11 a– Energiebesparing dakvlak 4 ten opzichte van bestaande situatie*

Gebouw functie	Oppervlak betreffende dakvlak in [m <sup>2</sup> ]	Warmteweerstand bestaande situatie in [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	Energieverlies bestaand in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=2,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=3,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=5,0 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar
bedrijfsruimte	338	0,08	1130,8	89,5	64,6	47,2
Energiebesparing t.o.v. bestaande situatie in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar				1041,3	1066,2	1083,6

*Tabel 11 b – Reductie dakvlak 4 op de kosten en CO<sub>2</sub> uitstoot*

Verhogen van de warmteweerstand van het dak tot	Rc=2,5	Rc=3,5	Rc=5,0
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar per m <sup>2</sup>	37,191	38,078	38,700
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar	12.571	12.870	13.081
besparing in € per jaar per m <sup>2</sup>	€ 24,92	€ 25,51	€ 25,93
besparing in € per jaar	€ 8.422,27	€ 8.623,14	€ 8.764,00
vermindering CO <sub>2</sub> uitstoot in kg per jaar	22.250	22.781	23.153

*Tabel 12 a– Energiebesparing dakvlak 5 en 6 ten opzichte van bestaande situatie*

Gebouw functie	Oppervlak betreffende dakvlak in [m <sup>2</sup> ]	Warmteweerstand bestaande situatie in [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	Energieverlies bestaand in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=2,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=3,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=5,0 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar
bedrijfsruimte	316	0,28	591,5	84,5	67,1	47,2
Energiebesparing t.o.v. bestaande situatie in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar				507,0	524,4	544,3

Opdrachtnr. : 09-B-0609/54 Blad: 71

Datum : 2012.01.27 Van 86 bladen

*Tabel 12 b – Reductie dakvlak 5 en 6 op de kosten en CO<sub>2</sub> uitstoot*

Verhogen van de warmteweerstand van het dak tot	Rc=3,5	Rc=2,5	Rc=5,0
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar per m <sup>2</sup>	18,728	18,107	19,439
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar	5.918	5.722	6.143
besparing in € per jaar per m <sup>2</sup>	€ 12,55	€ 12,13	€ 13,02
besparing in € per jaar	€ 3.965,09	€ 3.833,61	€ 4.115,63
vermindering CO <sub>2</sub> uitstoot in kg per jaar	10.475	10.128	10.873

*Tabel 13 a– Energiebesparing dakvlak 7 ten opzichte van bestaande situatie*

Gebouw functie	Oppervlak betreffende dakvlak in [m <sup>2</sup> ]	Warmteweerstand bestaande situatie in [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	Energieverlies bestaand in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=2,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=3,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=5,0 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar
bedrijfsruimte	468	1,85	124,3	92,0	67,1	44,7
Energiebesparing t.o.v. bestaande situatie in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar				32,3	57,2	79,6

*Tabel 13 b – Reductie dakvlak 7 op de kosten en CO<sub>2</sub> uitstoot*

Verhogen van de warmteweerstand van het dak tot	Rc=2,5	Rc=3,5	Rc=5,0
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar per m <sup>2</sup>	1,154	2,041	2,840
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar	540	955	1.329
besparing in € per jaar per m <sup>2</sup>	€ 0,77	€ 1,37	€ 1,90
besparing in € per jaar	€ 361,85	€ 639,98	€ 890,51
vermindering CO <sub>2</sub> uitstoot in kg per jaar	956	1.691	2.353

*Tabel 14 a– Energiebesparing dakvlak 8 ten opzichte van bestaande situatie*

Gebouw functie	Oppervlak betreffende dakvlak in [m <sup>2</sup> ]	Warmteweerstand bestaande situatie in [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	Energieverlies bestaand in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=2,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=3,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=5,0 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar
bedrijfsruimte	174	1,85	124,3	92,0	67,1	44,7
Energiebesparing t.o.v. bestaande situatie in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar				32,3	57,2	79,6

*Tabel 14 b – Reductie dakvlak 8 op de kosten en CO<sub>2</sub> uitstoot*

Verhogen van de warmteweerstand van het dak tot	Rc=2,5	Rc=3,5	Rc=5,0
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar per m <sup>2</sup>	1,154	2,041	2,840
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar	201	355	494
besparing in € per jaar per m <sup>2</sup>	€ 0,77	€ 1,37	€ 1,90
besparing in € per jaar per complex	€ 134,53	€ 237,94	€ 331,09
vermindering CO <sub>2</sub> uitstoot in kg per jaar	355	629	875

*Tabel 15 a– Energiebesparing dakvlak 9 ten opzichte van bestaande situatie*

Gebouw functie	Oppervlak betreffende dakvlak in [m <sup>2</sup> ]	Warmteweerstand bestaande situatie in [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	Energieverlies bestaand in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=3,5 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar	Energieverlies bij Rc=5,0 in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar
bedrijfsruimte	722	2,40	82,6	53,0	40,3
Energiebesparing t.o.v. bestaande situatie in [MJ.m <sup>-2</sup> ] per jaar				29,6	42,3

*Tabel 15 b – Reductie dakvlak 9 op de kosten en CO<sub>2</sub> uitstoot*

Verhogen van de warmteweerstand van het dak tot	Rc=3,5	Rc=5,0
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar per m <sup>2</sup>	1,059	1,513
minderverbruik aardgas in m <sup>3</sup> per jaar	765	1.092
besparing in € per jaar per m <sup>2</sup>	€ 0,71	€ 1,01
besparing in € per jaar	€ 512,28	€ 731,90
vermindering CO <sub>2</sub> uitstoot in kg per jaar	1.353	1.934

## **4 Indicatieve beoordeling gevels**

### **4.1 Thermische eigenschappen**

De gevels bestaan uit metselwerk gevels met aluminium en houten geveldelen, voorzien van enkel en/of dubbel glas. Afhankelijk van de isolatiegraad van de (spouw)muren en gevels kan deze worden verbeterd door het (aanvullend) isoleren van de (spouw)constructie. Om hier meer inzicht in te krijgen en een advies over uit te brengen moet aanvullend onderzoek worden uitgevoerd.

### **4.2 Zonne-energie systemen**

Door de oriëntatie van het complex in het hart van de stad en de daarmee samenhangende schaduwwerking zijn de gevels minder geschikt om te worden voorzien van zonneenergiesystemen.

### **4.3 Geschiktheid gevelbegroeiing**

Aan de hand van het type gevel wordt in onderstaande tabel aangegeven wat de mogelijkheden met betrekking tot het type gevelbegroeiing zijn. Daarin wordt onderscheid gemaakt in grondgebonden systemen en niet-grondgebonden systemen. Per systeem is een nadere onderverdeling mogelijk.

#### ***Grondgebonden systemen***

Bij grondgebonden systemen wortelt de beplanting in de volle grond langs de gevel. Bij een zelfhechtende directe gevelbegroeiing groeit de klimplant rechtstreeks tegen de wand. Bij een afstand- of indirecte begroeiing hebben de planten een klimhulp nodig. De systeemkeuze wordt niet alleen bepaald door de plantensoort, maar ook door de gevelconstructie.

### ***Niet-grondgebonden systemen***

Bij niet-grondgebonden systemen wortelt de beplanting in een groeimedium boven de grond. Voordelen zijn dat er geen doorwortelbare grond nodig is langs de gevel op maaiveldniveau en dat het eindresultaat snel wordt bereikt. Een nadeel is echter dat er altijd automatisch een automatisch watergeefstelsel nodig is. voorbeelden van niet-grondgebonden systemen zijn:

- Hangende systemen;
- Boven elkaar rechtstreeks tegen de gevel gemonteerde metalen bakken met een overloopstelsel;
- Metalen bakken gemonteerd tegen een staalframe op enige afstand van de gevel, de bakken verbonden met een stalen raster waarlangs de beplanting groeit;
- Prefab groeiplaten, bekleed met vliezen, waarin planzakjes zijn gemaakt; het geheel wordt bevestigd op een stalen buisframe;
- Systemen met een doorgaande groeikern, waarbij inplanting plaatsvindt vanaf de buitenzijde; het betreft relatief zware systemen die vooral worden toegepast in geluidwallen.

In de rapportage wordt alleen het geveltype in de tabel weergegeven die ook daadwerkelijk op het project voorkomt en in aanmerking komt voor gevelbegroeiing.

*Tabel 16 – Geschiktheid van gevelondergronden voor gevelbegroeiing*

Ondergrond	Grondgebonden systemen		Niet-grondgebonden systemen			
Geveltype	Zelf-hechters	Met klimhulp	Bakken/zakken met groei-medium <sup>1)</sup>	Combinatie-systemen	Hang-systemen	Doorgaande grondkern
Metselwerk <sup>2)</sup> (spouwmuur)	+	++	++	++	+	+

- niet

+/- matig

+ geschikt

++ zeer geschikt

<sup>1)</sup> De gevelondergrond altijd voorzien van een waterdichte laag; het eigenlijke systeem bij voorkeur aanbrengen op een aparte (zelfdragende) metalen constructie.

<sup>2)</sup> Het metselwerk uitvoeren met gesloten, doorgestreken voegen, hardheidsklasse V45; de constructie moet geschikt zijn om krachten uit verankeringen en dergelijke op te nemen.

## **5 Analyse**

### **5.1 Constructieve aspecten**

Het aanbrengen van een vegetatieafwerking op de bestaande dakbedekkingsconstructie houdt in dat het eigen gewicht van de dakbedekkingsconstructie wordt verhoogd. Dit betekent dat de draagconstructie hierop moet worden gecontroleerd. Aan de hand van de ontwerpgegevens is een controleberekening door de constructeur uitgevoerd om te bepalen hoeveel extra gewicht op de dakbedekkingsconstructie kan worden aangebracht, zonder dat daarbij de veiligheidsmarges worden overschreden. Daarbij wordt uitgegaan van de ontwerpsituatie. Deze is niet in de praktijk getoetst.

Begroeide daken kunnen worden onderverdeeld in vegetatiedaken en tuindaken.

Vegetatiedaken worden gekenmerkt door een zogenoemde extensieve begroeiing. Dit is een begroeiing die zich ontwikkelt tot een min of meer ecologisch stabiele plantengemeenschap die zichzelf in stand kan houden met een minimum aan onderhoud. Over het algemeen betreft dit plantengemeenschappen die bestaan uit vetplanten zoals sedums en droogteminnende kruiden en grassen, die ook van nature in een droog, schraal (arm) milieu voorkomen.

Bij tuindaken is sprake van een zogenoemde intensieve begroeiing. Dit is een begroeiing waarbij het noodzakelijk is voor de instandhouding van de beplating (uitgebreid) onderhoud te plegen.

Bij tuindaken is sprake van een opbouwhoogte van circa 150 mm tot 1 m en een eigen gewicht van circa  $220 \text{ kg.m}^{-2}$  tot ruim  $1000 \text{ kg.m}^{-2}$ . Tuindaken zijn in de meeste gevallen niet geschikt om op bestaande daken te worden aangebracht, omdat bij de realisatie van de constructie van deze daken geen rekening is gehouden met een dergelijk hoge opbouw en hoog eigen gewicht. De opbouwhoogte van vegetatiedaken met een extensieve begroeiing bedraagt maximaal circa 150 mm en de belasting bij waterverzadiging kan oplopen tot circa  $150 \text{ kg.m}^{-2}$ .

Uit de controleberekeningen blijkt dat de draagconstructie van de betreffende daken qua sterkte in staat is de in onderstaande tabel aangegeven waarden als extra gewicht te kunnen dragen.

Tabel 17 – Toegestane verhoging eigen gewicht

	Toegestane maximale verhoging eigen gewicht dakbedekkingscon- structie	Draagconstructie uitgevoerd in
Dakvlak 1	100 (kg.m <sup>-2</sup> )	beton
Dakvlak 2	50 (kg.m <sup>-2</sup> )	staal
Dakvlak 3	geen	staal
Dakvlak 4	geen	staal
Dakvlak 5	geen	beton
Dakvlak 6	40 (kg.m <sup>-2</sup> )	beton
Dakvlak 7	40 (kg.m <sup>-2</sup> )	beton
Dakvlak 8	40 (kg.m <sup>-2</sup> )	beton
Dakvlak 9	geen	staal
Dakvlak 10	100 (kg.m <sup>-2</sup> )	beton

## 5.2 Gevoeligheid voor wateraccumulatie

Ten aanzien van extra risico's aan de dakconstructie met betrekking tot wateraccumulatie is een inschatting gemaakt. Deze inschatting is gebaseerd op het door VROM uitgebrachte stroomschema voor de risicobepaling van lichte platte daken. De uitgave met het stroomschema is als bijlage 3 aan het rapport toegevoegd.

Bij het verschijnsel wateraccumulatie spelen in zijn algemeenheid drie factoren een rol: het afschot van het dak, de noodafvoer en de stijfheid van de constructie. Ongewenste wateraccumulatie ontstaat als regenwater niet snel genoeg kan worden afgevoerd en de dakconstructie daardoor zodanig vervormt (doorbuigt) dat er zich steeds meer water verzamelt op het laagste punt. Uiteindelijk kan dit leiden tot instorting.

De inschatting geeft een globale indruk of er risico's aan de dakconstructie kleven ten aanzien van wateraccumulatie. Als uit de inschatting volgt dat het dak (ernstig) risico vertoont op wateraccumulatie moet op korte termijn de dakconstructie en eventuele benodigde noodafvoeren nauwkeurig worden beoordeeld.

Tabel 18 – Risicobeoordeling dakvlak 1, 5, 6, 7, 8, en 10 t.a.v. wateraccumulatie

dakvorm		constructietype		noodafvoeren aanwezig		afschot		Risicobeoordeling
hellend	vlak	zwaar	licht	ja	nee	< 1,5 %	> 1,5 %	
	x	x			x	x		geen

Tabel 19 – Risicobeoordeling dakvlak 2, 3, 4 en 9 t.a.v. wateraccumulatie

dakvorm		constructietype		noodafvoeren aanwezig		afschot		risicobeoordeling
hellend	vlak	zwaar	licht	ja	nee	< 1,5 %	> 1,5 %	
	x		x		x	x		ernstig risico

Uit de inschatting komt naar voren dat de daken met een stalen draagconstructie op dit project een ernstig risico hebben op wateraccumulatie. Dit geldt niet voor de daken met een betonnen draagconstructie.

### 5.3

#### Dakbedekkingsconstructie

Om te komen tot een duurzaam functionerend begroeid dak, dat is voorzien van een extensieve vegetatieafwerking, zullen zowel in het vlak als aan de details aanpassingen moeten worden uitgevoerd. Om plasvorming en daardoor verzuring van de vegetatieafwerking met als gevolg afsterven van plantendelen te voorkomen moet in de dakbedekkingsconstructie voldoende afschot aanwezig zijn (minimaal 10 mm.m<sup>-1</sup>). Uit het onderzoek is gebleken dat het afschot richting de hemelwaterafvoeren op alle daken onvoldoende en/of onvoldoende effectief is.

Om schade aan de waterdichte toplaag van het dakbedekkingssysteem te voorkomen door worteldoorgroei, moet de toplaag van het dakbedekkingssysteem voldoende worteldoorgroei-bestendig zijn volgens EN13948. Een dergelijke laag ontbreekt op dit moment en moet voor het aanbrengen van een vegetatieafwerking op het dak worden aangebracht.

De opstandhoogte van de dakranden en het opgaand werk moet voldoende hoog zijn en op de opbouwhoogte van de aan te brengen vegetatiedakafwerking worden afgestemd. De ontluchtingen en ventilatievoorzieningen moeten worden vervangen door functionele ontluuchtungs- en ventilatievoorzieningen.

#### **5.4 Vegetatieafwerking**

Bestaande daken zijn veelal alleen geschikt om te worden voorzien van een vegetatiedakafwerking in de vorm van extensieve begroeiing. Er is een grote verscheidenheid in extensieve dakbegroeiingssystemen waarbij onderscheid kan worden gemaakt in complete vegetatiesystemen in de vorm van voorgekweekte vegetatiematten of extensieve begroeiingssystemen die uit verschillende onderdelen zijn opgebouwd.

De keuze van het type vegetatiedakafwerking is afhankelijk van de wensen met betrekking tot:

- warmte-isolatie van de opbouw van de totale constructie;
- waterbuffering en/of waterzuiverende werking aan het begroeiingssysteem;
- afvangen van fijnstofdeeltjes voor de vegetatie;
- de te realiseren CO<sub>2</sub> reductie;
- het vergroten van de biodiversiteit (het verfraaien van de woonomgeving);
- gewenste verhoging van de geluidsisolatie.

Hoe hoger de eisen met betrekking tot de prestaties van de vegetatieafwerking hoe groter de opbouwhoogte en hoe groter de bouwkundige aanpassingen die op het dak moeten worden uitgevoerd om te komen tot een duurzaam en functionele vegetatieafwerking.

## 5.5 Energiesystemen

Bestaande gebouwen en daken zijn veelal geschikt voor het toepassen van zonnestroom- en warmtesystemen. In technisch opzicht is het wel of niet toepassen hiervan afhankelijk van de volgende factoren:

- locatie en omgeving van het gebouw;
- oriëntatie van de betreffende daken;
- functie en grootte van de betreffende daken;
- opbouw van de dakbedekkingsconstructie;
- wensen voor andere dakafwerking;
- gewenste stroom- en/of warmtecapaciteit;
- toepassingsmogelijkheid i.v.m. beschikbare binnenruimte.

### **Zonnestroom**

Het toepassen van zonnestroomsystemen op bestaande gebouwen is afhankelijk van eerder genoemde factoren veelal mogelijk. Met behulp van Photovoltaïsche cellen wordt zonlicht omgezet in energie. Het systeem wordt aangesloten op het elektriciteitsnet waardoor teveel opgewekte stroom wordt teruggeleverd aan het net. Voor deze systemen wordt onderscheid gemaakt in twee typen. De geïntegreerde zonnecellen op baantvormige dakbedekking welke op zowel platte daken (mits voldoende afschot aanwezig is) als op hellende daken kan worden toegepast. Deze systemen leveren circa 50 kWh per m<sup>2</sup> per jaar (circa 12 m<sup>3</sup> aardgas) op. Het andere systeem betreft losse zonnepanelen welke aangebracht op frames eveneens op zowel platte als hellende daken kunnen worden toegepast. Deze systemen leveren circa 80 kWh per m<sup>2</sup> per jaar (circa 19 m<sup>3</sup> aardgas) op.

### **Zonnewarmte**

Met betrekking tot zonnewarmtesystemen is voor bestaande gebouwen vaak het toepassen van systemen met een warmtepomp en warmte- en koude opslag in de bodem niet interessant vanwege de aanzienlijke aanpassingen aan bestaande systemen, omgeving en dergelijke. Het toepassen van zonneboilersystemen daarentegen is vaak goed toepasbaar bij bestaande gebouwen, afhankelijk van bovengenoemde factoren. Een zonneboilersysteem kan gebruikt worden voor verwarming van ruimten en tapwater.

Daarmee kan echter vanwege onvoldoende capaciteit niet het bestaande verwarmingssysteem vervallen maar zal het huidige systeem met het nieuwe systeem gecombineerd worden.

## 5.6 Adviesrichting

Geadviseerd wordt op dakvlak 1 en 10 een vegetatieafwerking met een opbouwhoogte van circa 80 mm en een eigen gewicht van maximaal  $100 \text{ kg.m}^{-2}$  aan te brengen. Deze systemen zijn in staat om circa  $40 \text{ l.m}^{-2}$  te bufferen. Dit moet door de leverancier worden aangetoond.

Volgens de richtlijnen hebben daken met een dergelijke vegetatieafwerking een afvloeiingscoëfficiënt van 0,50. Dit houdt in dat 50% reductie kan optreden in de afvoer van het regenwater dat over het jaar gezien op het dak neerkomt (ter vergelijking: een grinddak heeft een afvloeiingscoëfficiënt van 0,8).

Geadviseerd wordt een extensieve vegetatieafwerking aan te brengen die is opgebouwd uit losse onderdelen. Dit houdt in dat op het dakbedekkingssysteem een drainagelaag moet worden aangebracht die aan de bovenzijde is voorzien van een filtervlies. Op dit filtervlies kan een substraatlaag worden aangebracht. Op de substraatlaag kan de gewenste vegetatie worden gerealiseerd.

Het rendement van de energiebalans kan worden verbeterd door de warmteweerstand van het dak te verhogen en energiesystemen op het dak van dakvlak 2, 7 en 8 aan te brengen.

De vegetatieafwerking op dakvlak 1 en 10 kan worden aangevuld met PV-systemen. In principe zijn dakvlak 1, 2, 7, 8 en 10 geschikt voor het toepassen van PV-systemen voor zowel zonnewarmte als zonnestroom. De keuze van wel of niet toepassen van PV-systemen is afhankelijk van de maximaal toelaatbare belasting en gewenste c.q. benodigde capaciteiten.

## 6 Aanbevelingen

### 6.1 Geschiktheid dakinrichting

Aan de hand van de op locatie beoordeelde omgevingsfactoren, opnamegegevens en berekeningsresultaten is in onderstaande tabel een oordeel gegeven met betrekking tot de geschiktheid van de dakbedekkingsconstructie van het complex ten behoeve van het thermisch opwaarderen en de dakinrichting.

Tabel 20 – Geschiktheid dakbedekkingsconstructie

	intensieve begroeiing	extensieve begroeiing	thema waterretentie	thema fijnstof	thema 'heat-island' effect	thermisch opwaarderen	photovoltaïsche cellen	zonneboiler
Geschiktheid dakvlak 1	++	++	++	++	+	++	+	+
Geschiktheid dakvlak 2	+	+	+	+	+	++	+	++
Geschiktheid dakvlak 3	--	--	--	--	--	-	-	-
Geschiktheid dakvlak 4	--	--	--	--	--	++	--	--
Geschiktheid dakvlak 5	--	--	--	--	--	++	--	--
Geschiktheid dakvlak 6	--	-	-	-	+	++	--	--
Geschiktheid dakvlak 7	--	-	-	-	+	+	++	-
Geschiktheid dakvlak 8	--	-	-	-	+	+	++	-
Geschiktheid dakvlak 9	--	--	--	--	--	-	+	-
Geschiktheid dakvlak 10	--	++	++	++	+	++	+	-

++ : zeer geschikt  
 + : geschikt  
 - : minder geschikt  
 -- : ongeschikt

## 6.2 Voorbereidende werkzaamheden

Het dakbedekkingssysteem op dakvlak 2, 3 en 9 heeft het einde van de technische levensduur bereikt en moeten worden gerenoveerd.

Op dakvlak 4, 5 en 6 zijn dermate veel en ernstige gebreken aan de detailafwerking geconstateerd dat het herstel zo omvangrijk is dat wordt geadviseerd ook deze daken te renoveren.

Op deze daken moet tevens rekening worden gehouden met het uitvoeren van betonreparaties.

Op dakvlak 7 en 8 moeten herstelwerkzaamheden aan de dakranden worden uitgevoerd.

In de dakbedekkingsconstructie van dakvlak 1 en 10 is vocht aangetroffen. Aanvullend onderzoek moet worden uitgevoerd om de hoeveelheid en verspreiding van het vocht te kunnen bepalen en aan te kunnen geven of delen vervangen moeten worden.

De minimale voorbereidingen voor het aanbrengen van een vegetatieafwerking zijn:

- de detaillaansluitingen zodanig aanpassen dat voldoende opstandhoogte ontstaat (120 mm boven substraatlaag);
- loodslabben vervangen;
- het verbeteren van de waterhuishouding op de daken door het verbeteren van het afschot, het verdiept aanbrengen van de hemelwaterafvoeren en/of het bijplaatsen van extra hemelwaterafvoeren;
- een worteldoorgroeibestendige toplaag aanbrengen.

## 6.3 Dakbedekkingsconstructie

Bij het aanbrengen van een vegetatieafwerking op dakvlak 1 en 10 moet de bestaande dakbedekking worden verwijderd en isolatieplaten en een nieuw tweelaags bitumen dakbedekkingssysteem met een wortelvaste toplaag van APP-dakbanen, (koud) gekleefd of gebrand (met inachtneming van de voorwaarden van NEN 6050) of mechanisch bevestigd worden aangebracht. Een APP-dakbaan toepassen van het type 446 K 14 of 470 K 14. De cellenbeton moet hiervoor droog zijn. De detaillaansluitingen uitvoeren met wortelvaste APP-dakbaanstroken.

Bij thermisch opwaarderen van de overige daken op het isolatiemateriaal een tweelaags mechanisch bevestigd bitumen dakbedekkingssysteem aanbrengen. Op dakvlak 4, 5 en 6 moet bij renovatie worden onderzocht of het bestaande dakbedekkingssysteem kan worden verwijderd zonder schade aan te brengen aan de bimsbetonnen onderconstructie.

Bij mechanisch bevestigen moeten de bevestigers goed op de onderliggende constructie worden afgestemd.

De onderlaag moet minimaal bestaan uit een enkelzijdig gebitumineerde polyestermat. De top-laag moet worden uitgevoerd als hierboven staat omschreven. De dakbedekkingsconstructie moet met betrekking tot de windweerstand voldoen aan NEN 6702, NEN 6707 en NPR 6708. In onderstaande tabellen wordt een raming van de kosten voor het uitvoeren van de diverse maatregelen aangegeven.

*Tabel 21 – Kostenoverzicht dakvlak 1 en 10*

Kosten <sup>1)</sup> per m <sup>2</sup> met betrekking tot:	niet isoleren	isoleren Rc ≥ 2,5	isoleren Rc ≥ 3,5	isoleren Rc ≥ 5,0
isolatie	-	+ 60 PUR	+ 90 PUR	+ 130 mm PUR
dakbedekking	Eenlaags	Tweelaags	Tweelaags	Tweelaags
Totaal	€ 12,-	€ 46,-	€ 52,-	€ 60,-

*Tabel 22 – Kostenoverzicht dakvlak 2 en 4*

Kosten <sup>1)</sup> per m <sup>2</sup> met betrekking tot:	niet isoleren	isoleren Rc ≥ 2,5	isoleren Rc ≥ 3,5	isoleren Rc ≥ 5,0
isolatie	-	+ 70 PUR	+ 100 PUR	+ 140 mm PUR
dakbedekking	Eenlaags	Tweelaags	Tweelaags	Tweelaags
Totaal	€ 12,-	€ 48,-	€ 54,-	€ 62,-

*Tabel 23 – Kostenoverzicht dakvlak 3*

Kosten <sup>1)</sup> per m <sup>2</sup> met betrekking tot:	niet isoleren
isolatie	-
dakbedekking	Eenlaags
Totaal	€ 12,-

*Tabel 24 – Kostenoverzicht dakvlak 5 en 6*

Kosten <sup>1)</sup> per m <sup>2</sup> met betrekking tot:	niet isoleren	isoleren Rc ≥ 2,5	isoleren Rc ≥ 3,5	isoleren Rc ≥ 5,0
isolatie	-	+ 70 PUR	+ 90 PUR	+ 130 mm PUR
dakbedekking	Eenlaags	Tweelaags	Tweelaags	Tweelaags
Totaal	€ 12,-	€ 48,-	€ 52,-	€ 60,-

*Tabel 25 – Kostenoverzicht dakvlak 7 en 8*

Kosten <sup>1)</sup> per m <sup>2</sup> met betrekking tot:	niet isoleren	isoleren Rc ≥ 3,5	isoleren Rc ≥ 5,0
isolatie	-	+ 50 PUR	+ 100 mm PUR
dakbedekking	Eenlaags	Tweelaags	Tweelaags
Totaal	€ 12,-	€ 44,-	€ 54,-

<sup>1)</sup> exclusief ontmantelen bestaande dakbedekking, detaillering, bouwkundige aanpassingen en BTW

*Tabel 26 – Kostenoverzicht dakvlak 9*

Kosten <sup>1)</sup> per m <sup>2</sup> met betrekking tot:	niet isoleren	isoleren Rc ≥ 3,5	isoleren Rc ≥ 5,0
isolatie	-	+ 40 PUR	+ 80 mm PUR
dakbedekking	Eenlaags	Tweelaags	Tweelaags
Totaal	€ 12,-	€ 32,-	€ 40,-

1) exclusief ontmantelen bestaande dakbedekking, detaillering, bouwkundige aanpassingen en BTW

## 6.4

### Vegetatieafwerking

#### *Drainagelaag voor sedum-mos-kruidenlaag*

Een laag voorgevormde PE- of HDPE-drainageplaten met de mogelijkheid van wateropslag als vochtbuffer. Hoogte 25 mm – 40 mm afhankelijk van het gekozen substraat.

#### *Filterlaag*

De filterlaag moet op grond van NEN-EN 13252 voorzien zijn van het CE-merk en bestand zijn tegen de materialen die van de beplanting afkomstig zijn en zelf geen stoffen afgeven die schadelijk zijn voor beplanting of milieu. Ditzelfde geldt ook voor de drainagematerialen.

#### *Substraatlaag*

De voorkeur wordt gegeven aan vegetatiematten die gevuld zijn met een substraat van bims, lava, klei, boomschors en voorzien van de gekozen begroeiing.

Bij de dakranden en opstanden zorgen voor vegetatievrije zones.

Bij de dakranden vormvaste ballast toepassen in verband met de vereiste windweerstand.

#### *Esthetica vegetatiedakafwerking*

Als functionele eis wordt gesteld dat het toe te passen vegetatiedak moet bestaan uit minimaal 50% voorgekweekte begroeiing. Dit betekent dat maximaal 50% zaaigoed is toegestaan. Er dient sprake te zijn van een volledig volgroeid vegetatiedak bij de oplevering, twee jaar na het aanbrengen.

### ***Prestatie-eisen vegetatiedak***

Eén jaar na oplevering worden de volgende eisen aan het vegetatiedak gesteld:

- Bij gebruik van vegetatiematten moeten deze vast en niet scheidbaar ingeworteld zijn.
- De volledige dekking moet bij een vegetatiemat ten minste 75% bedragen.
- Het toepassen van onkruidbestrijdingsmiddelen moet niet noodzakelijk zijn.
- De toegepaste vegetatie moet een droogte- en vorstperiode goed kunnen doorstaan.
- Het ontstaan van onkruid en vreemde vegetatie moet door doorgroei van voorgekweekte vegetatie zo goed mogelijk worden voorkomen.

### ***Toetsingscriteria***

Als toetsingscriteria inzake de vegetatie worden inzake de hierboven genoemde prestatie-eisen de Duitse normen DIN 18916 en DIN 18917 van toepassing verklaard.

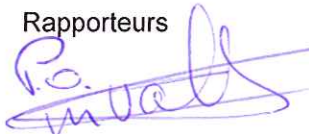
Daarnaast zijn de richtlijnen van toepassing voor planning, uitvoering en onderhoud aan dakbegroeiingen zoals opgenomen in de SBR-Dakbegroeiingsrichtlijn (2006), de SBR Brochure Dakken in 't Groen (2007) en de SBR Brochure Richtlijn Vegetatiedaken Bestaande Bouw (2008).

## **6.5 Energiesystemen**

Indien ervoor gekozen wordt PV-systemen toe te passen. Het PV-systeem moet voldoende windvast worden aangebracht en voldoen aan NEN 1010, NEN-EN-IEC 61215 en 11646 en NVN 7250.

Gorinchem, 2012.01.27

Rapporteurs



A. Boterblom

ing. S.P. Amersfoort

BDA Dakadvies B.V.



J. Sanders

Opdrachtnr. : 09-B-0609/54  
Project : Schuttevaer 106 en Breevaardstraat 60, 64 en 66 te Rotterdam  
Datum : 2012.01.27  
Aantal pagina's : 1

## **BIJLAGE 1**

### **Dakplattegrond**

Opdrachtnr. : 09-B-0609/54  
Project : Schuttevaer 106 en Breevaardstraat 60, 64 en 66 te Rotterdam  
Datum : 2012.01.27  
Aantal pagina's : 47

## **BIJLAGE 2**

### **Bouwfysische berekeningen**

Opdrachtnr. : 09-B-0609/54  
Project : Schuttevaer 106 en Breevaardstraat 60, 64 en 66 te Rotterdam  
Datum : 2012.01.27  
Aantal pagina's : 4

## **BIJLAGE 3**

### **Stroomschema wateraccumulatie VROM**