

28 november 2012

Technische eigenschappen van groene daken en gevels

Auteurs: ing. N.A.G.A. Damen - prof. dr. ir. H.J.H. Brouwers

TECHNISCHE EIGENSCHAPPEN VAN GROENE DAKEN EN GEVELS

28 november 2012

Faculteit Bouwkunde

Technische Universiteit Eindhoven

Auteurs:

ing. N.A.G.A. Damen

prof. dr. ir. H.J.H. Brouwers

Samenvatting 5

1 Aanleiding 7

2 Water bufferen en retentie 9

2.1 Stijgende neerslag 9

2.2 Vertragen, bufferen en retentie 9

2.3 Verminderen en vertraagd afvoeren overtollig regenwater 10

2.4 Conclusies 15

3. Het energetische effect van groene daken en gevels 17

3.1 Groene daken 17

3.2 Groene gevels 20

3.3 Conclusies 22

4. Groene daken als duurzame oplossing voor het gebouw 23

4.1 Durability 23

4.2 Sustainability 24

Het effect van groene daken en gevels op de omgevingstemperatuur 25

5.1 Het urban heat island effect 25

5.2 Conclusies 26

6. Het effect van groene daken en gevels op de luchtkwaliteit 27

6.2 Conclusies 28

Conclusies & aanbevelingen 29

7.1 Conclusies 29

7.2 Aanbevelingen 30

Begrippenlijst 33

Bibliografie 35

Samenvatting

Groene daken en gevels worden populairder en de markt groeit wereldwijd. De groene daken en gevels hebben voordelen voor particulieren en bedrijven maar ook voor overheden. Voor de toekomst wordt bijvoorbeeld stijgende neerslag over het gehele jaar verwacht, en piekneerslagen in drogere zomers, wat kan leiden tot problemen door overtollig water. Groene gevels en daken kunnen deze problemen verhelpen door water van neerslag te bufferen, vertragen en door retentie (het verminderen van water naar het riool). Door het toepassen van groene gevels en daken zijn retenties mogelijk van tussen de 50% en 75%. Deze waarden zijn afhankelijk van verschillende factoren zoals o.a. de opbouw en hellingshoek van een groen dak of gevel. Ook zijn groene daken en gevels in staat om de energetische eigenschappen te verbeteren, waarbij de R-waarde van gevels met 14% kan stijgen. Zo kan deze zorg dragen voor het koelen in de zomer en de warmteverliezen te verkleinen in de winter. Maar ook de warmteweerstand van het pakket zal stijgen. Door de verbetering van de energetische eigenschappen middels groene daken en gevels is het zelfs mogelijk om de energiebehoefte te reduceren, zowel in de zomer als in de winter, waarbij de reductie kan oplopen tot 75% van de benodigde energie voor het koelen en verwarmen. Tevens kunnen groene daken zorgen voor een duurzame oplossing voor gebouwen omdat de dakbedekking een langere levensduur heeft. Dit komt mede door de verlaging van het dakmembraan. Groene daken en gevels hebben niet alleen een duurzame oplossing/effect voor gebouwen, maar ook voor het omliggende stedelijk gebied. Zo hebben ze effect op omgevingstemperatuur, een reductie van ongeveer 2-4 °C, in stedelijk gebied, waar groene parken en wateren steeds meer moet wijken voor gebouwen en de infrastructuur. Groene daken en gevels hebben een koelend effect op de omgeving in steden, gegenereerd door o.a. verdamping en de evapotranspiratie van de vegetatie. Daarnaast kunnen ze de luchtkwaliteit verbeteren in steden waar groene daken aangelegd worden, waar de luchtverontreiniging stijgt m.n. door het gemotoriseerd verkeer.

1 Aanleiding

De markt voor groene daken en gevels groeit wereldwijd. Opdrachtgevers in de bouw en overheden zien steeds meer de baten van groene daken en gevels zoals:

- Het vermogen om regenwater te bufferen en vertraagd af te laten stromen, en zodoende extra buffercapaciteit in de bebouwde omgeving te bieden tijdens vooral piekmomenten;
- Verlenging van de levensduur van de (bitumineuze) dakbedekking;
- Dempen van verhitting van gebouwen, zowel binnen als in de omgeving, tijdens hete dagen in de zomer;
- Warmte-isolatie in de winter in tijden dat het dak droog en dus niet verzadigd met water is;
- Binden van fijnstof en opname NO_x en CO_2;
- Meer biodiversiteit in stedelijke omgeving;
- Dempen van geluid;
- Hoger rendement van op daken geplaatste PV systemen;
- Esthetische aspecten.

Vanwege deze veronderstelde eigenschappen voeren diverse overheden een actief stimuleringsbeleid voor groene daken bijvoorbeeld met subsidies. Ook met wettelijke maatregelen wordt vooral in de ons omringende landen de aanleg van groene daken afgedwongen. Ook vastgoedeigenaren zelf kiezen meer voor groene daken uit kostentechnische, esthetische of maatschappelijke redenen.

In Nederland loopt de aanleg van groene daken en het beleid dat dit zou kunnen stimuleren achter bij buurlanden als Duitsland en Denemarken. Ook op andere continenten zoals Canada en Zuidoost Azië groeit de groene dakensector sneller dan in Nederland. De Vakgroep Dak- en gevelbegroeners van de Branchevereniging VHG ijvert er daarom voor om met onderzoek de positieve effecten van groene daken en gevels te onderbouwen en deze voordelen onder de aandacht te brengen bij consumenten en opdrachtgevers zodat deze systemen breder toegepast worden. Het krachtigste argument hiervoor is dat de economische en maatschappelijke voordelen van groene daken en gevels uitstijgen boven de extra bouwkosten en beheerskosten.

VHG wenste deze boodschap graag te onderbouwen met wetenschappelijk gefundeerd onderzoek en heeft daarbij de samenwerking gezocht met de TU Eindhoven, faculteit Bouwkunde. In het buitenland zijn dergelijke wetenschappelijke studies nl. al enige jaren geleden verschenen. De resultaten hiervan zijn in het algemeen goed geaccepteerd door zowel de vakwereld als overheden die het stimuleringsbeleid voor groene daken en gevels uitvoeren. VHG heeft daarom gevraagd te onderzoeken hoe buitenlandse onderzoeksgegevens gevalideerd kunnen worden naar de Nederlandse situatie.

Het doel van deze studie is het verkrijgen van een wetenschappelijke basis voor claims over positieve eigenschappen van groene daken en gevels in Nederland op basis van voorhanden zijnde onderzoeken en dit vertalen in terminologie die in de bouwsector gangbaar is. Met deze onderbouwing kunnen stakeholders (overheden, ontwikkelaars en vastgoedeigenaren) overtuigd worden van het rendement van een investering in een groene gevel en/of dak.

De benodigde gegevens zijn met behulp van literatuuronderzoek verkregen. Dit leverde een inventarisatie op van meest recent uitgevoerd onderzoek naar dit onderwerp zoals beschikbaar bij

bibliotheken van de technische universiteiten en de WUR in Nederland, als wetenschappelijke studies in onder anderen Duitsland en Canada.

Een tweede stap is een transpositie van deze gegevens naar de Nederlandse klimatologische omstandigheden. We hebben m.n. gefocust op onderzoeken die hebben plaatsgevonden in klimatologische omstandigheden vergelijkbaar met het Nederlandse zeeklimaat (bijvoorbeeld Noord Duitsland, Denemarken, Zuid-westkust Canada. Door vergelijking van temperatuur en neerslagverloop van locaties waar de onderzoeken zijn gedaan met het Nederlandse klimaat is ingeschat of de gegevens van toepassing zijn. De verzamelde gegevens zijn zoveel mogelijk gesynthetiseerd tot empirisch onderbouwde kwantitatieve rekenregels welke toepasbaar zijn op gebouwde objecten in Nederland.

Als nevendoel van deze studie volgen de eventueel nog nader te onderzoeken eigenschappen en de wijze waarop deze effecten effectief kunnen worden gemeten. Dit rapport bevat aanbevelingen over het uitvoeren van onderzoek met proefopstellingen in bijvoorbeeld een laboratorium middels en hiervoor in te richten proefdaken – en gevels.

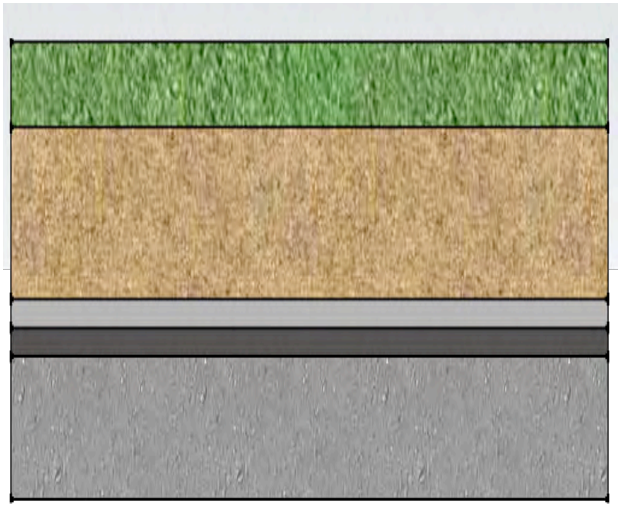
2 Water bufferen en retentie

2.1 Stijgende neerslag

Door steeds meer regenval en de verharding van steden, met name door de vele platte daken, is er sprake van meer overtollig water dat afgevoerd moet worden. Het KNMI voorspelt dat er in de toekomst rekening gehouden moet worden met stijgende neerslag mede door de opwarming van de aarde. Daardoor zal er steeds meer neerslag dat op daken van gebouwen valt, afgevoerd moeten worden naar het riool. Uit onderzoek van stichting RIONED, een overkoepelende organisatie voor de riolering en het stedelijk waterbeheer van Nederland voor overheden en bedrijven, blijkt dat het traditionele rioleringsstelsel de grote hoeveelheid neerslag niet direct kan verwerken. Daarom zullen er extra maatregelen genomen moeten worden. Deze maatregelen moeten niet alleen komen van de overheden maar ook van bedrijven en particulieren. Zo moet er door particulieren en bedrijven, wanneer dit door de gemeente aangegeven wordt, zelf voorzien worden in het afvoeren van hemelwater op het eigen terrein [1, 2]. Dit stond eerst nog vermeld in het modelbouwverordening van de Vereniging van Nederlandse Gemeente (VNG) die de gemeente kan gebruiken voor het opstellen van eisen. Nu staat dit ook vermeld in het Bouwbesluit 2012 onder Artikelen 6.17 en 6.18. Waarbij vermeld moet worden dat de gemeente beslist of het hemelwater mag worden geloosd op de aansluiting van de gemeente of dat het door de partij zelf geregeld moet worden [3].

2.2 Vertragen, bufferen en retentie

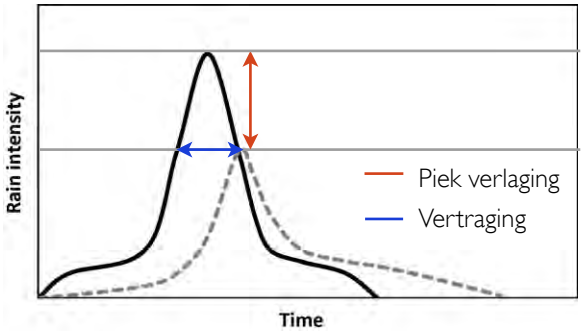
Een oplossing tegen het overbelasten van het riool door de aanhoudende jaarlijkse oplopende neerslag is, het vertraagd laten wegstromen, bufferen en retentie van neerslag naar het riool. Een groen dak kan zorg dragen voor het bufferen of het vertraagd weg laten stromen van deze toenemende neerslag. Het vertraagd wegstromen van neerslag gaat vaak gepaard met het bufferen van neerslag. Het bufferen van neerslag geschiedt in de verschillende lagen waaruit een groen dak opgebouwd is. De meeste neerslag wordt gebufferd in het substraat, doordat het substraat werkt als een soort spons. Daarnaast loopt het water, door de verschillende lagen, vertraagd weg naar het riool (Figuur 1). Een ander voordeel van een groen dak is het verminderen van de neerslag afvoer naar het riool (retentie). Dit gebeurt d.m.v. vastlegging in de planten en het substraat waarna het verdampt of wordt afgegeven door transpiratie in de atmosfeer [4, 5].



Figuur 1: Doorsnede van een groen dak en de opbouwing van de verschillende lagen.

2.3 Verminderen en vertraagd afvoeren overtollig regenwater

Neerslag die op de traditionele daken terecht komt wordt vrijwel direct afgevoerd naar het riool via de hemelwaterafvoeren. Daardoor is de kans dat het riool overbelast wordt in de toekomst steeds groter. De groene daken kunnen bijdragen deze toekomstige problemen te vermijden. De groene daken kunnen, in tegenstelling tot de harde daken, zorgdragen voor het bufferen en vasthouden van neerslag. Water zal door het substraat worden vastgehouden of verbruikt worden door de planten. Het water dat niet wordt gebruikt, zal verdampen (evapotranspiratie) en afgegeven worden aan de atmosfeer [4-7]. Daardoor zal tijdens piekmomenten bij hevige neerslag niet meteen worden afgevoerd naar het riool en deze mogelijk overbelasten. In Figuur 2 is een voorbeeld te zien van wat de effecten van een groendak zijn op de verwerking van neerslag. In deze figuur is af te leiden dat de piek tijdens een neerslagmoment later wordt verwerkt, en tevens wordt verminderd, door het toepassen van een groen dak.



Figuur 2: Voorbeeld van water afvoer van een groendak (gestippelde lijn) bij een gegeven regenval (zwarte lijn) [5].

De hoeveelheid water dat vertraagd/gebufferd of wordt verminderd hangt van een aantal factoren af. Daarbij moet men denken aan:

- Het aantal lagen en type van materialen;
- Bodemdikte;
- Bodemtype;
- Vegetatie;
- Hellingshoek.

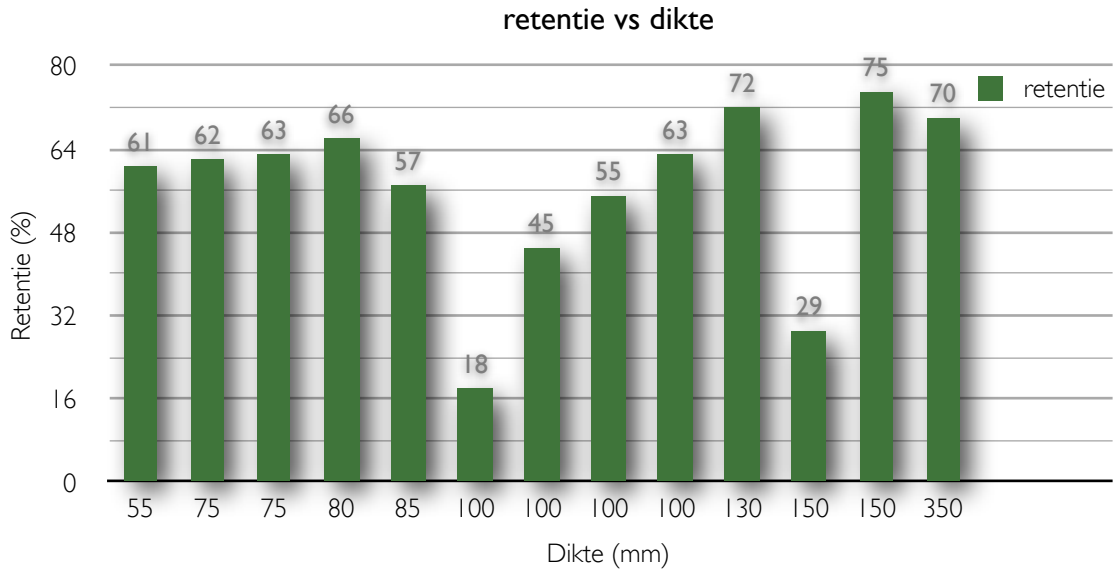
De verschillende daken zijn tevens te onderscheiden in extensieve en intensieve groene daken. Waarbij de extensieve daken lichter zijn door een dunner substraat van maximaal 150 mm en zijn afgewerkt met sedumvegetatie. Bij deze daken is er zelfs een hellingshoek mogelijk tot 45 graden. De intensieve daken zijn vaak zwaarder, beloopbaar en worden vaak gebruikt als daktuin. Het intensieve dak is opgebouwd uit een substraat met een dikte vanaf 150 mm en wordt vaak begroeid met diverse grassoorten, kruiden en/of struiken. Daarnaast is er een lichte hellingshoek mogelijk tot 10 graden. Met de constructie van het dak moet hier rekening mee worden gehouden [4, 8-10].

In veel gedane onderzoeken worden verschillende waardes gegeven op het gebied van waterretentie. Deze waardes lopen uiteen van 18% in een onderzoek van Spolek [11] tot een gemiddelde retentie van 75% in onderzoek van Moran et. al. [12]. Deze waardes lopen uiteen door verschillen in dikte en type substraat. In Tabel 1 zijn van de verschillende onderzoeken de retentiewaarden weergegeven en

de bijbehorende dikte en het gebruikte substraat en/of beplanting. In deze onderzoeken is vooral gekeken naar de extensieve daken. Uit literatuuronderzoek is ook gebleken dat er weinig tot geen onderzoek is gedaan naar waterretentie door intensieve groene daken. De onderzoeken naar extensieve daken tonen, met enkele uitschieters, wel dat de retentie hoger wordt naar gelang de dikte van het groene dak stijgt (Figuur 3).

Dikte opbouw groen (mm)	gemiddelde retentie (%)	type substraat - beplanting	jaarlijkse neerslag (cm)	referentie bron
55	60,6	opbouw zie 1 - mos, sedum	477	Vanwoert et. al. (2005) [6]
+/- 75	62	55% leisteen, 30% zand, 15% compost - sedum	901 (9 mnd)	Moran et. al. (2004) [49]
75	63	30% zand, 15% compost, 55% leisteen - sedum	961	Moran et. al. (2005) [12]
80	66	opbouw zie 2	956	Hutchinson et. al. (2003) [48]
85	57	lichte granulaat korrels, poreuze granulaat korrels	?	Liu and Minor (2005) [24]
100	18	gras, wilde bloemen	852	Spolek (2008) [11]
100	45	diverse studies	?	Mentens et. al. (2006) [8]
100	55	30% zand, 15% compost, 55% leisteen - sedum	314 (3 mnd)	Moran et. al. (2005) [12]
100	63	sedum	262 (3,5 mnd)	Moran et. al. (2004) [49]
130	72	opbouw zie 3	956	Hutchinson et. al. (2003) [48]
150	29	sedum, bosgras	511	spolek (2008) [11]
150	75	diverse studies	?	Mentens et. al. (2006) [8]
350	70	33% gewassen zand, 33% puimsteen, 33% humus	1106	Johnston et. al. (2004) [47]
1) 40% geëxpandeerd leisteen, 40% kwaliteit zand, 10% turf, 5% dolomiet, 3,33% gecomposteerd tuinafval, 1,67% pluimvee mest				
2) 15% verteerde vezels, 25% ingekapseld eps, 15% perlite, 15% turf, 15% compost				
3) 10% compost, 20% verteerde vezels, 22% perliet, 28% zandig leem				

Tabel 1: Dikte (mm) vs retentie (%) en bijbehorende substraat en vegetatie



Figuur 3: Retentie (%) versus dikte (mm) van verschillende onderzochte daken uit Tabel 1

De uitschieters zijn deels wel te verklaren. Uit onderzoeken blijkt dat er verschillende retentie optreedt tijdens de verschillende seizoenen in een jaar. De retentie is lager in de koude en vaak natte maanden met minder zon, waardoor verdamping en evapotranspiratie niet of nauwelijks voorkomen. In sommige gevallen, zoals is te zien in Tabel 1, is alleen in die maanden gemeten. Deze constatering geeft al een duidelijker beeld van de gevonden afwijkingen [8, 11, 13]. Om een evenwichtiger beeld te krijgen zal er een meetperiode van minimaal een jaar nodig zijn zoals in andere onderzoeken gedaan is [8]. De andere twee uitschieters allebei afkomstig uit het onderzoek van Spolek [11] zijn ook zeer opvallend. In zijn onderzoek werd geen duidelijk reden gevonden waarom deze zo laag zijn. Vermoedelijk ligt dit aan de aanwezige irrigatie. Wanneer deze niet toegepast zal worden, net als in andere onderzoeken, dan zal de retentie naar verwachting hoger zijn. In het onderzoek wordt ook vermeld dat overige onderzoeken een kortere meetperiode hebben gehad, echter dit is niet bij alle het geval.

De dikte van een groen dak speelt dus een rol voor de hoeveel waterretentie tijdens neerslag. In veel andere onderzoeken komt ook de hellingshoek ter sprake. Een groendak met een hellingshoek is te zien in Figuur 4. Hierbij zijn er echter veel tegenstrijdige conclusies getrokken. Zo concluderen onderzoeken dat de hellingshoek niet bepalend is voor de hoeveelheid retentie (Schade [14] en Getter en Rowe [4]). Daarnaast zijn er onderzoeken die juist wel concluderen dat de hellingshoek effect heeft op de waterretentie [4, 6, 13, 15, 16]. Door een hogere hellingshoek zal de waterretentie verminderen. Dit is te zien in Tabel 2, waar de verschillende hellingshoeken en dikte met de bijbehorende retentie af te lezen zijn. Tevens wordt bij de verschillende onderzoeken een andere substraatsamenstelling gebruikt. Daaruit blijkt dat er ook geen voordeel is te behalen met een andere samenstelling ten opzichte van de hellingshoek. De gegevens uit de tabel zijn bij een neerslag van < 2 mm/min. Wanneer er meer neerslag zal vallen is het patroon hetzelfde. De retentie wordt minder naar mate de hellingshoek stijgt ongeacht de dikte van het pakket.



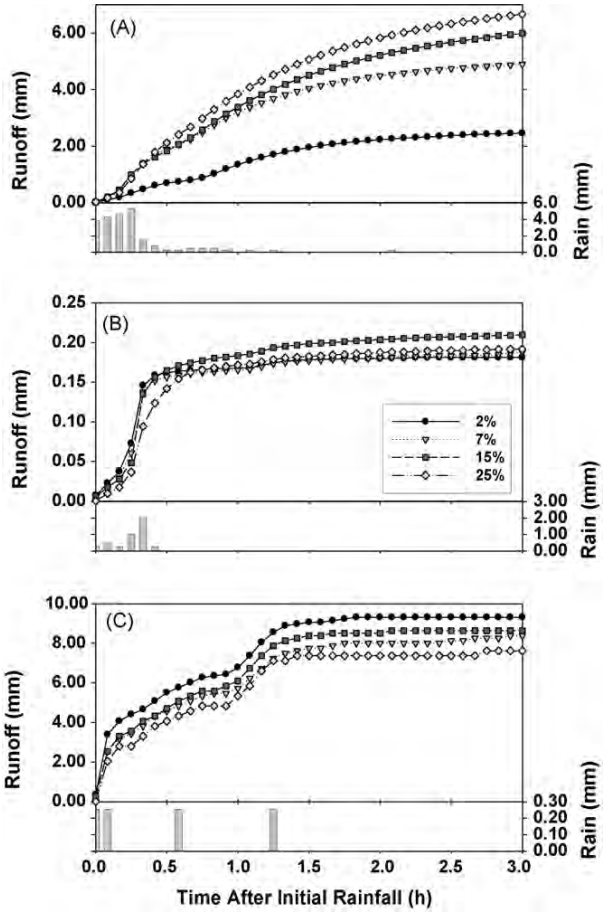
Figuur 4: Groendak met hellingshoek

hellingshoek (%)	dikte substraat/ vegetatie (mm)	retentie bij <2mm/min (%)	samenstelling substraat	referentie bron
2	25	95,1	40% geëxpandeerd leisteen, 40% kwaliteit zand, 10% turf, 5% dolomiet, 3,33% gecomposteerd tuinafval, 1,67% pluimvee mest	[6]
2	40	97,1	40% geëxpandeerd leisteen, 40% kwaliteit zand, 10% turf, 5% dolomiet, 3,33% gecomposteerd tuinafval, 1,67% pluimvee mest	[6]
2	40	62	5% gebroken kalksteen, 43% gebroken steen, 5% klei, 10% organisch materiaal	[15]
2	60	93,3	91,8% verschillende zandsoorten (korrel), 3,22% klei, 5,6% leem (silt)	[16]
6,5	40	94,4	40% geëxpandeerd leisteen, 40% kwaliteit zand, 10% turf, 5% dolomiet, 3,33% gecomposteerd tuinafval, 1,67% pluimvee mest	[6]
6,5	60	95,8	40% geëxpandeerd leisteen, 40% kwaliteit zand, 10% turf, 5% dolomiet, 3,33% gecomposteerd tuinafval, 1,67% pluimvee mest	[6]
7	60	94	91,8% verschillende zandsoorten (korrel), 3,22% klei, 5,6% leem (silt)	[16]
8	40	43	5% gebroken kalksteen, 43% gebroken steen, 5% klei, 10% organisch materiaal	[15]
14	40	39	5% gebroken kalksteen, 43% gebroken steen, 5% klei, 10% organisch materiaal	[15]
15	60	94	91,8% verschillende zandsoorten (korrel), 3,22% klei, 5,6% leem (silt)	[16]
25	60	95,5	91,8% verschillende zandsoorten (korrel), 3,22% klei, 5,6% leem (silt)	[16]

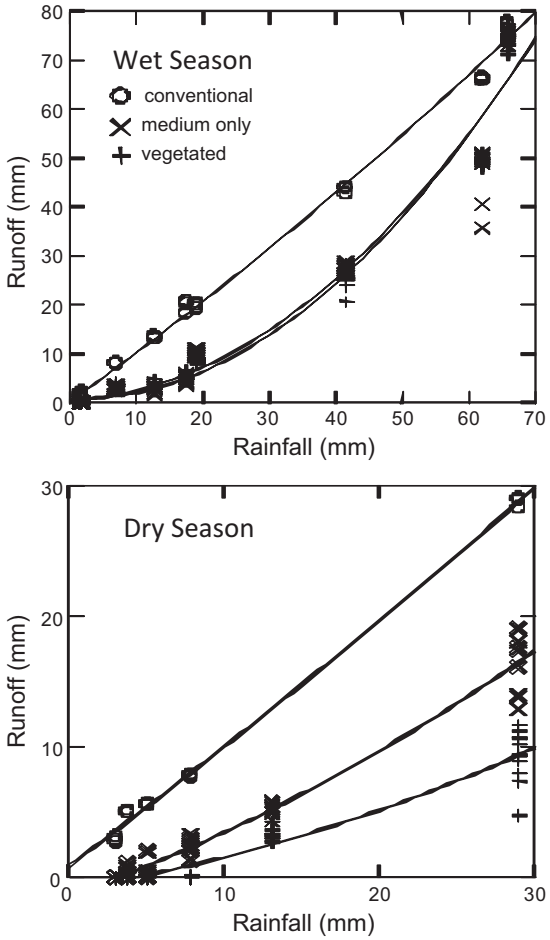
Tabel 2: Hellingshoek vs dikte vs retentie

Wanneer de hellingshoek stijgt, zal de retentie afnemen, ongeacht de dikte van het substraat. Wel is er duidelijk te zien dat de meeste retentie aanwezig is wanneer er weinig neerslag valt (< 2mm/min). Wanneer er meer neerslag valt, 2-10 mm/min en > 10 mm/min, zal de retentie wel afnemen maar minder sterk. Men moet hierbij denken aan een retentie van ongeveer 60% tijdens hevige neerslag in vergelijking met de lichte hoeveelheid neerslag rond de 90%. Tevens is de hoeveelheid waterretentie niet alleen in procenten af te lezen maar ook in hoeveelheden. Er zijn echter geen onderzoeken gevonden die directe harde cijfers gegeven hebben over de relatie tussen een groendak en een traditioneel hard dak. Wel zijn er grafieken waarin duidelijk te zien is wat de hoeveelheid retentie in de tijdsduur doet [6, 16]. In Figuur 5, een grafiek die gemaakt is in een onderzoek van Getter et. al. [16], zijn waarden vermeld wat de verschillende hellingshoeken en de hoeveelheid neerslag doet met de retentie. Daarbij is duidelijk te zien dat het water bij een hellingshoek van 2% later wordt afgegeven dan bij een hellingshoek van 25%. Daarnaast is te zien dat het water, wanneer het weer droog weer

is, wordt afgegeven aan het riool, maar ook de hoeveelheid. Echter in Figuur 5c schijnt dat er minder retentie optreedt en meer water wordt afgevoerd naar het riool. Dit kan er op wijzen dat de schaalverdeling niet juist is, dit blijkt echter niet het geval te zijn. De hoeveelheid water die afgevoerd wordt naar het riool heeft te maken met de verzadiging van het substraat voor aanvang van het neerslag event. Wanneer het substraat al vochtig en/of verzadigd is van eerdere neerslag zal er minder retentie plaatsvinden. In Figuur 6 is een grafiek uit een onderzoek van Schroll et. al. [7] te zien waarbij neerslag wordt afgevoerd van een traditioneel dak en van een groendak met alleen een substraat, en van een groendak met substraat en vegetatie. Daarbij wordt ook weer aangegeven, dat water in een nat/winter seizoen sneller wordt afgegeven en minder retentie heeft dan in het droge/zomer seizoen. Ook is er in deze twee grafieken te zien dat het water op een groendak later wordt afgegeven, en in de zomer ook minder wordt afgegeven, dan op een traditioneel dak.



Figuur 5: Water retentie/afvoer tijdens verschillende neerslag events. (A) hevige (23,37 mm), (B) middelgroot (5.08 mm), (C) lichte (1,02 mm) op verschillende hellingshoeken [16].



Figuur 6: Afvoer van neerslag in een nat- en droog seizoen op een traditioneel (conventional), groen dak met alleen substraat en een groendak met vegetatie [7].

2.4 Conclusies

Er is sprake van stijgende neerslag in de toekomst, mede door de opwarming van de aarde. In steden die steeds meer verhard zijn zal er meer overtollig water afgevoerd moeten worden (Figuur 7). In het nieuwe Bouwbesluit 2012 zal dit verplicht worden voor de particulieren en bedrijven wanneer dit wordt aangegeven door de gemeente. Groene daken kunnen hier zorg voor dragen. De retentie van groene daken loopt op tot 75%, gebaseerd op platte daken (hellingshoek < 2%). De retentie is echter wel afhankelijk van verschillende factoren zoals de opbouw, dikte, type vegetatie en het substraat van het groene dak. Ook de hellingshoek is bepalend. Wanneer deze stijgt zal de retentie minderen. De retentie tijdens een neerslag van < 2 mm/min kan oplopen tot 90%, afhankelijk van de verzadiging van het substraat. In de winter, wanneer het substraat meer verzadigd kan zijn door de natte periodes, is de retentie lager dan in de zomer met meer droge periodes en hevige korte neerslag periodes.



Figuur 7: Daktuin in verstedelijk gebied voor meer groen in de stad

3. Het energetische effect van groene daken en gevels

3.1 Groene daken

Naast retentie van neerslag heeft een groendak nog een extra eigenschap ten opzichte van de traditionele zwarte/harde daken. Een groendak heeft nl. ook een thermische invloed op het binnenklimaat van een gebouw door zijn 'isolerende' vermogen. Door de substraat en de beplanting wordt er minder omgevingswarmte van buiten doorgegeven naar binnen [17]. Door de warmteopslag, fotosynthese en de verdamping van de plant zal de omgeving hiervan afkoelen. Daarvoor zal de plant wel altijd groen moeten zijn zodat deze functies kunnen optreden. Op zomerse dagen kan een plant 90% van de inkomende straling van de zon tegenhouden. Hiervan wordt ongeveer 20-40% verdampt, 5-30% gereflecteerd, 10-50% omgezet in warmte, 5-20% gebruikt voor fotosynthese en 5-30% daadwerkelijk doorgelaten door de bladeren, waardoor er een koeleffect ontstaat [18, 19]. Met deze gegevens is het alleen niet mogelijk een duidelijke Rc-waarde te berekenen voor het bepalen van de warmteweerstand in het groene dak. Dit komt doordat er geen gegevens zijn van de warmtegeleidingscoëfficiënt van de biologische materialen, hiermee wordt bedoeld de planten en gewassen [19, 20]. Toch hebben groene daken een positief effect op de warmtestroom van buiten naar binnen in de zomer en van binnen naar buiten in de winter. Dit positief effect heeft te maken met de verschillende soorten planten en de substraatsoort. Daarvoor zal er meer onderzoek gedaan moeten worden met de verschillende type substraat en planten. Uit onderzoek van Peck et. al. [21] is gebleken dat een substraat van 20 cm en 20-40 cm gras een zelfde gecombineerde isolatiewaarde heeft dan dat van 15 cm isolatie van minerale wol. Daarnaast blijkt ook dat de gemengde grassoorten beter presteren dan de laag blijvende sedums [18, 21]. Met behulp van de volgende vergelijking (1) is het mogelijk om de warmteweerstand te berekenen van het groene dak (R_G), wanneer de drie in Figuur 7 aangeven temperaturen bekend zijn.

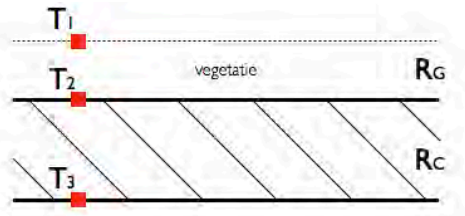
$$R_G = R_C \frac{(T_1 - T_2)}{(T_2 - T_3)} \tag{1}$$

Daarvoor zal er getest moeten worden op groene daken die gerealiseerd zijn op gebouwen of in een testopstelling in een lab [19, 22]. Daarbij zal er op verschillende plaatsen zoals de omgevingstemperatuur boven de vegetatie (T_1), de temperatuur onder het substraat (T_2) en de omgevingstemperatuur binnen (T_3) gemeten worden (Figuur 8). Tevens moet er voor aanvang ook de warmteweerstand berekend worden van het dakpakket zonder het groene dak (R_C) met de volgende vergelijking:

$$R_t = R_i + R_1 + R_2 + ...+ R_n + R_e \tag{2}$$

De totale warmteweerstand (R_t) van de constructie wordt bepaald door de warmteweerstanden (R_n) van elke constructieve laag bij elkaar op te tellen. Vervolgens wordt daarbij de warmteweerstand van binnen (R_i) en buiten (R_e) ook opgeteld.

Na testen zal d.m.v. vergelijking (2) de totale warmteweerstand berekend kunnen worden voor het groene dak, inclusief de onderliggende constructie en isolatie (R_C+R_G). Bij het berekenen van de totale R-waarde van het groene dak zal verder rekening gehouden moeten worden met de waarde R_i (de overgangsweerstand van de binnenlucht naar het materiaal) en de waarde R_e (de overgangsweerstand van materiaal naar de buitenlucht). Deze standaardwaarden zijn 0,13 m²K/W voor R_i en 0,04 m²K/W voor R_e. Echter voor de waarde R_e kan 0,13 m²K/W aangenomen worden. Dit wordt uitgelegd in paragraaf 3.2.



Figuur 8: Afbeelding horend bij vergelijking (1); constructief dak incl. vegetatie, T_1 = temperatuur op vegetatie, T_2 = temperatuur op het dak onder vegetatie, T_3 = temperatuur onder het dak.

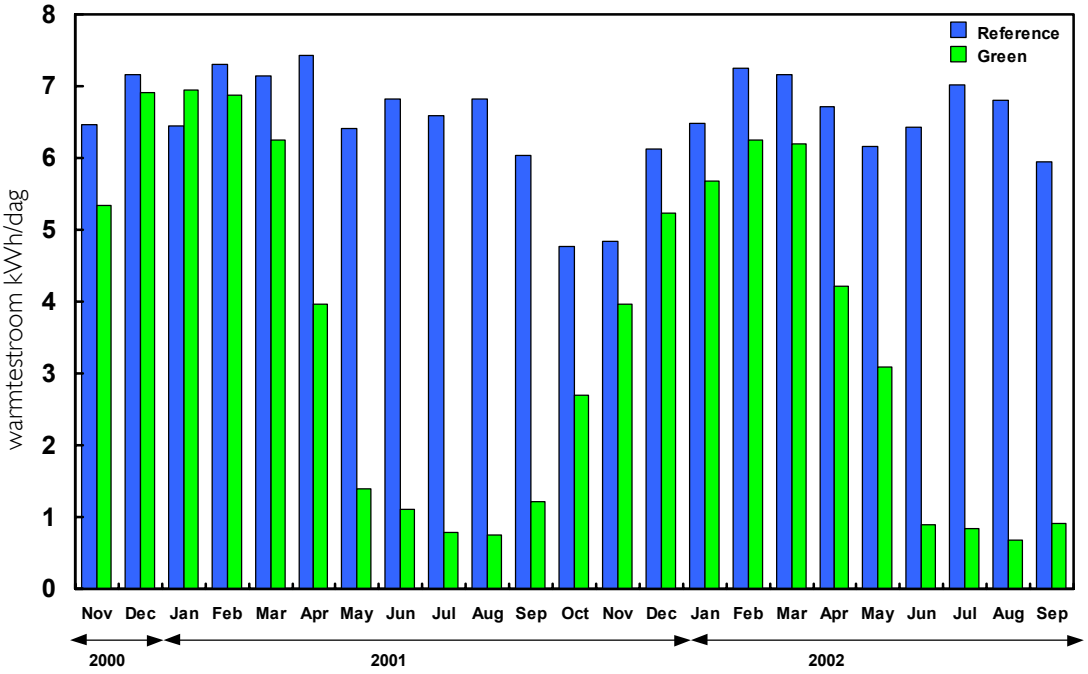
Om een beeld te krijgen wat een groendak doet met het binnenklimaat is Tabel 3 opgezet. Daarin concluderen verschillende onderzoeken ten opzichte van gebruik van bepaalde planten en de substraat diktes/types de reductie in warmteverlies. Daaruit blijkt bijvoorbeeld dat een groendak met een substraatdikte tussen de 75 en 100 mm en gras als vegetatie, een reductie van 70-90% op de warmtewinst in de zomer bewerkstelligt in vergelijking met een traditioneel dak. Daarnaast verkrijgt men bij het reduceren van de temperatuur met een 0,5 °C een 8% reductie op het verbruik van elektrische energie van de airconditioning [17, 21, 23]. Er zijn maar weinig onderzoeken waar duidelijk de gegevens bekend zijn van het substraattype dat gebruikt is. Uit verschillende onderzoeken is gebleken dat de dikte en type substraat, type groen (planten, struiken en gewassen) en de opbouw van het constructieve gedeelte inclusief de isolatie, bepalend zijn voor de warmtewinsten en verliezen. Maar ook de klimatologische situatie is bepalend voor wat de winsten en verliezen zijn [24, 25]. In de onderzoeken die vermeld zijn in Tabel 3 zijn de klimatologische situatie nagenoeg vergelijkbaar met die van Nederland. Uit deze onderzoeken is vooral naar voren gekomen dat in de zomer de warmtestromen naar binnen gereduceerd worden met circa 90% en de warmteverliezen naar buiten gereduceerd worden met circa 20%.

dikte substraat (mm)	reductie (%)		piek temp. reductie membraan	type substraat	type vegetatie	referentie bron
	zomer	winter				
75-100	70-90	10-30	30	licht/donker gekleurde korrels/ poreuze keramische korrels	verschillende gezaaide gras soorten	[24]
150	75-90	10-15	35	lichtgewicht grond (medium)	wilde bloemen	[34]
150	95	26	40	lichtgewicht medium	wilde bloemen en zoden	[23]
150	72	13	-	lichtgewicht grond (medium)	sedum en gras	[11]

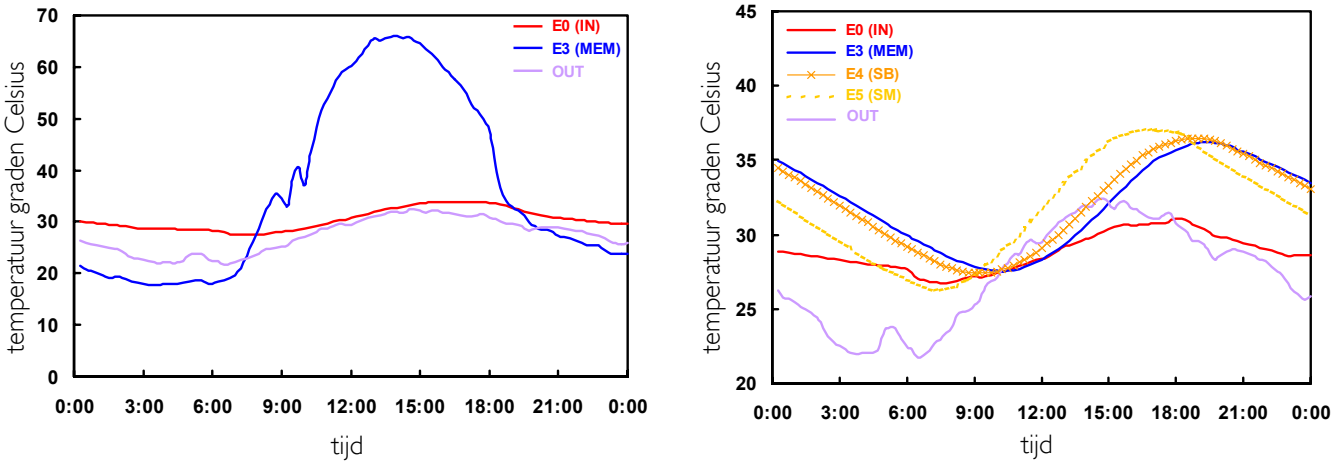
Tabel 3: Dikte vs reductie warmte winsten (zomer) en verliezen (winter).

Door Liu [26] is ook gekeken naar de energiebehoefte van een traditioneel dak en een groendak waar een substraat dikte van 150 mm gebruikt is. Waarbij de energiebehoefte tussen de 6,0 en 7,5 kWh/dag ligt voor het traditionele dak (36 m²) en 1,5 kWh/dag voor het groene dak (36 m²). Dit is een gemiddelde reductie van 75% op de energiebehoefte voor het koelen en verwarmen door het dak. Dit betreft een enkel onderzoek en is niet in andere onderzoeken onderzocht of bevonden.

Daarbij is alleen de warmtestroom gemeten van het traditionele dak en het groene dak en niet van overige onderdelen van de schil van het gebouw. Om het beeld te versterken hoe groene daken daadwerkelijk verschillen ten opzichte van de traditionele harde daken wordt verwezen naar Figuren 9-11. In deze figuren is duidelijk te zien dat groene daken een positief effect hebben op het binnenklimaat zowel op het gebied van energiebehoefte als temperatuurverschillen.



Figuur 9: Energiebehoefte als gevolg van warmtestroom door het groene dak (36 m²) ten opzichte van een referentie traditioneel dak (36 m²) campus in Ottawa te Canada [26].



Figuur 10-11: Temperatuurverloop op verschillende niveaus van het groene dak en het referentie dak (traditioneel dak). E0: temp. binnen, E3: temp. dak membraan, E4: temp onder substraat, E5: temp. midden substraat, OUT: temp. buiten. Let op: schaal verdeling Figuur 7 anders i.v.m. verduidelijking temperatuur verloop [24].

3.2 Groene gevels

Naast de daken kunnen ook de gevels zorg dragen voor het verbeteren van het isolerend vermogen van het gebouw (Figuur 13-14). Hoe hoger het gebouw, hoe relatief minder het effect van het dak op het binnenklimaat. Een groen dak zorgt er hoofdzakelijk voor dat de temperatuur en de warmtestroom van binnen naar buiten en visa versa van de bovenste verdieping wordt gereduceerd, hooguit twee verdiepingen onder het dak hebben nog effectieve resultaten voor deze reductie [17, 25]. Groene gevels kunnen de temperatuur aan het oppervlak achter de groene gevel verlagen van 10 °C en 60 °C zonder groene gevel naar respectievelijk 5 °C en 30 °C met groene gevel wanneer er klimplanten worden toegepast [21]. Dit komt vooral door het schaduweffect van de bladeren van de klimplanten. Waarbij het effect het grootst is wanneer de klimplanten worden toegepast aan de zuidzijde of de westzijde waar de zon aan het einde van de dag ook staat. Bij het toepassen van klimplanten zullen deze groeien vanaf het maaiveld, waarbij ze geleid worden door een hulpraster van hout of staal. Naast dit systeem is er ook een systeem dat werkt door middel van bakken die aan de gevels worden opgehangen. Deze systemen worden Living Wall Systems (LWS) genoemd. Bij het toepassen van deze systemen ontstaat er een ruimte achter het LWS en de constructieve muur waardoor een stilstaande luchtlaag ontstaat. Het verschil tussen een gevel van steen of glas (traditioneel) en een groene gevel is dat de windsnelheid hierbij verschillend is. Bij een groene gevel is de windsnelheid lager waardoor de warmteweerstand hoger wordt [26, 27]. Deze warmteweerstand wordt berekend volgens vergelijking (2) van de NEN-EN-ISO 6946:2008. Het voordeel in deze vergelijking is te halen door de windsnelheid die anders is bij groene gevels, waardoor R_e verandert. Deze R_e waarde is standaard in de bouw vastgesteld aan de hand van de NEN-EN-ISO 6946:2008 op 0,04 m^2K/W. Uiteindelijk kan dit voor verschillende soorten opbouw constructie mogelijkheden van de groene gevel, 2,9% tot 24,3% schelen. Waarbij 2,9% voor rekening is van een geïsoleerde spouwmuur met een directe begroeiing en 24,3% voor een steensgemetselde gevel zonder isolatie en directe begroeiing [19]. De waarde van R_e voor groene gevels is na het onderzoeken van de windsnelheid langs de groene gevels, en het berekenen van de warmtetransport langs de gevel door convectie en straling, gunstiger dan bij de traditionele spouwmuur. Bij de metingen van de windsnelheid en de berekening van het warmtetransport levert dit twee verschillende waarden op die dicht bij elkaar liggen. Het gemiddelde hiervan is na benadering uit een tabel in de NEN-EN-ISO 6946:2008 gedeeld door twee 0,13 m^2K/W [19]. Voor de LWS systemen met een extra spouw waar stilstaande lucht staat, mag er een extra waarde R_{spouw} worden mee berekend. Deze waarde is volgens de NEN-EN-ISO 6946:2008 voor een spouw van 20 mm tot 100 mm, 0,18 m^2K/W. Er moet dan wel opgelet worden dat de aansluiting, tussen de verschillende bouwonderdelen van een LWS systeem goed is waardoor er nauwelijks ventilatie kan optreden. Wanneer het hieraan voldoet zal de groene gevel met LWS en een spouwmuur een verhoging van de warmteweerstand hebben van 14% [19]. Ook is er de mogelijkheid om de warmteweerstand te berekenen van een complete groene gevel. Dit is in het onderzoek van Ottelé [19] ook geprobeerd. Om deze waarde te kunnen berekenen zal de betreffende groene gevel gebouwd moeten worden, waarna de temperatuur gemeten wordt op verschillende plaatsen in de groene gevel. Ottelé [19] concludeerde uit zijn onderzoek dat de waarde die bereikt werd in de zomersituatie (gebruikmakend van een hotbox in het lab) niet overeenstemt met de realiteit. De waarde voor de winter was waarschijnlijker en betrouwbaarder, omdat er langer gemeten is en de verdamping geen rol speelt in de hotbox. Daarvoor zou er een groene gevel gebouwd moeten worden waarin minder verzadiging kan plaatsvinden, bv. door het testen in een niet dichte ruimte. Daarna zouden de metingen vergeleken moeten worden met de volgende vergelijkingen, wanneer de drie in Figuur 12 aangegeven temperaturen bekend zijn [19, 22]:

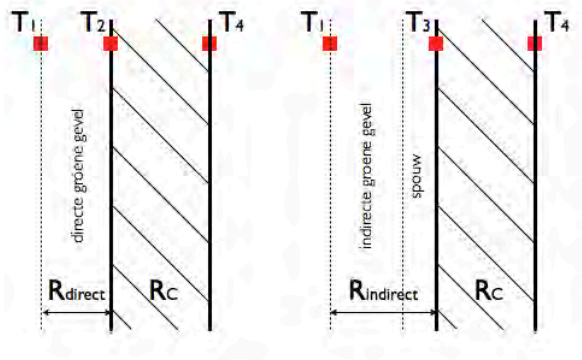
Voor directe groene gevels (klimplanten):

$$R_{direct} = R_C \frac{(T_1 - T_2)}{(T_2 - T_4)} \tag{3}$$

Voor niet directe groene gevels (LWS):

$$R_{indirect} = R_C \frac{(T_1 - T_3)}{(T_3 - T_4)} \tag{4}$$

Waarbij R staat voor de warmteweerstand en T voor de temperatuur op verschillende lagen zoals in Figuur 12 is aangegeven.



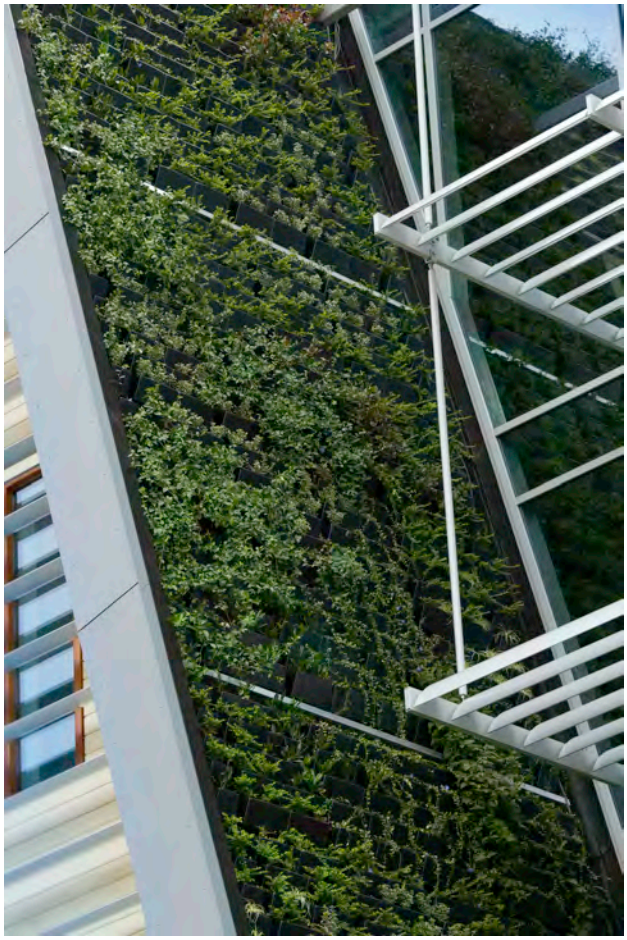
Figuur 12: Afbeelding horend bij vergelijkingen (3) en (4), T_1 = temperatuur tegen vegetatie, T_2 = temperatuur tussen vegetatie en constructie gevel, T_3 = temperatuur tussen spouw en constructie gevel, T_4 = temperatuur binnen tegen constructie gevel

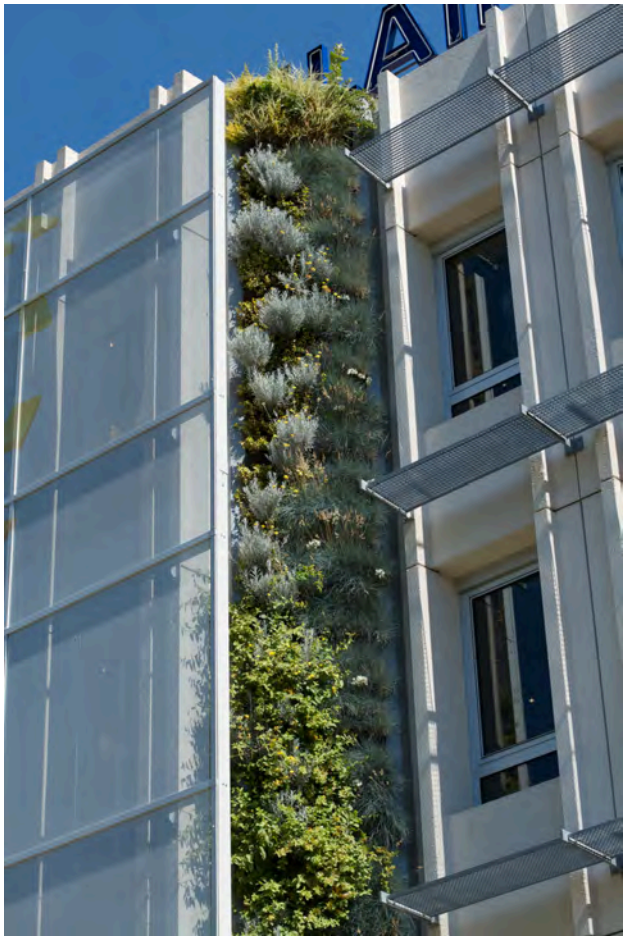
In de literatuur zijn er geen gegevens gevonden waarbij waardes worden gegeven wat betreft de warmteweerstand van de begroeiing van de groene gevel. Daarom zullen er meerdere testen gedaan moeten worden om deze waarden te vinden. Wel wordt er in veel literatuur over gesproken dat de groene gevels na testen, op temperatuurverschillen en de warmtestroom/energiebehoefte binnen, een positief effect hebben op energiebehoefte of de temperatuur van de gevel [27, 28]. Zo kan de temperatuur op het metselwerk 20 °C lager zijn achter een indirecte groene gevel [29]. Maar er zijn ook positieve effecten op het gebruik van de airconditioning, waardoor deze minder gebruikt zal hoeven worden [30]. In een onderzoek van Di et al is de reductie van de koellast 28% verminderd door het toepassen van een groene gevel [31].

3.3 Conclusies

Groene daken en gevels kunnen de warmtewinsten en warmteverliezen reduceren. Hierdoor is er minder energie nodig in gebouwen om te koelen in de zomer en te verwarmen in de winter. Dit komt mede door de vegetatie van het groene dak, die 90% van de inkomende zonne-energie gebruikt. Maar ook het isolerend vermogen van het groene dak speelt hierbij een rol. Zo reduceert een groen dak circa 90% aan warmtewinsten in de zomer naar binnen en circa 20% aan warmteverliezen in de winter van binnen naar buiten. Dit betekent dat er de mogelijkheid is om de energiebehoefte te reduceren met 75% (Figuur 9). Dit is gebleken uit een onderzoek van Liu [26], die één dak onderverdeelde in twee afzonderlijke daken, één met een vegetatie en de andere een traditioneel dak, op één gebouw. Er is hier ook sprake van één meting/onderzoek.

De totale warmteweerstand van een groen dak en gevel zal ook stijgen. De exacte warmteweerstand is op dit moment nog niet te berekenen. Dit komt door de onbekende warmtecoëfficiënt van de biologische materialen (vegetatie). Toch is door de opbouw van de groene gevels en daken een voordeel te behalen op het gebied van de warmteweerstand. Bij een groene gevel bestaand uit klimplanten, waar geen extra luchtspouw aanwezig is, zal de warmteweerstand stijgen met ongeveer 3% ten opzichte van de traditionele spouwmuur. Bij een Living Wall System kan dit oplopen tot ongeveer 14% extra ten opzichte van de spouwmuur. Dit heeft te maken met de veranderende warmteweerstand van buiten en de extra luchtspouw tussen het LWS en de spouwmuur.





Figuur 13-14: Groene gevel ter verbetering van isolerend vermogen van het gebouw.

4. Groene daken als duurzame oplossing voor het gebouw

Duurzaamheid is onder te verdelen in 'durability' en 'sustainability'. Deze verschillende onderverdeling van duurzaamheid in andere talen is in het Nederlands minder duidelijk door de vertaling, die hetzelfde is ('duurzaamheid'). Bij 'durability' verstaan we hoe lang een materiaal of product meegaat na plaatsing of gebruik, de levensduur. Bij 'sustainability' moet gedacht worden aan hoe milieuvriendelijk het materiaal of product tot stand is gekomen is, bijvoorbeeld welke grondstoffen en energie zijn gebruikt, en welke afvalstoffen zijn vrijgekomen. Maar ook of het materiaal weer recyclebaar of upcyclebaar is, waardoor materialen of producten een nieuwe grondstof zijn voor een nieuw product, zoals de huidige trend naar Cradle to Cradle [32, 33].

4.1 Durability

Door het toepassen van groene daken kan de levensduur van daken worden verlengd. Dit is in meerdere onderzoeken onderzocht en geconcludeerd. Op een warenhuis in London, waar in 1938 een groen dak is toegepast, bleek na 50 jaar de dakbedekking in een uitstekende staat [21]. Door het verminderen van de temperatuur op de dakbedekking (membraan) zal de levensduur worden verlengd. Ook komt de UV-straling niet direct op de dakbedekking en zal het dak minder fysieke schade lijden door het niet, of minder direct belopen van het dak (Figuur 15) [23, 24, 34].



Figuur 15: Een beloopbaar groendak beschermt de dakbedekking.

4.2 Sustainability

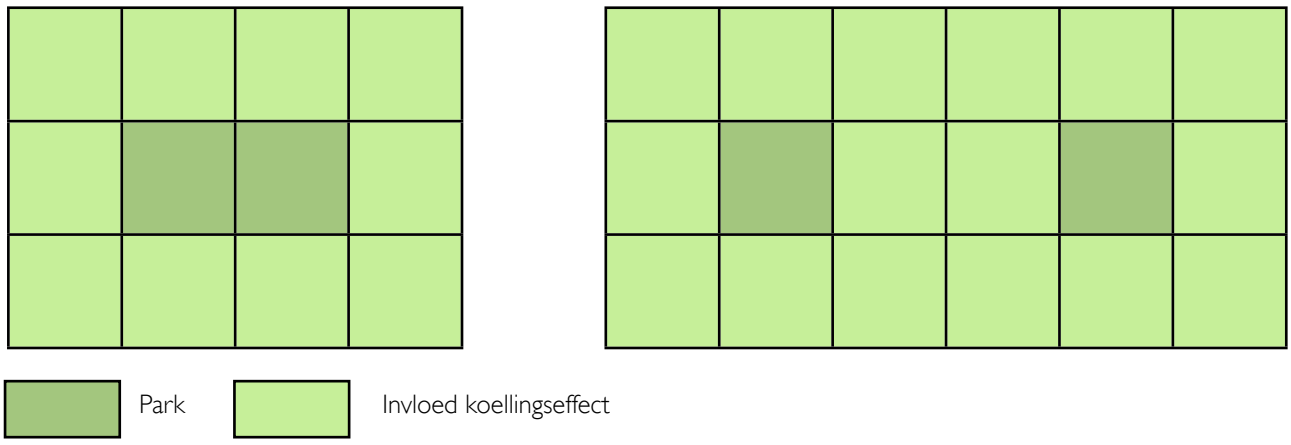
Een groendak bestaat uit verschillende componenten zoals een drainagelaag, filterdoeken en een substraat. Deze componenten hebben alle een verschillende impact op het milieu. Vooral bij het produceren van polymeren die vaak worden gebruikt in materialen voor een groendak. De polymeren worden gebruikt in de onderste lagen van een groendak, zoals de drainagelaag. Polymeren zijn lichtgewicht materialen die tegen zware belastingen kunnen, ze hebben een goede isolatiecapaciteit en zijn bestand tegen corrosie. Echter bij de productie ervan komt er CO_2 vrij. Toch hoeft dit geen negatief effect voor groene daken op te leveren, groene daken hebben immers ook de eigenschap om CO_2 en luchtverontreinigende stoffen op te nemen. Door het toepassen van groene daken kunnen de vrijkomende stoffen tijdens de productie op lange termijn worden gecompenseerd. Er zou wel meer gekeken kunnen worden naar gebruik of hergebruik van afvalstoffen voor de productie van groene daken [35]. Ook tijdens de productie van de andere componenten voor een groendak zullen er luchtverontreinigende stoffen vrijkomen. Dit is echter nog niet gemeten en berekend.

Volgens het nieuwe Bouwbesluit 2012 zal er in het jaar 2013 voor elke omgevingsvergunningsaanvraag voor nieuwbouwwoningen en kantoren, die een minimale gebruiksoppervlakte van 100 m^2 beslaan, een milieuprestatieberekening worden gevraagd. Dit staat vermeld in Artikel 5.9 van het nieuwe Bouwbesluit. Om deze berekening te kunnen maken zijn er gegevens nodig over de toegepaste producten en materialen. Hierin zal gekwantificeerd moeten worden: de uitputting van grondstoffen en de uitstoot van broeikasgassen. Er zijn al verschillende materialen en producten waarvoor deze gegevens zijn verzameld in een zogenaamde Milieu Relevante Product Informatie (MRPI). De MPRI wordt verzorgd door een onafhankelijke stichting opgericht door het oude Ministerie van VROM en het Nederlands Verbond Toelevering Bouw (NVTB).

5. Het effect van groene daken en gevels op de omgevingstemperatuur

5.1 Het urban heat island effect

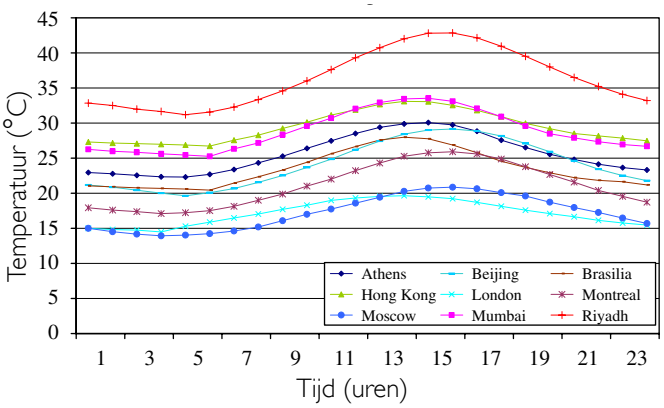
Naast de effecten die groene daken hebben op het binnenklimaat, hebben groene daken ook effect op het klimaat buiten. Daarbij kunnen groene daken bijdragen aan het verminderen van het Urban Heat Island Effect (UHI) in steden. Het hitte eilandeffect (het UHI vertaald naar het Nederlands) ontstaat door verschillende factoren die deels of tegelijk optreden. Deze factoren zijn: het aantal gebouwen dat gebouwd wordt in de steden met materialen die hitte absorberende eigenschappen bevatten, toenemende luchtvervuiling (dat grotendeels ligt aan autoverkeer), het produceren van hitte door de gebouwde omgeving, produceren van warmte door air-conditioning, gebrek aan groene omgeving waardoor er weinig of geen evapotranspiratie plaatsvindt, en minder koeling door wind door het ontstaan van canyonachtige ruimtes tussen de dichtbebouwde omgeving [17, 36]. Bij het optreden van deze factoren kan de stad nauwelijks of niet afkoelen in de nacht. In Berlijn bijvoorbeeld is het in de nacht 9 °C warmer dan buiten de stad. Deze factoren worden bevorderd door de groei van de bevolking in stedelijk gebied. Zo woonde er in het begin van de 20ste eeuw 15% van de wereldbevolking in stedelijk gebied en is dit nu (2012) 50% [36]. In verschillende onderzoeken komt naar voren dat begroeiing de omgevingstemperatuur verlaagt. Dit kan d.m.v. stadsparken, tuinen maar ook door daken te begroeien [36, 37]. In Toronto, waar door Oberndorfer et. al. [38] een simulatie is gemaakt in geval van 50% groene daken gelijkmatig verdeeld over de regio, realiseerde men in sommige gebieden een reductie van 2 °C. Door het toepassen van groene daken is het dus mogelijk om de omgevingstemperatuur te verlagen. Daardoor kan het UHI verkleind worden en tevens energie worden bespaard op de air-conditioning van gebouwen. Een stadspark is een goed voorbeeld wat de effecten zijn op de omgevingstemperatuur. Zo is er onderzocht wat de invloed is van deze parken op de omgevingstemperatuur. Weliswaar is dit onderzoek in Singapore verricht, waar de temperatuur in de zomer hoger is dan in Nederland, maar uit dit onderzoek is wel duidelijk een effect waargenomen. De invloed op de temperatuur is tot op twee- tot viermaal de breedte van het park waarneembaar (Figuur 16).



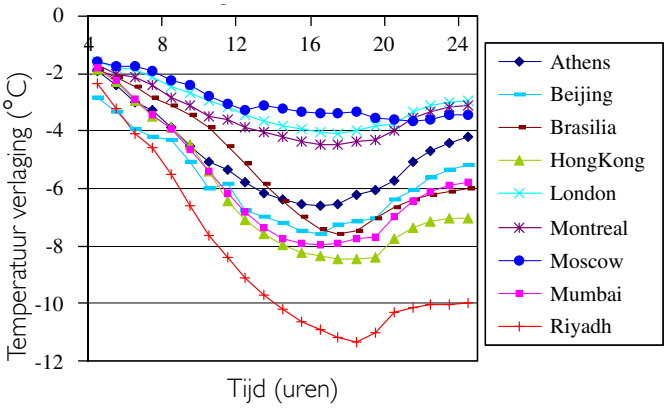
Figuur 16: Koelingseffect parken op de omliggende omgeving

Wanneer een groendak wordt toegepast op een bestaand dak dan zal dit ook een positief effect hebben op de omgeving. Dit is onderzocht onder andere door Alexandri en Jones [39], in verschillende klimaatstreken in de wereld. In dit onderzoek zijn niet alleen daken maar ook begroeide gevels onderzocht, en hun effect op de temperatuurverlaging op de warmste maand van een gemiddelde zomer in verschillende klimaatzones. De verlaging werd gemeten boven op groene daken en in de canyons van de steden. Zo blijkt uit metingen (Figuren 17-20) dat de temperatuur bij het

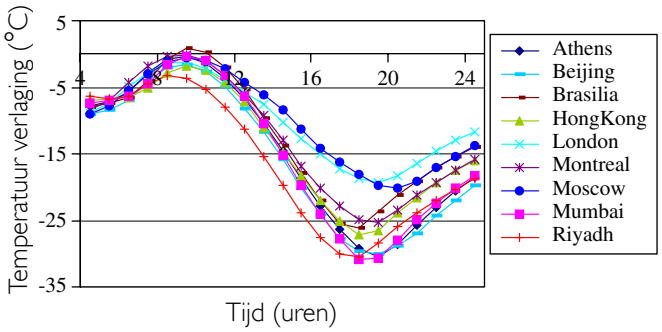
toepassen van groene daken en gevels in de klimaatzone London en Montreal, beide vergelijkbaar met Nederland, met 2-4 °C verlaagd wordt over de gehele dag [39], gemeten in het zomerseizoen.



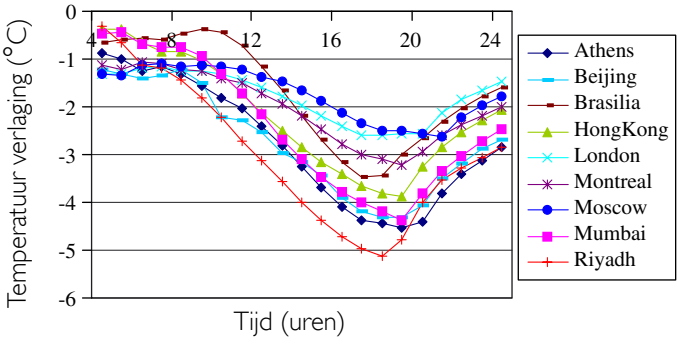
Figuur 17: Temperatuur warmste maand per klimaatzone in de zomer voor 24-uur [39].



Figuur 18: Temperatuur verlaging door toepassen van groene daken en gevels in de verschillende klimaatzones [39].



Figuur 19: Verlaging temperatuur boven het dak door het toepassen van enkel groen dak [39].



Figuur 20: Verlaging temperatuur in de 'canyons' in de steden door het toepassen van enkel groene gevels [39].

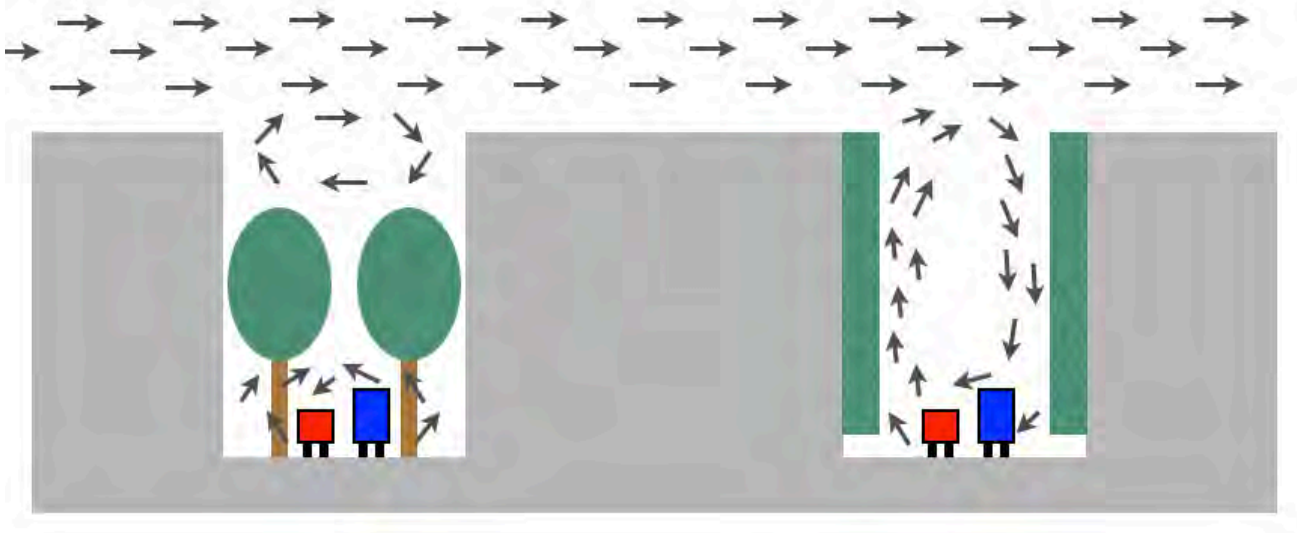
5.2 Conclusies

Groene daken en gevels hebben een positief effect op de omgevingstemperatuur. De temperatuur in stedelijk gebied kan dalen met ongeveer 2-4 °C. Maar ook stadsparken en tuinen kunnen de temperatuur in steden verlagen. Zo is het koelingseffect door middel van een park in een stad waarneembaar op twee tot vier maal de breedte van het park (Figuur 16).

6. Het effect van groene daken en gevels op de luchtkwaliteit

De luchtkwaliteit in steden staat onder druk, dit komt met name door het toenemen van het gemotoriseerd verkeer, maar ook de industrie en de intensieve veehouderij. De nationale overheid en de Europese Unie hebben normen en regelgeving opgesteld om de luchtkwaliteit van Nederland en die van andere landen te verbeteren. Deze landen zijn daarom ook verplicht om maatregelen te nemen om de luchtkwaliteit te verbeteren. Dit wordt al gedaan door milieuzones in steden in te stellen en strengere eisen voor nieuwe auto's [40, 41]. Een groendak kan bijdragen aan het binden of vasthouden van bepaalde stoffen zoals stikstofoxiden (m.n. NO_2 en NO, samen NO_x), zwaveldioxide (SO_2), fijnstof (PM_{10}), ozon (O_3) en koolstofdioxide (CO_2). In een grootschalig onderzoek in Chicago, waar 300 gebouwen in 2007 een groendak hebben geïnstalleerd met een totaal oppervlak van 27,87 ha, is gebleken dat de luchtkwaliteit verbeterd is. In één jaar hebben deze daken 1675 kilogram aan luchtverontreinigende stoffen verwijderd, waarvan 52% O_3, 27% NO_2, 14% PM_{10}, 7% SO_2 [42]. In Toronto is er ook onderzoek gedaan op het gebied van luchtkwaliteit. Daar is gekeken naar de verschillende mogelijkheden zoals alleen bomen en struiken in de stad, alleen groene gevels, geen bomen, alleen struiken, bomen, struiken en 20% groen en bomen, struiken en 100% groene daken. Uit dit onderzoek bleek dat bomen en struiken de meeste invloed hadden op de verschillende luchtverontreinigende stoffen. Voor het afvangen van PM_{10} zullen struiken het beste resultaat leveren, ook wanneer deze worden toegepast op een intensief groendak. Over het algemeen hebben groene daken een positief effect op het afvangen van verontreinigende stoffen [43]. Maar ook gras dat niet gemaaid is en dat is aangelegd op een dak, kan zorg dragen voor het verwijderen van fijnstof. Een dak van 2000 m^2 gras kan jaarlijks 4000 kg fijnstof verwijderen [44, 45]. Wanneer dit wordt vergeleken met de uitstoot van fijnstof door auto's dan zou één vierkante meter groen voldoende zijn voor het verwijderen van de emissie van één auto. Uit onderzoek van Ottelé [19] bleek ook dat fijnstof van de grootte $PM_{2,5}$ en PM_{10} wordt gebonden aan verticaal groen. De waardes staan voor de grootte van het fijnstof, in micrometers. Het fijnstof zal zich binden aan de bladeren van de planten daarna zal het door neerslag van de bladeren worden gewassen. De kleinere deeltjes fijnstof zullen niet of nauwelijks van de bladeren worden gewassen door neerslag en blijven op de bladeren [19]. Ook andere verontreinigende stoffen zoals lood (Pb) en cadmium (Cd) zullen door de begroeide daken en gevels worden opgevangen.

Groene daken en gevels kunnen zorg dragen voor het verminderen van verontreinigende stoffen in steden, vooral in steden waar de straten smal zijn. Toch zullen struiken en bomen soms slechter presteren dan groene daken en gevels (Figuur 21). Ondanks de grote positieve resultaten voor bomen en struiken zal er gelet moeten worden op de aanleg van deze. Zo kunnen deze, wanneer niet op de juiste manier aangelegd, juist een negatief effect veroorzaken. Als de bomen te dicht bij/naast elkaar geplant worden zullen uitlaatgassen namelijk niet afgevangen worden door de bomen, maar onder de kruin van de boom blijven hangen, waardoor smog ontstaat (Figuur 21) [46]. Een goed geplaatste 'medium' boom zal net zoveel lucht verontreinigende vervuiling kunnen verwijderen als een extensief groendak van ongeveer 19m^2. De kosten van een boom zijn echter lager dan voor een extensief groendak [42].



Figuur 21: Fijnstof verloop bij plaatsing bomen te dicht bij elkaar (links) en bij groene gevels (rechts)

6.2 Conclusies

De luchtkwaliteit in steden staat onder druk, met name door het verkeer en activiteiten eromheen. Landen zijn verplicht om maatregelen te nemen om de luchtkwaliteit te verbeteren door regelgeving van de Europese Unie. Groene daken en gevels kunnen één van de oplossingen zijn om de kwaliteit te verbeteren, er moet echter meer gebeuren dan alleen het aanleggen van groene daken en gevels. In Figuur 22 is een mogelijke oplossing om verkeer en groen te combineren bij elkaar gebracht. Echter bomen en struiken hebben volgens onderzoeken een grotere invloed op de verschillende luchtverontreinigende stoffen. Voor het opvangen van fijnstof kunnen het beste struiken worden toegepast op intensieve daken. Tevens kan een dak van 2000 m² gras jaarlijks 4000 kg fijnstof afvangen [44, 45]. Daarnaast kunnen daken met een totaal oppervlak van 27,87 ha, 1675 kilogram aan luchtverontreinigende stoffen verwijderen [42]. Hierbij moet men denken aan: ozon, stikstofoxide, fijnstof, koolstofdioxide en zwaveldioxide.



Figuur 22: Verkeer en groene daken gecombineerd

7. Conclusies & aanbevelingen

7.1 Conclusies

Op basis van deze studie kunnen we concluderen dat groene daken en gevels een goede optie zijn voor een aantal problemen in de gebouwde omgeving. Men kan hierbij o.a. denken aan:

- Stijgende neerslag;
- Overbelasting van het rioolstelsel;
- Warmteweerstand van gebouwen;
- Milieubelasting van materialen;
- Opwarming van stedelijk gebied (Urban Heat Island Effect);
- Luchtverontreiniging.

Bufferen, vertraagd afvoeren en retentie

Deze problemen kunnen door het toepassen van een groene daken en/of gevels deels worden verminderd of wellicht zelfs grotendeels worden opgelost. Het is mogelijk, door het toepassen van een groendak, neerslag te bufferen in het substraat en zodoende het overbelasten van het riool door neerslag te voorkomen. Daarna zal door retentie, door opname van regenwater door het substraat en de beplanting, maar ook door evapotranspiratie van de beplanting, de waterafgifte naar het riool verminderen. De mate van retentie, het aantal vertragende minuten en het buffervermogen worden bepaald door de opbouw van het groene dak en de hellingshoek. Zo zal er bij een plat dak (waarbij de hellingshoek kleiner is dan 2%) met een gemiddelde dikte van 75mm, een retentie behaald kunnen worden van 62%, en naarmate de dikte stijgt tot 150 mm kan de retentie toenemen tot 75%. Ook is in onderzoeken naar voren gekomen dat de dikte niet altijd de belangrijkste reden is van het toenemen van de hoeveelheid retentie. Er zal dan ook gekeken moeten worden naar de samenstelling van het substraat; in Tabel 2 van paragraaf 2.3 is goed af te lezen wat de retentie is bij een neerslag van 2mm/min bij diverse samenstellingen en dikten. Daarbij is een verschil te zien tussen verschillende samenstellingen en dezelfde dikte en hellingshoek (van 35%).

Het energetisch effect en het isolerend vermogen van groene daken en gevels

Sinds april 2012 is het nieuwe Bouwbesluit van kracht en daarin is een aantal bouwkundige eisen aangescherpt en/of aangepast. Ook de warmteweerstand voor de uitwendige scheidingsconstructie is aangepast. Voorheen was deze 2,5 m^2K/W, deze wordt 3,5 m^2K/W. Dat betekent dat het dak en de gevel aan een R_c-waarde van minimaal 3,5 m^2K/W zullen moeten voldoen. Wanneer het dak en de gevel voorzien worden van begroeiing zal de Rc-waarde van de bouwschil toenemen. Bij een groene gevel ontstaat er door de extra luchtlaag, zoals het geval is bij het toepassen van een Living Wall System (LWS), een winst van 0,18 m^2K/W. Maar er is ook winst te behalen door de veranderde luchtstroom bij het toepassen van begroeiing langs de gevel. Deze waarde is bij een traditioneel dak of gevel 0,04 m^2K/W, en wordt verhoogd tot 0,13 m^2K/W. Daardoor is de winst voor een dak 0,09 m^2K/W, en voor een gevel bij het toepassen van een LWS 0,27 m^2K/W. Dit is een winst van circa 8% exclusief de R-waarde van de boxen en planten. De warmteweerstand kan zelfs nog groter zijn, de planten zelf in de gevel of op het dak zullen ook de waarde kunnen vergroten. Maar voor de vele

soorten planten die toegepast kunnen worden zijn er nog geen specifieke onderzoeken gedaan naar exacte waarden. Naast de verhoging van de warmteweerstand door daken en gevels zal er ook minder elektriciteit nodig zijn voor de airconditioning in de directe verdieping onder het dak of grenzend aan de gevel. Een groendak kan de temperatuur van buiten naar binnen (warmteopname) bij een dikte variërend tussen de 75mm en de 150mm reduceren met 70% tot respectievelijk 90%. Ook in de winter is hier sprake van, dan spreken we over warmteverliezen van binnen naar buiten, waarbij sprake is van een reductie van 10% tot 30% bij dikten van respectievelijk 75mm tot 150mm.

Duurzame oplossingen

Niet alleen de warmteweerstand is aangepast in het nieuwe Bouwbesluit maar ook regelgeving op het gebied van milieu. In 2013 zal elke nieuwbouwwoning of kantoor met een minimale gebruiksoppervlakte van 100 m² een milieuprestatieberekening moeten kunnen overleggen tijdens de omgevingsvergunningsaanvraag. Daardoor zal van elk product of materiaal bijvoorbeeld de uitstoot van broeikasgassen bekend moeten zijn. Voor groene daken en gevels is dit nog niet bekend of berekend. Door het maken van een MRPI voor groene daken en gevels kunnen deze gegevens worden verstrekt aan architecten en gemeenten. Een groendak of -gevel bestaat namelijk uit veel natuurlijke producten en heeft daarmee een voordeel op veel andere niet-groene systemen. Daarnaast kan een groendak zorg dragen voor het verlengen van de levensduur van de dakmembranen, zo kan de levensduur van dakmembranen oplopen tot 50 jaar bij het toepassen van een groendak [21]. De levensduur van de verschillende substraten is echter nog niet wetenschappelijk onderzocht, waardoor er niet bekend is hoelang deze meegaan en/of deze tussentijds vervangen moeten worden.

Omgevingstemperatuur en de luchtkwaliteit

De opwarming en de luchtkwaliteit van het stedelijk gebied stelt grote uitdagingen aan de leefkwaliteit van de bevolking in grote steden. Groene daken en gevels kunnen zorg dragen voor het verlagen van de temperatuur in de stad. De temperatuur in Nederlandse steden kan bij het toepassen van een groendak en -gevel in de zomer verlaagd worden met tussen de 4°C en 5°C. Ook zal de temperatuur verlaagd kunnen worden door het toepassen van parken, waarbij het effect twee tot vier maal breedte van het park merkbaar is. Door gemotoriseerd verkeer en industriële activiteiten (binnen/ buiten stad) staat de luchtkwaliteit steeds meer onder druk. Ook de eisen die aan de luchtkwaliteit worden gesteld, worden steeds strenger. Een groendak of -gevel kan naast CO_2, ook veel van de luchtverontreinigende stoffen binden, zoals fijnstof en stikstofoxiden, en andere schadelijke stoffen. Bomen en struiken kunnen weliswaar meer van deze stoffen opvangen dan een groene gevel, maar dan moet er wel rekening gehouden worden met een goede positionering van de bomen, zodat er geen smog kan ontstaan onder de kruin van de bomen (Figuur 19).

7.2 Aanbevelingen

Bufferen, vertraagd afvoeren en retentie

Om een duidelijker inzicht te verkrijgen wat samenstelling, dikte en hellingshoek voor retentie waarden kunnen betekenen, zal er nog onderzoek gedaan moeten worden waarbij alle gegevens verwerkt zullen worden. Daardoor zal er een duidelijker beeld ontstaan met welke dikte, soort en opbouw groene daken retentie en buffercapaciteiten verkrijgt. Dit zou kunnen worden onderzocht door een aantal dakconfiguraties in een buitensituatie op te stellen en te monitoren.

Het energetisch effect en het isolerend vermogen van groene daken en gevels

De warmteweerstand van groene daken is niet exact bekend. Dit komt doordat de waarde van bepaalde substraten en de verschillende mogelijke beplanting niet bekend zijn. Daarom is onderzoek naar deze waarde belangrijk om exact te bepalen wat de R_c-waarde voor de groene daken en gevels zijn. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden in een hotbox zoals in voorgaande onderzoeken waarbij een langere periode gemeten wordt, voor een betrouwbare waarde. Tevens kan dit onderzoek gedaan worden aan of op bestaande daken en gevels.

Duurzame oplossingen

De duurzaamheid van groene daken op het gebied van 'sustainabilty' is nog niet geheel duidelijk. Toch wordt dit steeds belangrijker door het aangepaste/nieuwe Bouwbesluit 2012. Voor materialen wordt steeds meer een MPRI opgesteld. Dit is een integrale rapportage over de milieubelasting van materialen/producten, waaronder de uitstoot van broeikasgassen en de uitputting van grondstoffen. Verder is het aan te bevelen om ook levenscyclus analyses (LCAs) op te stellen voor groene gevels en daken. Groene daken en gevels zouden bij een MPRI en LCA gunstig kunnen afsteken ten opzichte van traditionele materialen.

Begrippenlijst

Buffering: het tijdelijk vasthouden van water in bepaalde lagen van een groen dak of groene gevel;

Durability: de levensduur van materialen en producten na plaatsing;

Energiebehoefte: de energie die nodig is om een gebouw te koelen en/of te verwarmen;

Evapotranspiratie: transpiratie van water in planten door de bodem en bladeren;

Extensieve groene daken: een vegetatie dak met een maximale dikte van 150 mm;

Fotosynthese: het proces waar koolstofdioxide omgezet wordt door lichtenergie in koolhydraten;

Hotbox: een ruimte in een lab waar o.a. temperatuur verschillen worden gemeten;

Intensieve groene daken: een vegetatie dak met een minimale dikte van 150 mm;

Rc-waarde: zie warmteweerstand

R_e: de overgangsweerstand van materiaal naar buitenlucht;

Retentie: het verminderen van neerslag afvoer naar het riool door vastlegging of verdamping;

Retentie: het vasthouden en verbruiken van water waardoor er minder water wordt afgegeven;

R_i: de overgangsweerstand van binnenlucht naar materiaal;

Sustainability: milieuvriendelijkheid van materiaal of product bij het tot stand komen ervan, bijvoorbeeld welke grondstoffen en energie zijn gebruikt, en welke afvalstoffen zijn vrijgekomen;

Warmtegeleidingscoëfficiënt: de warmtegeleiding van het materiaal;

Warmtestroom: stroming van energie in de vorm warmte van een warme plaats naar een koude plaats en visa versa;

Warmteweerstand: het warmte isolerend vermogen van een materiaallaag uitgedrukt in R-waarde in m^2K/W;

Bibliografie

1. www.riool.net. Available from: http://www.riool.net/riool/pages/showPage.do?instanceid=31&itemid=2074&style=default.

2. www.knmi.nl.

3. www.bouwbesluitonline.nl. Available from: http://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012_nvt/artikelsgewijs/hfd6/afd6-4/art6-18.

4. Getter, K.L. and Rowe, D.B., *The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development.* HortScience, 2006. 41(5): p. 1276-1285.

5. Justyna, C.B., *Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review.* Ecological Engineering, 2010. 36(4): p. 351-360.

6. VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Fernandez, R.T. and Xiao, L., *Green Roof Stormwater Retention.* J. Environ. Qual., 2005. 34(3): p. 1036-1044.

7. Schroll, E., Lambrinos, J., Righetti, T. and Sandrock, D., *The role of vegetation in regulating stormwater runoff from green roofs in a winter rainfall climate.* Ecological Engineering, 2011. 37(4): p. 595-600.

8. Mentens, J., Raes, D. and Hermy, M., *Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?* Landscape and Urban Planning, 2006. 77(3): p. 217-226.

9. Berndtsson, J.C., Emilsson, T. and Bengtsson, L., *The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality.* Science of The Total Environment, 2006. 355(1-3): p. 48-63.

10. Kosareo, L. and Ries, R., *Comparative environmental life cycle assessment of green roofs.* Building and Environment, 2007. 42(7): p. 2606-2613.

11. Spolek, G., *Performance monitoring of three ecoroofs in Portland, Oregon.* Urban Ecosystems, 2008. 11(4): p. 349-359.

12. Moran, A., Hunt, B. and Smith, J., *Hydrologic and Water Quality Performance from Greenroofs in Goldsboro and Raleigh, North Carolina,* in *Green roofs for health cities conference,* 2005: Washington, DC.

13. Berndtsson, J.C., *Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review.* Ecological Engineering, 2010. 36(4): p. 351-360.

14. Schade, C., *Wasserruckhaltung und Abflußbeiwerte bei dunnschichtigen extensivbegrunungen.* Stadt und Grün, 2000. 49: p. 95-100.

15. Villarreal, E.L. and Bengtsson, L., *Response of a Sedum green-roof to individual rain events.* Ecological Engineering, 2005. 25(1): p. 1-7.

16. Getter, K.L., Rowe, D.B. and Andresen, J.A., *Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention.* Ecological Engineering, 2007. 31(4): p. 225-231.

17. Dunnett, N. and Kingsbury, N., *Planting green roofs and living walls* 2008, Portland, Or.: Timber Press.

18. Minke, G., Balcke, C. and Witter, G., *Häuser mit grünem pelz* 1983, Frankfurt: Verlag Dieter Fricke GmbH.

19. Ottelé, M., *The green building envelope*, in *Civil Engineering and Geosciences*2011, Delft university of technology: Delft.

20. Kolb, W. and Klein, W., *Zum Klimatisierungseffekt von Pflanzenbeständen auf Dächern, Teil II.* Veitshöchheimer Berichte, 2009. Heft 131: p. 147-151.

21. Peck, S.W., Callaghan, C., Bass, B. and Kuhn, M., *Greenbacks from Green Roofs: Forging a New Industry in Canada*, 1999.

22. Wong, N.H., Cheong, D.K.W., Yan, H., Soh, J., Ong, C.L. and Sia, A., *The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore.* Energy and Buildings, 2003. 35(4): p. 353-364.

23. Liu, K. and Baskaran, B.A., *Thermal performance of green roofs through field evaluation.* Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, 2003.

24. Liu, K. and Minor, J., *Performance evaluation of an extensive green roof.*, 2005: Ottowa

25. Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M. and Davison, J.B., *Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit.* Energy and Buildings, 2010. 42(10): p. 1582-1591.

26. Liu, K.K.Y. *Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation.* 2003. Tampa, Florida.

27. Köhler, M., *Green facades - a view back and some visions.* Urban Ecosystems, 2008. 11(4): p. 423-436.

28. Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J.M. and Cabeza, L.F., *Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings.* Applied Energy, 2011. 88(12): p. 4854-4859.

29. Stec, W.J., van Paassen, A.H.C. and Maziarz, A., *Modelling the double skin facade with plants.* Energy and Buildings, 2005. 37(5): p. 419-427.

30. Kontoleon, K.J. and Eumorfopoulou, E.A., *The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone.* Building and Environment, 2010. 45(5): p. 1287-1303.

31. Di, H.F. and Wang, D.N., *Cooling effect of Ivy on a wall.* Experimental Heat Transfer, 1999. 12(3): p. 235-245.

32. Braungart, M. and McDonough, W., *Cradle to cradle* 2008, Heeswijk: Search Knowledge.

33. www.merriam-webster.com. Engels woordenboek].

34. Bass, B., Liu, K.K.Y. and Baskaran, B.A., *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*, 2003

35. Bianchini, F. and Hewage, K., *How "green" are the green roofs? Lifecycle analysis of green roof materials.* Building and Environment, 2012. 48(0): p. 57-65.

36. Susca, T., Gaffin, S.R. and Dell'Osso, G.R., *Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs.* Environmental Pollution, 2011. 159(8-9): p. 2119-2126.

37. Takebayashi, H. and Moriyama, M., *Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island.* Building and Environment, 2007. 42(8): p. 2971-2979.

38. Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y. and Rowe, B., *Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services.* BioScience, 2007. 57(10): p. 823-833.

39. Alexandri, E. and Jones, P., *Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates.* Building and Environment, 2008. 43(4): p. 480-493.

40. Ministerie van Volkshuisvesting, R.O.e.M., *Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit*, 2009.

41. www.milieuzones.nl.

42. Yang, J., Yu, Q. and Gong, P., *Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago.* Atmospheric Environment, 2008. 42(31): p. 7266-7273.

43. Currie, B.A. and Bass, B., *Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model.* Urban Ecosystems, 2008. 11(4): p. 409-422.

44. Rowe, D.B., *Green roofs as a means of pollution abatement.* Environmental Pollution, 2011. 159(8-9): p. 2100-2110.

45. Johnson, J. and Newton, J., *Building Green A guide to using plants on roofs, walls and pavements.* Greater London authority, 2004.

46. Thönnessen, M., *Staubfilterung und immissionshistorische Aspekte am Beispiel fassadenbegrünenden Wilden Weines.* Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, 2006. 18(1): p. 5-12.

47. Johnston, C., McCreary, K. and Nelms, C., *Vancouver public library green roof monitoring project,* in *Greening rooftops for sustainable communities,* 2004: Portland.

48. Hutchinson, D., Abrams, P., Retzlaff, R. and Liptan, T., *Stormwater monitoring two ecoroofs Portland, Oregon, USA,* in *Greening rooftops for sustainable communities,* 2003: Chicago.

49. Moran, A., Hunt, B. and Jennings, G., *A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quantity, runoff quality and plant growth,* in *Greening rooftops for sustainable communities,* 2004: Portland.



Dit rapport is gemaakt door:

TU/e Technische Universiteit Eindhoven University of Technology

Gemaakt in opdracht van:

vhg brancheverenging

En mede mogelijk gemaakt door:

Productschap Tuinbouw

Den Dolech 2 Eindhoven, 5612 AZ
T: (040) 2479111;
www.tue.nl