

Ecosysteemdiensten van groene daken en gevels

Een literatuurstudie naar diensten op het niveau van wijk en stad

Margareth E.C.M. Hop en Jelle A. Hiemstra

© 2013 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit.

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Projectnummer: 32 361 165 11

Gefinancierd door het Kennisbasisprogramma van het Ministerie van Economische zaken.

Project KB-14-003-002, Evaluatie van de ecosysteemdiensten van dak- en gevelgroen: wat is de (potentiële) impact op wijk/stadniveau?

Tenzij anders vermeld zijn de gebruikte foto's ©PPO

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit

Adres : Lingewal 1
6668 LA Randwijk
Tel. : +31 488 - 473 702
E-mail : infobomen.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

1	VOORWOORD	5
2	KORTE SAMENVATTING.....	7
3	INLEIDING	9
3.1	Achtergrond	9
3.2	Doel en werkwijze	9
3.3	Opzet van het rapport	9
4	INVENTARISATIE VAN DE BESCHIKBARE LITERATUUR.....	11
5	ACHTERGRONDINFORMATIE EN AFBAKENING	13
5.1	Definities van de typen dak- en gevelgroen.....	13
5.2	Het vóórkomen van groene daken en gevels.	14
5.3	Modellen van de effecten op hogere schaalniveaus.....	15
6	ECOSYSTEEMDIENSTEN VAN DAK- EN GEVELGROEN.....	17
6.1	Indeling van ecosysteemdiensten	17
6.2	Fysieke behoeften.....	19
6.2.1	Schone lucht: Wegvangen van gasvormige luchtverontreiniging	19
6.2.2	Lucht: Zuivering van fijn stof	21
6.2.3	Water: Verwerking hemelwater jaarrond	23
6.2.4	Water: Retentie van neerslagpieken	25
6.2.5	Water: Kwaliteit van het afstromende water	27
6.2.6	Temperatuur: Urban Heat Island Effect	28
6.2.7	Temperatuur: Isolatie gebouwen	32
6.2.8	Geluidsdemping	33
6.2.9	Voedselproductie	34
6.2.10	Energieproductie	35
6.3	Bestaanszekerheid.....	36
6.3.1	Behoud van lichamelijke en geestelijke gezondheid.....	36
6.3.2	Werkgelegenheid	38
6.3.3	Lucht: CO ₂ reductie.....	38
6.3.4	Levensduur dak/gevel en milieuvriendelijkheid.....	39
6.3.5	Stimuleren biodiversiteit	40
6.3.6	Verhogen waarde vastgoed	43
6.4	Sociale en psychologische behoeften	44
6.4.1	Sociale contacten	44
6.4.2	Kennis: educatieve mogelijkheden	45
6.4.3	Sociale cohesie	45
6.4.4	Vrije tijd.....	45
6.4.5	Creatieve mogelijkheden	46
6.4.6	Identiteit.....	46
6.4.7	Vrijheid.....	46
7	FINANCIËLE ASPECTEN VAN ECOSYSTEEMDIENSTEN.....	47
7.1	Berekening van financiële waarden	47
7.2	Waarden per ecosysteemdienst	48
7.3	Opbrengsten overzicht	50

7.4	Kosten/baten analyse	51
8	CONCLUSIES EN DISCUSSIE	53
8.1	Geleverde diensten per groentype.....	53
8.2	Zijn groene daken en gevels nuttig voor steden?.....	55
9	UITGEBREIDE SAMENVATTING.....	56
	BIJLAGE 1	61
	LITERATUURLIJST.....	63

1 Voorwoord

Groen in de stedelijke omgeving heeft veel positieve effecten, de zogenaamde ecosysteemdiensten. Groen versterkt de ecologische kwaliteit van de stad en heeft een gunstig effect op de leefbaarheid, de volksgezondheid en de aantrekkingskracht van de stad. De ruimte voor groen in de stedelijke omgeving is echter in toenemende mate beperkt. Grootschalige toepassing van dak- en gevelgroen lijkt daarom goede perspectieven te bieden voor duurzame en klimaat-adaptieve stadsontwikkeling. In dit project wordt een analyse uitgevoerd van de (potentiële) bijdrage van dak- en gevelgroen aan de ecosysteemdiensten van groen in de stedelijke omgeving.

Hoewel de aanleg van dak- en gevelgroen voor de eigenaar van een gebouw zeker voordelen biedt, met name door verbetering van de isolatie, wegen de baten hiervan gewoonlijk niet op tegen de kosten van aanleg. Veel van de positieve effecten van dak- en gevelgroen liggen echter niet op de schaal van het individuele gebouw, maar hebben betrekking op de omgeving bijvoorbeeld door positieve effecten op het klimaat in de stad, de waterhuishouding of zelfs het welzijn van de bevolking.

Voor een goede economische afweging van de kosten en baten van dak- en gevelgroen is het daarom van belang om ook de effecten op wijk- en stadniveau mee te wegen. Als ook de voordelen voor de hele stad worden meegerekend, zou de grootschalige aanleg van dak- en gevelgroen wel eens een zeer rendabele investering kunnen zijn, die ook het welzijn van de stadsbewoners verbetert.

Om de bovengenoemde voordelen van de aanleg van dak- en gevelgroen beter in beeld te brengen, is in 2011 en 2012 binnen het KB 14 programma “Duurzame ontwikkeling van de groen-blauwe ruimte” door PPO-Bomen het project “Evaluatie van ecosysteemdiensten van dak- en gevelgroen; wat is de (potentiële) impact op wijk/stadniveau” (KB 14-003-002) uitgevoerd. Dit project valt onder het thema “Ondernemen met ecosysteemdiensten”.

Het doel van het project was een analyse van de (potentiële) bijdrage van dak- en gevelgroen aan de ecosysteemdiensten van groen in de stedelijke omgeving. Daarbij lag de focus op de volgende aspecten:

- Welke fysieke kenmerken van dak- en gevelgroen zijn bepalend voor de geleverde diensten, met name op het niveau van wijk, stad en regio?
- Welke ecosysteemdiensten kunnen worden gerealiseerd door dak- en gevelgroen?
- Wat is de relatieve (potentiële) bijdrage van dak- en gevelgroen t.o.v. andere vormen van stadsgroen?
- Wat zijn succes- en faalfactoren voor realiseren van die diensten?
- Hoe kan het toepassen van effectieve hoeveelheden dak- en gevelgroen worden gestimuleerd?

In de eerste fase van dit project is een inventarisatie en analyse uitgevoerd van de beschikbare literatuur. De auteurs willen dr. Robert Snep (Alterra) nadrukkelijk bedanken voor de in die periode gevoerde discussies en zijn suggesties ten aanzien van de opzet van de survey. In de volgende fase in 2012 is op basis van een uitgebreide literatuurstudie een overzicht gemaakt van de in de wetenschappelijke literatuur beschikbare kwantitatieve informatie met betrekking tot de productie van ecosysteemdiensten door dak- en gevelgroen en de bepalende factoren daarvoor. Daarbij lag de nadruk op de informatie over baten op het niveau van de wijk of stad en zijn drie typen dak- en gevelgroen onderscheiden: intensieve daken (met bomen en struiken), extensieve daken (Sedum en eventueel vaste planten) en gevelgroen.

Op basis van ruim 350 publicaties zijn de potentiële positieve effecten van dak- en gevelgroen in kaart gebracht en waar mogelijk gekwantificeerd. De auteurs hopen dat een beter inzicht in de baten van dak- en gevelgroen, vooral op het niveau van wijk en stad, bij zal dragen aan een versterkte aanleg van dak- en gevelgroen en daarmee aan een betere benutting van de potentiële voordelen van deze ook in de overvolle stedelijke omgeving vaak goed te realiseren typen groen.

Om dit verder te stimuleren is het onderzoek in 2013 afgerond met een inventarisatie van de maatregelen die in de gevonden literatuur worden genoemd als maatregelen om het gebruik van dak- en gevelgroen te bevorderen. Dit is aangevuld met gegevens uit een telefonische enquête van een aantal op dit terrein actieve gemeenten in Nederland. Dit deel van het onderzoek is niet in dit rapport opgenomen, maar wordt in een aparte publicatie behandeld.

2 Korte samenvatting

Bij de toepassing van groene daken en groene gevels worden vaak de geproduceerde ecosysteemdiensten als argument gebruikt, ofwel de aspecten die gunstig zijn voor het menselijk welzijn. Uit onderzoek zijn de diensten die ze leveren op de gebouwschaal – voor eigenaren en gebruikers - inmiddels goed bekend. Voor planners en beleidsmakers zijn de effecten op de schaal van wijk en stad echter belangrijker.

Door bestudering van ruim 350 artikelen zijn de effecten op stadsschaal zo goed mogelijk in kaart gebracht. Er is gekeken naar verschillen tussen intensief dakgroen, extensief dakgroen en groene gevels, en deze drie typen zijn vergeleken met andere typen groen in steden. Daartoe zijn de diensten ingedeeld in de drie categorieën menselijke behoeften waarin ze voorzien.

Fysieke behoeften:

- Luchtzuivering van gasvormige vervuilende stoffen
Het effect van alle typen stadsgroen op de gasvormige vervuiling is waarschijnlijk klein ten opzichte van de aanwezige hoeveelheid, en moeilijk te meten. Dak- en gevelgroen voorkomen luchtvervuiling doordat ze gebouwen isoleren, en blokkeren de wind niet.
- Luchtzuivering van fijn stof
Alleen in straten tussen hoge gebouwen is er mogelijk een lokaal zuiveringseffect van gevelgroen. Groene daken en gevels maken wel extra groen op nieuwe plaatsen mogelijk: hoe meer stadsgroen in totaal, hoe meer luchtzuivering. Hierbij geldt hetzelfde als voor gasvormige vervuilende stoffen.
- Verwerking hemelwater jaarrond
Groene daken hebben een grote opvangcapaciteit voor het regenwater dat het hele jaar door valt. Een goede waterhuishouding in wijken (geen afvoer via riool) is met vergroening van een derde deel van de daken plus gebruik van wadi's te bereiken.
- Retentie van neerslagpieken
Groendaken kunnen water van neerslagpieken vasthouden, maar hebben op stadsschaal te weinig impact. Opvangbassins zijn dan goedkoper.
- Waterkwaliteit
Technisch is het geen probleem om groendaken te maken, waarvan het afstromende water een goede waterkwaliteit heeft.
- Temperatuur: Urban Heat Island Effect
Voor elke 20% meer groen in de stad daalt de piektemperatuur 1 °C. Vooral geïrrigeerde groendaken en gevelgroen kunnen hiertoe bijdragen. Gevelgroen is vooral in straten tussen hoge gebouwen effectief.
- Temperatuur: isolatie van gebouwen
Groene daken en groene gevels reduceren het energieverbruik en de productie van CO₂, doordat ze gebouwen isoleren. Dit is vooral effectief tegen zomerhitte, minder tegen winterkou.
- Geluidsreductie
Groene daken en gevels isoleren gebouwen tegen geluid; dit scheelt 3-10 dB. Ook verspreiding van geluid door de stad wordt gereduceerd.
- Voedselproductie
Dit zou op veel grotere schaal dan nu moeten gebeuren wil het voor de stad relevant zijn. Amsterdam zou theoretisch zelfvoorzienend kunnen zijn in groente, kruiden en fruit, als elk plat dak een moestuin wordt.
- Energieproductie
De koeling van een groen dak laat zonnecellen op daken efficiënter werken. Er wordt gewerkt aan nieuwe methoden om energie van dakplanten af te tappen.

Bestaanszekerheid:

- Behoud lichamelijke en geestelijke gezondheid
Groen heeft fysieke en psychologische effecten op gezondheid, maar het verband is moeilijk te meten. Biodivers en goed onderhouden groen heeft het grootste positieve effect.
- Werkgelegenheid

- Dak en gevelgroen verbeteren werkomstandigheden en leveren werk voor hoveniers.
- CO₂ reductie
Alleen (dak)bomen leggen veel CO₂ vast, maar de isolatiewaarde van dak- en gevelgroen helpt CO₂ productie te reduceren.
- Levensduur en milieuvriendelijkheid
Groene daken verdubbelen de levensduur van een dak, verbruiken minder energie en produceren minder emissies dan conventionele daken. Niet alle groene gevels zijn milieuvriendelijk, maar sommige typen wel.
- Stimuleren biodiversiteit
Vooral vogels en insecten leven en foerageren op groene daken en gevels. Er zijn aanwijzingen dat vooral de rol als groene verbinding tussen stadsdelen voor steden belangrijk kan zijn.
- Verhogen waarde vastgoed
Goed aangelegd en goed onderhouden dak- en gevelgroen verhoogt de waarde van vastgoed.

Sociale en psychologische behoeften:

- Sociale contacten
Sommige groene daken zijn geschikt voor sociale contacten, en groene gevels kunnen ontmoetingsplaatsen aantrekkelijker maken.
- Kennis: educatieve mogelijkheden
Er zijn wel veel voorbeelden, maar er is nog geen onderzoek naar gedaan.
- Sociale cohesie
Als mensen een actieve rol kunnen spelen bij aanleg of onderhoud van een groen dak, kan dit de sociale cohesie bevorderen. Een goede organisatie eromheen is vereist.
- Vrije tijd
Dak en gevelgroen kunnen vrijetijdslocaties aantrekkelijker maken.
- Creatieve mogelijkheden
Dak- en gevelgroen bieden veel creatieve keuzemogelijkheden bij de inrichting.
- Identiteit
Groene daken en gevels versterken een milieuvriendelijk imago.
- Vrijheid
Groene daken en gevels bieden mensen autonomie op voedsel- en energiegebied.

Financiële aspecten van ecosysteemdiensten

Slechts een deel van de ecosysteemdiensten levert geld op, de meesten besparen kosten of verwezenlijken een ander wenselijk doel. De laatste twee typen zijn lastig te berekenen. De meest waardevolle diensten in Euro's lijken op dit moment die op het gebied van levensduurverlenging van het dak, waterretentie jaarrond, het isoleren van gebouwen en verbetering van de luchtkwaliteit. Het effect op gezondheid is potentieel ook veel waard, maar erg moeilijk te berekenen.

Kosten/batenanalyse

Voor private eigenaars van dak- en gevelgroen zijn de kosten van aanleg en onderhoud op dit moment hoger dan hun baten. Voor de stad als geheel zijn de baten wel hoger dan de kosten.

Vergelijking van typen stadsgroen

Als alle diensten die geleverd worden door verschillende typen stadsgroen opgeteld worden, en met elkaar vergeleken, dan ontstaat de volgende rangorde. Van veel geleverde diensten naar weinig:

- Park (alle diensten hoog)
- Intensief groendak (alle diensten vrij hoog)
- Laanbomen (hoog op fysiek en bestaanszekerheid, laag op sociaal)
- Groene gevel (gemiddeld op fysiek en bestaanszekerheid, hoog op sociaal)
- Gazon (gemiddeld voor alle behoeften)
- Extensief groendak (gemiddeld op fysiek, laag op bestaanszekerheid en sociaal)

3 Inleiding

3.1 Achtergrond

Over de hele wereld is er een steeds sterkere tendens tot verstedelijking en inmiddels woont meer dan de helft van de wereldbevolking in de stad (bron: UN, "2007 revision of world urbanization prospects"). Ook in Nederland is er sprake van steeds verder gaande verstedelijking. Door de hoge grondprijzen en de beperkte ruimte binnen de stad wordt de druk op de beschikbare grond steeds groter. Daardoor staan de groene gebieden binnen de stedelijke omgeving onder druk. Omdat voldoende groen in het stedelijk gebied belangrijk is voor een gezonde leefomgeving en voor het welzijn van de bewoners is de belangstelling voor dak- en gevelgroen in de afgelopen jaren sterk toegenomen. Onder architecten is het gebruik van dakgroen inmiddels redelijk ingeburgerd, en er zijn verschillende systemen in de handel die zich in de praktijk bewezen hebben, vooral in Duitsland. Gevelgroen is een zeer innovatieve groentoeëpassing. Op dit moment komen er bijna maandelijks nieuwe systemen van gevelpanelen voor de aanleg van groene gevels bij.

Voor zowel groene daken als groene gevels geldt, dat grootschalige toepassing in principe veel voordelen kan opleveren voor het woon- en leefklimaat in de stad. Daarbij worden gewoonlijk vooral zaken als verlaging van de zomerse piektemperaturen, verbetering van de waterhuishouding en verbetering van de luchtkwaliteit genoemd. Daarnaast zijn ook aspecten van volksgezondheid en welzijn van belang. Over het effect van dak- en gevelgroen op het niveau van wijk en stad zijn echter nog weinig concrete gegevens beschikbaar. Het meeste onderzoek heeft zich de afgelopen jaren gericht op de voordelen op de gebouwschaal, zoals de isolatiewaarde en de lagere regenwaterafvoer.

3.2 Doel en werkwijze

Het doel van het hier beschreven onderzoek was een analyse van de (potentiële) bijdrage van dak- en gevelgroen aan de aan groen toegeschreven positieve effecten op de stedelijke omgeving; de zogenaamde ecosysteemdiensten van groen. Over de baten van dak- en gevelgroen voor de huiseigenaar is in de afgelopen jaren veel geschreven, maar over de baten op wijk- en stadniveau is veel minder bekend. Het onderzoek richtte zich daarom vooral op de voordelen van dak- en gevelgroen op de schaal van wijken en steden.

Het onderzoek bestond uit twee fasen. De eerste stap was een inventarisatie van de beschikbare literatuur. Deze stap is bewust breed opgezet, zodat alle aspecten van dak- en gevelgroen die in de literatuur worden beschreven zijn meegenomen. In de tweede fase zijn daarna de gevonden gegevens per ecosysteemdienst en per type dak- en gevelgroen samengevat, om inzichtelijk te maken welke typen de meeste positieve effecten hebben en welke effecten dat zijn.

Tevens is getracht om het relatieve belang van dak- en gevelgroen ten opzichte van andere typen groen in de stad in beeld te brengen, waarbij we gazon, laanbomen en parken als vergelijkers gebruiken. Als er weinig gegevens over de hogere schaalniveaus waren in de literatuur, zijn de beschikbare gegevens over effecten op gebouwschaal tot het wijk- en stadniveau geëxtrapoleerd voor het trekken van de eindconclusies. Ten slotte is naast de inhoudelijke ecosysteemvoordelen ook gekeken naar de financiële waarde van deze diensten.

3.3 Opzet van het rapport

De bij de inventarisatie van de beschikbare literatuur gevolgde werkwijze en de resultaten van die inventarisatie worden beschreven in hoofdstuk 4.

Hoofdstuk 5 geeft achtergrondinformatie, die nodig is om de gevonden gegevens over ecosysteemdiensten van dak- en gevelgroen in perspectief te kunnen plaatsen. Het beschrijft de verschillende typen dak- en gevelgroen. Hier zijn tevens gegevens te vinden over de huidige arealen dak- en gevelgroen. Ook wordt hun aandeel in het stadsgroen besproken, en welk effect dit heeft op de modellen die gebruikt worden om de omvang van de geleverde ecosysteemdiensten te berekenen.

Hoofdstuk 6 is geheel gewijd aan ecosysteemdiensten. Na een inleiding over dit begrip en de voor deze studie gekozen indeling volgt een uitgebreide beschrijving van de in de literatuur aangetroffen informatie betreffende de verschillende ecosysteemdiensten van dak- en gevelgroen. Daarbij zijn zo veel mogelijk kwantitatieve gegevens opgenomen.

Hoofdstuk 7 gaat in op de economische waarde van de verschillende door dak- en gevelgroen geproduceerde diensten. De (beperkte) beschikbare gegevens zijn samengevat voor de belangrijkste categorieën van ecosysteemdiensten waarbij onderscheid wordt gemaakt in directe, indirecte en niet kwantificeerbare baten. Hoofdstuk 8 ten slotte is een synthese van de voorgaande hoofdstukken. In een tabel is op basis van de beschikbare informatie voor alle onderscheiden ecosysteemdiensten een schatting gedaan van het totale effect van de verschillende typen dak- en gevelgroen in vergelijking tot de categorieën park, laanbomen en grasvelden.



4 Inventarisatie van de beschikbare literatuur

Ecosysteemdiensten kunnen worden gedefinieerd als: “Aspecten van ecosystemen, die gebruikt worden (actief of passief) om menselijk welzijn te produceren” (Fisher et al., 2009). Om een overzicht te krijgen van de ecosysteemdiensten die geleverd worden door dak- en gevelgroen, is een uitgebreide literatuur inventarisatie uitgevoerd. Omdat er geen algemeen geaccepteerde lijst van ecosysteemdiensten van dak- en gevelgroen bestaat - de lijsten variëren per auteur - is niet naar specifieke diensten gezocht, maar zijn alle artikelen over dak- en gevelgroen verzameld en daarna individueel beoordeeld op bruikbaarheid voor dit rapport. Hierbij zijn zowel wetenschappelijke artikelen als artikelen uit vakbladen meegenomen.

Er is gezocht via de literatuurdatabase SCOPUS. Deze bleek - in vergelijking met enkele andere literatuur databases - weinig duplicaten op te leveren bij het zoeken, en toch een aanzienlijk aantal relevante zoekresultaten te geven. Er is gezocht in de literatuur gepubliceerd tussen 2001 en eind 2011, met de trefwoorden:

- “green roof”
- “green wall” OR “living wall” OR “vertical green” OR “vegetated wall” OR “green façade” OR “biowall”.

Internationaal bestaat consensus over de term “green roof” voor het aanduiden van een dak waarop planten groeien die door de mens zijn aangeplant, of waarvan de groei bewust gestimuleerd is. Er worden ook wel andere termen gebruikt, zoals “vegetated roof”, “ecorooft” of “living roof”, maar deze artikelen zijn stevast ook met het trefwoord “green roof” te vinden.

Bij de groene gevels is de situatie totaal anders. Elk van de hierboven genoemde termen is gebruikt in artikelen over muren en gevels met bewust aangebrachte of gestimuleerde beplanting. Maar er is niet één term die altijd wordt gebruikt. Francis et al (2011) geven een overzicht van termen met definities, maar deze zijn zeker niet door alle auteurs nagevolgd. Volgens hen is een “green façade” een muur met klimplanten, een “living wall” een muur met niet in de grond wortelende gewassen en een “biowall” een groene gevel binnenshuis (Francis and Lorimer, 2011). Hoewel Francis de termen als eenduidig presenteert, worden deze termen in een andere context ook gebruikt voor bijvoorbeeld uit bomen bestaande windsingels in het landschap. Voor elk artikel is daarom gecontroleerd of het over het gewenste onderwerp (dak- of gevelgroen) ging.

De overgebleven artikelen zijn vervolgens ingedeeld in bruikbaar en onbruikbaar voor het schrijven van dit rapport. In dit stadium zijn artikelen nog niet uitgesloten wanneer ze niet expliciet over ecosysteemdiensten gingen. De volgende categorieën artikelen werden als onbruikbaar beoordeeld.

- Artikelen over een totaal ander onderwerp (bijv. genexpressie of groene pigmenten)
- Artikelen over een ander, maar gerelateerd onderwerp (bijv. isolatiematerialen voor milieuvriendelijke daken).
- Artikelen die uitleggen wat groene daken en gevels zijn en doen, zonder nieuwe wetenschappelijke gegevens of inzichten toe te voegen, en zonder een overzicht van verzamelde wetenschappelijke gegevens te geven.
- Artikelen die één locatie met een groen dak of groene gevel beschrijven, zonder meetgegevens te vermelden.
- Artikelen die groene daken en gevels noemen als onderdeel van andere onderzoeken, zoals naar energiebesparende bouwtechnieken, zonder meetgegevens te vermelden.

Van de 618 gevonden artikelen werden er 367 beoordeeld als bruikbaar. Hiervan gingen 354 artikelen over daken en 52 artikelen exclusief of eveneens over groene gevels. Het aantal publicaties over dak- en gevelgroen (gebaseerd op geschikt bevonden artikelen) neemt nog elk jaar toe (zie tabel 1).

Tabel 1: Aantal bruikbare artikelen over dak- en gevelgroen per jaar over de periode 2001-2011.

Jaar	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Artikelen	3	1	14	8	22	30	33	53	42	85	99

De bruikbare artikelen zijn vervolgens met behulp van trefwoorden op onderwerp ingedeeld (zie tabel 2). Over de ecosysteemdiensten van dak- en gevelgroen werden op deze wijze 285 artikelen gevonden. De overige artikelen hadden betrekking op technische aspecten, aanleg en onderhoud en een aantal andere onder

diversen samengevatte onderwerpen. Het totaal aantal in de tabel is hoger dan 367, omdat sommige artikelen meerdere onderwerpen behandelen.

Tabel 2: Gevonden aantal artikelen over verschillende aspecten van dak en gevelgroen

Categorie	Onderwerp	Aantal artikelen
Ecosysteemdiensten	Waterretentie	74
	Binnentemperatuur, isolatie, besparing stookkosten	62
	Buitentemperatuur, Urban Heat Island effect	37
	Waterkwaliteit	35
	Functies (meerdere ecosysteemdiensten)	23
	Biodiversiteit	17
	Luchtkwaliteit	11
	CO ₂	7
	Geluid	7
	Psychologische effecten	4
	Energieproductie op daken	3
	Verdamping	2
	Voedselproductie	2
	Gezondheid	1
Techniek	Materialen (voor constructie groene daken en gevels)	42
	Brandgevaar	1
	Draagkracht dak	1
Aanleg en onderhoud	Beplanting	37
	Aanleg groen dak	1
	Onderhoud	1
Overig	Strategie (voor stimulering gebruik)	27
	Kosten	23
	Geschiedenis	3
	Aandeel (% oppervlak groen dak per stad)	2

De ontwikkeling in de tijd van de in de literatuur behandelde thema's is weergegeven in Bijlage 1 van dit rapport. Beplanting, dakmaterialen, binnentemperatuur en waterretentie zijn vanaf de eerste jaren populaire onderwerpen geweest. Recent populair geworden onderwerpen zijn geluid en psychologische effecten, en biodiversiteit maakt een come-back na een paar jaren zonder publicaties.

Van de bruikbare artikelen gingen er slechts 32 in op de effecten op de schaal van wijk of stad, de andere hadden allemaal betrekking op lokale effecten op gebouwschaal. Niet alle 367 bruikbare artikelen zijn in dit rapport verwerkt. Bij de verdere verwerking is gekozen voor review-artikelen, artikelen over ecosysteemdiensten op grote schaal en voor de meest recente artikelen. Dit is aangevuld waar nodig, en voor zover mogelijk, met artikelen over specifieke onderwerpen die in de vorige categorieën artikelen onvoldoende aan bod waren gekomen.

5 Achtergrondinformatie en afbakening

5.1 Definities van de typen dak- en gevelgroen.

Dit rapport beperkt zich tot dak- en gevelgroen. Binnen deze categorie kunnen echter verschillende typen onderscheiden worden. De meest gebruikelijke indeling gaat uit van 6 typen waarvan de belangrijkste kenmerken zijn weergegeven in tabel 3.

Tabel 3: Kenmerken van verschillende typen dak- en gevelgroen (bewerking van (Hop, 2010)).

	Extensief groendak	Semi-intensief groendak	Intensief groendak	Klimplanten op gevel	Plantenbakken aan gevel	Gevelpanelen
Substraatdikte	5-15 cm	10-50 cm	12-200 cm	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Substraat-samenstelling	Lichtgewicht, poreus, anorganisch	Poreus, deels organisch	organisch	Gevel of klimrek voor houvast, groei in bodem	organisch	Doek, schuim, steenwol, anorganisch
Gewicht in kg/m² *	30-350	175-750	200-3500	20-40	n.v.t. ***	Vanaf 80
Watergeef-systeem	niet	soms	altijd	niet	soms	Vrijwel altijd
Plantengroepen	Mos, Sedum, kruiden, grassen	Grassen, kruiden, vaste planten, heesters	Gazon, kruiden, vaste planten, heesters, bomen	Klimplanten	Klimplanten, hangplanten, heesters	Perkplanten, vaste planten, kleine heesters
Tijd tot volgroeide beplanting	0-6 maanden	1 jaar	1-3 jaar	3-10 jaar	0-6 maanden	0-6 maanden
Betreedbaarheid	Meestal niet	Meestal niet of deels	Meestal wel	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Prijsniveau **	20-75 €/m ²	35-150 €/m ²	40-2000 €/m ²	20- 50 €/m ²	n.v.t. ***	350-600 €/m ²
Hoeveelheid onderhoud	weinig	matig	hoog	weinig	matig	hoog

* Volledig waterverzadigd gewicht, exclusief sneeuwlast, personen etc.

** Aanlegprijs, incl. materiaal en arbeid, ex BTW (Kerssen, 2011) (Hop, 2010)

*** Bij plantenbakken wordt prijs en gewicht niet per m² berekend, maar per bak of strekkende meter.



Extensief groen dak



Klimplanten op een gevel



Wand met gevelpanelen (© Wallflore)

Het is de vraag of alle typen dak- en gevelgroen dezelfde ecosysteemdiensten in dezelfde mate leveren. In de literatuur over ecosysteemdiensten komt het echter zelden voor, dat er onderscheid wordt gemaakt tussen al

deze typen; meestal worden alle groene daken of alle groene gevels over een kam geschoren. Als standaard groen dak wordt meestal uitgegaan van een extensief groen dak. Wel is er inmiddels voldoende literatuur om iets te kunnen zeggen over de verschillen in functies tussen een extensief en een intensief groen dak. Semi-intensieve daken komen wel voor in onderzoeken, maar er worden zelden aparte gegevens van vermeld. Ze worden meestal onder de extensieve daken geschaard.

Als standaard groene gevel worden vaak klimplanten gebruikt, maar in de meest recente artikelen wordt vaker van gevelpanelen uitgegaan. Er is nog relatief weinig literatuur over de functies van groene gevels, daardoor is het op dit moment nog niet mogelijk om alle in dit rapport onderscheiden functies naar de verschillende typen gevelgroen uit te splitsen.

Een beplantingstype voor gevels dat verder niet behandeld wordt, zijn de muurplanten die men wel eens op kades, oude stadsmuren en dergelijke aantreft. Deze planten groeien meestal niet vlak-dekkend en ze zijn volledig afhankelijk van regenwater en luchtvochtigheid voor hun vochtvoorziening. Daardoor is het kunstmatig aanbrengen van dit type beplanting op gebouwen maar op weinig plaatsen mogelijk; bovendien zijn de ecosystemendiensten die ze kunnen leveren beperkt door het kleine groenvolume waaruit dit type beplanting bestaat.

In dit rapport wordt om bovengenoemde redenen bij de meeste functies alleen onderscheid gemaakt tussen extensieve groendaken, intensieve groendaken en groene gevels. Als referentie voor de werking van deze groentypen wordt meestal respectievelijk een conventioneel, bitumen plat dak gebruikt, of een onbegroeide gevel. Bij sommige functies worden groene daken ook vergeleken met hoog-reflecterende daken.

5.2 Het vóórkomen van groene daken en gevels.

Daken vormen 20-25% van het stedelijk oppervlak van New York (Susca et al., 2011). Francis (Francis and Lorimer, 2011) geeft een schatting van 16 % voor Groot Londen. In Nederland is in zeer sterk stedelijke omgevingen 14% van het oppervlak bebouwd (Bron: CBS). Daken vormen daarmee een aanzienlijk deel van het verharde oppervlak van een stad, wat veel invloed heeft op onder meer de waterhuishouding en het micro-klimaat in de stad (zie paragrafen 6.2.3 en 6.2.6).

Op het moment is slechts een klein deel van de daarvoor geschikte daken en gevels begroeid. Carter en Jackson (Carter and Jackson, 2007) onderzochten voor een heel stroomgebied in Athens, Georgia, wat groene daken voor effect op het aandeel verhard oppervlak zouden hebben. Ze constateerden dat 54% van het gebied uit verhard oppervlak bestond; 16% daarvan bestond uit daken. Het hoogste aandeel ondoorlatend oppervlak (54-78%) vonden ze in commerciële gebieden in de binnenstad, het laagste (35-45%) in woongebieden. Als alleen platte daken op commerciële en overheidsgebouwen vergroend zouden worden, dan was een daling tot circa 50% verhard oppervlak mogelijk. In woongebieden zijn zo weinig gebouwen met een plat dak, dat dit slechts enkele procenten zou schelen. Als alle daken vergroend zouden worden, dan wordt het totale aandeel verhard oppervlak in het stroomgebied 15-20% lager.

In Nederland is circa 380 km² daken aanwezig die geschikt zijn voor begroening (www.dakenraad.nl). In Den Haag lag in april 2011 iets meer dan 10.000 m² groen dak (www.denhaag.nl). In Amsterdam is 44 km² aan geschikte daken aanwezig, maar daarvan is maar 2,2 promille (ca. 100 000 m²) begroeid. Het aandeel is wel groeiende; in twee jaar tijd verdubbelde het oppervlak (www.degroenestad.nl). Per jaar wordt circa 20 miljoen m² dakoppervlak vernieuwd of nieuw aangelegd in Nederland (Bade et al., 2011).

Uit een inventarisatie van Mentens (Mentens et al., 2003) in België bleek, dat het oppervlak aan intensieve groene daken (10000 m²) in Vlaanderen en Brussel in 2002 meer dan drie keer zo groot was als het oppervlak extensieve groene daken (3000 m²). Dit kwam vooral doordat de gemiddelde grootte van een intensief dak veel groter was dan van een extensief dak. Deze afwijkende resultaten (meer intensief dan extensief) werden mogelijk veroorzaakt, doordat niet het totaal aantal daken geïnventariseerd werd, maar alleen de daken die door dakgroenbedrijven waren aangelegd.

Groene gevels zijn nog een vrij ongebruikelijk groen element in steden. Alleen gevels met klimplanten die vanuit de grond omhoog groeien zijn al wat bekender. Over de hoeveelheid van deze categorie groen zijn maar weinig gegevens gevonden. Op het moment is 1-2% van geschikte muren in Berlijn bedekt met beplanting (Köhler, 2010). In totaal is er in Engeland voor elke 0,1 km² stadsoppervlak ongeveer 0,01 km² muuroppervlak aanwezig (Francis and Lorimer, 2011).

5.3 Modellen van de effecten op hogere schaalniveaus

Zoals uit de vorige paragraaf bleek, is het aandeel dak- en gevelgroen in steden nog klein. Daardoor is het effect ervan op de stad als geheel ook niet rechtstreeks te meten. Onderzoekers zijn daarom aangewezen op het werken met modellen, en het opschalen van metingen aan individuele daken en gevels. Een goed begrip van de daarbij gebruikte methoden is belangrijk bij het interpreteren van de resultaten, en bij het vergelijken van dak- en gevelgroen met andere groentypen.

Het totale effect van een bepaald type groen in een wijk of stad kan beschreven worden als:

$$\text{Totaal effect} = \text{Typespecifiek effect} \times \text{groenvolume van het type}$$

Omdat veel groene daken en gevels platte groenelementen zijn, wordt vaak met het oppervlak in plaats van het volume gerekend. Ook op stadsschaal rekent men vaak met het oppervlak van groenelementen in plaats van hun volume, bijvoorbeeld bij het interpreteren van satellietmetingen. (Mackey et al., 2012)

Veel onderzoekers kijken enkel naar het type-specifieke effect. Dit is terecht wanneer een afzonderlijk dak wordt bestudeerd, omdat dan het groenvolume van het studieobject 100% is. Voor het bepalen van het effect op wijk- en stadsschaal speelt de factor groenvolume echter een dominante rol.

Groenvolume

Voor de groentypen gazon, straatbomen en park is het groenvolume, en dus hun aandeel in het stadsoppervlak, gewoonlijk veel hoger dan dat van groene daken en gevels, waardoor ze een groot effect hebben. In Amsterdam is bijvoorbeeld 5,4% van het oppervlak park en plantsoen, en slechts 0,04% van het oppervlak is groen dak ("Amsterdam in cijfers 2011", www.os.amsterdam.nl).

Het effect van het groen op maaiveldniveau is zo groot, dat het direct te meten is, bijvoorbeeld de verlaging van het UHI effect. Vanwege de gewoonlijk nog lage percentages aan groene daken, zijn er echter nog nauwelijks meetgegevens beschikbaar over de effecten van groene daken op wijk- en stadsschaal. De gegevens die er zijn, zijn vrijwel allemaal afkomstig uit modellen, die de waarden van individuele groene daken extrapoleren. Veel auteurs kiezen in modelstudies voor een relatief hoog aandeel groene daken in steden in hun berekeningen. Zowel Oberndorfer et al (Oberndorfer et al., 2007) als Rosenzweig et al (Rosenzweig et al., 2006) rekenen aan een stad waarvan 50% van de daken groen is. Carter en Jackson (Carter and Jackson, 2007) modelleren de situatie waarbij alle platte daken van een wijk vergroend worden. Dit geeft wel een goed beeld van de potentiële effecten van dak- en gevelgroen, maar in werkelijkheid worden dit soort percentages op stadsniveau nog nergens gehaald, mogelijk wel lokaal op wijkniveau.

Wordt het juiste groentype gebruikt in modellen?

In de meeste publicaties over effecten op wijk- en stadsschaal, melden de auteurs dat ze uitgaan van de volgens hen meest voorkomende typen dak- en gevelgroen: extensieve daken en klimplanten op muren. Het is de vraag of dit terecht is. Bijvoorbeeld Mentens (Mentens et al., 2003) meldt dat er meer oppervlak aan intensieve dan extensieve daken aanwezig was in zijn inventarisatie in Vlaanderen en Brussel. Het betrof hier een inventarisatie onder dakgroenbedrijven. Voor zowel gevels als daken geldt, dat er flink groei zit in de aantallen die worden aangelegd. Afgaand op de reclame-uitingen van bedrijven, zijn het vooral de extensieve groene daken en de gevels met gevelpanelen waarvan de aanleg gestimuleerd wordt.

Voor een goede schatting van de effecten op de schaal van een wijk of de hele stad is het belangrijk om te weten of er grote verschillen in geleverde ecosysteemdiensten zitten tussen de typen, en daarnaast het aandeel van de verschillende typen te kennen. Op dit moment zijn echter voor Nederland nog nauwelijks cijfers voorhanden over het vóórkomen van de verschillende typen.

6 Ecosysteemdiensten van dak- en gevelgroen

6.1 Indeling van ecosysteemdiensten

Ecosysteemdiensten zijn aspecten van ecosystemen, die gebruikt worden (actief of passief) om menselijk welzijn te produceren. (Fisher et al., 2009)

Dak- en gevelgroen kan worden opgevat als een ecosysteem in een omgeving die door de mens wordt gedomineerd. Het bestaat uit een gemeenschap van levende organismen, die interactie hebben met hun fysieke omgeving. Een deel van de fysieke omgeving is door de mens gebouwd en een deel is natuurlijk (bijvoorbeeld de weersomstandigheden). Ook de keus voor de aanwezige plantensoorten wordt vaak door de mens gemaakt. De vraag is, welke ecosysteemdiensten dak- en gevelgroen in deze omgeving kan leveren, in welke mate en onder welke voorwaarden.

In de literatuur wordt een lange lijst van diensten genoemd, die geleverd kunnen worden door dak- en gevelgroen. Overzichtsartikelen hierover zijn onder meer: (Brenneisen, 2004), (Getter and Rowe, 2006), (Lundholm et al., 2010), (Oberndorfer et al., 2007), (Rowe, 2011) en (Tzoulas et al., 2007).

Naar aanleiding van de literatuurstudie (Hoofdstuk 4) kwamen twee vragen op:

- Hoe zijn de gevonden ecosysteemdiensten in groepen in te delen zodat een systematische bespreking van de gevonden informatie mogelijk wordt?
- Welke diensten ontbreken nog in de lijst, omdat er in de literatuur nog niet of nauwelijks over geschreven is?

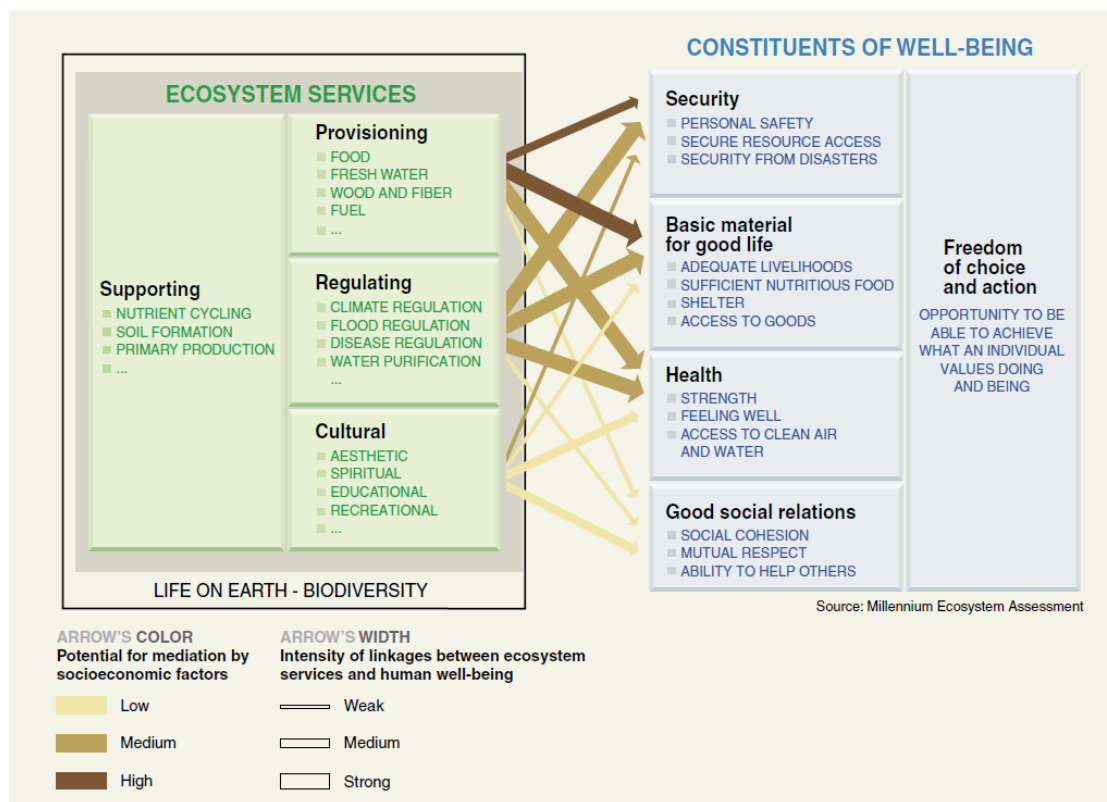
In de literatuur worden veel manieren gebruikt om ecosysteemdiensten in te delen. Bolund en Hunhammar (Bolund and Hunhammar, 1999) gaven in 1999 al een overzicht van de ecosysteemdiensten van een stad, maar maakten daarbij geen groepsindeling. De Millennium Ecosystem Assessment (Reid, 2005) behandelt de ecosysteemdiensten van verschillende natuurlijke ecosystemen, en deelt deze als volgt in:

- Provisioning services (o.a. voedsel, drinkwater en grondstoffen)
- Regulating services (o.a. regeling van water- en luchtkwaliteit, temperatuur, bestuiving)
- Cultural services (o.a. esthetische en religieuze waarde, kennis)
- Supporting services (o.a. instandhouding nutriëntencyclus, fotosynthese)

Hoewel deze methode een basis levert om de voor dak- en gevelgroen in de literatuur genoemde in groepen in te delen, blijkt deze classificatie toch niet goed te passen. Een aantal diensten die natuurlijke ecosystemen leveren worden in de stad gewoonlijk niet door het ecosysteem geleverd, maar door technologie (bijvoorbeeld drinkwatervoorziening en afvalwaterzuivering). Daarnaast leveren ecosystemen in de stedelijke omgeving andere diensten die vaak alleen voor stadsbewoners relevant zijn. Deze komen niet voor in de lijst van diensten van natuurlijke systemen.

Daarom zochten we naar een indeling die beter past bij het groen in de stad, zowel wat betreft de aanbodkant (onderscheiden diensten) als aan de vraagkant van de bewoners. Daarvoor zijn we uitgegaan van een manier waarop elementen van menselijk welzijn worden ingedeeld. Ecosysteemdiensten zijn niet altijd één-op-één te vertalen in een element van menselijk welzijn, en kunnen aan meerdere elementen van welzijn bijdragen (zie figuur 1), maar het blijkt goed mogelijk om deze twee systemen aan elkaar te relateren. Daarnaast bleek de indeling volgens menselijke behoeften voor de ecosystemen dak- en gevelgroen tevens bruikbaar te zijn om nog onderbelichte ecosysteemdiensten te identificeren.

Figuur 1. De samenhang tussen ecosysteemdiensten en elementen van menselijk welzijn. Uit (Reid, 2005)



Daarom hebben we voor stedelijk groen, inclusief dak- en gevelgroen, in dit rapport ervoor gekozen om de in de literatuur genoemde baten en voordelen in te delen naar de fundamentele menselijke behoeften waaraan ze helpen te voldoen. Hiervoor is de onderstaande indeling volgens de "Human Scale Development" van Manfred Max-Neef et al (Max-Neef and al, 1991) als uitgangspunt gekozen.

Menselijke behoeften

- Fysieke behoeften
- Bestaanszekerheid
- Sociale contacten
- Begrip
- Deelname
- Vrije tijd
- Creatief
- Identiteit
- Vrijheid

Aspecten daarvan

- schone lucht en water, voedsel, energie, aangename temperatuur, stilte
- gezondheid, veiligheid, werk, milieubehoud
- vriendschap, respect, privacy, contact met natuur
- kennis, inzicht
- sociale cohesie, samenwerken, verantwoordelijkheid dragen
- feestjes, herinneringen, ontspanning
- bouwen, ontwerpen
- behoren tot een groep, je thuis voelen, laten zien wie je bent
- autonomie, gelijke rechten

Van alle hierboven genoemde behoeften worden voorbeelden genoemd in de literatuur over dak- en gevelgroen. Onderzoeksresultaten zijn er echter vooral op het niveau van "Fysieke behoeften" en "Bestaanszekerheid". De beperkte informatie met betrekking tot de andere hierboven genoemde categorieën hebben we daarom samengevat in de samengestelde categorie "Sociale en psychologische behoeften". De in de literatuur beschikbare informatie met betrekking tot deze 3 categorieën is in de volgende paragrafen samengevat.

Wat hierbij opvalt is dat met name de diensten die als "supporting services" werden aangeduid in de Millennium Ecosystem Assessment nauwelijks aandacht krijgen. Slechts enkele ervan, zoals CO₂ vastlegging, worden behandeld in de categorie "Bestaanszekerheid" van de Human Scale Development-indeling.

6.2 Fysieke behoeften

6.2.1 Schone lucht: Wegvangen van gasvormige luchtverontreiniging

De werking van groen tegen gasvormige luchtverontreinigingen

Lucht bestaat uit een scala aan componenten waarvan een deel schadelijk is. Met name stikstofoxiden (NOx) en vluchtige organische koolwaterstoffen (VOC's) afkomstig van verkeer en industrie kunnen onder invloed van zonlicht leiden tot de vorming van ozon en smog. Dit heeft een sterk negatief effect op de gezondheid waarbij met name piekbelastingen schadelijk zijn (MNP, 2005).

Groen kan in de stad op twee manieren worden ingezet om de luchtkwaliteit te verbeteren: rond sterk vervuilde plaatsen om lokale piekuitstoten op te vangen, en regionaal om de achtergrondwaarden omlaag te brengen (Tonneijck et al., 2008) (Hiemstra et al., 2008)

Het effect van groen op het gehalte aan gasvormige luchtverontreinigingen is complex. Planten kunnen deze stoffen, afhankelijk van het type, opnemen via hun huidmondjes of in de waslaag op de bladeren. Daarnaast produceren veel planten zelf ook vluchtige organische stoffen (Currie and Bass, 2008) (Hiemstra et al., 2008) (Rowe, 2011). Bovendien werken beplantingstypen als bomen of parken als een windscherm. Aangezien de wind een zeer grote rol speelt in het vermengen en verdunnen van vervuilde lucht met de schonere lucht uit hogere lagen, overschaduwet het windschermeffect vaak de absorptie door de beplanting. Een dichte laanboombeplanting in een straat kan hierdoor het "groene tunnel effect" creëren, waardoor de lucht onder de bomen vuiler is dan zonder beplanting (Tonneijck et al., 2008). Luchtvervuiling kan ook uitregenen en in de grond worden afgebroken.

Groen draagt ook indirect bij aan schonere lucht, doordat het de behoefte aan airconditioning vermindert (zie paragraaf 6.2.7. Temperatuur: Isolatie gebouwen) en doordat groenelementen als groene daken en gevels een isolerende werking hebben op gebouwen. Hierdoor wordt er minder luchtvervuiling geproduceerd door energiecentrales (Rowe, 2011). Stadsgroen vermindert het Urban heat Island effect (zie 6.2.6); bij lagere temperaturen wordt minder smog gevormd. Groen dat parkeerplaatsen beschaduwet zorgt ook voor een vermindering van de uitstoot aan vluchtige stoffen. Koelere auto's verdampen minder vluchtige stoffen, en wanneer de auto-airco niet aan hoeft te gebruiken ze minder brandstof (Tonneijck et al., 2008).

Welk deel van de aanwezige gasvormige luchtverontreiniging wordt weggevangen door groen is zeer moeilijk te bepalen. Wesseling (Wesseling et al., 2008) voerde hiernaar een literatuurstudie uit, maar kon geen conclusie trekken. Meerdere auteurs in zijn studie zeggen dat "minder dan 10%" van de gasvormige luchtvervuiling door groen wordt weggevangen.

Factoren die de reinigingscapaciteit bepalen

Hoe groot de zuiveringscapaciteit van een specifieke plantensoort is, hangt af van het bladoppervlak. Op basis van hun bladoppervlak en de ook in de winter aanwezige naalden kan worden voorspeld dat coniferen een grotere reinigingscapaciteit hebben dan loofbomen. Wel hebben loofbomen een hogere absorptiecapaciteit voor gassen (Bolund and Hunhammar, 1999). Fowler et al (Fowler et al., 2009) geven een uitgebreid overzicht van de beschikbare kennis over de opname en afgifte van vluchtige stoffen. Algemeen geldt dat er een verschil is tussen natte en droge depositie: door regen- en dauwdruppels op bladeren neemt het oppervlak toe, evenals de depositiesnelheid van verschillende vervuילende stoffen. Morikawa (Morikawa et al., 1998) mat de opnamecapaciteit voor NO₂ van 217 plantensoorten, waartussen verschillen tot een factor 600 werden gemeten.

Sommige vluchtige stoffen worden door beplanting niet alleen opgenomen, maar ook geproduceerd. Bijvoorbeeld de typische dennengeur bestaat uit vluchtige stoffen. Er bestaan grote verschillen in de hoeveelheid en samenstelling van vluchtige stoffen die planten produceren, maar van de meeste planten in tuin en openbaar groen zijn deze gegevens niet bekend (Fowler et al., 2009). Op basis van plantkenmerken heeft Hoffman (Hoffman, 2009) wel een lijst samengesteld van de opnamecapaciteit voor vluchtige stoffen en de eigen productie van vluchtige stoffen van een groot aantal bomen en heesters.

Effecten van dak- en gevelgroen

De Sedum die op extensieve daken gebruikt wordt heeft waarschijnlijk een lage opnamecapaciteit voor NOx, en ook de dunne substraatlaag draagt weinig bij (Rowe, 2011). Daardoor zijn extensieve daken minder effectief dan intensieve daken, die te vergelijken zijn met stadsbossen in hun samenstelling van plantensoorten en substraat. 19 m² extensief groendak heeft dezelfde reinigingscapaciteit als een gemiddelde boom (Rowe, 2011). Het aanleggen van een groendak is echter wel veel duurder dan het aanplanten van een boom.

Currie en Bass (Currie and Bass, 2008) berekenden met het UFORE model het effect van verschillende typen groen op de luchtkwaliteit in steden. In een stedelijke omgeving wordt het grootste deel van de wegvang van gasvormige luchtvervuiling (NO₂, SO₂) gerealiseerd door de stadsbomen en -heesters, waarbij vooral de grote bomen veel effect hebben. Rondom alle muren een haag van *Juniperus* aanplanten, of alle platte daken (20% van de daken) voorzien van een grasdak levert elk een net iets meer dan 10% hogere reinigingscapaciteit op. Alle daken voorzien van een grasdak, levert een circa 20-25% hogere reinigingscapaciteit op. Hieruit kan de conclusie worden getrokken, dat groene daken en gevels de bomen en heesters op maaiveldniveau niet kunnen vervangen, omdat een zelfde reinigingscapaciteit zelfs bij het vergroenen van alle daken en gevels niet wordt bereikt. Maar als aanvulling op het groen op maaiveldniveau is het wel interessant. Uit deze modelberekeningen blijkt ook, dat eenzelfde oppervlak intensief groendak met heesters ongeveer twee maal zo veel gasvormige luchtvervuiling wegvangt als een extensief grasdak. Tabel 4 geeft de cijfers die enkele andere auteurs noemen.

Tabel 4: Modelberekeningen van de reductie van gasvormige luchtvervuiling door dak- en gevelgroen

Type groen	SO ₂	NO _x	Ozon	Totaal	Bron
Nieuw groendak	-37%	-21%			(Yok Tan and Sia, 2005)
Groendaken in Chicago	-6 kg/ha jaar	-23 kg/ha/jaar	-44 kg/ha/jaar	-85 kg/ha/jaar	(Yang et al., 2008)

Deze cijfers zijn niet hoog in vergelijking met de productie van vervuilende stoffen. Zo wordt de uitstoot van NO_x van een fabriek gewoonlijk in tonnen per jaar, niet in kg aangegeven. Met maatregelen aan de bron, zoals schonere auto's, is het afgelopen decennium de productie van NO_x en VOC's met meer dan 70% per voertuigkilometer afgenomen. (www.compendiumvoordeleefomgeving.nl)

Conclusie wegvangen gasvormige luchtverontreiniging:

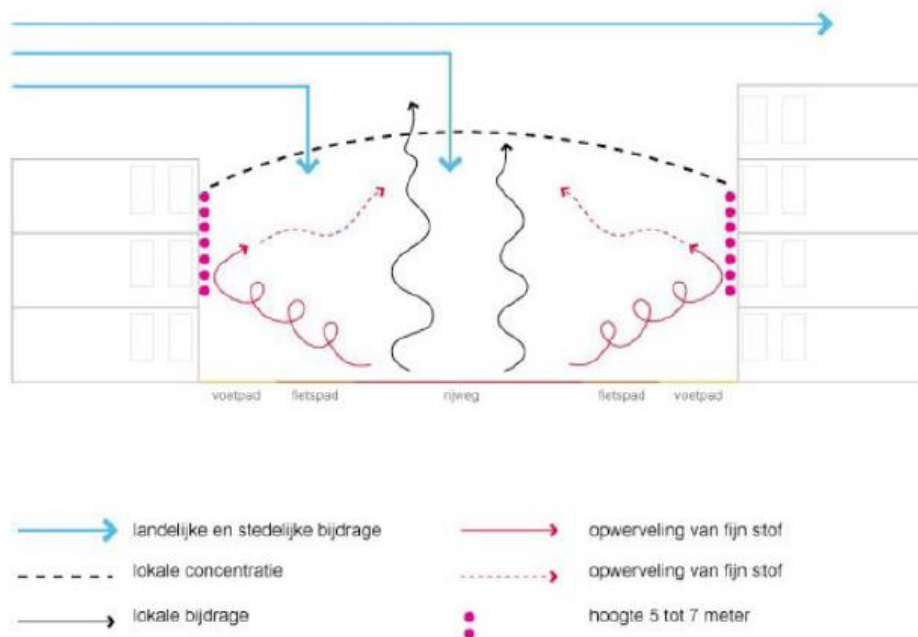
Groen in de stad heeft meerdere interacties met gasvormige luchtverontreiniging: het absorbeert vervuilende gassen aan hun bladeren, het produceert zelf gasvormige stoffen en het blokkeert de wind, die door menging vervuilingconcentraties omlaag brengt. Groen koelt de stad, wat smogvorming beperkt. Voor alle types stadsgroen geldt, dat het effect op de luchtsamenstelling moeilijk aan te tonen is. In modellen is de werking positief, maar klein ten opzichte van de geproduceerde hoeveelheid vervuiling. Door soortkeuze en plaatsing is de werking van stadsgroen te optimaliseren, bijvoorbeeld door de windblokkerende werking te minimaliseren. Extensieve groendaken en gevelgroen wijken af van andere groentypen, doordat ze geen windblokkade vormen. Samen met intensieve groendaken kunnen ze vorming van verbrandingsgassen voor verwarmen (-1%) en koelen (-6%) van huizen voorkomen, door hun isolerende effect. Het typespecifieke effect is dus goed, in vergelijking met ander groen, maar het totaaleffect blijft beperkt. Alle daken voorzien van een grasdak vergroot de reinigingscapaciteit van het stadsgroen met 20-25%. Met technieken om luchtvervuiling aan de bron te voorkomen zijn grotere positieve effecten op de luchtkwaliteit mogelijk dan met stadsgroen.

6.2.2 Lucht: Zuivering van fijn stof

De werking van groen tegen fijn stof

In het verleden was de aandacht voor het stof vangend vermogen van groen gericht op de hoeveelheid zware metalen, zoals lood, die ermee weggevangen kon worden. (Köhler, 2010) Tegenwoordig is de aandacht echter verschoven naar fijn stof, met een deeltjesgrootte tot 10 μm (PM_{10}). De reden hiervoor zijn de nadelige effecten die deze deeltjes hebben op de gezondheid, omdat zij tot diep in de longen ingeademd kunnen worden. Per jaar overlijden in Nederland circa 2300-3500 mensen als gevolg van blootstelling aan piekconcentraties fijn stof, en 12000-24000 mensen als gevolg van blootstelling gedurende hun leven (Bade et al., 2007).

Figuur 2: Bronnen en verspreiding van fijn stof in een straat met aan weerszijden bebouwing (uit (Tonneijck et al., 2008))



Op de concentratie fijn stof in de lucht heeft beplanting meerdere effecten. Planten houden het stof vast op hun bladeren en takken, maar houden ook de wind tegen, die een nog groter effect op de stofconcentratie in de lucht heeft. Beplanting kan lokaal ingezet worden om piekproductie van fijn stof weg te vangen, of regionaal, om de achtergrondwaarden omlaag te brengen. Vooral bij lokale toepassingen is het belangrijk om blokkering van de wind te voorkomen (Tonneijck et al., 2008).

Volgens Wesseling (Wesseling et al., 2008) haalt beplanting slechts 1% van het aanwezige fijn stof uit de lucht. Het is wel effectiever voor grovere stofdeeltjes, maar die zijn minder schadelijk voor de gezondheid dan fijn stof. Ook in het overzicht van het CROW (CROW, 2012) gaat men ervan uit dat het effect van stadsgroen op de luchtkwaliteit in de orde van grootte van enkele procenten reductie zit. Sommige auteurs wijken echter af. In de modellen van Pugh et al (Pugh et al., 2012) kon de reductie van fijn stof door groen in *street canyons* (straat geflankeerd door hoge gebouwen) oplopen tot 60%.

Factoren die de reinigingscapaciteit bepalen

Hoe groot de zuiveringscapaciteit van specifieke soorten is, hangt af van het bladoppervlak. Op basis van hun bladoppervlak en de ook in de winter aanwezige naalden kan worden voorspeld, dat coniferen een grotere reinigingscapaciteit hebben dan loofhout (Bolund and Hunhammar, 1999) (hiemstra et al., 2008). Hoffman (Hoffman, 2009) stelde een lijst samen met gegevens over de soortspecifieke reinigingscapaciteit voor fijn stof van bomen en heesters, uitgaande van de bladkarakteristieken.

Bijdrage van dak- en gevelgroen aan het wegvangen van fijnstof

Vanwege hun grotere volume hebben bomen en heesters een grotere zuiveringscapaciteit dan kruiden. Dat betekent dat een intensief groendak een hogere zuiveringscapaciteit zal hebben dan een extensief groen dak (Rowe, 2011). Uit de modelberekeningen van Currie en Bass (Currie and Bass, 2008) blijkt dat eenzelfde oppervlak intensief groendak met heesters 5 x zoveel fijn stof wegvangt als een extensief grasdak. Rond alle gebouwen van de stad een *Juniperushaag* planten heeft 1,5 x de zuiveringscapaciteit van het voorzien van 20% van de daken van een grasdak.

Bij de aanleg van een beplanting met dit doel is het belangrijk om te zorgen dat de beplanting poreus, maar aaneengesloten is. Dit zorgt ervoor dat de wind er doorheen in plaats van omheen gaat, en zoveel mogelijk bladoppervlak met de vervuilde lucht in contact komt. Bij het gebruik van gevelgroen is het goed om te zorgen dat dit een hoogte van 5-7 m kan bereiken. Op deze hoogte bevindt zich een fijnstofpiek, die veroorzaakt wordt door langsrijdende vrachtwagens. Voor verlaging van de regionale achtergrondconcentratie, is het goed om in de omgeving van steden landschapselementen met bomen aan te planten (Tonneijck et al., 2008).

In tabellen 5 en 6 staan de cijfers uit onderzoeken van enkele andere auteurs.

Tabel 5: Kwantitatieve gegevens betreffende het wegvangen van fijn stof door dak- en gevelgroen en andere beplantingstypen

Type groen	Afname	Auteur
Grasdak (semi-intensief)	0,2 kg stof/m ² /jaar	(Peck and Kuhn, 2001)
Grasdak (semi-intensief)	2 kg stof /m ² /jaar	(Rowe, 2011)
Groendaken in Chicago	12 kg stof/ha/jaar	(Yang et al., 2008)
Straat met en zonder straatbomen	Straat met bomen 3000 stofdeeltjes/liter lucht Straat zonder bomen 10000-20000 stofdeeltjes/l	(Yaluza, 2010)
Stadsboom 20-25 jaar oud	100 gr/jaar	(Bade et al., 2011)
Gevelgroen	4 (wingerd) – 6 (klimop) gram/ m ² /jaar	(Bade et al., 2011)
Mos	14 gr/ m ² /jaar	(Bade et al., 2011)
Sedumdak	0,15 gr/m ² /jaar	(Bade et al., 2011)

Tabel 6: Kwantitatieve gegevens betreffende luchtzuivering (gasvormige stoffen en fijn stof) op stadsniveau door dak- en gevelgroen

20% van geschikte daken groen in Washington reinigt evenveel luchtvervuiling als 17000 stadsbomen.	(Getter and Rowe, 2006)
20% van alle daken extensief groen in Detroit, dan 800.000 kg/jaar minder NO _x = 0,5% van de emissies	(Getter and Rowe, 2006)
Als alle geschikte gevels van Berlijn begroeid waren, werd 4% van het stof uit de lucht gefilterd.	(Köhler, 2010)
Alle geschikte gebouwmuren en geluidsschermen bedekt met Petunia (een goed NO ₂ absorberende plant), vangt 3,1% van de emissies van auto's weg.	(Morikawa et al., 2003)

Conclusie reductie fijn stof:

Stadsgroen kan de hoeveelheid fijn stof in de stad reduceren, maar de effectgrootte is nog onvoldoende bekend en lijkt klein. De voorwaarden zijn grotendeels gelijk aan die voor reductie van gasvormige verontreiniging, zoals het niet blokkeren van de wind. Een verschil is dat voor fijn stof de temperatureffecten van groen (isolatie, reductie UHI) niet meespelen. Voor wegvangen van fijn stof lijken er enkele situaties te zijn, zoals straten met hoge bebouwing erlangs, waarin met gevelgroen lokaal een sterker positief effect kan worden behaald dan het gemiddelde effect op de stad.

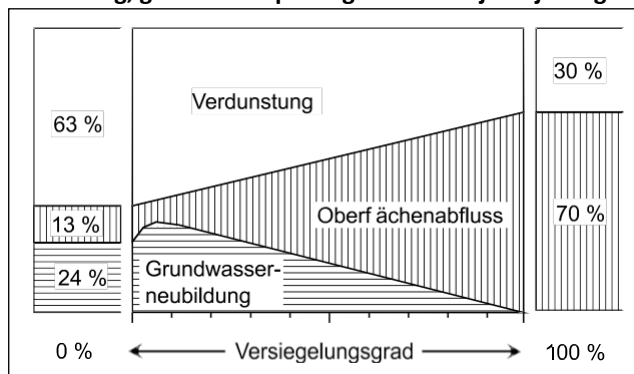
6.2.3 Water: Verwerking hemelwater jaarrond

De invloed van beplanting op de afvoer van hemelwater

In steden ontstaan vaak problemen met de hemelwaterafvoer. In een natuurlijke situatie stroomt regenwater niet over het oppervlak weg, maar wordt door de bodem geabsorbeerd, waardoor het grondwater wordt aangevuld. Een deel van de regen blijft op het oppervlak van het groen hangen en verdampt weer waardoor de hoeveelheid die de bodem bereikt kleiner wordt afhankelijk van het type beplanting. Het water in de bodem wordt met de tijd weer deels door planten opgenomen en verdampt. In steden bestaat echter een groot deel van het oppervlak uit verharding, waarin het water niet kan wegzakken maar oppervlakkig afstroomt. Het wordt meestal door riolering afgevoerd of stroomt door watergangen de stad uit. Dit heeft een aantal nadelige effecten:

- Er is dure infrastructuur nodig voor waterafvoer, zeker wanneer gekozen wordt voor gescheiden afvoer van schoon en vuil water uit de stad.
- De capaciteit van deze afvoer is niet altijd toereikend, wat bij neerslagpieken overstroming en erosie kan veroorzaken (zie paragraaf 6.2.4).
- Het water dat van verharding afstroomt is vaak vervuurd. Door het te verzamelen raakt de vervuiling geconcentreerd, waardoor het aantal plaatsen waar het veilig geloosd kan worden beperkt is.
- Door het water af te voeren in plaats van het te infiltreren in de bodem zakt het grondwaterpeil onder de stad. Dit is nadelig voor bijvoorbeeld houten funderingen van gebouwen.
- Door water af te voeren krijgt het niet de kans op ter plekke te verdampen, waardoor het koelende effect van verdamping vermindert (zie paragraaf 6.2.6).

Figuur 3: Overzicht van de bestemming van gevallen regenwater, afhankelijk van het percentage gesloten verharding, gebaseerd op een gemiddelde jaarlijks regenval in een woongebied. (Uit:(Göbel et al., 2007))



Als meer dan 10% van een stroomgebied uit verhard oppervlak bestaat, heeft dit een merkbare invloed op de watergangen in het gebied (Carter and Jackson, 2007). Loopt het percentage op tot boven de 25%, dan wordt het planten- en dierenleven in de watergangen nadelig beïnvloed, onder meer door toename van de vervuiling. Een van de manieren om deze nadelen tegen te gaan, is het verhogen van het aandeel groen in de stad. Groen op maaiveldniveau kan hiervoor worden ingezet, mits de ruimte hiervoor beschikbaar is. Dit groen kan speciaal voor het verwerken van regenwater worden ingericht, bijvoorbeeld door er een wadi van te maken. Dit is een bewust aangelegd verdiept gedeelte van een groenstrook of straat, dat alleen bij hevige regenval water voert. Meestal zijn in de ondergrond voorzieningen aangebracht waardoor het water ter plekke kan wegzakken.

De effecten van dak- en gevelgroen op de hemelwaterafvoer

Wanneer er op maaiveldniveau geen extra ruimte is voor groen, kunnen ook daken en gevels worden beplant om de waterhuishouding in het gebied te verbeteren. Twee effecten zijn hierbij belangrijk: beplanting verdampt water en kan water opslaan. Gevels slaan nauwelijks water op, maar dragen wel bij aan de verdamping. Köhler (Köhler, 2010) noemt een verdamping van 200 l/m² gedurende een groeiseizoen voor een plantenbak in Berlijn. Gevels zijn te combineren met een wateropslagtank in het gebouw, die bijvoorbeeld water van het dak opvangt en beschikbaar maakt voor de gevelbeplanting.

Groene daken hebben wel een effect op zowel de verdamping als de wateropslag. In de praktijk blijkt het grootste effect te liggen in het aandeel van de totale hoeveelheid regenwater per jaar dat door groene daken

wordt onderschept, voor het naar de hemelwaterafvoer gaat. Hoe goed een groen dak pieken in de neerslag opvangt, blijkt variabel te zijn (zie paragraaf 6.2.4). Verschillende auteurs constateerden – afhankelijk van het lokale neerslagpatroon en het type dak – een retentie van 25 tot 100% van het water dat op het dak valt, waarbij groendaken met 10 cm substraat gewoonlijk rond de 70% van de jaarlijks totaalafvoer scoren (Oberndorfer et al., 2007.) Oberndorfer (Oberndorfer et al., 2007) noemt een regionale onderschepping van 2,7% van het regenwater als 10% van de daken van beplanting voorzien is.

Verschillende karakteristieken bepalen het watervasthoudend vermogen van een groen dak:

- Aantal lagen en type materialen onder de beplanting
- Substraatdikte
- Substraatsamenstelling
- Bedekkingsgraad van de beplanting
- Type beplanting
- Dakeigenschappen (hellingshoek, beschaduwing, stand t.o.v. de zon)
- Leeftijd van het groendak

Daarnaast bepaalt het klimaat het neerslagaanbod in volume en frequentie (Czemiel Berndtsson, 2010).

Uit de effecten van deze eigenschappen kan geconcludeerd worden, dat intensieve groendaken gemiddeld een grotere capaciteit voor waterretentie zullen hebben dan extensieve.

Tabel 7 presenteert de cijfers van enkele andere auteurs over de retentie van jaarlijkse neerslag.

Tabel 7: Gegevens uit onderzoek naar de retentie van de jaarlijkse neerslag.

Daktype	Retentie (afvoer door verdamping)	Auteur
Conventioneel dak	24%	(Rosenzweig et al., 2006)
Conventioneel dak	20%	(Göbel et al., 2007)
Extensief groen dak	72%	(Göbel et al., 2007)
Extensief groen dak	80%	(Rosenzweig et al., 2006)
Extensief groen dak	27-81%	(Mentens et al., 2006)
Intensief groen dak	65-85%	(Mentens et al., 2006)

Carter en Jackson (Carter and Jackson, 2007) onderzochten het effect van groene daken op de waterafvoer van een heel stedelijk stroomgebied in Athens, Georgia. Het effect blijkt het grootst voor vrij kleine buien. Als er een bui van 12,7 mm valt, dan zorgt het vergroenen van alle platte daken voor een reductie van 19% in het volume van het afstromende water, en het vergroenen van alle daken voor 37% reductie. Dit is vooral merkbaar aan de minder hoge piek in de waterafvoer, nauwelijks aan een vertraagde afvoer. Bij een bui van 79.2 mm reduceren vergroende platte daken de afstroom maar met 3,6%, en alle daken vergroenen zorgt voor een reductie van 7,6%. In Nederland komt gemiddeld eens in de 20 jaar een bui voor van deze grootte (gegevens KNMI). Carter en Jackson (Carter and Jackson, 2007) trekken de conclusie dat groene daken alleen niet voldoende zijn als maatregel om hemelwater te verwerken. Maar een combinatie van groene daken met technische maatregelen voor opvang en reiniging van water is goedkoper dan het toepassen van gecentraliseerde technische maatregelen alleen.

Göbel et al (Göbel et al., 2007) modelleerden de waterbalans in een woonwijk. Zij constateerden dat voor het herstel van de natuurlijke waterbalans 30% van de daken voorzien zou moeten worden van een groen dak, gecombineerd met wadi's, waarin het water afkomstig van deze daken kan wegzakken in de bodem. De wadi's zijn nodig om het water in het gebied te houden en herstel van het grondwaterniveau te bewerkstelligen.

Conclusie verwerking hemelwater jaarrond:

De niet-verharde oppervlakken in de stad, waaronder het stadsgroen, zijn belangrijk voor een goede waterhuishouding in de stadsbodem, ter voorkoming van problemen met de hemelwaterafvoer, en voor de koeling door verdamping. Groene daken hebben een aanzienlijke capaciteit voor waterretentie en verdamping. Ze kunnen een zeer groot deel van de regen die verspreid over het jaar valt verwerken. Groene gevels dragen alleen bij aan de waterhuishouding door verdamping. Door vergroening van 30% van de daken (plus aanleg wadi's) kan de natuurlijke waterbalans van woonwijken hersteld worden. Dit is een praktisch haalbaar en economisch waardevol effect.

6.2.4 Water: Retentie van neerslagpieken

Het belang van retentie van neerslagpieken

Behalve naar het deel van de jaarlijkse neerslag dat vastgehouden wordt door beplanting, is er veel onderzoek gedaan naar de verwerking van de grote hoeveelheid neerslag die tijdens stormen valt. Dit kan overstromingen en erosie veroorzaken, en kan ervoor zorgen dat ongezuiverd rioolwater in het oppervlaktewater terecht komt via overstorten. Steden moeten nu vaak dure infrastructuur aanleggen, zoals gescheiden waterafvoer, opvangbassins en een overgedimensioneerde hemelwaterafvoer, voor pieken in de waterafvoer die zich slechts zelden voordoen. De beste oplossing hiervoor is, om meer water lokaal in de bodem te laten infiltreren, en om een deel lokaal tijdelijk op te slaan, zodat niet al het water van de hele stad tegelijk in de afvoer terecht komt.

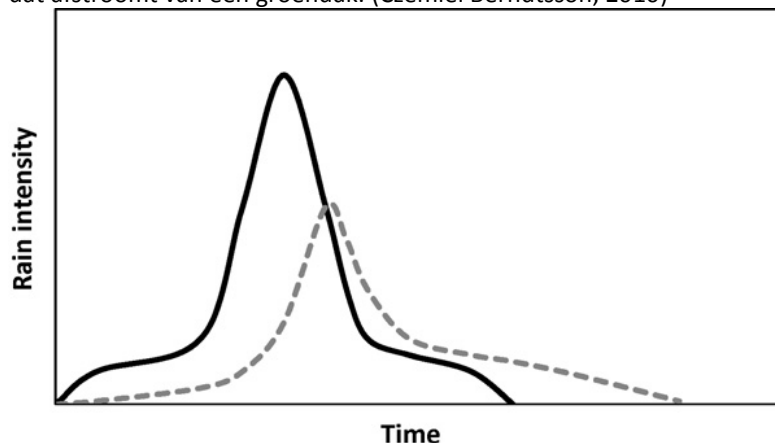
Retentie van neerslagpieken door groene daken

Waterretentie wordt op verschillende manieren weergegeven door onderzoekers.

Sommige auteurs berekenen voor een bepaalde tijdsspanne wat het verschil is in het totale watervolume dat afstroomt van een groendak en van een conventioneel dak op dezelfde locatie. Anderen kijken naar de situatie tijdens een bui, en onderscheiden daarbij drie aspecten:

- met hoeveel tijdvertraging begint het water af te stromen
- hoe hoog is de hoogste afvoerpiek, en wanneer vindt die plaats
- welk deel van het water van de bui stroomt niet af (maar wordt opgenomen of verdampt)

Figuur 4: Intensiteit van afstromend water in de tijd. De zwarte lijn is de regenval, de gestreepte lijn het water dat afstroomt van een groendak. (Czemiel Berndtsson, 2010)



In figuur 4 is de tijdvertraging (A) te zien aan de piek in de gestippelde lijn, die later ligt dan de piek in de zwarte lijn. Het verschil in hoogte van de twee pieken (B) is goed te zien. Onderdeel (C) is te berekenen als het verschil tussen het oppervlak onder de zwarte lijn en de gestippelde lijn. Tabel 8 geeft enkele van deze waarden weer, die door verschillende auteurs gevonden werden in metingen of modellen.

Tabel 8: Stormwaterretentie: extensief groendak versus conventioneel dak

Tijdvertraging start afstroom (min)	Piekhoogte afname	Afname afstroomvolume	
95	82%		(Liu and Baskaran, 2003)
240	57-87%		(Moran et al., 2004)
		85%	(Getter et al., 2007)
1min – 5.7 uur			(Czemiel Berndtsson, 2010)

Er zijn verschillende eigenschappen van groendaken en omgevingsfactoren die effect hebben op de retentie van neerslagpieken (Carter and Jackson, 2007). Dit zijn dezelfde factoren die verantwoordelijk zijn voor de totale jaarlijkse retentie (zie paragraaf 6.2.3). De situatie van het dak bij aanvang van de storm speelt een grote rol: hoe meer het dak al verzadigd was met water, hoe minder water van een nieuwe bui wordt vastgehouden. Omdat de grootte van de gemeten buien, de typen daken en de aanvangssituatie van de daken sterk varieerden, lopen ook de gemeten retentietijden en volumes sterk uiteen.

Damodaram (Damodaram et al., 2010) concludeert, dat groene daken en andere vormen van verlaging van het percentage verhard oppervlak, een goede bijdrage leveren aan het opvangen van kleinere buien. Voor het opvangen van de piek van grote buien (die minder dan eens per 2 jaar voorkomen) zijn technische maatregelen als opvangbassins geschikter. Door het percentage verhard oppervlak te verlagen bereikt men echter niet alleen een verlaging van de piekafvoer. Het herstelt ook (deels) de natuurlijke hydrologie van een gebied.

Conclusie retentie van neerslagpieken:

Stadsgroen is waardevol voor de opvang van neerslagpieken, omdat water in het onverharde oppervlak kan wegzakken en de beplanting het verdampt. Ook groene daken en gevels verdampen en daken hebben een tijdelijke opvangcapaciteit voor regenwater, die desgewenst in het ontwerp geoptimaliseerd kan worden. Hierdoor kan extra tijdelijke opslagcapaciteit voor water in de stad gerealiseerd worden, zonder extra ruimtebeslag op maaiveldniveau. Dit werkt goed voor kleine en middelgrote buien, maar bij grote buien is de opslagcapaciteit van groene daken alleen ontoereikend. Dan zijn extra technische maatregelen als opslagbassins goedkoper dan het aanleggen van nog meer groene daken.

6.2.5 Water: Kwaliteit van het afstromende water

In de afgelopen jaren zijn veel metingen gedaan aan de kwaliteit van water dat afstroomt van groene daken. In sommige gevallen heeft het substraat van een groen dak een gunstig effect op stoffen die in de regen aanwezig waren. Zo kunnen basische substraten jarenlang zure regen neutraliseren (Berghage and al, 2007). Meestal heeft men onderzocht of uit het groene dak ongewenste stoffen uitspoelen, zoals kalk, meststoffen, zware metalen of bestrijdingsmiddelen. Er zijn veel factoren die de kwaliteit van het afstromende water beïnvloeden, waaronder de plantensoorten, substraatsamenstelling, substraatdikte, leeftijd van het dak, type onderhoud en bemesting, regenval en de hoeveelheid en aard van plaatselijke vervuilingsbronnen. Daarom zijn gemiddelde waarden nauwelijks te geven. Het belangrijkste voor de waterkwaliteit lijkt te zijn, dat de materialen voor het samenstellen van een groen dak zorgvuldig gekozen worden, en dat het dak niet of spaarzaam bemest moet worden (Czemieli Berndtsson, 2010), of met langzaamwerkende meststoffen (Rowe, 2011).

De hoeveelheid gesuspendeerde vaste stof in het water neemt af naarmate het dak er langer ligt (Morgan et al., 2011). Het type substraat heeft invloed op hoeveel vaste stof er suspendeert. Beplanting zorgt voor een reductie van de gesuspendeerde vaste stof met 50% of meer in de *first flush*, maar heeft daarna weinig effect meer.

Voor de toekomst is het belangrijk om beter na te gaan wat de mogelijkheden zijn om groene daken te bevoeien met grijs water uit het gebouw, en wat dat voor invloed heeft op de kwaliteit van het afstromende water (Oberndorfer et al., 2007). Het is mogelijk om een groen dak in te richten als helofytenfilter, om grijs water uit het gebouw door middel van beplanting te zuiveren. Dit stelt echter wel eisen aan bijvoorbeeld de draagkracht van het dak (www.ecoengineering.nl).

Carter (Carter and Jackson, 2007) geeft de hoogste prioriteit aan het vergroenen van verharde oppervlakken die in directe verbinding staan met watergangen, aangezien zij de grootste invloed hebben op de waterkwaliteit.

Conclusie kwaliteit afstromend water:

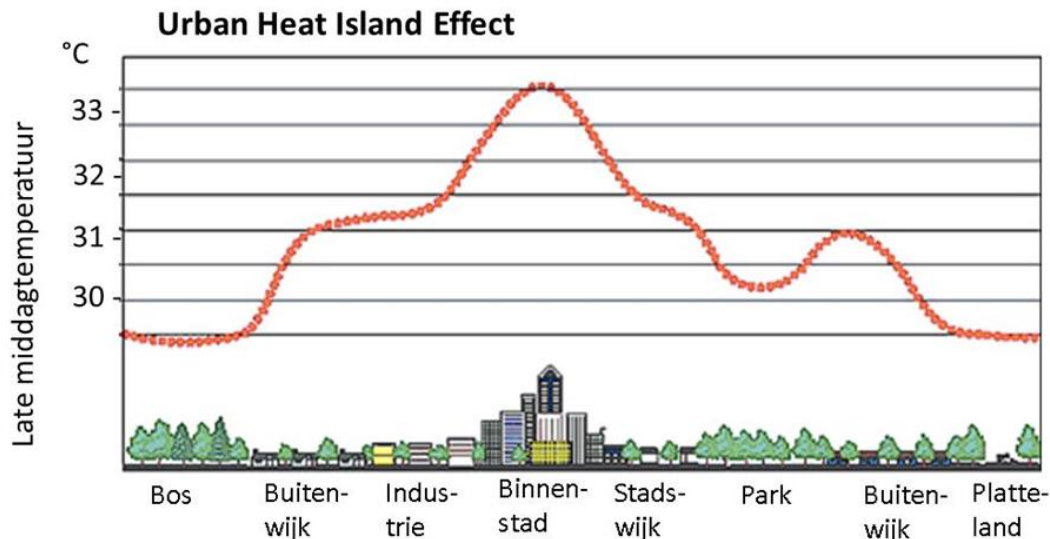
De waterkwaliteit in de stad wordt gewoonlijk met technische maatregelen op peil gehouden; het stadsgroen levert soms een bijdrage (bijv. helofytenfilter). Groene daken kunnen zo geconstrueerd worden dat zij geen extra vervuiling in de stad brengen, en eventueel als helofytenfilter worden ingericht.

6.2.6 Temperatuur: Urban Heat Island Effect

Het belang van het Urban Heat Island effect

Het Urban Heat Island effect (UHI) is het feit dat de temperatuur in steden hoger is dan op het omringende platteland en dan met name de piektemperaturen op hete dagen. Dit speelt vooral in de Urban Canopy Layer, de onderste luchtlag die reikt tot de daken van gebouwen, die sterk door processen op microschaal wordt beïnvloed (Ng et al., 2012).

Figuur 5: De late middagtemperatuur in verschillende stadsdelen op een warme dag. Uit: (Hoffman, 2012)



Dit effect is vooral op hete zomerdagen een probleem, aangezien de gezondheid en arbeidsproductiviteit van mensen onder hoge temperaturen lijdt. De nadelige effecten zijn vooral merkbaar boven 27,7 °C omgevings-temperatuur (Steenefeld et al., 2011). Om dit tegen te gaan zet men vaak airconditioning in, wat kosten en energiegebruik met zich meebrengt. In Nederland is het op zomerdagen in steden gemiddeld 2,3 °C warmer dan op het platteland, maar het temperatuurverschil kan oplopen tot 5,3 °C (waarbij de 5% hoogste uitschieters zijn weggelaten). In de helft van de steden waar gemeten werd, was het gemiddeld 7 dagen per jaar oncomfortabel warm, maar in uitschieter Rotterdam wel 15 dagen per jaar (Steenefeld et al., 2011).

De oorzaak van het UHI effect ligt in de verschillende manieren waarop materialen reageren op instraling van de zon. Gebouwen en bestrating absorberen een groot deel van de zonnestraling en zetten dit om in voelbare warmte. Beplanting weerkaatst een deel van de zonnestraling, en gebruikt geabsorbeerde straling voor fotosynthese en verdamping van water. Bovendien staat het grote 3-D oppervlak van beplanting zijn warmte gemakkelijker aan de lucht af dan een glad verhard oppervlak, waardoor de warmte met de opstijgende lucht sneller naar boven wordt weggevoerd (Mackey et al., 2012). Door deze effecten is het boven beplanting koeler dan boven verharding. Bovendien werpen bomen en heesters schaduw, waardoor het ook onder en naast de beplanting koeler is. Dit effect is afhankelijk van de hoeveelheid blad, die weergegeven wordt met de Leaf Area Index (LAI). In rekenmodellen (Ng et al., 2012) gaf een boom met een LAI van 1 (= 1 laag blad tussen zon en meetapparatuur) een koeling van 0,5 °C en met een LAI van 5 een koeling van 1.1 °C.

Smith en Roebber (Smith and Roebber, 2011) schatten dat het effect van groene daken in steden kan oplopen tot 3 °C verkoeling. Zij geven echter aan dat het inzetten van groene daken enkele ongewenste bijeffecten kan hebben. Zo wordt door verdamping de luchtvochtigheid hoger, wat een hogere gevoelstemperatuur geeft. Ook kunnen door verlaging van de temperatuur de luchtstromingen boven de stad wijzigen, wat in specifieke gevallen kan resulteren in een lagere menging van de warme, vuile stadslucht met schone, koele lucht van buiten.

Manieren om het UHI effect tegen te gaan

De temperatuursverhoging in de stad wordt veroorzaakt, doordat een groter deel van de zonnestraling wordt vastgehouden dan op het platteland. Er is dan ook veel onderzoek gedaan naar het vermogen van verschillende oppervlakken om zonnestraling te weerkaatsen, de albedo. Dit wordt uitgedrukt in een getal tussen 0 en 1. Hoe hoger de waarde, hoe meer straling wordt teruggekaatst. Tabel 9 geeft de albedo van verschillende oppervlakken weer, volgens verschillende auteurs en websites.

Tabel 9: Het albedo van verschillende oppervlakken.

Oppervlak	Albedo *	Auteur
Extensief groen dak	0,7-0,85	(Getter and Rowe, 2006)
Groen dak	0,3	(Tsang and Jim, 2011)
Groen dak	0,2	(Susca et al., 2011)
Reflecterend dak	0,8	Wikipedia
Reflecterend dak	Minimaal 0,2	(Mackey et al., 2012)
Wit dak	0,6	(Susca et al., 2011)
Conventioneel dak	0,15	(Tsang and Jim, 2011)
Conventioneel dak	0,06-0,26	Wikipedia
Conventioneel dak	0,05	(Susca et al., 2011)
Verharding	0,05-0,25	(Getter and Rowe, 2006)
Park	0,1-0,2	Wikipedia
gazon	0,25-0,3	Wikipedia

* De albedo is de weerkaatsingsfactor, het deel van de instraling dat gereflecteerd wordt.

Mackey (Mackey et al., 2012) vond bij satellietmetingen aan de stad Chicago, dat een verhoging van de albedo met 0,2 de omgevingstemperatuur ter plekke met circa 1 graad laat dalen. Een zelfde temperatuurdaling kan ook bereikt worden door de NDVI (fotosynthetische activiteit op een oppervlak) met 7% te verhogen. De maximale koeling die met albedoverhoging bereikt kan worden kwam op 3,1 °C, de maximale koeling met behulp van vegetatie op 6,5 °C. In beide gevallen is als maximum de hoogste waarde genomen die daadwerkelijk in Chicago gemeten was, niet het theoretische maximum. Voor een koelend effect moet de NDVI wel minimaal 0,35 zijn, en de groene daken (waaronder een semi-intensief dak) in de metingen hadden allemaal een lagere NDVI. De gemeten temperatuurdaling was maar 0,1 °C. Gras op maaiveldniveau heeft wel een hogere NDVI; mogelijk is deze vorm van beplanting dichter of heeft een betere watervoorziening, waardoor meer fotosynthese plaatsvindt. Ook straatbomen en braakliggende overgroeide terreinen hebben een hoge NDVI met bijbehorende koeling. Wanneer naar individuele gebouwen gekeken wordt, dan is het lokale koelende effect van reflecterende daken soms veel groter, in één voorbeeld werd 5 °C afkoeling veroorzaakt door een toename van 0,16 in de albedo.

Scherba et al (Scherba et al., 2011) vonden dat een groen dak de piekuitstraling (van opgenomen zonnearmte) met 70% doet afnemen ten opzichte van een conventioneel dak, en de gemiddelde uitstraling met 52%. Een wit dak had een nog sterker effect op de afname van de uitstraling.

Voor gebieden met een hoge instraling is het gebruik van witte of reflecterende daken een goedkopere effectieve oplossing voor beperking van de uitstraling van gebouwen dan groene daken. Reflecterende daken hebben echter slechts één functie, terwijl groene daken er vele hebben (Mackey et al., 2012).

Op het moment is er nog weinig literatuur over het effect van groene gevels op de wijk of stadsschaal. Op gebouwschaal zijn er wel aanwijzingen dat ook gevels een bijdrage kunnen leveren aan vermindering van het Urban Heat Island. Jim en He (Jim and He, 2011) vonden dat een met groen bedekte muur op een hete zomerdag meer dan 10°C koeler was dan een onbedekte muur.

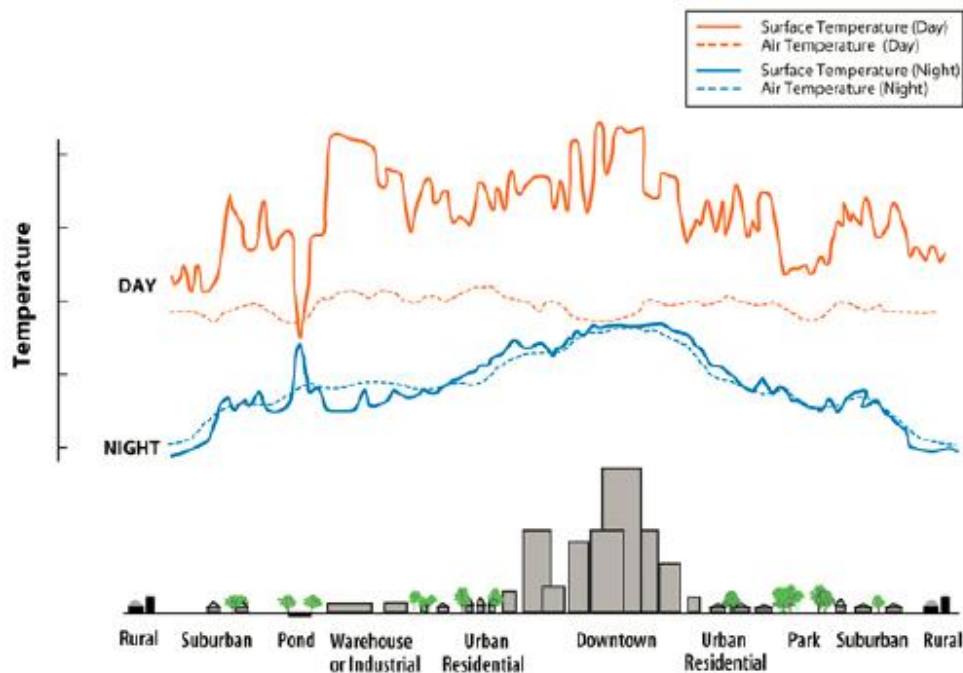
Vergelijking van het koelende vermogen van verschillende typen groen

Het effect van groene daken en gevels op de omgevingstemperatuur wordt meestal op een kleine afstand van dak of gevel gemeten, en vergeleken met een niet-groen dak of gevel. Op die manier kan een zeer groot koelend effect worden gemeten. Dit is echter niet zomaar te vertalen naar temperatuurdaling op grotere afstanden. Mackey et al (Mackey et al., 2012) maten met behulp van satellietbeelden dat het vergroenen van een dak maar 0,1 °C verkoeling gaf. Jim en Peng (Jim and Peng, 2011) maten het koelende effect op verschillende hoogten boven een groen dak in Hong Kong: gemiddeld 5,2 °C op het dak, 0,7 °C op 10 cm erboven, en geen meetbare koeling op 1,6 m boven het dak.

Oppervlakken en lucht reageren niet hetzelfde op de factoren die de temperatuur verhogen en doen afnemen. Vooral overdag kan daartussen een aanzienlijk verschil ontstaan tussen oppervlaktetemperatuur en luchttemperatuur, zie figuur 6. Dit is de reden dat de effecten van een groen dak op de gebouwisolatie (zie volgende paragraaf) groter zijn dan de effecten op het UHI: het eerste werkt via de daktemperatuur, het tweede via de luchttemperatuur.

Figuur 6 Temperatuur van oppervlakte en lucht boven verschillende stadsdelen, overdag en 's nachts.

Uit: <http://www.epa.gov/heatiland/about/index.htm>



Er zijn geen vergelijkende metingen bekend van het effect op de luchttemperatuur van verschillende typen groene daken. Theoretisch zou een intensief groen dak (hoge verdamping wegens goede watervoorziening en groot groenvolume) een groter koelend effect moeten hebben dan een extensief groen dak (lage planten die bij droogte weinig verdampen). Tabel 10 geeft een overzicht van in de literatuur gevonden waarden uit metingen en modellen voor de buitentemperatuurdaling.

Tabel 10: Buitentemperatuurdaling door verschillende typen groen

Extensief groendak	Groene gevel	Park	Bomen	Auteur
Tot 30° direct boven dak				(Getter and Rowe, 2006)
Tot 40 °C direct boven dak. Overdag gemiddeld 19 °C, 's nachts 8 °C				Rosenzweig 2006
		0,94 °C koeling overdag, 1,15 °C koeling 's nachts	Koeling door schaduw; 's nachts soms warmte retentie	(Bowler et al., 2010)
0,1 °C		0,3 – 2,6 °C afhankelijk van grootte	1,1 °C	(Mackey et al., 2012) 1)
		1,5 – 3 °C		(Ng et al., 2012)
max 26 °C in warm droog klimaat, max 8,4 °C in warm vochtig klimaat	(model Londen) Muur zelf 10 °C, street canyon 2,5 °C			(Alexandri and Jones, 2008)
0,1-0,8 °C op stadsschaal als 50% daken New York vergroend				Rosenzweig 2006

¹⁾ Mackey vergeleek satellietmetingen van locaties voor en na een verandering in beplanting/dakmateriaal.

De lucht in een park is gewoonlijk koeler dan in de rest van de stad, dat kan tot 3 °C schelen (Ng et al., 2012). Zelfs in een klein parkje van 40 bij 60 m werd al een temperatuurverlaging gevonden, en in parkje van 100 m² werd een verlaging van 0.8 – 1,3 °C gemeten. Bowler (Bowler et al., 2010) vond een effect van de grootte van parken; voor de meest consequente en beste koeling was een park van 3 ha of meer nodig. De gemeten parken waren niet alleen zelf koeler, maar het effect strekte zich ook uit naar hun nabije omgeving, voor een zeer groot park tot 1 km afstand. Ook Ng (Ng et al., 2012) meldt deze koelingsafstand voor een park van 0,6 km². De

grootte van het gebied dat beïnvloed wordt hangt ook af van de omringende bebouwing; bij hoogbouw mengt de lucht minder, en is het gekoelde gebied kleiner.

Oberndorfer (Oberndorfer et al., 2007) meldt dat in een model van Toronto de piektemperaturen tot 2 °C daalden als 50% van de daken begroeid was.

Ng (Ng et al., 2012) modelleerde het effect van verschillende hoeveelheden groen in een stadsdeel met hoogbouw in Hongkong. Bomen waren effectiever voor koeling op straatniveau dan gras; voor koeling van 1 °C zou het met bomen begroeide oppervlak minimaal rond de 30% moeten liggen. Koelen op straatniveau met beplanting werkt beter tussen lagere gebouwen (20 m) dan tussen hogere (60 m). Het planten van bomen of gras op daken wordt steeds minder effectief naarmate de gebouwen hoger worden, en het is in alle gevallen minder effectief dan het aanplanten van straatbomen.

In Nederland werd gemeten (Steenefeld et al., 2011) hoeveel het UHI effect afnam, afhankelijk van het percentage groen in een blok van 600 bij 600 m rond het weerstation (op wijkniveau). Elke 20% meer groen leverde 1 graad temperatuurdaling op, op de heetste zomerdagen. Het koelende effect van omgevingsgroen was meer uitgesproken merkbaar op straatniveau (in "urban canyons") dan op dakniveau. Het vele water in Nederlandse steden heeft wel een deel van de dag een koelend effect, omdat het langzaam opwarmt. Maar het koelt ook langzaam af, dus kan de 's nachts het UHI effect juist verhogen. De hoogte van het UHI effect blijkt niet erg samen te hangen met de grootte van een stad, maar wel met de bevolkingsdichtheid: als die met 3000 mensen/km² toeneemt, neemt het UHI effect op de heetste zomerdagen met 1 °C toe.

Alexandri en Jones (Alexandri and Jones, 2008) keken naar het effect van dak- en gevelgroen op de temperatuurpieken in "street canyons", de ruimte tussen hoge gebouwen in. Begroeide daken en gevels konden in het model van Londen de temperatuur met 2-4 °C verlagen. Volgens hun model heeft gevelgroen een groter effect op de temperatuur in de canyon dan dakgroen, maar heeft het dakgroen een groter effect op de temperatuur van de stad als geheel. Dak- plus gevelgroen gaf de sterkste koeling aan de stad.

Conclusie UHI effect:

Groene daken en gevelgroen kunnen een groot verkoelend effect hebben op daken en gevels, maar het effect op de luchtlag erboven en ernaast, en dus op het UHI-effect, is veel kleiner. Verlaging van het UHI effect wordt bereikt door al het stadsgroen gezamenlijk, waarbij grote groene elementen ook een effect op hun nabije omgeving hebben. Metingen van koeling van het UHI door dak- en gevelgroen apart van het andere groen zijn er nog niet, maar bij een hoog aandeel groene daken zou dit theoretisch enkele graden Celcius kunnen bedragen. Daken en gevels met watergeefstelsel hebben naar verwachting een groter koelend effect dan zonder. Dak- en gevelgroen dragen bij aan de UHI verlaging als onderdeel van het stadsgroen, maar op dit moment is hun aandeel daarin vrijwel overal nog zeer klein. In straten tussen hoge gevels zijn er aanwijzingen dat toepassing van gevelgroen effectief is voor een lokaal koelend effect.

6.2.7 Temperatuur: Isolatie gebouwen

Dak- en gevelgroen hebben een isolerende werking op gebouwen. Dit schept een prettige leefomgeving, maar verlaagt ook de energiebehoefte voor warmte en koeling. Vooral aan dakgroen zijn zeer veel metingen gedaan. Isolatie is een van de effecten van dak- en gevelgroen, waarmee de eigenaren en gebruikers van een gebouw geld kunnen besparen, en de aanleg van het groen kunnen terugverdienen. Er is echter minder gemakkelijk aan te rekenen dan aan een anorganisch isolatiemateriaal, omdat de isolatiefactor niet constant blijft. Deze varieert met het gehalte aan water en lucht in het substraat: de isolerende werking is in de zomer vaak groter dan in de winter. Saiz et al (Saiz et al., 2006) berekenden, dat de gemiddelde energiebesparing 1% was, maar de besparing op koeling 6%, en de besparing op koeling tijdens hete zomerdagen 25%. Dit maakt de aanleg vooral een interessant alternatief voor locaties die met een airco koel moeten worden gehouden (Oberndorfer et al., 2007).

Behalve een verlaging in de hoeveelheid energie uit zoninstraling die wordt doorgegeven aan het gebouw, zorgt een groen dak ook voor minder grote fluctuaties in de daktemperatuur (Fioretti et al., 2010). Dit heeft invloed op de levensduur van het dak, zie paragraaf 6.3.4.

Rowe (Rowe, 2011) meldt dat er onderzoek gedaan is aan een “groene mantel” voor gebouwen. Bij deze methode groeien klimplanten op een klimsteun langs de gevels en boven het dak van een gebouw. Dit is dus eigenlijk een combinatie van een groen dak en een groene gevel, met het voordeel dat deze techniek ook bij daken met een lage draagkracht kan worden toegepast. Het leverde tot 3,1 ° C verlaging van de zomerse piektemperaturen in het gebouw op.

Cheng (Cheng et al., 2010) vond dat ook groene gevels goed isoleren tegen zomerhitte. Het maximale temperatuurverschil tussen een zonbeschenen muur met en zonder groene gevelpanelen was 16 °C. De groene gevel zorgde ook voor een vertraging van enkele uren in het doorgeven van de hitte buiten naar binnen in het gebouw. Het vochtgehalte van het medium en de verdeling van vocht in de panelen bleek een belangrijke factor in de isolatiewaarde te zijn.

Perini et al (Perini et al., 2011) bekeken behalve de muurtemperatuur van verschillende typen groene gevels ook de afname in de windsnelheid. De temperatuur bleef (op een koele dag) vrijwel constant, als de groene gevel vanaf een afstand van 1 m steeds dichterbij werd. Alleen in de substraatlaag van gevelpanelen was het koeler. De windsnelheid nam in alle gevallen alleen af tussen het loof van de planten. Gevelpanelen blijken een hogere isolatiewaarde te hebben dan klimplanten of plantenbakken, vooral doordat er een extra luchtspouw, substraat en dragende lagen op de gevel zijn aangebracht.

Tabel 11 geeft de cijfers van enkele andere auteurs die de isolatie van gebouwen onderzochten.

Tabel 11: Isolatie gebouwen

Extensief groendak	Groene gevel	Auteur
70% minder binnenkomende warmte-energie		(Getter and Rowe, 2006)
	Tot 10° afname muurtemperatuur	(Jim and He, 2011)

Op stadsniveau is de isolatie van gebouwen vooral af te meten aan de verminderde kosten en het energieverbruik voor verwarming en koeling van gebouwen. Deze kosten worden gedragen door de gebruikers van de gebouwen, dus zijn meer voor de gemeenschap dan voor stadbestuurders relevant. Isolatie kan echter wel bijdragen aan doelstellingen van bestuurders, zoals een lager energiegebruik en lagere CO₂ uitstoot van de stad als geheel (Zie paragraaf 6.3.3). Saiz en Bass (Saiz-Alcazar and Bass, 2005) vonden voor extensieve groendaken een reductie van 0,12-0,2% op verwarmingskosten en 6,2-6,4% op koelingskosten.

Susca (Susca et al., 2011) berekende in CO₂-equivalenten dat het isolerende effect van groene daken de grootste bijdrage levert aan milieubescherming; veel groter dan de zonweerkaatsing of besparing op materialen door de langere levensduur. Een wit dak levert een vergelijkbare besparing in CO₂.

Koeling is voor gebouwen in gematigde klimaten een steeds belangrijker factor aan het worden, vooral door de toename van het gebruik van grote, goed geïsoleerde glasoppervlakken. De kosten voor koeling zijn te reduceren door het gebruik van groene gevels (Köhler, 2010).

Het lijkt interessant om te onderzoeken of water geven van een groen dak bij heet weer – ook al heeft de beplanting het niet strikt nodig – ingezet kan worden als koelmethode voor gebouwen (Rowe, 2011).

Conclusie isolatie gebouwen:

Groene daken en gevels isoleren gebouwen van de buitentemperatuur, waarbij de isolatie tegen zomerhitte in de praktijk effectiever is dan tegen winterkou. Niet alle typen hebben dezelfde isolatiewaarde. De reductie van verwarmings- en koelingskosten is een van de belangrijkste ecosysteemdiensten waarmee gebouweigenaren de aanlegkosten van een groen dak of groene gevel kunnen terugverdienen. Voor steden helpt het om hun doelstellingen op het gebied van energiebesparing en CO2 reductie te realiseren.

6.2.8 Geluidsdemping

Vegetatie werkt op twee manieren tegen geluid. Er is een in decibel meetbaar effect, doordat beplanting geluid verstrooid en absorbeert. De tweede manier waarop beplanting werkt tegen geluid is psychologisch: mensen ergeren zich minder aan een geluidsbron die niet zichtbaar is (Bolund and Hunhammar, 1999). Dit effect is vooral relevant bij groene wanden die ook als zichtscherm kunnen dienen.

Door het veelal ruwe oppervlak van beplanting zijn er vooral veel mogelijkheden voor het uitdoven van hogere tonen tussen 500 en 1000 Hz (Rowe, 2011). De geluidsdemping hangt echter ook sterk samen met de massa van de beplanting, en die is meestal niet groot, zeker niet in vergelijking met een muur of aardwal. In de praktijk is beplanting vaak toepasbaar om weerkaatsing van geluid tussen gebouwen te dempen.

De geluidsdempende werking van groene daken en gevels is vooral vaak onderzocht op hun effect op het geluid binnen gebouwen. Dit kan oplopen tot 10 dB demping, wanneer een groendak met een substraatdikte van 15-20 cm wordt gebruikt. Nog dikkere substraatlagen hebben nauwelijks extra dempend effect (Rowe, 2011), (Van Renterghem and Botteldooren, 2008). De brochure "Groene daken" van gemeente Den Haag noemt ook het dempende effect binnenshuis op de geluiden van regen en hagel op daken.

Op stadsniveau is het effect op geluiden buiten interessanter. Van Renterghem en Botteldooren (Van Renterghem and Botteldooren, 2008; Van Renterghem and Botteldooren, 2009) voerden verschillende onderzoeken uit, die onder meer aantoonde dat groene daken op rijtjeshuizen het geluidsniveau achter de huizen met enkele decibel verlagen. Vooral op geluid van personenwagens die met hoge snelheden rijden hebben groene daken veel effect.

Papafotiou et al (Papafotiou et al., 2010) maten dat 60 meter een park in het geluid van een drukke verkeersweg maximaal met 6-8 dB afnam. In dit geval was niet zozeer het groenvolume, maar de plaatsing ervan bepalend voor de demping. Bomen met heesters ertussen hielden meer geluid tegen dan bomen zonder heesters.

Tabel 12 geeft een overzicht van de door andere auteurs gevonden geluidsreductie in metingen of modellen.

Tabel 12: Geluidsdemping in dB(A), afname vergeleken t.o.v. verharding of conventioneel dak.

Extensief groendak	Semi-intensief groendak	Intensief groendak	Groene gevel	Park	gazon	auteur
					3 dB(A)	(Bolund and Hunhammar, 1999)
		Tot 10 dB				(Rowe, 2011)
			2-5 dB			(Köhler, 2010)
Circa 5 dB	Circa 10 dB					(Van Renterghem and Botteldooren, 2011)
				1-10 dB		(Papafotiou et al., 2010)

Een afname van 3 dB klinkt als 1 langsrijdende auto in plaats van 2.

Een afname van 10 dB klinkt als 1 langsrijdende auto in plaats van 10.

Conclusie geluidsreductie:

Groene daken en gevels dempen het geluid dat binnenshuis doordringt, maar verlagen ook buitenshuis het geluid met enkele dB. Ze zijn vooral effectief tegen hogere geluidsfrequenties, om weerkaatsing van geluiden tussen gebouwen te voorkomen, en om de verplaatsing van geluid over huizen heen tegen te gaan. Groene zichtschermen kunnen de irritatie die herrie veroorzaakt verminderen.

6.2.9 Voedselproductie

Groene daken en gevels worden regelmatig benut voor het produceren van voedsel. In derdewereldlanden en voor circa 20% van de westerlingen is het besparen op de uitgaven voor voedsel de belangrijkste reden. Maar 75% van de tuiniers hebben een moestuin voor hun plezier en omdat moestuinieren een leuke activiteit in de buitenlucht is (Bade et al., 2011). Sommige moestuiniers vinden het goed passen bij een milieuvriendelijke levensstijl, of men heeft behoefte aan autonomie op voedselgebied, en wil zeggenschap over de manier waarop voedsel geproduceerd wordt.

De meest traditionele vorm van voedselproductie op daken en gevels, is het gebruik van vruchtdragende klimplanten en leifruit langs muren (Köhler, 2010). Deze methode produceert voedsel met een efficiënt ruimtegebruik. Daarnaast profiteren veel fruitsoorten van het warmere microklimaat voor een (zuid)muur, waardoor het groeiseizoen verlegd wordt en vruchten ook rijpen in klimaten die eigenlijk iets te koud zijn.

Op het moment is de belangstelling groot voor het benutten van daken voor voedselproductie. Dit gebeurt al op de daken van restaurants in de USA en Japan, waar men kruiden en groenten kweekt, en soms zelfs bijen houdt voor eigen honing. Ook in Nederland komt deze ontwikkeling op gang. Men gebruikt het vaak evenzeer vanwege de milieuvriendelijke en/of innovatieve uitstraling als vanwege de productie. Ook worden er dakmoestuinen voor gemeenschappelijk gebruik aangelegd. Veel van die projecten hebben ook een sociale component: men biedt werklozen arbeid en goedkope groente of wil de banden in de gemeenschap versterken.

Er is nog niet veel onderzoek gebeurd aan de effecten die grootschalige voedselproductie op daken kan hebben op de andere ecosysteemvoordelen. Het gebruik van meststoffen kan bijvoorbeeld een verslechtering van de kwaliteit van het afstromende water van het dak veroorzaken (Rowe, 2011). Lokale voedselproductie lijkt gunstig voor het milieu, omdat er minder transportkilometers gemaakt hoeven te worden. Maar bijvoorbeeld potgrond en meststoffen moeten wel worden aangevoerd, en de productie verloopt mogelijk minder efficiënt dan in de grootschalige land- en tuinbouw.

Een voorbeeldberekening: Amsterdam heeft circa 800.000 inwoners, en er is 40 km² beschikbaar aan daken om te vergroenen. Volgens de WHO kan 1 hectare grond ongeveer 6 mensen voeden. Dat betekent dat, zelfs wanneer alle geschikte daken volledig voor voedselproductie zouden worden ingezet, dat de daken slechts 3 % van het benodigde voedsel voor de Amsterdammers zouden kunnen produceren. Nu zullen daken niet snel worden ingezet om bijvoorbeeld voedermais, graan of suikerbieten te verbouwen, maar eerder voor gewassen voor menselijke verse consumptie als groente, fruit en kruiden. Een vuistregel is, dat een moestuin van 40-50 m² één persoon van groente, fruit en kruiden kan voorzien. Dan zouden de 40 km² daken tot 1 miljoen mensen kunnen bedienen, en Amsterdam op dit gebied zelfvoorzienend maken. De productiecapaciteit van daken is dus niet verwaarloosbaar klein. Maar of een dak als moestuin wordt ingericht is de keuze van de eigenaar. Aangezien er in heel Amsterdam minder dan 3 km² volkstuinten in gebruik is (www.bondvanvolkstuinters.nl), lijkt het animo voor moestuinieren niet zo hoog, dat dakmoestuinen binnenkort een rol van betekenis zullen spelen in de voedselvoorziening van de stad.

Conclusie voedselvoorziening:

Groene daken en gevels vormen een oppervlak waar theoretisch een groot deel van de benodigde groenten, fruit en kruiden voor een stad geproduceerd zou kunnen worden. Er wordt op kleine schaal mee geëxperimenteerd, maar hun sociale functie lijkt op dit moment belangrijker dan de productiecapaciteit.



Moestuindak op Zuidpark in Amsterdam

6.2.10 Energieproductie

Groene daken kunnen een bijdrage leveren aan energieproductie. Dit voorziet in een deel van de energiebehoefte van de bewoners, en geeft hen ook de kans om meer autonoom op energiegebied te worden. De meest bekende manier van energieproductie op groene daken is met zonnecellen (fotovoltaïsche panelen). Van dit type panelen is bekend, dat zij bij hoge temperaturen minder efficiënt werken. Het scheelt 0,25 - 0,5 % opbrengst voor elke graad Celcius boven de 25 °C omgevingstemperatuur (www.solar-facts.com). Op warme zomerdagen, wanneer een paneel bovengemiddeld veel stroom zou kunnen leveren, wordt dit op een conventioneel dak geremd door de hoge omgevingstemperatuur, die tot 70 °C kan oplopen. Vlak boven een groen dak is het veel koeler dan boven een conventioneel dak (zie paragraaf 6.2.6 “Urban heat Island Effect”). Daardoor leveren de panelen meer stroom. De combinatie groendak – zonnepanelen heeft als plezierige bijkomstigheid, dat de schaduw van de zonnepanelen een grotere variatie in leefomstandigheden creëert op het dak, wat de biodiversiteit ten goede komt (Köhler et al., 2002).



Een tweede manier waarop een groendak in de toekomst zou kunnen bijdragen aan energieproductie, is door het dak in te richten als Plant Microbial Fuel Cell (PMFC) (Strik et al., 2011). Hierbij wekken micro-organismen stroom op in het substraat van een groendak, gevoed door de stoffen die de planten op het dak in hun wortels uitscheiden. Dit systeem is nog niet in de praktijk, maar wel op laboratoriumschaal uitgetest. Een randvoorwaarde hierbij is dat het alleen werkt met planten die in natte of drassige grond groeien, een type dat tot op heden maar zelden op groendaken te vinden is. De verwachting is, dat na optimalisatie een output van 3,2 W/m² groendak gehaald zou kunnen worden, wat bijvoorbeeld 1/3 van de elektriciteitsbehoefte van een huishouden zou kunnen dekken. Een voordeel van dit stroomproductiesysteem is, dat het ook het grootste deel van de andere ecosysteemvoordelen van groene daken levert.

Nog een andere manier waarop groene daken energie zouden kunnen leveren, is als de biomassa die geproduceerd wordt regelmatig wordt afgemaaid en in energie omgezet. Groene daken liggen echter gewoonlijk midden in de stad, hebben een beperkt oppervlak, en zijn niet met zware apparatuur te bereiken en te bewerken. De ingewikkelde logistiek maakt grootschalige toepassing van deze optie onwaarschijnlijk.

Conclusie

energieproductie

Energieproductie op groene daken is nog toekomstmuziek, al dragen groene daken wel bij aan de efficiënte werking van zonnepanelen.



Proef met PMFC op het NIOO-dak in Wageningen

6.3 Bestaanszekerheid

6.3.1 Behoud van lichamelijke en geestelijke gezondheid

Groene daken en gevels werken op verschillende manieren in op de menselijke gezondheid. Enkele van de eerder genoemde fysiek effecten spelen hierbij een rol, zoals verlaging van piektemperaturen in de zomer, schonere lucht en geluidsdemping. Daarnaast heeft de aanwezigheid van groen een direct effect op het welzijn. Groen oefent deze invloed uit op mensen via waarneembare eigenschappen, zoals de sierwaarde, geur, veranderingen gedurende seizoenen en het dierenleven dat door het groen wordt aangelokt. Een aantal positieve effecten kan ook door enkel het aspect “uitzicht op groen” worden veroorzaakt.

Veel onderzoekers hebben de effecten van groen op gezondheid geprobeerd te kwantificeren. Tabel 13 geeft een overzicht.

Tabel 13: Gezondheidseffecten van groen

Uitzicht op groen	op	Patiënten herstellen 10% sneller; 50% minder pijnmedicatie nodig	(Getter and Rowe, 2006)
Uitzicht op groen	op	Stressreductie, bloeddrukverlaging, afname spierspanning, toename positieve gevoelens	(Getter and Rowe, 2006)
Uitzicht op groen	op	Stressreductie, grotere tevredenheid met werk, minder hoofdpijn	(Getter and Rowe, 2008)
Gevelgroen en dakgroen	en	Bloeddrukverlaging, minder pijnmedicatie	(Köhler, 2010)
Groen in de stad		Mensen prefereren groen boven gebouwen; ze vinden groen mooier; groen roept meer positieve gevoelens op dan gebouwen; groen bevordert herstel (van stress).	(White and Gatersleben, 2011)
Dak- en gevelgroen	en	Woonhuizen met gevelgroen (klimop), groendaken met weidemengsel of grasdaken worden mooier gevonden dan een conventioneel dak en geven een gevoel van herstel.	(White and Gatersleben, 2011)
Botanische tuinen		Een wandeling in een botanische tuin helpt mensen beter om te gaan met de gevolgen van stress.	(Kohlleppel et al., 2002)
Stadsgroen		Hoe vaker en langer mensen stadsgroen bezoeken, hoe beter hun welzijn is in perioden van hittestress.	(Lafortezza et al., 2009)

De “Attention restoration theory” van Kaplan geeft een verklaring voor de herstellende werking van natuur op mensen (Berg et al., 2007). Een aantal aspecten daarvan zijn alleen van toepassing op grote natuurgebieden, maar enkele onderdelen kunnen een verklaring bieden voor de herstellende werking van groen in de stad. Bijvoorbeeld “soft fascination”: het feit dat groen een plezierige zintuiglijke prikkel levert, terwijl het niet voortdurend aandacht opeist. Door te verblijven in een groene omgeving zouden mensen kunnen herstellen van de overvloed aan aandachttrekkende prikkels in het stadsleven. Het feit dat stadsgroen slechts een kleine tijdsinvestering vergt om er te komen, zou juist een positief verschil met natuurgebieden kunnen zijn.

Uit onderzoek (Berg et al., 2010) bleek dat de aanwezigheid van stadsgroen ervoor zorgt dat mensen die een stressvolle gebeurtenis meemaken er minder gezondheidsklachten door krijgen.



In groene wijken rapporteren mensen dat ze zich gelukkiger voelen en meer tevreden met hun leefomgeving zijn dan in niet-groene wijken (Herzele and Vries, 2012). Hierbij blijkt “is het uitzicht vanuit de huiskamer groen” een belangrijke verklarende variabele voor het effect te zijn.

Een metastudie van de effecten van stadsgroen op de gezondheid (Lee and Maheswaran, 2011) komt tot de conclusie dat de meeste studies wel wijzen op een positief effect van groen, maar dat het bewijsmateriaal niet sterk is. Gezondheid wordt door zoveel andere factoren beïnvloed, dat het effect van groen vaak maar een statistisch kleine correlatie oplevert. Ook zijn veel studies methodologisch zwak, en gaan ze niet in op alternatieve verklaringen voor het gevonden effect.

Factoren die de aantrekkelijkheid van groen beïnvloeden

Lee en Maheswaran (Lee and Maheswaran, 2011) geven een overzicht van de factoren die het gebruik van groene ruimte voor bezoek en activiteiten bepalen. Belangrijk zijn de toegankelijkheid en het kwaliteitsniveau. Of groene ruimte gebruikt wordt hangt ook af van de gebruikers: leeftijd, geslacht, etnische groep, handicaps, psychologische factoren en gevoel van veiligheid.

Fuller (Fuller et al., 2007) toonde aan dat het effect van een groenelement op het welbevinden van mensen groter is, naarmate het element een hogere biodiversiteit heeft.

Het gunstige effect van groen binnen 3 km afstand op de algemene gezondheid is groter dan van groen binnen 1 km afstand (Berg et al., 2010). Dit verschil komt mogelijk doordat binnen 3 km grotere groenelementen te vinden zijn dan binnen 1 km. Of doordat het privé-groen rond de woning niet werd meegerekend in het onderzoek.



White (White and Gatersleben, 2011) bekeek welke aspecten van dak- en gevelgroen aantrekkelijk worden gevonden. Niet alle aantrekkelijke elementen van groen - zoals natuurlijkheid - zijn van toepassing op dak- en gevelgroen, omdat dit zich per definitie in een door mensen gedomineerde omgeving zal bevinden. Maar binnen stadsgroen ontstaat wel verschil in waardering tussen verwaarloosd en goed onderhouden groen. Goed onderhouden groen wordt meer gewaardeerd, en geeft een groter gevoel van veiligheid dan verwaarloosd groen. Verder is er een voorkeur voor laag, netjes geordend groen boven willekeurig geplaatst groen, en voor goed groeiende planten boven kwijnende vegetatie. Veel onkruid heeft een negatief effect, en een verhoogd aandeel bloemen in de vegetatie heeft een positief effect op de waardering. White vond in een enquête in Engeland dat een gevel met klimop het meest werd gewaardeerd, gevolgd door een dak met weidemengsel. De andere geteste daktypes waren een gemaaid grasdak, "brown" (=lokale natuurlijke vegetatie, zoals op een braakliggend terrein) en Sedumdak. Deze werden iets hoger gewaardeerd dan een niet-groen dak, maar het verschil was niet significant. Overwegingen waren bijvoorbeeld of de vegetatie mooi kleurde bij het huis, of de vegetatie een verzorgde of juist een natuurlijke aanblik bood en of deze associaties opriep met statige of juist landelijke huizen.

Dagenais et al (Dagenais et al., 2010) concluderen op basis van kennis over andere groenelementen, dat het niet veel zin heeft om groene daken aantrekkelijker te maken door ze er natuurlijker uit te laten zien. Wat volgens hen wel helpt is door goed gebruik te maken van het landschap dat vanaf het dak zichtbaar is en door variatie in de gewashoogte op het dak. Een kleurige en jaarrond interessante beplanting is goed, mits deze er steeds gezond uitziet door goed onderhoud. Storende objecten op het dak, zoals een blinde muur, kunnen gecamoufleerd worden met gevelgroen.

Conclusie behoud lichamelijke en geestelijke gezondheid:

Stadsgroen lijkt positief voor de gezondheid van de bewoners, al is dit verband moeilijk aan te tonen. Het lijkt te werken via verbetering van het welbevinden en helpt bij het herstellen van stress. Ook groen dat alleen zichtbaar is kan dit effect hebben. Het grootste effect heeft groen dat positief gewaardeerd wordt, omdat het er gezond, gevarieerd en goed onderhouden uitziet. Dit geldt zowel voor groene daken en gevels als voor ander stadsgroen.

6.3.2 Werkgelegenheid

In de branche van de hoveniers en groenvoorzieners waren in 2010 bijna 25.000 mensen werkzaam in Nederland, en dit aantal is de afgelopen jaren gestaag gegroeid (bron: Aequorfacts.nl).

Ook het aantal bedrijven dat gecertificeerd is voor het aanleggen van dak- en gevelgroen groeit; het zijn er op het moment ongeveer 250 (www.groenkeur.nl). Daarnaast levert de sector werkgelegenheid aan de toeleveranciers van de planten en de dak- en gevelmaterialen, aan installatiebedrijven voor watergeefsystemen en aan de personen die betrokken zijn bij het verlenen van subsidies en vergunningen.

Sommige bedrijven kunnen beter functioneren dankzij dak- en gevelgroen, wat extra werkgelegenheid genereert. Denk bijvoorbeeld aan een horecagelegenheid met extra omzet vanwege het groene dakterras.

Volgens de campagne "Groen Loont" (Bade et al., 2011) levert vergroening van kantoren 3,5 % verhoging van de arbeidsproductiviteit op, onder meer door de afname van het ziekteverzuim. Van de hoger opgeleiden met een eigen bedrijf noemt 40% de aanwezigheid van een park een belangrijke tot zeer belangrijke factor bij het kiezen van een vestigingsplaats. Over dak- en gevelgroen zijn vergelijkbare gegevens nog niet beschikbaar.

6.3.3 Lucht: CO₂ reductie

De effecten van beplanting op het CO₂ gehalte

Een lichte verhoging van het lokale CO₂ gehalte is niet ter plaatse schadelijk, maar is een maat voor het verbruik van fossiele brandstoffen. Het huidige beleid streeft ernaar om dit te verminderen of compenseren, omdat het wereldwijd bijdraagt aan klimaatverandering. CO₂ vastlegging is een dienst die niet lokaal geleverd hoeft te worden, omdat deze vooral op wereldschaal relevant is (Bolund and Hunhammar, 1999). Planten gebruiken CO₂ om door middel van fotosynthese suikers te maken, die als energiebron en bouwstof voor de plant dienen. Hierdoor is de geproduceerde biomassa (gemeten als droge stof) een directe maat voor het opgenomen koolzuurgas. Een groot deel van het groen dat zich in het voorjaar ontwikkelt, sterft echter in herfst en winter weer af. Het in het voorjaar opgenomen CO₂ komt in het verteringsproces weer vrij, waardoor het slechts een half jaar uit de roulatie is geweest. Alleen wanneer de biomassa bestaat uit hout, wordt het langer dan een seizoen vastgelegd. Naast CO₂ opname voor productie van biomassa heeft dak- en gevelbeplanting afgeleide effecten, doordat het functies heeft die de productie van CO₂ in de stad beperken.

De opnamecapaciteit van verschillende beplantingstypen

Onder de klimplanten voor groene gevels zijn krachtige groeiers te vinden, zoals Parthenocissus, die 2,3 kg biomassa per m² per jaar produceert (Köhler, 2010). Het grootste deel hiervan is echter blad, wat aan het eind van het jaar afvalt en verteert. Op stadsniveau vindt meer dan 97% van de CO₂ vastlegging plaats in bomen (Davies et al., 2011). Andere kruidachtige en houtige vegetatie speelt nauwelijks een rol. Hoe groter een boom is, en hoe langer hij blijft staan, hoe meer CO₂ vastlegging er plaatsvindt. Het is gunstig als na het kappen van een boom het hout gebruikt wordt als bouwhout, zodat het niet meteen verbrandt of verteert. Een groendak zal na enige tijd een evenwicht bereiken tussen CO₂ opname en CO₂ productie, maar kort na aanleg vindt vooral opname plaats (Rowe, 2011). Getter et al (Getter et al., 2009) (Rowe, 2011) berekenden dat een vierkante meter sedumdak 378 gram koolstof eenmalig had vastgelegd na 2 jaar. Maar bij de productie van de materialen voor het groendak was wel 15 x zoveel koolstof vrijgekomen, dus een extensief groendak levert geen CO₂ reductie door vastlegging op.

Kruidachtige beplanting en heesters kunnen wel extra bijdragen aan vermindering van CO₂ productie, wanneer ze in de stad gebruikt worden voor voedselproductie. De besparing wordt dan bereikt door de vermindering van de transportkilometers van voedsel, niet zo zeer door CO₂ vastlegging in de plant zelf.

Er wordt ook een bijdrage aan CO₂ besparing geleverd doordat een groendak het gebouw isoleert. Rowe (Rowe, 2011) schat deze bijdrage op 2,3-2,6 kg CO₂/jaar/m² groendak aan elektriciteit en 0,24-0,97 kg CO₂/jaar/m² groendak aan gas. Er kan nog 25% extra bespaard worden, als ook wordt meegenomen dat beplanting het UHI effect vermindert (zie paragraaf 6.2.6).

Conclusie CO₂ reductie:

Stadsgroen legt CO₂ vooral vast in bomen. Groene daken en gevels spelen in de vastlegging van CO₂ nauwelijks een rol. Ze voorkomen echter wel productie van CO₂, doordat ze gebouwen isoleren, het UHI effect verminderen en lokaal geproduceerd voedsel op kunnen leveren.

6.3.4 Levensduur dak/gevel en milieuvriendelijkheid

Van groene daken is bekend, dat ze de levensduur van dakmembranen kunnen verdubbelen van 20 tot meer dan 45 jaar (Rowe, 2011). Oorzaken hiervan zijn de bescherming die de vegetatielaag biedt aan het dak eronder tegen de UV straling van de zon en tegen hagelstenen, en de demping van de temperatuurverschillen in het dakmembraan (zie paragraaf 6.2.7) (Hop, 2010). Hierdoor is minder vaak groot onderhoud aan het dak nodig. Dit kan verklaren waarom Muga et al (Muga et al., 2008) vonden dat een groen dak 50% lagere onderhoudskosten heeft dan een conventioneel dak. Dit is een kostenbesparing die volledig ten goede komt aan de eigenaar van het groene dak.

Van groene gevels zijn verschillende effecten op de levensduur van de gevel erachter bekend. Beplanting beschermt de gevelmaterialen tegen grote temperatuurverschillen (zie paragraaf 6.2.7) en houdt de muur erachter droger dan zonder beplanting (Köhler, 2008). Ook kan beplanting het spuiten van graffiti ontmoedigen en het aantal noodzakelijke reinigingsbeurten door vuil- en roetaanslag verminderen. Beplanting kan echter ook in spleten, onder dakgoten en achter gevelplaten groeien en muurankers uit de muur trekken. Deze nadelen zijn te ondervangen door de juiste combinatie van muur, plant en klimsysteem te maken (Hop, 2010).

Een toegenomen levensduur van het dak of gevel wordt uit het oogpunt van het milieu op prijs gesteld (zie ook paragraaf 6.4.6), omdat dit inhoudt dat er op de langere duur minder materiaal en energie verbruikt wordt. Maar dit voordeel zou teniet kunnen worden gedaan, als de materialen voor een groen dak of gevel niet milieuvriendelijk zijn, en er veel energie nodig is voor de aanleg en het functioneren. Verschillende onderzoekers hebben hier onderzoek naar gedaan.

Muga et al (Muga et al., 2008) onderzochten de milieuvriendelijkheid van groene en conventionele daken, gebaseerd op materialen, transport, aanleg en gebruik. Een groen dak (intensief) is minder milieuvriendelijk in de aanleg, maar compenseert dat ruimschoots tijdens het gebruik. Over de hele levensduur gerekend stoot een conventioneel dak 46% meer emissies uit dan een groen dak, en verbruikt 2,5 x zo veel energie.

Ottelé et al (Ottelé et al., 2011) vergeleken de milieukeurmerken over de hele levenscyclus van verschillende typen groene gevels, met bijvoorbeeld de productie, transportkosten en afvalverwerking erin meegerekend. Als belangrijkste factoren identificeerden zij de bijdrage aan klimaatverandering (CO₂), de giftigheid voor mensen en de giftigheid voor zoetwaterleven. Dit werd afgezet tegen de milieuvoordelen die groene gevels opleveren op het gebied van gebouwisolatie. Zij concludeerden:

- Het rechtstreeks laten begroeien van muren met klimplanten is milieuvriendelijk in zowel gematigde als mediterrane klimaten
- Klimplanten op klimsteunen zijn alleen milieuvriendelijk in mediterrane klimaten, mits de steun van materialen met een lage milieu impact gemaakt is (gecoat staal, hout, gerecycled plastic).
- Bij de planten in plantenbakken wegen de voor- en nadelen tegen elkaar op; de voordelen kunnen vergroot worden als het buitenspouwblad van gebouwen door een plantenbakkenwand vervangen wordt.
- Het systeem met gevelpanelen van vilt met zakjes waarin planten groeien is niet milieuvriendelijk, door de gebruikte materialen en de beperkte levensduur ervan.

Conclusie levensduur dak/gevel en milieuvriendelijkheid

Groene daken verlengen de levensduur van een dak. Ze zijn daarom milieuvriendelijker dan conventionele daken, wat nog versterkt kan worden door de materiaalkeuze. Zelfklimmende klimplanten zijn milieuvriendelijk als groene gevel, maar bij de andere typen groene gevels hangt de milieubelasting sterk van de gebruikte materialen af.

6.3.5 Stimuleren biodiversiteit

Groene daken en gevels zijn extra groenelementen in een stad. Behalve de aangebrachte planten, zal ook de natuurlijke flora en fauna van deze plaatsen gebruik maken, waardoor de biodiversiteit in de stad gestimuleerd wordt. Dit heeft meerdere effecten. Biodiversiteit kan het menselijk welzijn bevorderen door ecosystemen stabiel te maken, en bij te dragen aan de levensduur en een lage onderhoudsbehoefte van groene daken en gevels zelf. Het kan ook worden gezien als onderdeel van het grotere ecosysteem “stad”, en een bijdrage leveren aan het stabiliseren en in stand houden daarvan. Daarnaast heeft biodiversiteit een effect op mensen: hoe groter de biodiversiteit van een groenelement, hoe groter het positieve effect op het welbevinden van mensen (Fuller et al., 2007). Het schept daarnaast ook mogelijkheden voor educatie.

Daken en gevels zijn interessant voor de spontane vestiging van micro-organismen, mossen, kruiden, insecten, spinnen en vogels. Afhankelijk van het type dak of gevel kunnen ook varens, klimplanten, houtige gewassen, slakken, reptielen, amfibieën en zoogdieren voorkomen. Hoe groter het aantal plantensoorten en topografische variatie op een dak, hoe meer variatie in de gevonden spinnen en kevers (Oberndorfer et al., 2007). De beplanting hoeft niet noodzakelijkerwijs inheems te zijn; functionele aspecten als de bloeitijd zijn voor insecten belangrijker.



Omdat extensieve groendaken gewoonlijk geen watergeefstelsel hebben, en aan hoge zomertemperaturen en volledige bevroering van het medium in de winter zijn blootgesteld, zijn vetplanten als Sedums de enige planten die er betrouwbaar kunnen groeien. Voor het leveren van sommige ecosystemediensten zijn deze planten mogelijk niet ideaal. Price et al (Price et al., 2011) vonden dat met behulp van irrigatie ook op extensieve groendaken een gevarieerdere beplanting mogelijk is.

Er is nog niet veel bekend over de invloed van de grootte van een groendak op de biodiversiteit. Ook is op grotere schalen niet bekend hoe de beplanting zou moeten aansluiten bij die van de omgeving om gewenste effecten te krijgen. Francis (Francis and Lorimer, 2011) noemt ook een hiermee samenhangend organisatorisch probleem: overheden willen biodiversiteit stimuleren door grootschalige groenverbindingen aan te leggen, maar de locaties die daarvoor gebruikt kunnen worden zijn van particuliere eigenaren. Deze eigenaren zijn soms heel enthousiast over het stimuleren van biodiversiteit op hun dak, maar hebben alleen belang bij de kleine gebouwschaal, niet bij het geheel. Bovendien is over het effect van groene daken en gevels op de ecologie op stadsschaal nog nauwelijks iets bekend.

Verschillende onderzoekers hebben onderzocht welke planten- en diersoorten voorkomen op groene daken. Dit onderzoek bestond meestal uit het op verschillende data monitoren van de aanwezige soorten. Er is nog nauwelijks onderzoek gedaan naar welke soorten langdurig op daken verblijven, en of er soorten zijn waarvoor daken een belangrijk deel van hun habitat (kunnen gaan) vormen.

Een belangrijke onderzochte diergroep op daken zijn de vogels (Fernandez-Canero and Gonzalez-Redondo, 2010). Zij bezoeken groene daken in eerste instantie op zoek naar voedsel als insecten, vruchten en zaden, en ze vinden er nestgelegenheden en beschutting. Vogels kunnen positieve gevolgen hebben, met name op de biodiversiteit en de sociale impact van groene daken. Er zijn ook negatieve gevolgen denkbaar als schade aan het dak en de jonge beplanting, ziekteverspreiding of verhoging van het botsrisico op vliegvelden. Door een goede keuze van het type groendak is dit risico te verkleinen. Voor vogels is een extensief groendak een beter habitat dan een conventioneel dak, vanwege de aanwezigheid van beschutting en insecten. Een intensief groendak met boompjes en struiken is echter een nog aantrekkelijker habitat, met name voor zangvogels. Ook kunnen op een dak met meer dan 10 cm substraat meer soorten insecten leven, omdat deze laag dik genoeg is om in weg te kruipen tegen de vorst. Een niet betreedbaar groendak is voor vogels extra aantrekkelijk, omdat er minder verstoring plaatsvindt tijdens voedsel zoeken, rusten en nestelen. Vogels kunnen drinkwater vinden op daken met waterelementen, of drinken van dauw of irrigatiewater. Dit geldt vooral voor intensieve daken. Sommige (niet inheemse) vogels eten Sedum, waardoor ze ook op extensieve daken water binnenkrijgen. Of een dak aantrekkelijk is voor vogels hangt onder meer af van de hoogte van het dak. Meer dan 30 soorten vogels hebben al succesvol op groene daken genesteld, vooral grondnestelende soorten. Voor nestvliedende kuikens is het zeer belangrijk dat in elk geval water, voldoende voedsel en beschutting op een groendak aanwezig is. In de brochure “Groene daken” van gemeente Den Haag wordt vermeld, dat meeuwen (die

overlast geven in de stad) juist liever op grinddaken dan op groene daken broeden.

Tonietto et al (Tonietto et al., 2011) onderzochten het voorkomen van bijen op groendaken (4 extensieve sedumdaken en 2 semi-intensieve daken met inheemse bloeiende planten). Bijen maken gebruik van groendaken, maar in lagere aantallen en in lagere diversiteit dan in parken of natuurgebieden. Aantallen en diversiteit aan bijen op daken namen toe, naarmate er meer groen in de omgeving aanwezig was, behalve als dit groen uit gazons bestond. Als de aantallen individuen en soorten waargenomen op prairies op 100% wordt gezet, dan werden in parken 68% van de individuen en 65% van de soorten waargenomen. Op groene daken werden 37% van de individuen en 41% van de soorten waargenomen. Op groene daken kwamen vooral grondnestelende soorten solitaire bijen voor, en soorten die in holtes nestelen. Een verschil met parken en prairies was verder, dat op groene daken 26% van de bijen uit niet-inheemse soorten bestond, tegen respectievelijk 3% en 6% niet-inheemse bijen in prairies en parken.

Snep et al (Snep et al., 2011) keken naar industrieterreinen en de habitats die daar gevormd worden door braakliggende percelen, grasstroken en groendaken. De pioniervegetatie op deze locaties zou voor 4 zeldzame vlindersoorten die zij onderzochten een aanzienlijk deel van de populatie (19-33%) kunnen huisvesten. Ook worden de populaties door de gevormde verbindingzones minder kwetsbaar.

Tabel 14 geeft een overzicht van de waargenomen biodiversiteit op verschillende typen daken

Tabel 14: Effecten op biodiversiteit van groene daken

Type dak	Waargenomen soorten	Auteur
Oud Semi-intensief groendak	78 spinnen, 254 kevers, vele vogels	(Brenneisen, 2003)
Oud Semi-intensief groendak	Vele insecten en mijten	(Getter and Rowe, 2006)
Oud Semi-intensief groendak	9 orchideeën en vele zeldzame planten	(Brenneisen, 2004)
	Vele vogels	(Getter and Rowe, 2006)
Extensief groendak	28 spinnen, 35 kevers, vele slakken; waaronder zeker 10% zeldzame soorten	(Kadas, 2006)
Semi intensief natuurdak	13 spinnen, 20 kevers, waaronder zeker 10% zeldzame soorten	(Kadas, 2006)
Extensief groendak	29 insecten, 7 spinnen, 2 vogels	(Getter and Rowe, 2006)
Verschillende daktypen	>30 soorten nestelende vogels	(Fernandez-Canero and Gonzalez-Redondo, 2010)
Extensief sedum/grasdak	Insecten, spinnen, insectenetende stadsvogels	(Coffman and Waite, 2011)
Intensief dak grassen/heesters	Insecten, spinnen, zaad etende stadsvogels	(Coffman and Waite, 2011)
Sedumdaken en semi-intensieve natuurdaken	19 soorten bijen	(Tonietto et al., 2011)



Foto © Flickr.com, Broedende gans op groen dak

Coffman (Coffman and Waite, 2011) noemt enkele eigenschappen van groendaken die de biodiversiteit kunnen stimuleren: variatie in substraatdiepte, variatie in vegetatie, het gebruik van lokale grond, gebruik van inheemse planten, variatie in substraateigenschappen en microtopografie. De leeftijd van het dak en de hoogte boven de grond hebben ook invloed op het dierenleven.

Tonietto et al (Tonietto et al., 2011) constateerden dat groene daken waardevoller zijn voor bijen als er inheemse bloeiende planten op worden gebruikt, en als het dak verschillende nestelgelegenheden biedt voor afzonderlijke soorten, zoals nestholtes of zand om in te graven.

Het gebruik van inheemse gewassen op groene daken is vooral in de USA populair, constateren Butler et al (Butler et al., 2012). Architecten zien de inrichting van een dak graag als een voortzetting van het landschap eromheen, hoewel de leefomstandigheden op daken zeer verschillen van die op het maaiveld. Inheemse planten passen bij het lokale klimaat en ecosystemen, worden niet snel een plaag en maken deel uit van het erfgoed. De helft van de architecten zijn voor het gebruik van inheemse planten, en ook een derde van landschapsarchitecten en biologen. Bouwkundigen promoten zelden inheemse planten. De voorstanders gebruiken wetenschappelijke argumenten, maar onderbouwen die slecht. In studies naar verschillen in overleving tussen inheemse en uitheemse planten blijken de uitheemse (Sedums) het vaak beter te doen dan de inheemse (grassen en kruiden), behalve als er extra berekend wordt. Studies naar kwaliteitsverschillen als habitat tussen inheems en uitheems, en studies naar het tot plaag worden van exoten op een dak zijn niet gevonden. Er lijkt daarom geen grond te zijn voor het verplicht stellen of extra waarderen van inheemse beplanting op daken.

De effecten van groene daken op de biodiversiteit zouden vergroot kunnen worden door hun ruimtelijke verdeling te sturen. Door groene daken te verbinden met bruggen, groene (dak)randen en kleine stukjes dakgroen, die als stapstenen fungeren tussen grotere stukken groen, kan een ecologische infrastructuur op hoogte gecreëerd worden in compact gebouwde steden (Tian and Jim, 2011). Dit kan nog uitgebreid worden door ook de groene muuropervlakken bij deze verbindingen te betrekken (Francis and Lorimer, 2011).

Conclusie biodiversiteit:

Groene daken en gevels vormen een leefgebied en voedselbron, vooral voor planten, vogels en insecten. Er is veel onderzoek gedaan naar de aanwezige soorten op daken, maar weinig naar de rol van groene daken en gevels in de ecologie van de hele stad. Vooral de rol als verbinding tussen andere groenelementen lijkt interessant. Daarbij moet rekening gehouden worden met de groeiomstandigheden op (extensieve) daken, die niet geschikt zijn voor alle biodiversiteit die zich op maaiveldniveau in de stad bevindt.

6.3.6 Verhogen waarde vastgoed

Mensen wonen en werken graag in een omgeving met groen en water (Bade et al., 2011). Woningen met groen in de buurt zijn dan ook 4-30% meer waard dan vergelijkbare woningen in een niet-groene omgeving. De grootste waarde verhoging ontstaat als het groen hoogwaardig en toegankelijk is, en binnen 400 m van de woning ligt. Specifiek van dak- en gevelgroen zijn nog geen cijfers over de waardeverhoging gepubliceerd. In de praktijk constateert men dat een groen dak op een gebouw voor sommige kopers een waardevol pluspunt is, maar lang niet voor alle kopers. Hoe een dak wordt beoordeeld hangt ook sterk af van het daktype. Een betreedbaar groen dak creëert extra buitenruimte, wat kan meetellen in het woonoppervlak. Ook goed onderhoud en een daktuin die onder architectuur is aangelegd worden gewoonlijk positief gewaardeerd (Hop, 2010). Groene daken kunnen punten opleveren in de beoordeling van gebouwen op milieukeurmerken, zoals LEED in de USA. Gebouwen zijn daardoor meer waard, kennen minder leegstand, houden gebruikers langer vast, veroorzaken minder schadeclaims en laten de gebruikers beter functioneren (Oberlander et al., 2002). In Nederland hanteert men voor milieubeoordeling het BREEAM-NL systeem. Dit kent geen pluspunten toe voor de aanwezigheid van een groen dak of groene gevel op zich. Groene daken en gevels kunnen echter wel bijdragen aan onderwerpen waarvoor wel pluspunten worden toegekend, zoals de isolatiewaarde. (www.BREEAM.nl) Niet alleen bij verkoop van gebouwen speelt de aanwezigheid van dak- en gevelgroen een rol. Bij het verhuren van hotelkamers kan een hogere huurprijs worden gevraagd voor kamers met een mooi uitzicht (Getter and Rowe, 2006).

Conclusie waarde vastgoed:

De aanwezigheid van groen is gewoonlijk gunstig voor de waarde van gebouwen. Mits goed aangelegd en goed onderhouden geldt dit ook voor dak- en gevelgroen. Het kan bovendien positief meetellen in milieu-beoordelingssystemen van gebouwen.

6.4 Sociale en psychologische behoeften

6.4.1 Sociale contacten

Er is nog geen onderzoek gedaan, specifiek naar de effecten van groene daken en gevels op sociale contacten. Naar analogie met andere groenelementen in de stad kan er wel over worden gespeculeerd.

Om effect te kunnen hebben op de sociale contacten, moet een groenelement ofwel toegankelijk zijn, ofwel de aantrekkelijkheid van een toegankelijke plaats vergroten. Toegankelijke groendaken kunnen als ontmoetingsplaats dienen, en ingericht zijn voor sporten, spelen of met zitgelegenheid, die al dan niet privacy biedt. Ze bevorderen het contact met planten en dieren. Ook het verzorgen van een gezamenlijke moestuin op een dak kan mensen uit verschillende sociale groepen samenbrengen. Lang niet alle groendaken zijn echter openbaar toegankelijk. Vaak zijn ze alleen bestemd voor de bewoners van een huis of gebouw, werknemers van een bedrijf of leerlingen van een school (Hop, 2010).

Niet-betreedbare groendaken en groene gevels kunnen zichtbaar zijn vanaf een toegankelijke plek; hun eventuele werking berust vooral op het aantrekkelijker maken van het uitzicht, en op de fysieke effecten zoals koeling en geluidsdemping, voor zover die effect hebben op de toegankelijke plaats.

Uslu et al (Uslu et al., 2009) noemen eigenschappen van groenelementen, die de geschiktheid als plaats voor sociale contacten verhogen:

- Rustige en vredige plaatsen
- Geen herrie of vervuiling
- Een ontwerp waarin men zich goed kan oriënteren
- Veiligheid (bijv. geen misdaad, verkeersveiligheid, onderhoud speeltoestellen, niet-allergene planten)
- Natuurlijke elementen als de zon en de lucht zijn zichtbaar
- Verbindingen met de omgeving (wegen, andere groenelementen)
- Plaatsen geschikt voor verschillende sociale groepen, (ook gehandicapten, ouders met baby's)
- Plaatsen geschikt voor verschillende activiteiten
- Elementen die voor meerdere sociale groepen aantrekkelijk zijn
- Diverse beplanting van goede kwaliteit, goed onderhoud
- De aanwezigheid van water en dierenleven
- Organisatie van activiteiten (concert, sportwedstrijd, rommelmarkt)
- Mogelijkheid om deel te nemen aan en te kijken naar activiteiten

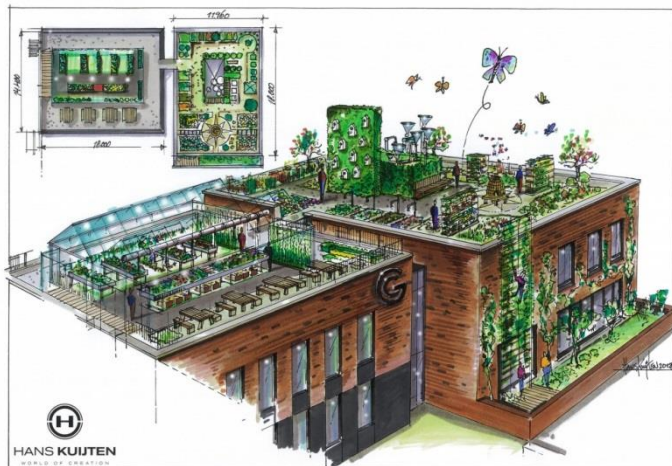
Al deze eigenschappen zijn te realiseren op groene daken, mits ze intensief, groot en openbaar toegankelijk zijn. Kleinere intensieve daken en niet-openbaar toegankelijke daken zullen de sociale contacten tussen kleinere aantallen mensen bevorderen. Hoe divers deze groep mensen is, hangt af van het doel en de toegankelijkheid van het dak. Niet-betreedbare daken en groene gevels kunnen wel een bijdrage leveren aan de geschiktheid voor sociale contacten van een plaats, maar zijn op zichzelf daarvoor niet voldoende.

De geschiktheid van een plaats voor sociale contacten wordt onder meer bepaald door de veiligheid. Van groene wijken is bekend dat er 42% minder criminaliteit is dan in niet-groene wijken. Het gevoel van veiligheid stijgt van 86% naar 89,3% (Bade et al., 2011). De aanwezigheid van 10% meer bomen hing in Baltimore samen met 12% minder misdaad. Het effect was sterker in openbaar groen dan in privaat groen (Troy et al., 2012). Van de hoeveelheid groen in wijken is aangetoond dat dit het niveau van agressie en de sterkte van de sociale banden in de buurt beïnvloedt (Knecht, 2004). Over groene daken en gevels zijn geen cijfers bekend over het effect op criminaliteit of veiligheid.

Conclusie sociale contacten:

Groen kan de geschiktheid van een plaats voor sociale contacten verhogen. Dit geldt ook voor daktuinen, mits ze groot genoeg en toegankelijk zijn.

6.4.2 Kennis: educatieve mogelijkheden



Artist's impression van het "Eetbaar dak" op De Groene Campus in Helmond
(©Hans Kuijten)

Naar de educatieve mogelijkheden van groene gevels en daken is nog niet afzonderlijk onderzoek gedaan. Dak- en gevelgroen is al op meerdere plaatsen aangebracht op schoolgebouwen, en is meestal zichtbaar en soms betreedbaar voor de leerlingen. Ook kunnen er openbaar toegankelijke groene daken of gevels in de buurt zijn. In dat geval kunnen de beplanting en de dieren die worden aangelokt ingezet worden in bijvoorbeeld de biologies of de tekenles. Op hogescholen kan een groen dak of groene gevel zelf onderwerp van studie zijn, bijvoorbeeld voor studenten biologie, plantenteelt, bouwkunde of meet- en regeltechniek. Groene daken worden ook al regelmatig toegepast op gebouwen waar natuureducatie een rol speelt, zoals kinderboerderijen, gebouwen van natuurbeschermingsorganisaties en bezoekerscentra van parken.

6.4.3 Sociale cohesie

Voor parken is gerapporteerd (Peters et al., 2010), dat ze op twee manieren de sociale cohesie van een wijk kunnen bevorderen:

- Ze zijn een plaats voor sociale contacten, ook tussen verschillende groepen
- Ze versterken de band die mensen hebben met een plaats.

In paragraaf 6.4.1. zijn al voorwaarden genoemd, waaronder dak- en gevelgroen sociale contacten kan stimuleren. Bij deelname gaat het juist ook om een actieve rol van de bewoners met betrekking tot een openbaar of collectief toegankelijke gevel of dak (Marissing, 2008). Dit zou bijvoorbeeld kunnen door deel te nemen aan de groep die de inrichting van dak of gevel bepaalt, of door deel te nemen aan de aanleg en het onderhoud. Of dit mogelijk is hangt deels af van de inrichting van dak of gevel. Voor het onderhouden van een moestuin of kruidachtige beplanting is minder kennis en minder zware apparatuur nodig dan voor het onderhouden van bomen en heesters, waardoor deelnemen voor meer bewoners haalbaar is. Of wijkbewoners daadwerkelijk deelnemen aan gezamenlijke activiteiten, is echter vooral afhankelijk van organisatorische aspecten, zoals een goede informatievoorziening door de eigenaren of initiatiefnemers.

6.4.4 Vrije tijd

In Nederland is er, vooral in de Randstad, te weinig recreatief groen om aan de behoefte van alle bewoners te voldoen (Bade et al., 2011). Hierbij denkt men vooral aan grootschalig groen als bossen en (pret)parken. Een deel van het dak- en gevelgroen, vooral de grote en openbaar toegankelijke locaties, zou kunnen bijdragen om deze behoefte te lenigen. De kleinere oppervlakken dak- en gevelgroen kunnen worden ingezet om de aantrekkelijkheid van recreatieve ondernemingen te vergroten. Denk bijvoorbeeld aan een dakterras voor horeca, sportscholen of zwembaden. Ook een speeltuin of pannakooi met groene aankleding kan op daken worden aangelegd. Dak- en gevelgroen kan recreatiebungalows een aantrekkelijke groene uitstraling geven. Fuller (Fuller et al., 2007) vond dat de psychologische effecten van groenelementen sterker zijn naarmate er meer biodiversiteit aanwezig is. De positieve effecten van groene daken en gevels op de biodiversiteit in de stad zullen deze aantrekkelijker maken, en stimuleren om vrije tijd daar door te brengen.

6.4.5 Creatieve mogelijkheden

Groene daken en gevels bieden veel creatieve mogelijkheden als het gaat om het ontwerpen van hun inrichting. Intensief dakgroen biedt bijna evenveel opties voor de indeling als een tuin of park op maaiveld-niveau. Maar ook op extensieve daken kan men werken met kleuren en de afwisseling van beplanting en (half)verharding. Gevelbeplanting kan ook werken met kleuren en vormen, om esthetische redenen of door er bijvoorbeeld een bedrijfslogo mee uit te beelden.

Ook in het bedenken van nieuwe dak- en gevelsystemen wordt veel creativiteit gestoken door bedrijven.

Op het moment wordt dak- en gevelgroen door architecten nog als een nieuwe optie bij het ontwerpen ervaren, die hun creatieve mogelijkheden vergroot.



Universiteits muur in Mexico city (wikipedia.com)



Green Business center, Hyderabad (©Flickr.com)

6.4.6 Identiteit

Voor veel bedrijven en particulieren maakt het deel uit van hun identiteit dat ze milieuvriendelijk willen zijn. Groene daken en groene gevels behoren tot de weinige aanpassingen aan gebouwen, die ook voor leken zichtbaar en herkenbaar groen zijn. Voor eigenaren biedt dit mogelijkheden om een milieuvriendelijk imago uit te stralen, zonder dat met logo's ("C2C") of uitleg hoeft te worden gewerkt. In de praktijk is het groene imago vaak, maar niet altijd terecht (zie paragraaf 6.3.4).

In het straatbeeld is nog relatief weinig dak- en gevelgroen te vinden. Daarom wordt het door opdrachtgevers ook ingezet om een gebouw een moderne uitstraling te geven.



6.4.7 Vrijheid

Een van de vormen van "vrijheid", is autonomie. Groene daken en gevels kunnen dit bijvoorbeeld bieden, door hun mogelijkheid om zelf voedsel te verbouwen en zelf energie op te wekken. De wijze waarop dit gebeurt, bijvoorbeeld zonder kunstmest en bestrijdingsmiddelen, kan door de gebruiker van dak of gevel zelf gekozen worden. Een andere vorm van autonomie is, dat degene die dak of gevel laat aanleggen, het gevoel heeft zelf iets te kunnen doen aan de nadelen van het wonen in de stad, zoals hitte, herrie en luchtvervuiling. In sommige gevallen kan een daktuin een privé-buitenruimte bieden aan mensen zonder privé-tuin. Naar de bijdrage die deze en gelijksoortige overwegingen leveren aan het welzijn van stadbewoners is nog geen onderzoek gedaan.



Leipeer tegen muur (©RHS)

7 Financiële aspecten van ecosysteemdiensten

7.1 Berekening van financiële waarden

In de afgelopen jaren hebben verschillende auteurs berekend wat de financiële voordelen van een groen dak of gevel zijn voor eigenaren en gebruikers van gebouwen. Op wijk- en stadsschaal spelen andere overwegingen en doelen een rol, maar ook hier veroorzaken groene daken en gevels drie typen voordelen.

1. direct meetbare financiële voordelen, waarvan de geldwaarde afhankelijk is van de ecosysteemdienst zelf.
2. voordelen door besparing op alternatieven, waarbij de geldwaarde bepaald wordt door het alternatief.
3. voordelen die moeilijk te kwantificeren zijn, maar wel bijdragen aan een doel van overheid of gemeenschap.

In de praktijk is deze indeling niet hard; soms wisselen ecosysteemdiensten van categorie. Bijvoorbeeld: vóór het instellen van emissierechten was reductie van de CO₂ uitstoot niet kwantificeerbaar. Optie 2 omvat zowel situaties waarbij dak- en gevelgroen en het alternatief een vrij eenvoudige financiële relatie hebben, als situaties waarbij het alternatief ook nog door zeer veel andere factoren beïnvloed wordt. Vrij eenvoudig aan elkaar te relateren zijn bijvoorbeeld een groen dak voor waterretentie, versus de aanleg van een bassin voor regenwateropvang. De invloed van dak- en gevelgroen op de kosten voor de gezondheidszorg is daarentegen zeer lastig te bepalen, omdat hierbij ook talloze andere factoren meespelen.

Enkele ecosysteemvoordelen vallen vrijwel volledig in de categorie “moeilijk te kwantificeren”, zoals de milieuvriendelijkheid en de stimulans voor de biodiversiteit. Deze zijn in het volgende financiële overzicht dan ook niet meegenomen.

Op het moment is het oppervlak aan aanwezig dak- en gevelgroen in steden nog zodanig beperkt, dat het financiële effect op stads- en wijkschaal verwaarloosbaar klein is. De hieronder genoemde cijfers zijn dus allemaal gebaseerd op modellen, waarbij men uitgaat van een aanzienlijk aandeel groene daken in een stad. Bijvoorbeeld, de situatie waarbij alle beschikbare platte daken vergroend zijn. Door de opbrengsten en besparingen om te rekenen per vierkante meter, zijn de getallen gemakkelijker te vertalen naar andere steden.

We bezien de financiële kant hier vanuit het oogpunt van gemeenten, provincies en de landelijke overheid, plus instanties zoals waterschappen (aangeduid met “publiek”). Daarnaast wordt gekeken naar de bedragen die er voor de hele gemeenschap mee gemoeid zijn, zoals alle besparingen die particulieren en bedrijven samen ermee bereiken (aangeduid met “privaat”).

De financiële waarde van dak- en gevelgroen is niet vergeleken met ander stadsgroen. Nederlandse gemeenten rekenen tot op heden de financiële baten van stadsgroen niet mee op hun begroting, alleen de kosten van aanleg en onderhoud worden meegenomen. Er gaan wel stemmen op om hier verandering in te brengen, en de financiële baten van de ecosysteemdiensten ook mee te rekenen. Er lopen verschillende initiatieven om hiervoor cijfers te verzamelen en rekenmodellen te ontwikkelen, zoals de actie “Groen loont” (Bade et al., 2011). Zie ook www.teebweb.org voor internationaal onderzoek aan de waarde van ecosysteemdiensten van biodiversiteit. In Nederland loopt onderzoek aan TEEB in de stad (The economics of ecosystems and biodiversity), waaraan een ingenieursbureau en 10 gemeenten werken. In Duitsland ontwikkelde de hogeschool van Osnabrück de rekenmethode “Grüne Doppik” voor gemeenten om ook de baten van groen op de balans te kunnen zetten.

7.2 Waarden per ecosysteemdienst

Waarde levensduurverlenging dak

Zoals in paragraaf 6.3.4. is gemeld, kan een groendak de levensduur van een conventioneel dak verdubbelen. Een dakvervanging levert directe private kosten op voor de gebouweigenaar, die nu slechts 1 x per 40 jaar hoeft plaats te vinden in plaats van 2x per 40 jaar. De kosten van een renovatie van een conventioneel (bitumen) dak bedragen voor materialen en arbeid circa 25-30 € per m² (Hop, 2010). Per jaar omgerekend is de besparing dus 0,62-0,75 €.



(foto Wikipedia.org)

Waarde ecosysteemdiensten luchtzuivering

Dit omvat de opbrengsten/besparingen veroorzaakt door de afname in vluchtige stoffen, fijn stof en CO₂. Als het UHI effect afneemt, verlaagt dat bovendien de ozonproductie.

Tabel 15: Ecosysteemdiensten van groene daken en gevels op het gebied van luchtzuivering

	Publiek	Privaat
Direct		
Indirect	Lagere kosten gezondheidszorg Bouwstop op vervuilde plaatsen niet nodig Aanpassen verkeersinfrastructuur niet nodig Hogere OZB inkomsten door beter woon/werkklimaat	Lagere kosten gezondheidszorg Minder vaak reinigen/verven van gebouwen Minder verplichte aanschaffingen zoals roetfilters
Niet kwantificeerbaar	Politieke goodwill bij buursteden/internationale gemeenschap	Beter woon/werkklimaat

De waarde van bijvoorbeeld een hoeveelheid stof of CO₂ is op veel plaatsen wel vastgesteld, maar deze moet alleen betaald worden door vervuilers, en wordt niet uitgekeerd aan eigenaren van luchtreinigend groen. Wanneer het de vervuiler zélf is die met gebouegroen een deel van zijn uitstoot opvangt, wordt op sommige plaatsen wel een korting op de vervuiliingsbelasting gegeven. Van Bohemen (Bohemen et al., 2008) pleit ervoor om ook in Nederland te betalen voor luchtreiniging.

Bade et al (Bade et al., 2011) berekenden dat de capaciteit voor stof wegvangen (100 gr/jaar) van een gemiddelde boom een waarde vertegenwoordigt van 2€/jaar in het landelijke gebied tot 40 €/jaar op verkeersknelpunten. Dezelfde boom vangt ook voor 1 €/jaar aan gasvormige stoffen weg en voor 0,18 €/jaar aan CO₂. Deze waarden zijn berekend op basis van de technische maatregelen aan auto's die nu genomen worden om uitstoot te voorkomen.

Niu (Niu et al., 2010) berekende dat in de stad Washington 1,86 miljoen m² groene daken een uitstoot ter waarde van 0,09 tot 0,41 M\$/jaar voorkomen, berekend aan de lagere uitstoot die ontstaat door vermindering van de behoefte aan verwarming en koeling van gebouwen, vermenigvuldigd met de emissierechten. Dat is 5 tot 22 dollarcent per jaar per vierkante meter groen dak. Er komt nog een besparing van 1 tot 2 dollarcent per m² per jaar bij vanwege de kleinere airco's die nodig zijn.

De vermindering van de luchtvervuiling heeft ook een groot effect op de kosten van de gezondheidszorg. Deze worden onder het punt "Waarde gezondheidszorg" vermeld.

Waarde ecosysteemdiensten water

Dit omvat de besparingen die te maken hebben met afvoer van hemelwater, preventie van waterschade bij stortbuilen en verbetering van de waterkwaliteit.

Tabel 16: Ecosysteemdiensten van groene daken en gevels op het gebied van water

	Publiek	Privaat
Direct		Lagere heffingen lozen afvalwater
Indirect	Kleinere infrastructuur waterafvoer nodig, ruimtebesparing Minder schade na stortbuilen	Minder schade na stortbuilen
Niet kwantificeerbaar	Minder milieuschade benedenstrooms van de stad Herstel grondwaterspiegel	

Bade et al (Bade et al., 2011) berekenden voor Rotterdam dat per m³ regenwater die niet wordt afgevoerd 0,18 € aan rioleringskosten en 0,28 € aan zuiveringskosten wordt bespaard.

Voor Washington berekende Niu (Niu et al., 2010) dat 1,86 miljoen m² groendak 1,04 M\$ zou besparen aan waterafvoer infrastructuur, en 0,22 – 0,32 M\$ aan afvalwaterheffingen. Dat is per m² per jaar 56 dollarcent aan infrastructuur en 12 tot 17 dollarcent aan heffingen. Deze waarden zijn wel afhankelijk van de kortingen die gegeven worden bij verlaging van de hoeveelheid afvalwater.

Waarde ecosysteemdiensten energie

Hierbij gaat het om verbeterde opbrengst van zonnepanelen en besparing op energiekosten voor verwarming en koeling, veroorzaakt door de toegenomen isolatie en de afname van het UHI effect.

Tabel 17: Ecosysteemdiensten van groene daken en gevels op het gebied van energielevering en -besparing

	Publiek	Privaat
Direct		Hogere opbrengst zonnepanelen op groendaken
Indirect	Minder energie-infrastructuur nodig UHI-effect minder	Lagere kosten verwarming en koeling
Niet kwantificeerbaar	Voldoen aan internationale afspraken over energiebesparing	

Niu (Niu et al., 2010) berekende voor Washington dat 1,86 miljoen m² groendaken een energiebesparing van 0,87 M\$/jaar zouden opleveren. Dat is 47 dollarcent/m²/jaar aan lagere energiekosten.

Bade et al (Bade et al., 2011) berekenden dat een extensief groen dak per jaar per m² 3,67 € aan energiekosten bespaart.

Waarde ecosysteemdiensten gezondheid

Deze worden veroorzaakt door afname van de luchtvervuiling, verlaging van het UHI effect, betere geluids-isolatie, de sociale effecten die de geestelijke gezondheid verbeteren.

Tabel 18: Ecosysteemdiensten van groene daken en gevels op het gebied van gezondheid

	Publiek	Privaat
Direct		
Indirect	Minder alternatieve maatregelen nodig, bijv. voor bestrijding longziekten, obesitas, stress	Lagere ziektekosten Minder ziekteverzuim
Niet kwantificeerbaar	Gezonder en aantrekkelijker leefklimaat	Minder beroep op mantelzorgers

De kosten van gezondheidszorg zijn in Nederland hoog - 87,6 miljard € in 2010 (KMPG, 2012). Zelfs als groen hierop maar een klein positief effect heeft, vertegenwoordigt dit toch een enorme geldwaarde. De kosten voor

Nederland van de gezondheidsschade door luchtvervuiling worden op 4-40 miljard €/jaar geschat (Singels et al., 2005). Als groen 1% minder ligdagen in ziekenhuizen oplevert, vertegenwoordigt dit 49-78 miljoen € per jaar (Bade et al., 2011).

KPMG (KMPG, 2012) berekende in 2012 op basis van een casestudy in Bos en Lommer, dat 10% meer groen in steden per jaar in Nederland een besparing van 400 miljoen € oplevert door de afname van depressies en angststoornissen. Hierdoor is er minder ziekteverzuim van werknemers. Ook nemen gezondheidsklachten af die te maken hebben met obesitas en gebrek aan beweging. Als de gemeente al beschikt over grond voor 10% extra groen, wordt de investering in aanleg en onderhoud in 5-12 jaar terugverdiend.

Er zijn nog onvoldoende basisgegevens over het precieze oorzakelijke en financiële verband tussen dak- en gevelgroen en gezondheid bekend, om daarover cijfers te kunnen geven. Er wordt internationaal wel onderzoek aan stadsgroen gedaan, onder meer in het TEEB project (The economics of ecosystems and biodiversity) (www.TEEBweb.org)

Waardeverhoging vastgoed

Tabel 19: Ecosysteemdiensten van groene daken en gevels op het gebied van waardeverhoging van vastgoed

	Publiek	Privaat
Direct	Hogere inkomsten OZB en overdrachtsbelasting	Hogere waarde gebouw
Indirect		
Niet kwantificeerbaar		“Op stand” wonen

De aanwezigheid van openbaar groen maakt vastgoed meer waard. Bade et al (Bade et al., 2011) berekenden dat dit bij 10% meer groen een verhoging van 17,5 miljard € aan waarde voor de woningen in Nederland oplevert. Een voorwaarde hierbij is dat het groen wel goed onderhouden wordt.

Over de waardeverhoging die dak- en gevelgroen veroorzaakt zijn nog geen openbare cijfers beschikbaar.

7.3 Opbrengsten overzicht

Het valt bij de overzichten hiervoor op, dat er maar weinig directe effecten te vinden zijn, dus effecten waarbij elke vierkante meter groen dak of groene gevel een vaste opbrengst heeft, die alleen afhangt van de kwaliteit van het groenelement zelf. Bijna alles is berekend met indirecte effecten. Deze zijn echter sterk afhankelijk van de lokale situatie in steden, zoals het klimaat, de lokale wetgeving en de prijsniveaus van alternatieven. Ook worden de meeste aspecten van menselijk welzijn ook door andere factoren beïnvloed. Bijvoorbeeld de gezondheid van de stadsbewoners hangt ook af van de kwaliteit van de gezondheidszorg en het gemiddelde opleidingsniveau en de leeftijd van de bewoners. Een hogere energieproductie komt pas tot stand, als er zonnepanelen op een groen dak worden geïnstalleerd. Onderstaand overzicht moet dus eerder gelezen worden als een aanduiding van de orde van grootte, dan als een nauwkeurige schatting voor de Nederlandse situatie. Het dient vooral om de financiële waarde van de verschillende effecten onderling te kunnen vergelijken.

Tabel 20: Overzicht opbrengsten ecosysteemdiensten van groene daken en gevels. (Gebaseerd op (Niu et al., 2010) Prijzen omgerekend met wisselkoers 1\$ = 0,8 €)

Ecosysteemdienst	Opbrengst/besparing in € per m2 dak/gevel per jaar
Levensduurverlenging	0,62 – 0,75
Luchtzuivering	0,05 – 0,19
Waterbeheer	0,54 – 0,58
Energiebesparing	0,38 – 3,76
Gezondheidszorg	?
Waarde vastgoed	?

De meest waardevolle diensten, omgerekend in geld, lijken op dit moment de levensduurverlenging, temperatuurisolatie van gebouwen en de besparing op kosten voor regenwaterafvoer. De besparing op kosten voor gezondheidszorg zijn zeer moeilijk te berekenen, maar zijn mogelijk ook hoog.

7.4 Kosten/baten analyse

Rosenzweig et al (Rosenzweig et al., 2006) modelleerden hoe de kosten en baten van extensieve groendaken zich verhouden. Zij kwamen tot de conclusie dat de private en publieke baten hoger zijn dan de kosten, als alle ecosysteemdiensten hun hoogst mogelijke waarden bereiken. Wanneer voor ecosysteemdiensten echter met het gemiddelde financiële voordeel dat ze opleveren wordt gerekend, dan zijn groendaken alleen vanuit het publieke oogpunt gezien voordelig, niet voor private eigenaren. Voor de acceptatie van groene daken door private opdrachtgevers is de kosten/baten verhouding een belangrijk argument.

Voor Rotterdam is een kosten/baten analyse opgesteld door Klooster et al (Klooster et al., 2008), vooral gebaseerd op de ecosysteemdiensten voor de waterhuishouding. Zij komen tot de conclusie dat het private rendement in verschillende stadsdelen steeds negatief uitvalt, en het publieke rendement steeds positief. Wanneer deze twee belangengroepen samen worden genomen, blijkt dat het totale rendement positief uitvalt voor stadscentra en andere dichtbebouwde gebieden, maar negatief daarbuiten.

8 Conclusies en discussie

8.1 Geleverde diensten per groentype

Voor lang niet alle ecosystemediensten waren harde cijfers voorhanden, bleek in het vorige hoofdstuk. Om toch een totaalindruk van de werking van de verschillende typen groen te krijgen, is in tabel 21 een schatting gemaakt van de mate waarin verschillende dak- en geveltypen en hun vergelijkers ecosystemediensten leveren aan een stad. Het gaat hierbij dus om de typespecifieke effecten. Er is vanuit gegaan dat elk groenelement met een voldoende hoog groenvolume aanwezig is om effect te hebben. Dit betekent dat er in deze fictieve situatie relatief veel groene daken en gevels aanwezig zijn, meer dan in werkelijkheid al ergens ter wereld gerealiseerd is.

De plusjes geven een schatting per groentype hoeveel er relatief van elke dienst geleverd kan worden. Bijvoorbeeld: van de totale CO₂ vastlegging in de stad door stadsgroen vindt een groot deel plaats in parken en in laanbomen (+++) en een klein aanvullend deel op intensieve groendaken (+).

Dit zegt echter niets over bijvoorbeeld de geldwaarde van “stormwaterretentie” ten opzichte van de geldwaarde van “verhoging waarde vastgoed”. Ook zitten er diensten tussen waarbij al het groen in de stad nog steeds maar een klein deel van een gevraagde dienst levert. Zo wordt de dienst “behoud lichamelijke gezondheid” in veel grotere mate geleverd door de gezondheidszorg dan door het stadsgroen. Zie voor een bespreking van dit aspect van de beoordeling paragraaf 7.2.

Tabel 21: Relatieve bijdrage aan de evering van ecosystemediensten door verschillende typen groen

		Extensief groendak, niet betreedbaar	Intensief groendak	Conventioneel dak	Groene gevel	Park	laanbomen	gazon
Ecosystemedienst								
Fysieke behoeften								
Luchtvervuiling vluchtig wegvangen		+	++	0	+	+++	++	+
Luchtvervuiling fijnstof wegvangen		+	+++	0	++	+++	++	+
Verwerking hemelwater		++	+++	+	+	+++	+++	++
Stormwaterretentie		+	++	0	0	++	++	+
Waterkwaliteit		+	+	0	0	++	++	++
Urban Heat Island effect tegengaan		+	++	0	+	+++	++	+
Isolatie gebouwen		++	+++	+	++	nvt	nvt	nvt
Geluid dempen		+	++	0	+	++	+	+
Voedselproductie		+	+++	0	++	++	+	0
Energieopwekking		++	+	+	nvt	nvt	nvt	nvt
Bestaanszekerheid								
Behoud lichamelijke gezondheid		+	++	0	+	+++	++	++
Behoud geestelijke gezondheid		+	++	0	+	+++	+	+
CO ₂ reductie door vastlegging		0	+	0	0	+++	+++	0
Herstel grondwaterniveau/infiltratie		nvt	nvt	nvt	nvt	+++	++	+++
Levensduur en milieuvriendelijkheid		+++	++	0	0 - ++	nvt	nvt	nvt
Stimuleren biodiversiteit (voor stabiliteit ecosystemen)		+	++	0	+	+++	++	+
Verhogen waarde vastgoed		+	++	0	+	++	+	+
Beter vestigingsklimaat voor wonen en werken		+	+++	0	++	+++	++	+
Sociale contacten								
Stimuleren sport/spel/verblijf		0	++	0	+	+++	++	+++

buitenshuis							
Begrip, Kennis							
Mogelijkheden educatie	+	++	0	++	+++	+	+
Deelname							
Vergroten sociale cohesie van wijken	0	+	0	+	+++	+	++
Bewonersparticipatie bij onderhoud mogelijk	0	++	0	++	+	0	0
Vrije tijd							
Stimuleren biodiversiteit (voor aantrekkelijkheid)	+	++	0	++	+++	+	+
Recreatiemogelijkheden	+	++	0	+	+++	++	+++
Creatief							
Mogelijkheden ontwerp	++	+++	+	+++	+++	+	+
Identiteit							
Milieuvriendelijk imago	++	+++	0	++	nvt	nvt	nvt
Vrijheid							
Vergroting autonomie voedsel/energieproductie	+	+++	0	++	+	+	0

Op basis van deze tabel is een grove schatting gemaakt van de relatieve bijdrage van elk groentype aan het totaal van alle ecosysteemdiensten van stadsgroen. Hiertoe zijn de individuele beoordelingen per dienst opgeteld (het aantal plusjes in tabel 21), en gedeeld door het aantal relevante diensten. De hokjes met n.v.t. tellen dus niet mee. Het resultaat hiervan is weergegeven in tabel 22.

Tabel 22: Totaal levering ecosysteemdiensten

<i>Gemiddeld aantal plusjes</i>	park	Intensief groen dak	laanbomen	Groene gevel	gazon	Extensief groen dak	Conventioneel dak
Fysieke behoeften	2,5	2,2	1,9	1,1	1,1	1,3	0,3
Bestaanszekerheid	2,9	2,0	1,9	0,9- 1,1	1,3	1,1	0
Sociale/psychologische behoeften	2,5	2,2	1,1	1,8	1,4	0,9	0,1
Totaal gemiddeld	2,6	2,2	1,6	1,3-1,4	1,3	1,1	0,2

Bij de samenstelling van tabel 22 is aan alle categorieën evenveel gewicht toegekend. Omdat niet over alle categorieën evenveel informatie beschikbaar was, geeft de tabel slechts een indicatie van het relatieve belang van de onderscheiden groentypen. Tot nu toe is in onderzoek vooral veel aandacht gegeven aan de fysieke behoeften, en in mindere mate aan de bestaanszekerheid. Over de bijdrage aan de sociale/psychologische behoeften is nog erg weinig informatie beschikbaar. Het is ook niet duidelijk of mensen aan alle drie de categorieën behoeften evenveel waarde hechten. De rangschikking van de groenelementen zou kunnen verschuiven, als blijkt dat (bijvoorbeeld) de bijdragen aan de fysieke behoeften veel belangrijker zijn dan de bijdragen aan sociale behoeften.

In deze lijst vallen enkele zaken op. De score van een intensief groen dak is opvallend hoog, en komt in de buurt van die van een park. Daarbij is het verschil tussen een intensief en een extensief dak erg groot, wat de levering van diensten betreft, terwijl ze in veel onderzoeken niet apart worden bekeken. Bij alle drie de groepen diensten is er een verschil ten gunste van intensieve groendaken, waarbij vooral de bijdrage aan de sociale diensten opvallend veel hoger is. Groene gevels scoren ook relatief hoog, wat vooral ligt aan hun positieve bijdrage op sociaal gebied. Als die niet wordt meegenomen, is hun score vergelijkbaar met die van een extensief groendak.

8.2 Zijn groene daken en gevels nuttig voor steden?

Groene daken en gevels zijn nuttig voor steden. Dit is niet het gevolg van één aanwijsbare ecosystemedienst, maar van het feit dat ze veel diensten tegelijk leveren. De belangrijkste diensten zijn: retentie van regenwater jaarrond, het verlagen van het UHI effect (stadsbreed en lokaal) en de energiebesparing door hun isolatiewaarde. Ook besparen ze de eigenaren geld doordat ze de levensduur van een dak verdubbelen. Over de luchtreinigingscapaciteit is nog geen consensus onder wetenschappers, maar die lijkt klein. Het dempende effect op lokale geluidsbronnen is aangetoond, maar daar is nog geen geldwaarde aan gekoppeld. Een correlatie met lichamelijke en geestelijke gezondheid is ook aangetoond, maar er is meer onderzoek nodig om uit te zoeken hoe het verband tussen groen en gezondheid werkt, wat de bijdrage van dak- en gevelgroen is, en welke geldwaarde dit effect vertegenwoordigt. Naar de sociale en psychologische effecten van dak- en gevelgroen is nog nauwelijks onderzoek gedaan. Een schatting van deze effecten leert, dat intensieve groene daken en groene gevels op dit gebied waarschijnlijk goed zullen scoren, en nuttiger zijn dan extensieve groendaken, gazons of laanbomen.

Er zijn andere groentypen in steden, die een grotere capaciteit hebben om dezelfde diensten te leveren. Veel diensten worden echter door al het groen in de stad samen geleverd. Het pluspunt van groene daken en gevels is, dat men ze aan kan leggen als extra groen, op plaatsen waar geen ruimte is voor groen op maaiveldniveau. Een aantal van de genoemde diensten zal in de praktijk pas belangrijk worden, als er veel meer dak- en gevelgroen in de stad aanwezig is dan nu het geval is. De hoeveelheden dak- en gevelgroen die nodig zijn om er merkbaar profijt van te hebben zijn niet onrealistisch hoog; ze zijn al te bereiken met het vergroenen van een deel (30-50%) van de nu aanwezige platte daken.



Wooncomplex "De halve wereld" in Amsterdam. (@picasdre op wikipedia.com)

9 Uitgebreide samenvatting

De toepassing van groene daken en groene gevels groeide de afgelopen jaren in populariteit. Bij de toepassing worden vaak de ecosysteemdiensten als argument gebruikt: de aspecten van dak- en gevelgroen die gunstig zijn voor het menselijk welzijn. Hier is het afgelopen decennium veel onderzoek naar gedaan, maar dit richtte zich vooral op de effecten die op gebouwschaal meetbaar zijn. Deze zijn vooral relevant voor de eigenaren en gebruikers van gebouwen. Veel effecten spelen echter eveneens een rol op de schaal van wijk en stad, wat hen van belang maakt voor overheden en instanties. Uit onderzoek is bekend dat de financiële voordelen van dak- en gevelgroen die ten goede komen aan de gebouweigenaar niet de volledige investering in aanleg en onderhoud kunnen dekken. Worden de financiële voordelen voor de stad en haar bevolking echter ook meegerekend, dan is de balans wel positief.

Deze literatuurstudie geeft een overzicht van de beschikbare kennis uit internationale literatuur, op het gebied van de effecten van dak- en gevelgroen op hogere schaalniveaus. Er is specifiek gezocht naar harde cijfers, nieuwe bevindingen en kennis die op Nederland van toepassing is. Hiertoe zijn een honderdtal artikelen geselecteerd uit 367 wetenschappelijke en professionele artikelen over groene daken en gevels.

Hoewel niet alle typen dak- en gevelgroen dezelfde voordelen opleveren, konden de resultaten niet verder worden uitgesplitst dan in die van intensief dakgroen, extensief dakgroen en gevelgroen. De effecten van dak- en gevelgroen zijn vergeleken met die van groenelementen als laanbomen, parken en gazons, en met conventionele daken. Daarbij is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van meetgegevens en cijfers uit modellen.

Ecosysteemdiensten

Ecosysteemdiensten zijn aspecten van ecosystemen, die gebruikt worden (actief of passief) om menselijk welzijn te produceren. Ze dragen bij aan drie categorieën menselijke behoeften:

- Fysieke behoeften
- Bestaanszekerheid
- Sociale en psychologische behoeften

Vooraf naar de eerste twee categorieën is recent veel onderzoek gedaan.

Fysieke behoeften:

- Luchtzuivering van vluchtige stoffen
Het effect van dak- en gevelgroen op vluchtige stoffen in de lucht is zeer moeilijk te bepalen. Het is waarschijnlijk klein, een verlaging van minder dan 10%. Ander groen in en om de stad is kosteneffectiever in te zetten om de achtergrondconcentratie van vluchtige stoffen te verlagen dan dak- en gevelgroen. Op plaatsen waar andere groenelementen niet te plaatsen zijn kan dak- en gevelgroen wel een goede aanvulling zijn, met name om piekconcentraties van vervuiling aan de bron weg te vangen. Intensieve groendaken hebben daarvoor meer effect dan extensieve groendaken, en ook met de plantenkeuze is de effectiviteit wat te verhogen. Dak- en gevelgroen verlaagt de stadstemperatuur (zie Urban heat island effect); dit draagt bij aan vermindering van de smogproductie.
- Luchtzuivering van fijn stof
Ook dit effect is zeer moeilijk te kwantificeren, doordat juist de kleinste, moeilijkst te meten deeltjes het meest schadelijk zijn. Schattingen geven aan dat met een groot aandeel dak- en gevelgroen in steden 0,5-4% van het fijn stof weggevangen zou kunnen worden. Intensief dakgroen heeft een circa vijf keer groter effect dan extensief dakgroen. Met de plantkeuze en de plaatsing van de planten ten opzichte van de wind en de vervuilingbron is de wegvang van fijn stof positief te beïnvloeden.
- Verwerking hemelwater jaarrond
De beste manier om regenwater te verwerken is door veel stadsgroen en minder dan 25% verhard oppervlak te hebben, maar dit is in veel wijken niet haalbaar. Groendaken zijn in staat om een substantieel deel van de jaarlijkse neerslag die op het dak valt op te nemen en te verdampen. Metingen variëren van 25-100%, gemiddeld 70%. Intensieve daken hebben een hogere opnamecapaciteit dan extensieve. Groene gevels kunnen wel water verdampen, maar slaan het zelf niet op; zij hebben daarom een externe opslag nodig. Om een goede waterhuishouding in een wijk te

bereiken, zou minstens een derde van de daken groen moeten zijn. Groendaken alleen kunnen niet al het water verwerken, maar in combinatie met opvangbassins of wadi's vormen ze een relatief goedkope en technisch haalbare oplossing voor de hemelwaterafvoer.

- **Retentie van neerslagpieken**
Een effect waarvoor dakgroen vaak wordt gepropageerd, is het tijdelijk opslaan van het water van fikse regenbuien. Dit kan nodig zijn als er in wijken te weinig ruimte is voor groen op maaiveldniveau. Of een groen dak hiertoe in staat is, is sterk afhankelijk van het daktype en de voorgeschiedenis van het dak: was het droog, of stond er nog water op van de vorige bui? Het is zeker mogelijk om groene daken te optimaliseren voor waterretentie, maar tenzij dit met alle groene daken gebeurt, is het effect op de retentie van neerslagpieken voor de stad klein. Technische maatregelen zoals opvangbassins zijn dan goedkoper.
- **Waterkwaliteit**
De kwaliteit van het water dat afstroomt van groene daken is sterk afhankelijk van de gebruikte materialen op het dak en de stoffen die soms gebruikt worden voor het onderhoud, zoals meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Het is zeker mogelijk om een goed functionerend groen dak te maken, waarvan het afstromende water een goede kwaliteit heeft. Het gebruiken van dit water als grijs water in het gebouw is een mogelijkheid. Van oudere groendaken is de waterkwaliteit vaak beter dan van nieuw aangelegde. Helofytenfilters kunnen ook op daken worden geplaatst voor zuivering van grijs water uit het gebouw.
- **Temperatuur: Urban Heat Island effect**
In een omgeving met veel verharding en een hoge bevolkingsdichtheid zijn zomertemperaturen hoger dan op het platteland: het Urban Heat Island effect (UHI). Het kan worden tegengegaan door vegetatie. Planten gebruiken zonnestraling voor verdamping en fotosynthese, in tegenstelling tot verharde oppervlakken, die straling omzetten in voelbare warmte. In Nederland worden voor het UHI effect in steden waarden genoemd van gemiddeld 2,3 °C, op piekdagen 5,3 °C. Dit maakt dat de temperatuur vaker tot boven de 27,7 °C oploopt, de grenswaarde waarboven de negatieve effecten toenemen. Koeling door planten is niet alleen overdag, maar ook 's nachts effectief, waardoor de stad beter afkoelt. Alle typen groen koelen, mits hun watervoorziening toereikend is. Omdat het UHI vooral op straatniveau (bijvoorbeeld in 'street canyons') speelt, zijn beplantingen op maaiveldniveau en gevelgroen de effectiefste oplossingen. Wanneer dat niet mogelijk is, kan gebruik worden gemaakt van dakgroen, bij voorkeur op laagbouw. De mogelijke temperatuurdalingen bij verschillende groenelementen ontlopen elkaar niet veel, en variëren van 2-4 °C. De grootte van het effect hangt vooral af van het aandeel groen in de stad; elke 20% groen geeft circa 1 °C temperatuurdaling. Hoe groter een groenelement is, hoe groter het gebied eromheen dat erdoor gekoeld wordt. Dit kan oplopen tot bijvoorbeeld 1 km afstand bij een groot stadspark omringd door laagbouw.
- **Temperatuur: isolatie van gebouwen**
De isolerende werking van een groendak is het grootst in de zomer, wat tot 6% op de jaarlijkse koelingskosten kan besparen. Op verwarmingskosten jaarrond bespaart het circa 1%. Ook groene gevels isoleren een gebouw. Klimplanten en plantenbakken werken vooral in de zomer koelend, maar gevelpanelen hebben - doordat ze een extra laag met luchtsponz op de muur vormen - jaarrond een isolerende werking. De isolatiewaarde van groene daken en gevels is verantwoordelijk voor een groot deel van de reductie van de CO₂ productie van gebouwen.
- **Geluidsreductie**
Beplanting heeft een reducerende werking op geluid, doordat deze het geluid verstrooit en deelt absorbeert. Bovendien schermt het geluidsbronnen af voor het zicht, waardoor ze minder irriteren. Bomen en heesters van een park dempen 1-10 dB geluid. Een extensief groendak of een groene gevel dempen binnenshuis circa 3 dB, en een intensief groendak met meer dan 15 cm substraat dempt tot 10 dB. Dit klinkt respectievelijk als een halvering van het verkeer (3 dB) tot 90% minder verkeer (10 dB). Gevelgroen is geschikt om weerkaatsing van geluid tussen hoge gebouwen te verminderen. Dakgroen helpt niet alleen tegen geluid dat doordringt naar binnen, maar reduceert ook het geluid dat over het gebouw heen gaat met circa 3 dB.
- **Voedselproductie:**
Voedselproductie op groene daken en gevels lijkt aantrekkelijk, vanwege de reductie in transportkilometers die het mogelijk maakt. Het wordt echter tot nu toe alleen kleinschalig toegepast, dus over de effecten op grote schaal is nog weinig bekend. De daken en gevels zullen niet een hele stad kunnen voeden, maar hebben wel de potentie om een rol te spelen in de productie van specifieke voedselgroepen als groenten, fruit en kruiden.

- **Energieproductie**
Een groen dak kan bijdragen aan energieproductie, doordat het koelende effect van de planten zonnecellen efficiënter laat werken op hete dagen. In de toekomst kan mogelijk elektriciteit worden geproduceerd door Plant Microbial Fuel Cells, waarbij moerasplanten op een groendak in hun wortels stroom opwekken. Dit laatste systeem is nog in ontwikkeling.

Bestaanszekerheid

- **Behoud lichamelijke en geestelijke gezondheid**
Veel fysieke effecten van groen zijn ook gunstig voor de gezondheid, zoals schonere lucht en minder geluid. Daarnaast heeft uitzicht op groen een psychologisch effect, met name zou het helpen bij het herstellen van stress. Er is echter nog maar weinig onderzoek hiernaar gedaan. De gevonden effecten zijn meestal wel positief, maar zijn moeilijk hard te maken, omdat gezondheid door zeer veel factoren beïnvloed wordt.
Om het effect van groen op het welzijn zo groot mogelijk te maken moet het er gezond en goed onderhouden uitzien, en moet de biodiversiteit hoog zijn. Dak- en gevelgroen hoeft er niet noodzakelijkerwijs natuurlijk uit te zien, maar goed onderhoud, kleur en hoogteverschillen worden gewaardeerd.
- **Werkgelegenheid**
Groen verbetert de werkomstandigheden in bedrijven en kantoren, en helpt bijvoorbeeld klanten binnen te halen bij de horeca. Dak- en gevelgroen creëert werk voor de ruim 250 bedrijven die het aanleggen in Nederland.
- **CO₂ reductie**
CO₂ wordt in stadsbeplanting vrijwel alleen permanent vastgelegd in bomen. Groene daken en gevels die geen bomen bevatten leveren meestal meer CO₂ bij hun productie dan dat ze zelf vastleggen. Ze besparen echter wel CO₂ voor verwarming en koeling door hun isolerende werking. Als er voedsel op dak of gevel wordt geproduceerd, verlaagt dit de CO₂ productie door het lagere aantal transportkilometers.
- **Levensduur dak/gevel en milieuvriendelijkheid**
Groene daken en gevels zijn niet alleen letterlijk, maar deels ook figuurlijk groen. Groene daken verlengen de levensduur van een dak en isoleren het gebouw. Hierdoor heeft een intensief dak minder emissies en minder energieverbruik dan een conventioneel dak. Een groene gevel kan milieuvriendelijk zijn, afhankelijk van de gebruikte materialen.
- **Stimuleren biodiversiteit**
Groene daken en gevels bieden een schuilplaats, nestplaats en voedselbron aan verschillende diergroepen, vooral insecten en vogels. Op extensieve daken zonder watergeefstelsel is de plantenkeuze beperkt tot vetplanten als Sedum, maar op andere daktypen is een grotere variatie mogelijk. Met de inrichting van een dak of gevel is de aantrekkelijkheid voor dieren en gewenste planten te sturen. Er kunnen zowel inheemse als uitheemse planten worden gebruikt. Voor een stad is het gunstig als groene daken en gevels helpen om groene verbindingen door de stad aan te leggen. Er is nog niet bekend in welke mate de biodiversiteit in steden hierdoor gestimuleerd zal worden, maar er zijn wel aanwijzingen dat bijvoorbeeld zeldzame vlindersoorten van dit extra groen profiteren.
- **Verhogen waarde vastgoed**
Een groene omgeving werkt positief door op de prijzen van huizen en bedrijfspanden, en verhoogt daardoor de inkomsten van de gemeentebelastingen. Ook groene daken en gevels dragen daaraan bij, mits ze aan een aantal basisvoorwaarden voldoen, zoals goed ontworpen zijn en goed onderhouden. Uitzicht op een groen dak kan bijvoorbeeld hotelkamerprijzen verhogen, maar vooral betreedbare daken die extra gebruiksruimte vormen worden gewaardeerd.

Sociale en psychologische behoeften

- **Sociale contacten**
Groene daken kunnen sociale contacten stimuleren doordat ze toegankelijk zijn en groene daken en gevels kunnen toegankelijke plaatsen aantrekkelijker maken. Hoe groter het dak is (bijv. een dakpark), en hoe meer doelgroepen er komen, hoe groter het positieve effect op de sociale contacten is. De inrichting van het dak bepaalt de aantrekkelijkheid. Of de aanwezigheid van dak- en gevelgroen de veiligheid van een wijk beïnvloedt is nog niet bekend.
- **Kennis: Educatieve mogelijkheden**

Over dit aspect is nog geen onderzoek bekend, maar er zijn wel veel voorbeelden. Hierbij wordt dak- en gevelgroen ingezet in lesprogramma's of voor natuureducatie door allerlei organisaties.

- **Sociale cohesie**
Groene daken en gevels kunnen positief bijdragen aan de sociale cohesie in een wijk. Een voorwaarde is, dat het een type dak of gevel is waarbij mensen een actieve rol kunnen spelen bij inrichting of onderhoud. De bepalende factor is echter niet het groen, maar of er een goede organisatie omheen plaatsvindt.
- **Vrije tijd**
In Nederlandse steden is een behoefte aan meer groen om de vrije tijd in door te brengen. Door hun beperkte oppervlak is het meeste dak- en gevelgroen hiervoor niet toereikend, al kan het wel een bijdrage leveren aan de aantrekkelijkheid van horeca en andere vrijetijdslocaties.
- **Creatieve mogelijkheden**
Dak- en gevelgroen biedt veel creatieve mogelijkheden, door de grote keuze in mogelijkheden bij de inrichting.
- **Identiteit**
Groene daken en gevels zijn een van de weinige milieuvriendelijke aanpassingen aan een gebouw die ook aan de buitenkant zichtbaar en voor een leek herkenbaar zijn. Dit versterkt een milieuvriendelijk imago.
- **Vrijheid**
Groene daken en gevels bieden mensen de mogelijkheid om deels zelfvoorzienend te zijn op voedsel- en energiegebied. Ook geeft het hen het idee zelf wat te kunnen doen tegen de nadelen van het wonen in een stad.

Financiële aspecten van ecosysteemdiensten

Het blijkt niet eenvoudig om de baten van de ecosysteemdiensten in geld uit te drukken. Slechts enkele diensten leveren direct geld op; de meeste besparen geld omdat een alternatieve maatregel niet nodig is. Soms is een waarde lastig te berekenen, omdat de dienst (bijv. gezondheidsverbetering) door zeer veel andere factoren beïnvloed wordt. Van de diensten waaraan een geldwaarde toe te kennen is blijken de diensten op het gebied van water en van levensduurverlenging van het dak zeer waardevol te zijn, gevolgd door de isolatiewaarde en de waarde voor luchtzuivering. Veel diensten met een potentieel hoge waarde, zoals het effect op de gezondheidszorg, zijn echter nog onvoldoende gekwantificeerd.

Kosten/baten analyse

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat de private kosten van aanleg en onderhoud van groene daken en gevels hoger zijn dan de private baten. Wanneer ook de publieke baten worden meegerekend zijn de baten wel hoger dan de kosten. De kosten/baten verhouding kan beïnvloed worden door dak- en gevelgroen vooral in te zetten op locaties waar goedkopere vormen van stadsgroen niet te plaatsen zijn. Ook zouden groene daken en gevels geoptimaliseerd kunnen worden voor een mix van de waardevolste ecosysteemdiensten.

Conclusie:

Als het gaat om de levering van ecosysteemdiensten, is een groot deel van de werking van groenelementen afhankelijk van hun volume (of oppervlak). Daarbij zijn er wel verschillen in de typespecifieke diensten die groenelementen kunnen leveren, ook als ze in voldoende volume aanwezig zijn. Als alle diensten opgeteld worden, waarbij ze allemaal even zwaar tellen, dan is de volgorde van dienstenlevering van meest naar minst:

Park	(alle diensten hoog)
Intensief groendak	(alle diensten vrij hoog)
Laanbomen	(hoog op fysiek en bestaanszekerheid, laag op sociaal)
Groene gevel	(gemiddeld op fysiek en bestaanszekerheid, hoog op sociaal)
Gazon	(gemiddeld voor alle behoeften)
Extensief groendak	(gemiddeld op fysiek, laag op bestaanszekerheid en sociaal)
Conventioneel dak	(laag op alle behoeften)

Het meest opvallende in deze lijst is het grote verschil tussen een intensief en een extensief groendak. Deze twee typen verschillen vrij sterk in de levering van diensten, terwijl in de praktijk alle groendaken nog vaak over één kam worden geschoren.

Bijlage 1

Aantal publicaties	Jaar											
onderwerp	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Totaal
aandeel								1				1
aandeel strategie											1	1
aanleg							1					1
beplanting	1			2	2	1	3	5	3	10	7	34
beplanting binnentemperatuur											1	1
beplanting materialen										1		1
beplanting ziekte								1				1
binnentemperatuur			4		3	1	4	4	3	7	14	40
binnentemperatuur									1	3		4
binnentemperatuur beplanting									1	1		2
binnentemperatuur buitentemperatuur	1							1	2		1	5
binnentemperatuur energieproductie											1	1
binnentemperatuur kosten						1						1
binnentemperatuur, waterretentie											1	1
biodiversiteit					1	7	2			1	6	17
brandgevaar										1		1
buitentemperatuur						4	3	3	3	6	8	27
CO2								1	1	2	1	5
draagkracht			1									1
energieproductie											2	2
functies				1		1	4	4	2	2	5	19
functies beplanting										1		1
functies buitentemperatuur											1	1
functies strategie								1		1		2
geluid								2	1	2	2	7
geschiedenis								2		1		3
hydraulica										1		1
kosten			2		2	1	1	2		5	6	19
kosten CO2								1			1	2
kosten waterretentie							1					1
luchtkwaliteit			1			1		3	1	2	1	9
luchtkwaliteit gezondheid											1	1
luchtkwaliteit strategie								1				1
materialen	1		2	2	2	5	2	8	6	2	6	36
materialen									1		1	2
materialen beplanting			1			1						2
materialen binnentemperatuur											2	2
onderhoud		1										1
psychologie									1	1	2	4

onderwerp	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Totaal
strategie					2	3	2	2	4	2	6	21
strategie beplanting												1
strategie onderhoud										1		1
verdamping										1	1	2
voedselproductie									1			1
voedselproductie, strategie									1			1
waterkwaliteit					2		5	5	4	8	5	29
waterkwaliteit beplanting										1		1
waterkwaliteit waterretentie				1			1			1		3
waterretentie			3	2	7	4	4	6	3	19	14	62
waterretentie beplanting										1		2
waterretentie binnentemperatuur									1	1		2
waterretentie buitentemperatuur					1							1
waterretentie waterkwaliteit									1		1	2
waterretentie, biodiversiteit									1			1
(ander onderwerp)											1	1
Grand Total	3	1	14	8	22	30	33	53	42	85	99	380

Literatuurlijst

- Alexandri, E., Jones, P., 2008. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment* 43, 480-493.
- Bade, T., Smid, G., Tonneijck, F., 2011. Groen loont! De groene stad, Apeldoorn.
- Bade, T., Tonneijck, F., Middendorp, B.v., 2007. Groen boven alles; over dak- en gevelgroen als fundament onder de groene stad. Tripleee.
- Berg, A.E.v.d., Hartig, T., Staats, H., 2007. Preference for nature in urbanised societies: stress, restoration and the pursuit of sustainability. *J. of social issues* 63, 79-96.
- Berg, A.E.v.d., Maas, J., Verheij, R.A., Groenewegen, P.P., 2010. Green space as a buffer between stressful life events and health. *Social Science and Medicine* 70, 1203-1210.
- Berghage, R., al, e., 2007. Quantifying evaporation and transpirational water losses from green roofs and green roof media capacity for neutralizing acid rain. Center for green roof research, Pennsylvania State University, p. 94.
- Bohemen, H.D.v., Fraaij, A.L.A., Ottelé, M., 2008. Ecological engineering, green roofs and the greening of vertical walls of buildings in urban areas, Ecocity world summit.
- Bolund, P., Hunhammar, S., 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics* 29, 293-301.
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M., Pullin, A.S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning* In Press, Corrected Proof.
- Brenneisen, S., 2003. The benefits of biodiversity from green roofs: Key design consequences, 1st North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities. the Cardinal Group, Toronto, Chicago, pp. 323-329.
- Brenneisen, S., 2004. Green roofs - how nature returns to the city. *Acta Horticulturae*, 289-293.
- Butler, C., Butler, E., Orians, C.M., 2012. Native plant enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs. *Urban Forestry and Urban Greening* 11, 1-10.
- Carter, T., Jackson, C.R., 2007. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning* 80, 84-94.
- Cheng, C.Y., Cheung, K.K.S., Chu, L.M., 2010. Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and Environment* 45, 1779-1787.
- Coffman, R.R., Waite, T., 2011. Vegetated roofs as reconciled habitats: Rapid assays beyond mere species counts. *Urban habitats* 6.
- CROW, 2012. Beplanting en luchtkwaliteit, in: CROW (Ed.), *Luchtkwaliteit en verkeer*. CROW, Ede, p. 72.
- Currie, B., Bass, B., 2008. Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems* 11, 409-422.
- Czemiel Berndtsson, J., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering* 36, 351-360.
- Dagenais, D., Gagnon, C., Pelletier, J.L., 2010. Development of design criteria to improve aesthetic appreciation of extensive green roofs (EGR). in: G. Prosdocimi Gianquinto, F.O. (Ed.), 2nd International conference on landscape and urban horticulture. *Acta Horticulturae*, Bologna Italy, June 9-13 2009, pp. 703-708.
- Damodaram, C., Giacomoni, M.H., Khedun, C.P., Holmes, H., Ryan, A., Saour, W., Zechman, E.M., 2010. Simulation of combined best management practices and low impact development for sustainable stormwater management. *Journal of the American water resources association* 46, 907-918.
- Davies, Z.G., J.L., E., Heinemeyer, A., Leake, J.R., Gaston, K.J., 2011. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. *Journal of Applied Ecology*.
- Fernandez-Canero, R., Gonzalez-Redondo, P., 2010. Green roofs as a habitat for birds: A review. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 9, 2041-2052.
- Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L.G., Principi, P., 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment* 45, 1890-1904.
- Fisher, B., Turner, R.K., Morling, P., 2009. Defining and classifying ecosystem services for

decision making. *Ecological Economics* 68, 643 - 653.

- Fowler, D., Pilegaard, K., Sutton, M.A., Ambus, P., Raivonen, M., Duyzer, J., Simpson, D., Fagerli, H., Fuzzi, S., Schjoerring, J.K., Granier, C., Neftel, A., Isaksen, I.S.A., Laj, P., Maione, M., Monks, P.S., Burkhardt, J., Daemmgen, U., Neiryneck, J., Personne, E., Wichink-Kruit, R., Butterbach-Bahl, K., Flechard, C., Tuovinen, J.P., Coyle, M., Gerosa, G., Loubet, B., Altimir, N., Gruenhage, L., Ammann, C., Cieslik, S., Paoletti, E., Mikkelsen, T.N., Ro-Poulsen, H., Cellier, P., Cape, J.N., Horváth, L., Loreto, F., Niinemets, Ü., Palmer, P.I., Rinne, J., Misztal, P., Nemitz, E., Nilsson, D., Pryor, S., Gallagher, M.W., Vesala, T., Skiba, U., Brüggemann, N., Zechmeister-Boltenstern, S., Williams, J., O'Dowd, C., Facchini, M.C., de Leeuw, G., Flossman, A., Chaumerliac, N., Erisman, J.W., 2009. Atmospheric composition change: Ecosystems-Atmosphere interactions. *Atmospheric Environment* 43, 5193-5267.
- Francis, R.A., Lorimer, J., 2011. Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management* 92, 1429-1437.
- Fuller, R.A., Irvine, K.N., Devine-Wright, P., Warren, P.H., Gaston, K.J., 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters* 3, 390-394.
- Getter, K., Rowe, D.B., 2008. Selecting plants for extensive green roofs in the United States. Michigan State University Extension, p. 9.
- Getter, K.L., Rowe, D.B., 2006. The Role of Extensive Green Roofs in Sustainable Development. *HortScience* 41, 1276-1285.
- Getter, K.L., Rowe, D.B., Andresen, J.A., 2007. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering* 31, 225-231.
- Getter, K.L., Rowe, D.B., Robertson, G.P., Cregg, B.M., Andresen, J.A., 2009. Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. *Environ. Sci. Technol.* 43, 7564-7570.
- Göbel, P., Coldewey, W.G., Dierkes, C., Kories, H., Meßer, J., Meißner, E., 2007. Impacts of green roofs and rain water use on the water balance and groundwater levels in urban areas. *Grundwasser* 12, 189-200.
- Herzele, A., Vries, S., 2012. Linking green space to health: a comparative study of two urban neighbourhoods in Ghent, Belgium. 34, 171-193.
- Hiemstra, J.A., Schoenmaker - van der Bijl, E., Tonneijck, A.E.G., 2008. Bomen een verademing voor de stad. PPH/VHG, Boskoop, p. 36.
- Hoffman, M.H.A., 2009. Planten en luchtkwaliteit. *Dendroflora* 46, 24-49.
- Hoffman, M.H.A., 2012. Klimaatverandering en sortiment. *Dendroflora* 48, 4-33.
- Hop, M.E.C.M., 2010. Dak en gevel groen. Thieme, Deventer.
- Jim, C.Y., He, H., 2011. Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem. *Ecological Engineering* 37, 1112-1122.
- Jim, C.Y., Peng, L.L.H., 2011. Weather effect on thermal and energy performance of an extensive tropical green roof. *Urban Forestry and Urban Greening*.
- Kadas, G., 2006. Rare invertebrates colonising green roofs in London. *Urban habitats* 4, 20.
- Kerksen, A.J., 2011. Handboek groene daken, van idee tot realisatie. BDA Dak- en gevelopleidingen, Gorinchem.
- Klooster, J., Moppes, D.v., Bes, E., Goedbloed, D., 2008. Het redement van groene daken in Rotterdam. *H2O* 24, 23-25.
- KMPG, 2012. Groen, gezond en productief. The Economics of Ecosystems & Biodiversity (TEEB NL): natuur en gezondheid. KMPG Advisory N.V., in opdracht van het ministerie van EL&I, Amsterdam, p. 39.
- Knecht, C., 2004. Urban nature and well-being: Some empirical support and design implications. *Berkeley Planning Journal* 17, 82-108.
- Köhler, M., 2008. Green facades—a view back and some visions. *Urban Ecosystems* 11, 423-436.
- Köhler, M., 2010. Historie und Wirkungen von Fassadenbegrünungen. *Biotope city journal*.
- Köhler, M., Schmidt, M., Laar, M., Wachsmann, U., Krauter, S., 2002. Photovoltaic panels on greened roofs - positive interaction between two elements of sustainable architecture, World climate & energy event, Rio de Janeiro, pp. 151-158.
- Kohlleppe, T., Bradley, J.C., Jacob, S., 2002. A Walk through the Garden: Can a Visit to a Botanic Garden Reduce Stress? *HortTechnology* 12, 489-492.
- Laforteza, R., Carrus, G., Sanesi, G., Davies, C., 2009. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban Forestry and Urban Greening* 8, 97-108.

- Lee, A.C.K., Maheswaran, R., 2011. The health benefits of urban green spaces: A review of the evidence. *Journal of Public Health* 33, 212-222.
- Liu, K., Baskaran, B., 2003. Thermal performance of green roofs through field evaluation. National Research Council, Institute for Research in Construction, Ottawa, Canada.
- Lundholm, J., MacIvor, J.S., MacDougall, Z., Ranalli, M., 2010. Plant Species and Functional Group Combinations Affect Green Roof Ecosystem Functions. *PLoS ONE* 5, e9677.
- Mackey, C.W., Lee, X., Smith, R.B., 2012. Remotely sensing the cooling effects of city scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment* 49, 348-358.
- Marissing, E.v., 2008. Buurten bij beleidsmakers, Faculteit Geowetenschappen en Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap. Universiteit Utrecht, Utrecht.
- Max-Neef, M.A., al, e., 1991. Human scale development : conception, application and further reflections. The Apex Press, New York.
- Mentens, J., Goeminne, E., Verlaek, M., Hermy, M., Raes, D., 2003. Groendaken in Vlaanderen en Brussel. *Groencontact* 5, 24-26.
- Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., 2006. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? *Landscape and Urban Planning* 77, 217-226.
- Moran, A., Hunt, B., Jennings, G., 2004. A North Carolina field study to evaluate green roof runoff quantity, runoff quality and plant growth, 2nd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. the Cardinal Group, Toronto, Portland, pp. 446-460.
- Morgan, S., Alyaseri, I., Retzlaff, W., 2011. Suspended solids in and turbidity of runoff from green roofs. *International Journal of Phytoremediation* 13, 179-193.
- Morikawa, H., Higaki, A., Nohno, M., Takahashi, M., Kamada, M., Nakata, M., Toyohara, G., Okamura, Y., Matsui, K., Kitani, S., Fujita, K., Irifune, K., Goshima, N., 1998. More than a 600-fold variation in nitrogen dioxide assimilation among 217 plant taxa. *Plant, Cell & Environment* 21, 180-190.
- Morikawa, H., Takahashi, M., Hakata, M., Sakamoto, A., 2003. Screening and genetic manipulation of plants for decontamination of pollutants from the environments. *Biotechnology Advances* 22, 9-15.
- Muga, H., Mukherjee, A., Mihelcic, J., 2008. An integrated assessment of the sustainability of green and built-up roofs. *Journal of Green Building* 3, 106-127.
- Ng, E., Chen, L., Wang, Y., Yuan, C., 2012. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. *Building and Environment* 47, 256-271.
- Niu, H., Clark, C., Zhou, J., Adriaens, P., 2010. Scaling of economic benefits from green roof implementation in Washington, DC. *Environmental Science and Technology* 44, 4302-4308.
- Oberlander, C., Whitelaw, E., Matsuzaki, E., 2002. Introductory manual for greening roofs for public works and government services in Canada. Public works and government services, Toronto.
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K.K.Y., Rowe, B., 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience* 57, 823-833.
- Ottélé, M., Perini, K., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri, R., 2011. Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings* 43, 3419-3429.
- Papafotiou, M., Chatzijiannaki, Z., Stilianaki, G., 2010. The effect of design of an urban park on traffic noise abatement, in: Prosdocimi Gianquinto, G.a.O., F. (Ed.), 2nd International Conference on Landscape and Urban Horticulture, 9-13 June 2009. ISHS, Acta horticultrae, Bologna, pp. 331-334.
- Peck, S., Kuhn, M., 2001. Design guidelines for green roofs. Canada Mortgage and Housing Cooperation, Ottawa, Ontario.
- Perini, K., Ottélé, M., Fraaij, A.L.A., Haas, E.M., Raiteri, R., 2011. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* 46, 2287-2294.
- Peters, K., Elands, B., Buijs, A., 2010. Social interactions in urban parks: Stimulating social cohesion? *Urban Forestry and Urban Greening* 9, 93-100.
- Price, J.G., Watts, S.A., Wright, A.N., Peters, R.W., Kirby, J.T., 2011. Irrigation lowers substrate temperature and enhances survival of plants on green roofs in the southeastern United States. *HortTechnology* 21, 586-592.
- Pugh, T.A.M., MacKenzie, A.R., Whyatt, J.D., Hewitt, C.N., 2012. Effectiveness of Green Infrastructure for Improvement of Air Quality in Urban Street Canyons. *Environmental Science &*

Technology 46, 7692-7699.

- Reid, W.V.e.a., 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.
- . Millennium Ecosystem Assessment, Washington, DC.
- Rosenzweig, C., Gaffin, S., Parshall, L., 2006. Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report. . Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies., New York., p. 59.
- Rowe, D.B., 2011. Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution* 159, 2100-2110.
- Saiz-Alcazar, S., Bass, B., 2005. Energy performance of green roofs in a multi storey residential building in Madrid. , 3rd North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities. The Cardinal Group, Toronto, , Toronto, pp. 569-582.
- Saiz, S., Kennedy, C., Bass, B., Pressnail, K., 2006. Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. *Envir. Science & Techn.* 40, 4312-4316
- Scherba, A., Sailor, D.J., Rosenstiel, T.N., Wamser, C.C., 2011. Modeling impacts of roof reflectivity, integrated photovoltaic panels and green roof systems on sensible heat flux into the urban environment. *Building and Environment* 46, 2542-2551.
- Singels, M., Klooster, J.P.G.N., Hoek, G., 2005. Luchtkwaliteit in Nederland: gezondheidseffecten en hun maatschappelijke kosten. CE, Delft.
- Smith, K.R., Roebber, P.J., 2011. Green roof mitigation potential for a proxy future climate scenario in Chicago, Illinois. *J. Appl. Meteorology and Climatology* 50, 507-522.
- Snep, R.P.H., WallisDeVries, M.F., Opdam, P., 2011. Conservation where people work: A role for business districts and industrial areas in enhancing endangered butterfly populations? *Landscape and Urban Planning* 103, 94-101.
- Steeneveld, G.J., Koopmans, S., Heusinkveld, B.G., Van Hove, L.W.A., Holtslag, A.A.M., 2011. Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *J. Geophys. Res. D: Atmospheres* 116.
- Strik, D.P.B.T.B., Timmers, R.A., Helder, M., Steinbusch, K.J.J., Hamelers, H.V.M., Buisman, C.J.N., 2011. Microbial solar cells: Applying photosynthetic and electrochemically active organisms. *Trends in Biotechnology* 29, 41-49.
- Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R., 2011. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution* 159, 2119-2126.
- Tian, Y., Jim, C.Y., 2011. Factors influencing the spatial pattern of sky gardens in the compact city of Hong Kong. *Landscape and Urban Planning* 101, 299-309.
- Tonietto, R., Fant, J., Ascher, J., Ellis, K., Larkin, D., 2011. A comparison of bee communities of Chicago green roofs, parks and prairies. *Landscape and Urban Planning* 103, 102-108.
- Tonneijck, F., Vries, B.d., Kuypers, V., DRO, 2008. Leidraad luchtzuiverend groen. Tripleee, Alterra, Amsterdam, p. 38.
- Troy, A., Morgan Grove, J., O'Neil-Dunne, J., 2012. The relationship between tree canopy and crime rates across an urban-rural gradient in the greater Baltimore region. *Landscape and Urban Planning* 106, 262-270.
- Tsang, S.W., Jim, C.Y., 2011. Theoretical evaluation of thermal and energy performance of tropical green roofs. *Energy* 36, 3590-3598.
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., V., Y.-P., A., K., Niemela, J., Jamesa, P., 2007. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review
- *Landscape and urban planning* 81, 167-178.
- Uslu, A., Kiper, T., Baris, M.E., 2009. Public health - urban landscaping relationship and user's perceptions. *Biotechnology and Biotechnological Equipment* 23, 1399-1408.
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D., 2008. Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. *Journal of Sound and Vibration* 317, 781-799.
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D., 2009. Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. *Building and Environment* 44, 1081-1087.
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D., 2011. In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Building and Environment* 46, 729-738.
- Wesseling, J., Beijck, R., Kuijeren, N.v., 2008. Effecten van groen op de luchtkwaliteit, status 2008. RIVM, Bilthoven, p. 35.
- White, E.V., Gatersleben, B., 2011. Greenery on residential buildings: Does it affect preferences and perceptions of beauty? *Journal of Environmental Psychology* 31, 89-98.

- Yaluza, D., 2010. Feinstaubminderung durch Gebäudebegrünung. Galabau praxis (e-journal).
- Yang, J., Yu, Q., Gong, P., 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric Environment 42, 7266-7273.
- Yok Tan, P., Sia, A., 2005. A pilot green roof research project in Singapore, 3rd North American Green Roof Conference: Greening rooftops for sustainable communities. the Cardinal Group, Toronto, Washington DC, pp. 399-415.