

Groene daken nader beschouwd

Over de effecten van begroeide daken in breed perspectief
met de nadruk op de stedelijke waterhuishouding



Groene daken

nader beschouwd

Over de effecten van begroeide daken in breed perspectief
met de nadruk op de stedelijke waterhuishouding

Ten geleide

Groene daken hebben toegevoegde waarde voor de stedelijke omgeving. Ze vangen fijnstof in, reguleren de temperatuur van het gebouw, verkoelen de stad en zien er mooi uit. Ook houden groene daken een deel van het regenwater vast en kunnen zij zorgen voor vertraging van de piekafvoer.

De vraag is wanneer een groen dak een zogenaamd groen-blauw dak wordt, waarvan de hydrologische prestaties een relevante bijdrage leveren aan het stedelijk waterbeheer. Bij welk ontwerp of welke functionele eisen die bijdrage relevant wordt, kan verschillen. Al snel zal enige reductie van hemelwaterafvoer naar de riolering en de RWZI optreden. Om extreme buien te verwerken is een veel ruimer gedimensioneerde waterberging en/of een slimmere sturing van de piekafvoeren nodig.

Met deze brochure zetten STOWA en Stichting RIONED een stap naar het eenduidig omschrijven van de functionele eisen vanuit het waterbeheer aan groen-blauwe daken. Mede door de waterbelangen expliciet te maken kunnen groen-blauwe daken een volwaardige positie in de stedelijke inrichting krijgen en onderdeel zijn van klimaat-adaptieve maatregelen die de stad weerbaar maken tegen extreme buien en lange periodes van droogte.

De publicatie is in het bijzonder bedoeld voor medewerkers van gemeenten en waterschappen en hun adviseurs.

April 2015

Stichting RIONED

Hugo Gastkemper

STOWA

Joost Buntsma

Groene daken nader beschouwd

Over de effecten van begroeide daken in breed perspectief met de nadruk op de stedelijke waterhuishouding

De belangstelling van het stedelijk waterbeheer voor groene daken neemt toe. Dit komt vooral door de recente ervaringen met extreme buien en de groeiende aandacht voor klimaatadaptatie. Waterbeheerders willen particulieren actiever betrekken bij de verwerking van regenwater op hun eigen perceel. De indruk bestaat dat groene daken in dit kader voordelen hebben ten opzichte van gewone platte (zwarte) daken of (rode) pannendaken. Maar in hoeverre is dat zo? Deze publicatie geeft inzicht in de effecten van groene daken op het stedelijk waterbeheer.

Waterhuishouding

De interesse van de regionale en stedelijke waterbeheerders is vooral gericht op de rol van groene daken in het verwerken van extreme buien, in het kader van de wateropgave. Veel gemeenten en waterschappen overwegen het geven van subsidie voor de aanleg van groene daken. De modelstudie van het hydrologisch functioneren laat zien dat groene daken in ieder geval geschikt zijn voor het reduceren van de jaarlijkse afvoer van regenwater naar een rwzi. Voor het verwerken van extreme buien moeten daken specifiek gedimensioneerd worden op een substantiële waterberging en een effectieve regulering van de dakafvoer. Met weinig 'groene' berging is het mogelijk om veel water te verdampen. Een forse blauwe waterberging is nodig om extreme buien op te vangen. Deze publicatie helpt bij keuzes in het ontwerp, aanleg en beheer van groene daken en eventuele alternatieven, om de beoogde effecten op de waterhuishouding te kunnen realiseren. De publicatie richt zich daarbij op groene daken die professioneel zijn aangelegd en voldoen aan algemeen aanvaarde richtlijnen voor de technische opbouw en details van groene daken.

Onderzoek en ontwikkeling

De huidige kennis over groene daken is voornamelijk gebaseerd op onderzoeken en publicaties uit het buitenland. Deze onderzoeken hebben sterk uiteenlopende onderwerpen, zoals constructieve veiligheid, hydrologie, isolerende werking of biodiversiteit. De resultaten hiervan zijn niet onverkort geldig voor de eigen situatie, door verschillen in doelen, dakopbouw, meetopzet, meetperioden of klimaat.

De laatste jaren krijgt de hydrologische werking van groene daken meer aandacht. In publicaties en productinformatie wordt hierover veel beweerd. Bijvoorbeeld dat 50 tot 90% van de totale neerslag op een groen dak niet tot afstroming komt. Maar dergelijke informatie is te beperkt onderbouwd om de aanleg van groene daken om hydrologische redenen te stimuleren. Daarvoor is meer relevante productinformatie nodig over de werking ervan.

De rol van het water in de huidige generatie groene daken is vooral gericht op functie voor de dakvegetatie en niet op de effecten voor de waterhuishouding. Daarom zijn onderzoek en ontwikkeling van nieuwe concepten en innovatieve daksystemen nodig, zoals bij het experimentendak op het gebouw van het NIOO-KNAW in Wageningen.

Deze publicatie is samengesteld op basis van een grondig literatuuronderzoek, met een grote bijdrage van een groep deskundigen.



Afbeelding 1 – Groen dak op een woning (boven) en op een bedrijventerrein (onder)

De hydrologische werking van groene daken in relatie tot het stedelijk waterbeheer is geïllustreerd met de resultaten van een modelstudie met RainTools, een nieuwe rekentool die in opdracht van Stichting RIONED voor de (stedelijk) waterbeheerder is ontwikkeld.

Leeswijzer

Achtereenvolgens gaat de publicatie in op:

1. Opbouw en onderhoud van groene daken.

Hier vindt u een beschrijving van de functionele onderdelen waaruit een groen dak is opgebouwd, de verschillende uitvoeringen daarvan en het onderhoud dat nodig is voor de instandhouding.

2. De belangrijkste processen voor de hydrologische werking van het groene dak.

Hier komen aan bod: de relatie tussen berging en verdamping, de verschillende vormen van dakafvoer en het belang daarvan voor de hydrologische effecten en hoe deze werking met een rekenmodel is te simuleren.

3. Simulaties voor inzicht in werking en effecten op de waterhuishouding.

Aan de hand van drie situaties brengt dit hoofdstuk de hydrologische effecten van groene daken in hun omgeving, van perceel tot wijkniveau, in beeld.

4. Overzicht van andere effecten van groene daken op omgeving en gebouw.

Een toelichting op de 'niet-hydrologische effecten' van groene daken en voor zover relevant de rol van water daarbij.

5. Beschouwing van beleidsmatige, financiële, juridische en innovatieve aspecten.

Dit hoofdstuk gaat in op de gecombineerde effecten van groene daken, de rol van particulieren, financieel-juridische aspecten, lopende en gewenste ontwikkelingen in onderzoek en het simuleren van de hydrologische werking van kleinschalige regenwatervoorzieningen.

6. Aanbevelingen voor de (stedelijk) waterbeheerder.

Om de kansen van groene daken voor het waterbeheer beter te benutten, biedt dit laatste hoofdstuk inzicht in keuzes en overwegingen voor de beoogde hydrologische werking en de gewenste effectiviteit.

1. Opbouw en onderhoud

Benamingen

De formele benaming voor groene daken is 'begroeide daken'. Internationaal zijn namen gangbaar als 'grüne Dächer', 'green roofs', 'toits verts', 'tetti verdi' of 'gröna tak'. Daarom spreken we in deze publicatie over 'groene daken'. Er zijn ook 'blauwe' daken, daken zonder vegetatie die neerslag kunnen vasthouden. Daken waarop energie wordt opgewekt, heten ook wel 'gele' daken. En witte daken, ook wel 'cool roofs' genoemd, die letterlijk wit of licht van kleur zijn, beperken de opwarming van de bebouwde omgeving.

Soorten groene daken

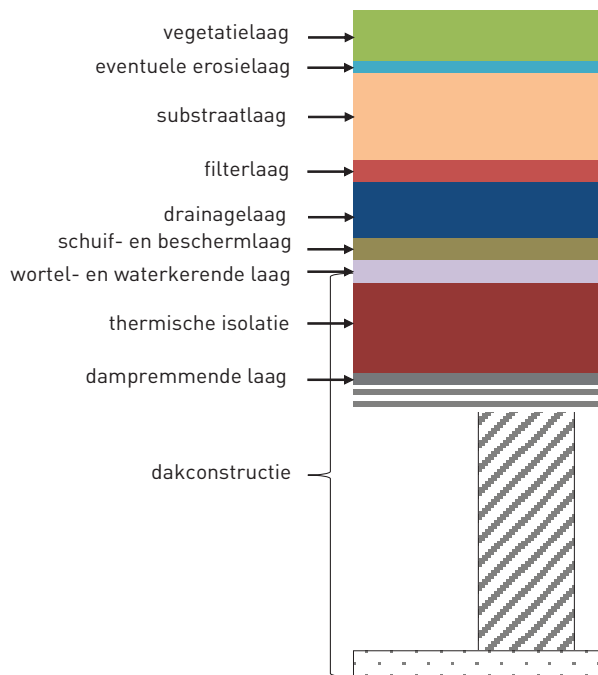
Er zijn twee soorten groene daken:

1. Extensief begroeide daken is een verzamelnaam voor sedum-, gras-, mos- en kruidendaken. De dikte van de groendakopbouw bedraagt maximaal 150 mm en de hoogte van de begroeiing maximaal 500 mm. Deze begroeiing ontwikkelt zich tot een min of meer ecologisch stabiele plantengemeenschap, die zichzelf in stand kan houden met een minimum aan onderhoud.
2. Intensief begroeide daken hebben een opbouwhoogte van meer dan 150 mm dikte. De begroeiing bestaat uit struiken en bomen, eventueel in combinatie met gazon en/of bodembedekkers. Voor instandhouding van de beplanting is (uitgebreid) onderhoud noodzakelijk, zoals water geven, snoeien, bemesten en onkruid wieden.

Deze publicatie gaat vooral over platte en hellende extensief begroeide daken (formele benaming), die we verder groene daken noemen.

Opbouw van groene daken

Groene daken zijn opgebouwd uit meerdere lagen die gezamenlijk bijdragen aan de functies van het dak. Afbeelding 2 geeft een voorbeeld van de opbouw van een gangbaar groen dak. Hierop zijn vele variaties mogelijk. Zo kunnen meerdere functies in hetzelfde fysieke element van de dakopbouw worden gecombineerd, bijvoorbeeld de filter- en drainagelaag.



Afbeelding 2 - Schematische opbouw van een groen (warm) dak

De functionele lagen zijn van boven naar beneden:

- **Vegetatielaag**

De planten die op het dak groeien, vormen de vegetatielaag. Mogelijke typen vegetatie zijn: mos, sedum, grassen, kruiden en varens. Naast monoculturen met bijvoorbeeld alleen sedum of grassen is 'biodiverse vegetatie' mogelijk met een combinatie van vegetatietypen. Het meest geschikt zijn vegetatietypen die zonder specifiek onderhoud op het dak kunnen overleven. De beperkte substraatdikte is niet geschikt voor lage planten, heesters en bomen.

De dakvegetatie is op drie manieren aan te brengen: met vooraf gekweekte matten of kratten, door plantjes in het substraat te planten of door het substraat in te zaaien. Bij de aanleg met vooraf gekweekte (sedum)matten of kratten spoelen in de beginjaren minder nutriënten uit.

- **Erosielaag**

Als de vegetatielaag bij het inplanten of inzaaien nog niet is volgroeid, is bij hellende of windgevoelige daken een erosielaag nodig. Deze bestaat meestal uit een wapeningsnet of vlies. In de loop van de eerste twee jaar neemt de vegetatie de functie over van de erosielaag.

- **Substraatlaag**

Deze laag biedt houvast en voeding aan de vegetatie. De samenstelling is heel divers en kan bestaan uit minerale gesteenten met open poriën (lava, bims, kies, split, tufsteen, geëxpandeerde klei of leisteen), gerecyclede materialen (gebroken baksteen of dakpan, industriële slakken, kunststoffen, rubbers, schuimachtige kunststoffen en organische stoffen (turf, compost, pot- of tuinaarde). Het substraat kan ook deels of geheel bestaan uit de oorspronkelijke, lokale bodem.

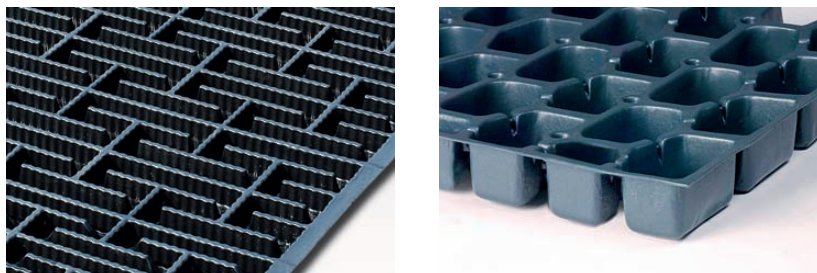
De keuze voor het soort substraat wordt bepaald door de waterdoorlatendheid, de gewichtsbelasting, de beschermende werking voor de dakconstructie en de geschiktheid voor het vegetatietype. Het vegetatie- en substraattype moeten op elkaar zijn afgestemd. Zo moet het substraat voldoende water vasthouden, zodat de toegepaste vegetatie droge perioden kan overleven.

- **Filterlaag**

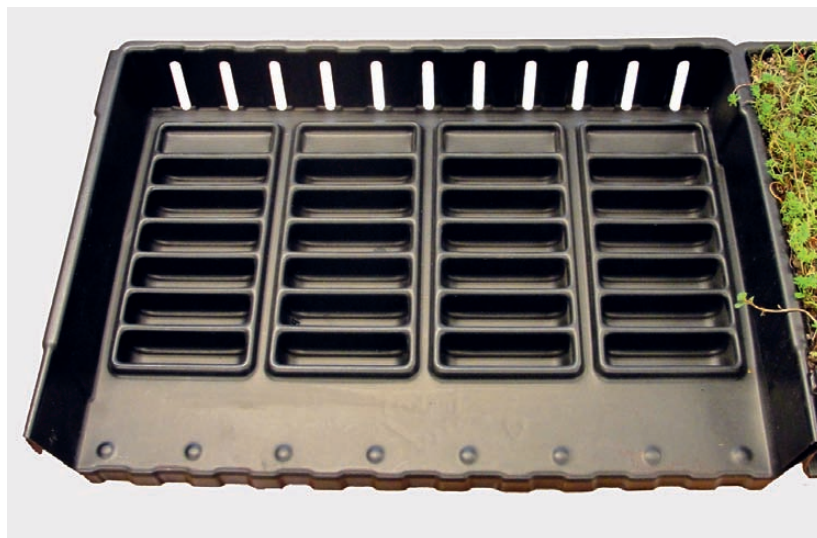
De filterlaag voorkomt dat deeltjes uit de substraatlaag de drainagelaag (zie hieronder) verstopen. Deze laag bestaat meestal uit een geperforeerde kunststof doek of geweven vlies.

- **Drainagelaag**

De drainagelaag vangt water uit het substraat op en voert het af naar de dakuitlaten. Om volledige verzadiging van het substraat te voorkomen, is bij een klein dakafschot een drainagelaag nodig. Bij volledige verzadiging van het substraat is de kans op oppervlakkige afstroming groot, waardoor substraat en vegetatie kunnen wegspoelen. De drainagelaag beperkt dit risico. Ook voorkomt de drainagelaag aantasting van de plantenwortels als het substraat te lang te nat blijft. Daken met een helling groter dan 3° zijn te realiseren zonder drainagelaag, maar moeten dan wel een erosiebescherming hebben zodat het substraat niet wegspoelt. De drainagelaag kan bestaan uit poreuze materialen, zoals steenwol, kunststof matten of drainage-elementen van kunststof, of gerecyclede materialen. De drainage-elementen kunnen holle ruimten hebben waarin zij water vasthouden dat alleen door verdamping weg kan. Of de elementen zijn zo zijn gevormd dat zij de afvoer naar de dakuitlaten vertragen



Afbeelding 3 - Voorbeeld afvoervertragend element (links) en element met holle ruimten om water vast te houden (rechts) in de drainagelaag (foto's Optigroen)



Afbeelding 4 – Dakelement voor hellend dak, ter voorkoming van afschuiving substraat (foto Ecopan)

(zie de voorbeelden in afbeelding 3).
Het volume aan holle ruimten in deze laag bepaalt hoeveel water is af te voeren.

De dakuitlaat is functioneel vaak onderdeel van de drainagelaag. De uitvoering van de dakuitlaat is van belang voor:

1. De beschikbaarheid van vocht voor de vegetatie: door de dakuitlaat iets hoger te plaatsen dan het dakoppervlak, kan een deel van de neerslag niet afvoeren. Dit water kan de

vegetatie opnemen of kan direct verdampen. Dit helpt de ontwikkeling van vegetatie en vergroot de kans op het overleven in droge perioden.

2. De waterretentie op het dak: de afvoer is met een knijpconstructie in de dakuitlaat te vertragen of met sturing te regelen. Hierdoor kan het dak het water langer vasthouden en gecontroleerd afvoeren (zie ook de voorbeelden in afbeelding 7 op bladzijde 13).
Om verstopping van dakuitlaten te voorkomen, beschermen korven en putten de uitlaten en liggen langs de dakranden vaak grindstroken zonder vegetatie. Deze grindstroken dienen ook tegen brandoverslag en voor beheersing van de vegetatie.

• Schuif- en beschermlaag

Onder de drainagelaag, of als die ontbreekt onder het substraat, zit een schuif- en beschermlaag. Deze beschermt het dak tegen mechanische beschadigingen:

- bij en na ijsvorming;
- bij het belopen van het dak;
- bij onderhoudsactiviteiten.

Met een helling tot 45° zijn daken te vergroenen. Bij een dakhelling van meer dan circa 14° is bescherming tegen afschuiven nodig met elementen zoals in afbeelding 4.

• Wortelwerende laag

De wortelwerende laag beschermt de onderliggende dakconstructie tegen binnen- of doordringen van plantenwortels naar onderliggende onderdelen. Veel kunststof dakbedekkingen zijn tegen doorworteling bestand. Wortelwering en waterkering (zie hieronder) zijn samen in één materiaal uit te voeren.

- **Waterkerende laag**

De waterkerende laag voorkomt lekkage naar de onderliggende dakconstructie. Deze laag bestaat in het algemeen uit bitumineuze of kunststof materialen. De waterkerende laag en de onderliggende dakconstructie behoren tot de gebouwconstructie.

- **Dakconstructie**

De dakconstructie onder de waterkering draagt het gewicht van het dak en zorgt voor warmte-isolatie. Deze constructie is gemaakt van materialen als hout, staal, beton, steen of kunststof-gerelateerde materialen.

De dakconstructie moet het eigen gewicht van het dak én extra belastingen kunnen dragen, zoals windbelasting en sneeuwlast.

Bij een dak zonder gebruiksfunctie waarop zich geen personen zullen ophouden anders dan voor onderhoud, moet rekening worden gehouden met een extra gewicht van 10 kg/m², voor (platte) daken met gebruiksfunctie is dit circa 250 kg/m².

Bij een groen dak moet rekening worden gehouden met het gewicht van een waterlaag (minimaal) tot aan het niveau van de noodafvoer. Het gewicht van het groene dak (opbouw en water) varieert van circa 50 kg/m² tot meer dan 100 kg/m².

Bij vergroening van bestaande daken is door het vervangen van dakpannen of een ballastlaag van grind of tegels, het eigen gewicht te verminderen met dat van de betonpannen (circa 50 kg/m²) of ballastlaag (minimaal 60 kg/m²).

De dakconstructie moet voldoen aan de regels in het Bouwbesluit en de daarin genoemde NEN-normen voor (wind)belastingen en vervormingen. Het kan noodzakelijk zijn om de draagkracht te vergroten door de constructie aan te passen.

Beheer en onderhoud van groene daken

Beheer en onderhoud van groene daken bestaan uit:

- jaarlijkse visuele inspectie van de vegetatie, afdichtingen, doorvoeren en afvoeren;
- het verwijderen van ongewenste vegetatie, zoals zaailingen van bomen en vegetatie in grindstroken bij dakuitlaten.

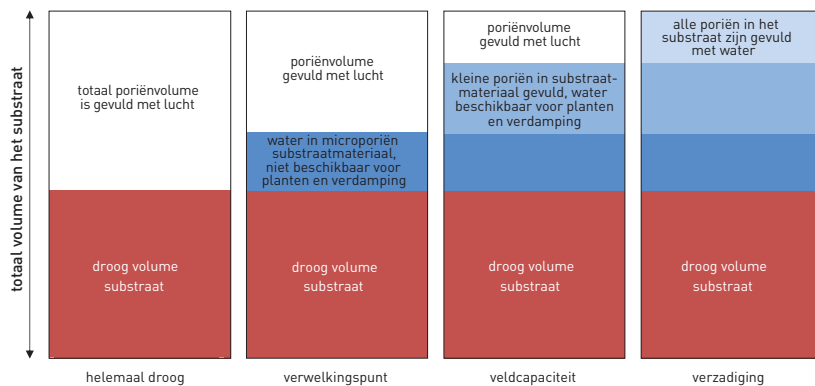
Bij de aanleg door inplanten of inzaaien is in de eerste twee jaar meer risico op verwaaiing van substraat en meststof dan met vooraf gekweekte matten of kratten. Dan is het beter om frequenter te onderhouden. Bij intensieve daken is sowieso vaker onderhoud nodig.

Meestal is het niet nodig om een groen dak water of mest te geven. Perioden van waterschaarste voorkomen namelijk ongewenste veranderingen in de vegetatie. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld snelgroeiende grassen niet domineren over de droogteresistente vegetatie. Op volgroeide dakvegetatie kunnen meststoffen bovendien ook leiden tot ongewenste ontwikkeling van de vegetatie en tot een slechtere kwaliteit van het afstromende regenwater. Alleen als een groen dak is aangelegd door inplanten of inzaaien, kunnen de eerste twee jaar af en toe water en mest nodig zijn voor een goede ontwikkeling van de vegetatie. Hiervoor is een langzaam werkende bemesting te gebruiken, afgestemd op de vegetatie.

2. Hydrologische werking

De belangrijkste processen die de hydrologische werking van groene daken bepalen, zijn:

- waterberging;
- verdamping;
- dakafvoer.



Afbeelding 5 – Vier toestanden van het vochtgehalte in het substraat

Dit hoofdstuk licht deze processen en het effect daarvan op hydrologische werking toe.

Waterberging in substraat

Voor een goed begrip van de waterberging van groene daken onderscheiden we vier toestanden van vochtgehalten van het substraat:

1. helemaal droog: het substraat bestaat uit alleen droge massa, alle poriën zijn gevuld met lucht;
2. verwelkingspunt: het resterende aandeel water in het substraat dat onder normale omstandigheden niet verdampt of door de dakbegroeiing (vegetatie) uit het substraat is te halen;
3. veldcapaciteit: het aandeel water dat na uitlekken van een verzadigd substraat blijft hangen;
4. verzadiging: alle poriën in het substraat zijn helemaal gevuld met water.

De (statische) waterberging van het substraat (de substraatberging) is gelijk aan het verschil in de hoeveelheid water bij veldcapaciteit en bij het verwelkingspunt. Dit is afhankelijk van het soort en de dikte van het substraat. Hydrologisch is de waterberging tussen verwelkingspunt en veldcapaciteit van belang. Onderzoeken laten een variatie van het vochtgehalte bij veldcapaciteit zien van 20 tot circa 45%, met uitschieters tot meer dan 60%, en een vochtgehalte bij het verwelkingspunt van circa 15%. Naarmate de substraatlaag dikker is, houdt de laag relatief minder water vast.

Verdamping

De verdamping via de dakvegetatie bepaalt voor

FLL-Dachbegrünungsrichtlinie

De FLL-Dachbegrünungsrichtlinie (laatste uitgave 2008) geldt internationaal als standaardwerk. Volgens de FLL-Dachbegrünungsrichtlinie is de maximale watercapaciteit het verschil in gewicht van een substraat dat eerst 24 uur is ondergedompeld en daarna 2 uur is uitgelekt en het gewicht van hetzelfde substraat dat bij 105°C (in een oven) is gedroogd. Dit gewicht is inclusief het watervolume in het substraat onder het verwelkingspunt, dat onder normale omstandigheden niet vrijkomt. In veel productinformatie en folders is de waterberging in het product gelijkgesteld aan de maximale watercapaciteit bepaald volgens de FLL-richtlijn. Deze berging is te groot om de hydrologische effecten te kunnen bepalen en dus niet geschikt voor de berekening daarvan.

een groot deel hoe lang het duurt voordat de waterberging in het substraat na een bui weer beschikbaar is. Kruiden en grassen hebben een grotere verdampingsfactor dan sedum. Toch wordt op begroeide daken vaak sedum gebruikt, omdat dit onder moeilijke, droge omstandigheden langer overleeft dan andere vegetatie. Behalve de substraatlaag kan ook de drainagelaag water vasthouden. De vegetatie kan dit water via plantenwortels benutten of het water kan indirect vanuit de drainagelaag verdampen. Deze verdamping is minder groot dan vanuit het substraat, dus deze berging komt minder snel beschikbaar.

Hoe kleiner de waterberging in de substraat- en drainagelaag is, des te kleiner is de overlevingskans van kruiden en grassen op het dak. Als de vegetatie eenmaal is gestorven, wordt de verdamping van het dak gereduceerd tot de directe verdamping uit het substraat. Voor de hydrologische werking van een groen dak is dus niet alleen de verdamping van het vegetatietype van belang, maar ook de overlevingskans van de vegetatie tijdens droge perioden.

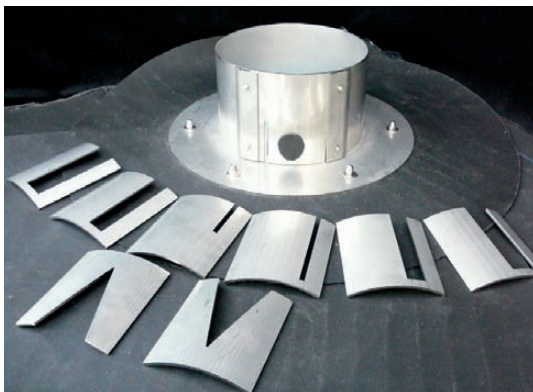


Afbeelding 6 - Karakteristieke verschillen in typen dakafvoer

Dakafvoer

De dakafvoer zorgt voor de lediging van de drainagelaag. Om het water (tijdelijk) achter te houden, zijn in grote lijnen drie typen dakafvoer mogelijk: vertraagd, begrensd en gestuurd (zie afbeelding 6).

Met gestuurde afvoer is op de meest optimale manier water vast te houden en op het juiste moment af te voeren. Het dakwater is precies op het moment dat er voldoende ontvangst-

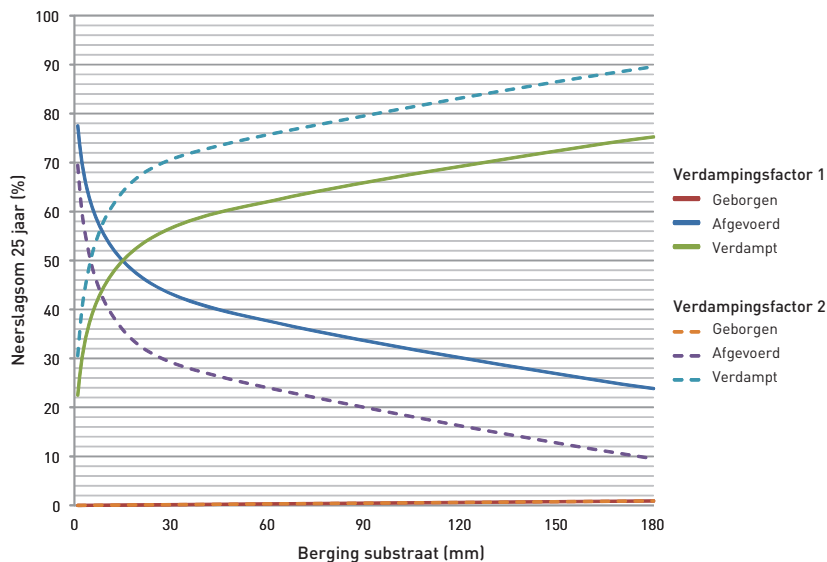


Afbeelding 7 – Elementen om afvoer bij de dakuitlaat te reguleren door afvoervertraging (links, foto BetonRestore) of door sturing met overloop (rechts, foto Polderdak © Merlijn Michon)

capaciteit beschikbaar is in de riolering of een watersysteem te lozen. Riolering, met een gemiddelde ledigingstijd tot 24 uur, zal eerder voldoende ontvangstcapaciteit hebben dan een oppervlaktewatersysteem. In een polder kan het bijvoorbeeld dagen duren voordat het streefpeil weer is bereikt.

Daarnaast is de dakafvoer af te stemmen op de weersverwachtingen. Bijvoorbeeld door water (op een waterdak) vast te houden in een hitteperiode en aan de vooravond van extreme buien juist af te voeren. Afbeelding 7 (rechts) geeft een voorbeeld van een gestuurde dakafvoer, waarmee het moment van afvoer en het waterniveau op het dak met een klep zijn te regelen.

Een begrensde afvoer topt het debiet af op een maximum om een zo gelijkmatig mogelijke afvoer te realiseren. Maar dit type begrenzer is niet zo eenvoudig te realiseren.



Afbeelding 8 – Effect verdamping bij variërende waterberging in substraat, verdampingsfactor 1 en 2

Een vertraagde afvoer vermindert wel de piekafvoer, maar een groot deel van het watervolume is vaak al relatief snel afgevoerd. Dat betekent dat ontvangende systemen zoals riolering en oppervlaktewater nog belast kunnen worden op een ongunstig, ongewenst moment. Afbeelding 7 (links) laat enkele elementen die de afvoer op verschillende manieren kunnen vertragen. De wijze waarop de dakuitlaten zijn uitgevoerd en eventueel worden geregeld, is dus van grote invloed op de dakafvoer en de hydrologische effecten van een groen dak. Daarnaast kan de afvoer van een dak natuurlijk ook onbelemmerd zijn.

Hemelwater- en noodafvoer

De hemelwaterafvoer van dakuitlaat, dakgoot en standleiding moeten bij onbelemmerde afvoer gedimensioneerd worden op een neerslagintensiteit van 300 l/s/ha (volgens NEN3215). Voor groene daken gelden volgens de NEN reductiefactoren.

Bij het regelen van de dakafvoer zijn de debieten veel kleiner en kan zich een flinke waterlaag op het dak opbouwen. Naast de hemelwaterafvoer moet een dak daarom noodafvoeren (nooduitlaten) hebben die een neerslagintensiteit van ten minste 470 l/s/ha kunnen afvoeren (volgens NEN-EN 1991-1-3+C1). Deze eis is gesteld vanuit constructieve veiligheid voor de (nood)situatie dat de dakuitlaten verstopt zijn geraakt.

Effect substraatberging en verdamping

De verdamping uit het substraat is een belangrijk proces in de werking van een groen dak. Het effect hiervan is met twee neerslagreekssimulaties berekend. Hierbij is de substraatberging (zonder drainagelaag) als reservoir geschematiseerd waarop het regent en van waaruit het regenwater alleen kan verdampen. Als het reservoir vol raakt, loopt het water over naar de dakuitlaat.

Voor de verdamping is gerekend met de Penman-



Afbeelding 9 – Bij geringe substraatdikte verdampt al veel neerslag

maandverdamping volgens de Leidraad riolerings (module C2100, Hydraulisch functioneren rioolstelsels) en met een verdubbeling daarvan (verdampingsfactor 2). Het rekenen met een twee keer grotere verdamping maakt de invloed op de verhoudingen verdampt en afgevoerd duidelijk en het laat het te verwachten effect zien van een vegetatietype met een grotere verdamping. De waterberging in het substraat varieert van 1 tot 150 mm. In afbeelding 8 is het effect op de verhoudingen verdampte en afgevoerde neerslag te zien. De geborgen hoeveelheid neerslag is nihil. Afbeelding 8 laat zien dat een 'bewering' dat 50% van alle neerslag op een groen dak verdampt, heel goed mogelijk is. 90% is praktisch niet realistisch, tenzij het gaat om intensieve daken met een flink dikke substraatlaag of extensieve daken met een aanzienlijke waterberging in de drainagelaag.

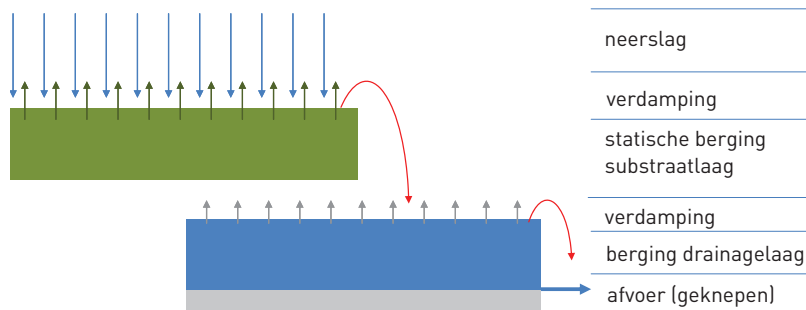
Bij een waterberging van 1 mm verdampt in 25 jaar 20 tot 30% van de neerslag, omdat veel

neerslag in 'buien' kleiner dan 1 mm valt. Verder blijkt dat het fors vergroten van de substraatberging niet betekent dat geen regenwater meer tot afvoer komt.

Bij korte, hevige buien is het effect van de verdamping relatief klein. In de wintermaanden is de verdamping nihil. In een natte periode (met opeenvolgende buien) is de berging niet altijd volledig beschikbaar. Daarom kan niet alle neerslag worden vastgehouden en verdampen.

Modelsimulatie groene daken

Met modelsimulaties is het mogelijk gerichtere uitspraken te doen over de hydrologische effecten van diverse uitvoeringen van groene daken over lange perioden en bij extreme buien. De belangrijkste elementen (substraat- en drainagelaag) en processen (waterberging, verdamping en dakafvoer) zijn uitgewerkt in een meervoudig reservoir-model (zie afbeelding 10).



Afbeelding 10 – Vereenvoudigde schematisering functioneren groen(blauw) dak

- **Neerslag**

Dit kunnen afzonderlijke buien of een neerslagreeks zijn.

- **Verdamping vanuit substraatlaag**

Uit het substraat: via de vegetatie en direct vanuit het substraat.

- **Statische berging in substraatlaag**

Dit is de waterberging in het substraat tussen veldcapaciteit en verwelkingspunt. Dit water is alleen af te voeren door verdamping uit het substraat.

- **Overloop vanuit de substraatlaag naar de drainagelaag**

Als de statische berging van het substraat is gevuld en er meer neerslag valt, gaat het substraat afvoeren (overlopen) naar de berging in de drainagelaag.

- **Verdamping vanuit drainagelaag**

Uit berging drainagelaag (veel kleiner dan vanuit bovenliggende substraat).

- **Berging in drainagelaag**

De waterberging in de drainagelaag. Deze berging is te ledigen door verdamping en door een (gereguleerde) dakafvoer.

- **Afvoer (geregeld)**

De afvoer vanuit de drainagelaag kan onbelemmerd, vertraagd, begrensd en/of gestuurd plaatsvinden. In de gebruikte schematisering betekent een begrensde afvoer dat deze tot een vaste waarde is gemaximeerd (dus geen relatieve begrenzing van de afvoer).

- **Overloop vanuit substraatlaag**

Voor de constructieve veiligheid moet elk (groen) dak voorzien zijn van een nooduitlaat.

De dynamische berging van het substraat (tussen veldcapaciteit en verzadiging), de doorlatendheid van het substraat en de afstromingsvertraging van het dak zijn bij de simulaties buiten beschouwing gelaten. De effecten daarvan spelen geen rol van betekenis in de gemaakte vergelijkingen.

De toepasbaarheid van dit meervoudig reservoir-model is globaal getoetst aan de praktijkmetingen van het experimentendak op het gebouw van het NIOO-KNAW. Uit deze metingen blijkt dat het functioneren van een substraat bruikbaar is te vereenvoudigen tot een bergingsreservoir dat wordt geleidigd door verdamping en dat gaat afvoeren als de berging vol is. In het model is geen vertraging van de neerslagafvoer door het substraat berekend. Uit de praktijkmetingen blijkt dat dit effect verwaarloosbaar klein is.

Geheel van processen

De hydrologische werking van een groen(blauw) dak is alleen te bepalen als het geheel van de processen van verdamping, waterberging in substraatlaag en drainagelaag, en dakafvoer. Dus niet op basis van de werking van de afzonderlijke onderdelen van een groen dak. Diverse onderzoeken wijzen dit ook uit.

3. Modelsimulaties functioneren

Om meer inzicht in de hydrologische effecten van groene daken te krijgen, hebben we het functioneren in drie verschillende situaties onderzocht:

1. Een groen dak afgekoppeld naar een achtertuin met waterberging op het grasveld.
2. Een groen dak afgekoppeld naar een achtertuin met overlopen aangesloten op de riolering.
3. Combinatie van traditionele en groene daken in een wijk aangesloten op de riolering.

Het effect van een groen dak staat niet los van de omgeving. De onderzochte situaties 1 en 2 laten daarom simulaties van groene daken op perceelniveau zien. Dit geeft een beeld van het effect op het aandeel neerslag dat verdampt, in de bodem infiltreert en afvoert via het riool naar rioolwaterzuivering of oppervlaktewater.

Situatie 3 brengt de effecten in beeld van de toepassing van groene daken op grotere schaal in een wijk. Welk aandeel van de neerslag voert af naar riolering en rioolwaterzuivering, via overstorten? En wat is het effect hiervan op de frequentie en duur van water op straat?

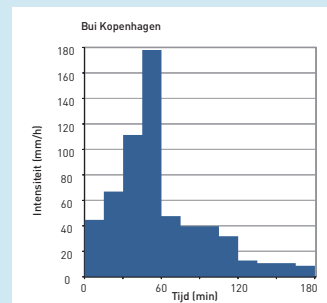
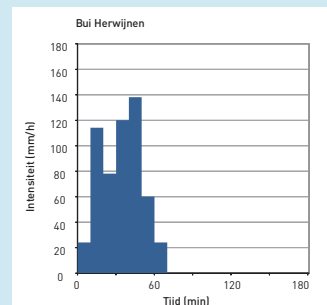
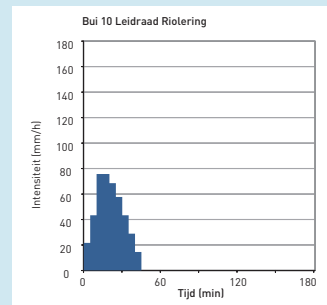
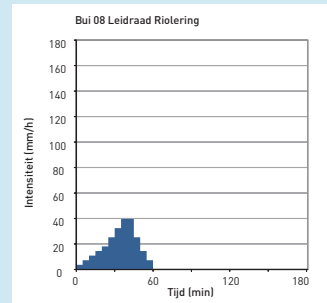
Bij de modelsimulaties hebben we de gevoeligheid van relevante kenmerken van groene daken onderzocht in samenhang met andere infiltratievoorzieningen op een perceel. De resultaten van de simulaties zijn per situatie gepresenteerd in de vorm van de totale waterbalans van een systeem.

De modelsimulaties zijn uitgevoerd met het programma RainTools, een meervoudig reservoirmodel om het functioneren van regenwatersystemen sterk vereenvoudigd geschematiseerd door te rekenen met neerslagreeksen en individuele buien. Het groenblauwe dak is geschematiseerd tot twee reservoirs: een substraatlaag en een drainagelaag. De substraatlaag is een reservoir dat kan bergen en verdampen. De drainagelaag is een reservoir dat kan verdampen, bergen en gereguleerd afvoeren. De infiltratievoorziening en het terras zijn ook geschematiseerd tot twee reservoirs. De infiltratievoorziening bestaat uit een box en een omhullende grondverbetering. Het terras bestaat uit een doorlatende toplaag en een grondverbetering. Het grasveld is geschematiseerd tot een enkelvoudig reservoir met een doorlatende bodem en een overloop naar het openbare gebied.

Voor de analyses zijn de volgende neerslagbelastingen gebruikt:

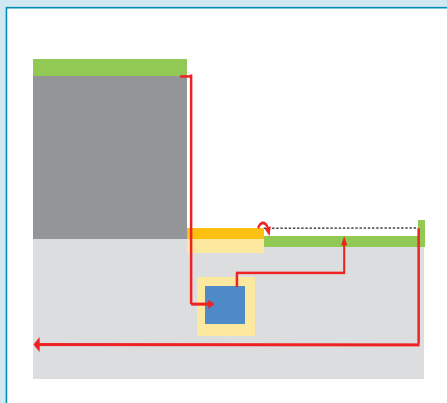
- De 15-minutenneerslagreeks De Bilt 1955-1979.
- Bui08 en bui10 uit de Leidraad riolering, module C2100 Hydraulisch functioneren rioolstelsels.
- Extreme bui Herwijnen, 94 mm in 70 minuten, gevallen op 28 juni 2011.
- Extreme bui Kopenhagen, 155 mm in 180 minuten, gevallen op 2 juli 2011.

Voor de verdamping is gerekend met de (Penman-)maandverdamping uit de Leidraad riolering (module C2100).



Situatie 1

Groen dak afgekoppeld naar achtertuin met berging



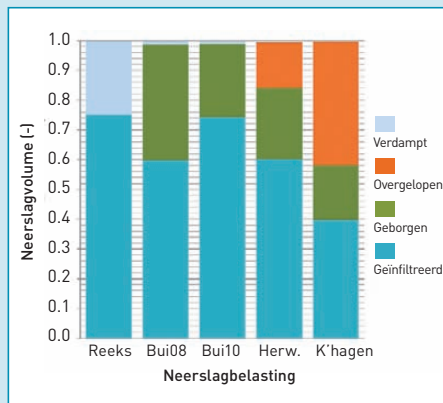
Situatie dak

- dakoppervlak 100 m²
- substraatberging 20 mm
- berging drainagelaag 50 mm
- dakafvoerbegrenzing 1,8 mm/h, 5 l/s/ha.

Situatie achtertuin

- terrasoppervlak 50 m²
- doorlatendheid terras 5,2 mm/h
- tuinoppervlak 100 m²
- berging grasveld 100 mm
- inhoud voorziening 0,4 m³
- doorlatendheid grond 1 m/dag.

Het dak loopt over naar de voorziening. Terras en voorziening lopen over naar het gras. De achtertuin loopt over naar het openbare gebied.

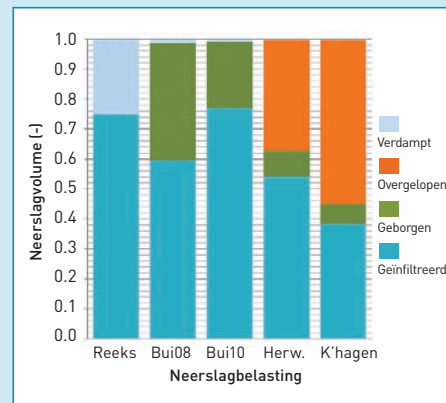


Sim 0: uitgangssituatie, maximaal afgekoppeld

Het dak en de achtertuin van het perceel kunnen zware buien zoals bui08 en bui10 prima verwerken. Bij de reekssimulatie De Bilt 1955-1979 loopt dit systeem niet over naar het openbare gebied.

Alleen bij de zeer extreme buien Herwijnen en Kopenhagen loopt het perceel over.

Opvallend is dat de verdamping in de reeks bijna 25% bedraagt en bij de zware en extreme buien vrijwel wegvalt.

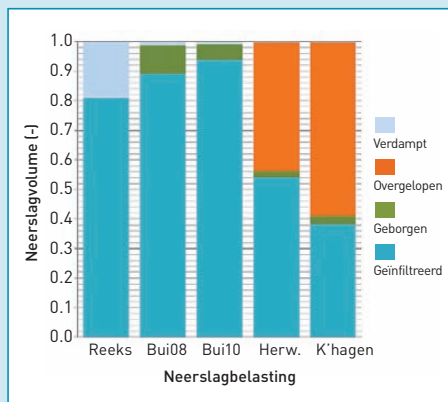


Sim 1: geen dakafvoerbegrenzing bij het groene dak

Op de resultaten van de reeks, bui08 en bui10 heeft het weglaten van de dakafvoerbegrenzing vrijwel geen effect. De verdamping neemt niet af, omdat de afvoervertraging daar nauwelijks effect heeft op de duur dat het water kan verdampen.

Bij de zeer extreme buien Herwijnen en Kopenhagen is wel een effect zichtbaar. Het overloopvolume bij bui Herwijnen neemt toe van 15 naar 37%, bij bui Kopenhagen van 41 naar 55%.

Via de voorziening en het terras loopt meer water over naar de tuin, waar dit niet allemaal direct kan infiltreren. De overloop naar het openbare gebied neemt dus toe.

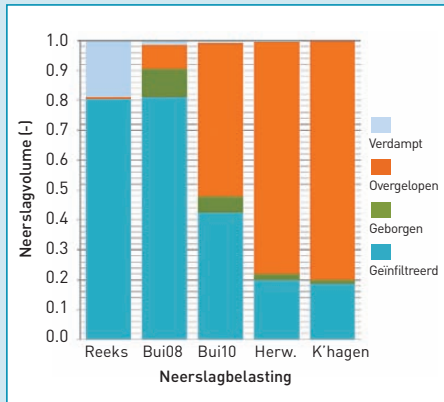


Sim 2: geen dakafvoerbegrenzing, substraatbergung dak verkleind van 20 naar 5 mm

Bij de buien Herwijnen en Kopenhagen loopt nu meer water over naar het openbare gebied. Bij de reeks, bui08 en bui10 loopt geen water over.

In het reeksresultaat is ook te zien dat volgens verwachting 5% minder water verdampt, omdat de substraatbergung kleiner is.

In de volgende simulaties is voor het groene dak gerekend met een substraatbergung van 5 mm en zonder dakafvoerbegrenzing.

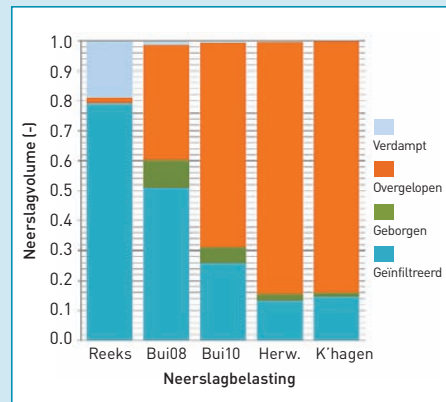


Sim 3: bergung op grasveld verkleind van 100 naar 20 mm

Deze verkleining van de bergung op het grasveld heeft grote invloed op het functioneren van de achtertuin. Bij alle buien en de reeks loopt het systeem over naar het openbare gebied.

Bij alle buien infiltreert minder regenwater via het grasveld, omdat het reservoir van waaruit het water kan infiltreren kleiner is.

Het overloopreducerende effect van het groene dak is aanzienlijk kleiner dan van het grasveld.



Sim 4: bergung op grasveld verkleind van 20 naar 5 mm

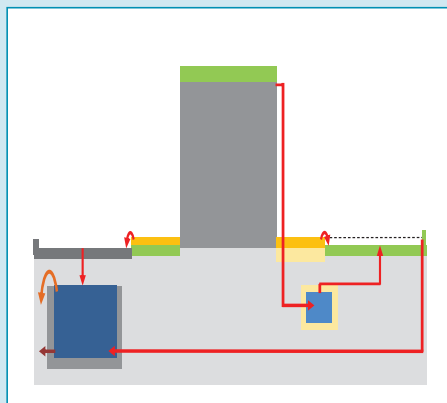
Verdere verkleining van de bergung op het grasveld werkt sterk door in een grotere overloop naar het openbare gebied.

Logischerwijs infiltreert nu nóg minder regenwater, omdat de beschikbare bergung op het grasveld nog veel kleiner is.

Het reeksresultaat laat ook een toename van het overloopvolume zien van 0,5 naar 1,0%.

Situatie 2

Groen dak afgekoppeld naar achtertuin, overloop naar riool



De gegevens van dak en achtertuin zijn gelijk aan het vorige voorbeeld

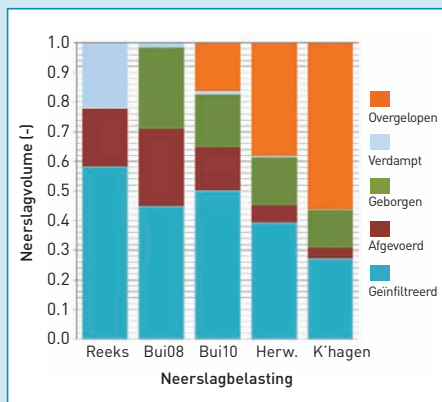
Situatie perceel

- gegevens achtertuin gelijk
- oprit 25 m²
- doorlatendheid oprit 5,2 mm/h
- grasveld voortuin 25 m²
- berging grasveld 100 mm

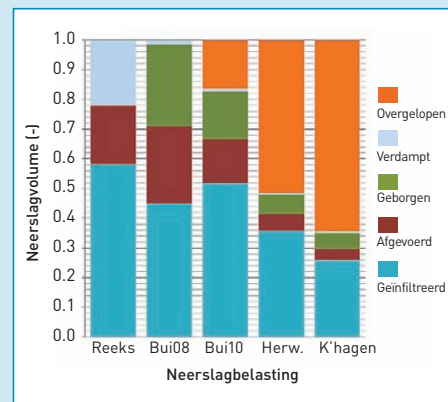
Situatie openbaar gebied

- gesloten straatoppervlak 100 m²
- berging in riool 9 mm
- pompcapaciteit 0,7 mm/h.

De voorzijde van het perceel loopt over naar de straat en de achterzijde naar het riool. Het riool voert af naar de RWZI en loopt over naar open water.



Sim 0: uitgangssituatie, maximaal afgekoppeld



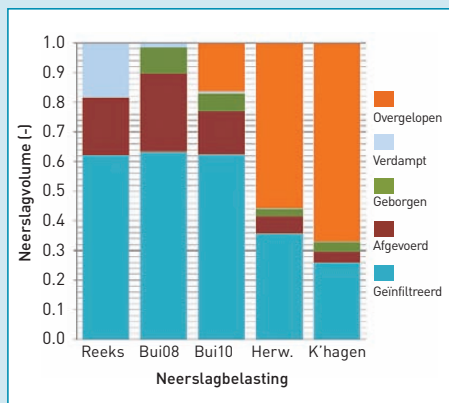
Sim 1: geen dakafvoerbegrenzing bij het groene dak

In de uitgangssituatie is het perceel zo effectief afgekoppeld dat het riool in de reeksberekening vrijwel niet overloopt. Ten opzichte van het direct aangesloten straatoppervlak heeft het rioolstelsel (na afkoppelen), een berging van 22,5 mm en een ledigingscapaciteit van 1,75 mm/h.

Bui08 loopt niet over, maar bui10, Herwijnen en Kopenhagen wel. De waterbalans van de reeks laat zien dat 20% van de neerslag tot afvoer komt, 20% verdampst en bijna 60% in de grond infiltreert.

In de waterbalans van de reeks is het effect van het weglaten van de dakafvoerbegrenzing nauwelijks zichtbaar. Dit komt omdat het overloopvolume van het systeem al erg klein is.

Bij de zeer extreme buien Herwijnen en Kopenhagen is het effect wel te zien. Het overloopvolume bij bui Herwijnen neemt toe van 38 naar 52%, bij bui Kopenhagen van 56 naar 65%.

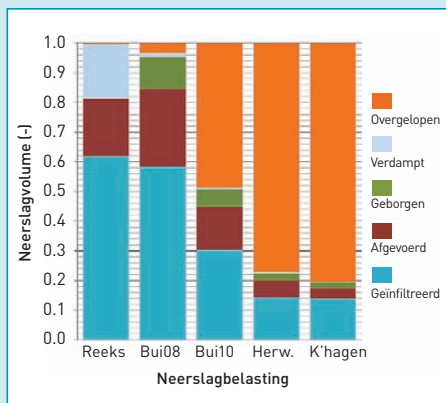


Sim 2: geen dakafvoerbegrenzing, substraatberging verkleind van 20 naar 5 mm

Bij de buien Herwijnen en Kopenhagen loopt nu meer water over naar het openbare gebied. Bij bui10 is het effect nauwelijks merkbaar.

In het reeksresultaat is vrijwel niet te zien dat minder water verdamppt, hoewel de substraatberging veel kleiner is. Het verkleinen van de substraatberging heeft op jaarbasis een relatief beperkt effect.

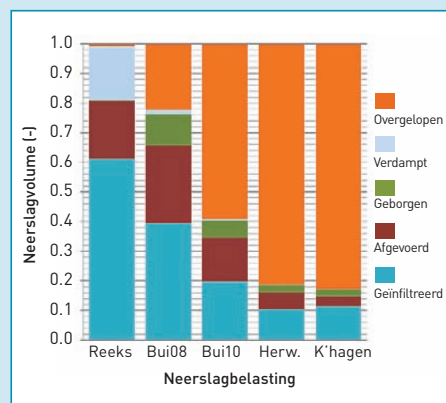
In de volgende simulaties is voor het groene dak gerekend met een substraatberging van 5 mm en zonder dakafvoerbegrenzing.



Sim 3: berging op grasveld verkleind van 100 naar 20 mm

Deze verkleining van de berging op het grasveld heeft een groot effect op de belasting op en het overlopen van het rioolstelsel. Bui08 loopt nu ook over.

In de waterbalans van de reeks is ook een grotere overloop van het rioolstelsel te zien.



Sim 4: berging grasveld verkleind van 20 naar 5 mm

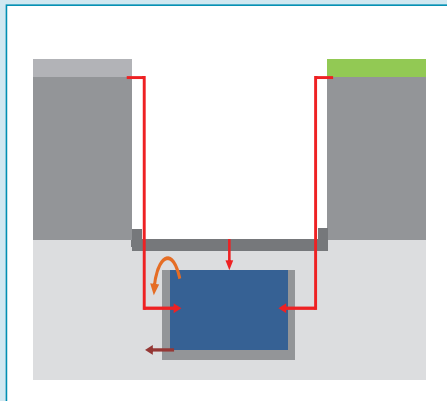
Verdere verkleining van de berging op het grasveld heeft bij de zeer extreme buien een beperkt effect op het overlopen van het rioolstelsel. Bij bui08 en bui10 is de toename groter.

In de waterbalans van de reeks zien we ook een kleine maar relevante toename van de overloop van het rioolstelsel.

Een substantiële berging in de tuin kan het overlopen en dus ook het overbelast raken van het rioolstelsel flink beperken.

Situatie 3

Groen dak in wijk aangesloten op de riolering



Traditioneel dak- en straatoppervlak

- berging 1 mm.

Groen dak

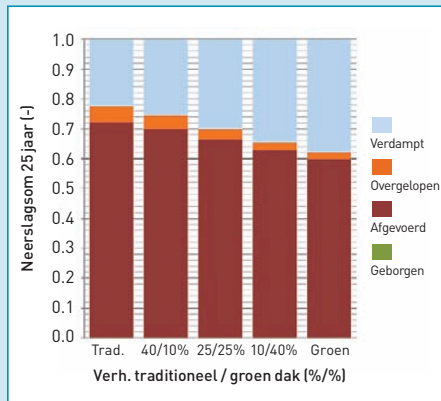
- substraatberging 20 mm
- berging drainagelaag 50 mm
- afvoerbegrenzing dak 1,8 mm/h.

Riool

- berging 9 mm
- pompcapaciteit 0,7 mm/h
- begrenzing overloopcap. 60 l/s/ha.

Afvoerend oppervlak

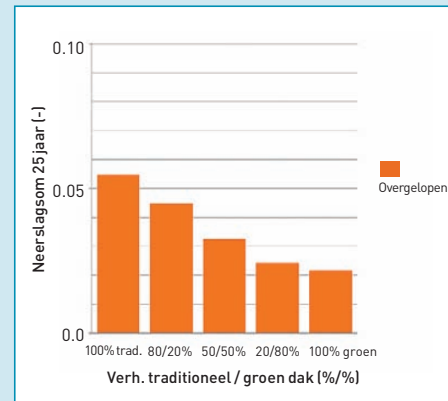
- dakoppervlak, 1000 m²
- wegoppervlak, 1000 m².



Sim 0: Verhouding traditioneel en groen dak variabel, simulatie met neerslagreeks

Uit voorgaande rekenvoorbeelden blijkt dat de begrenzing van de dakafvoer in samenhang met de forse berging in de drainagelaag een belangrijk ontlastend effect heeft op de werking van een rioolstelsel. Hier is het effect daarvan op wijkniveau gesimuleerd.

De verhouding traditioneel en groen dak is gevarieerd van 100% traditioneel in 3 tussenstappen naar 100% groen. Let wel: het gaat hier om voor de waterhuishouding zeer effectieve groene daken met een relatief grote berging en een effectieve aftopping van de dakafvoer.

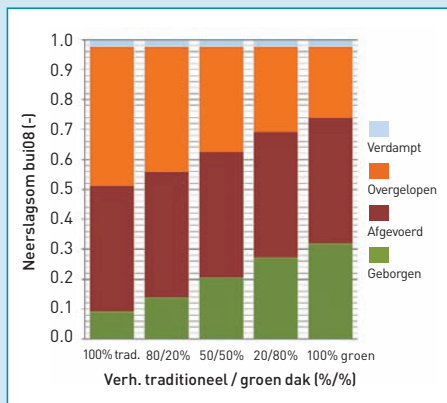


Overloopvolume met neerslagreeks

Een hoger percentage groene daken in de wijk zorgt voor meer verdamping (van 23 naar 38%) en minder afvoer naar de RWZI (van 72 naar 60%).

Het overloopvolume laat een relatief grote afname zien van 5,5% naar 2,2% bij volledig groene daken.

Alle percentages zijn gerelateerd aan het totale neerslagvolume over 25 jaar.

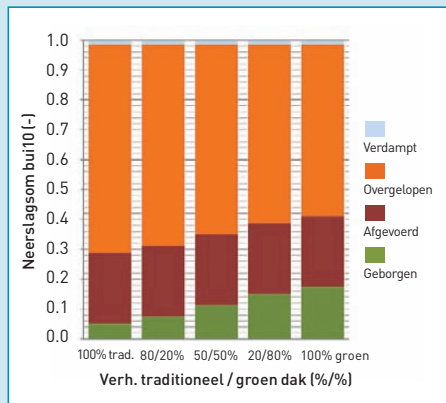


Sim 1: Verhouding traditioneel / groen dak variabel, simulatie met bui08

Bij 100% traditionele daken loopt ongeveer de helft van de bui over via de overstort van het rioolstelsel.

Bui08 uit de Leidraad Riolering heeft een volume van 19,8 mm in een uur en de neerslag op het dak wordt hier dus volledig geborgen in het substraat. Bij een aandeel van 100% groene daken betekent het, dat 50% van het afvoerende oppervlak in die situatie niet tot afstroming komt en het rioolstelsel dus niet overloopt.

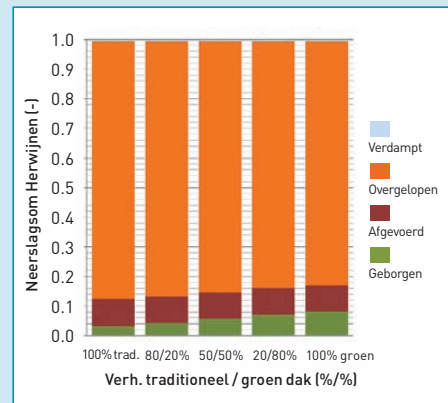
Bij korte buien is het aandeel van de verdamping relatief klein in vergelijking met de reeks.



Sim 2: Verhouding traditioneel / groen dak variabel, simulatie met bui10

Bij zwaardere buien wordt het aandeel van de verdamping relatief veel kleiner.

Bij de simulaties met de individuele buien is aangenomen dat de berging in het systeem leeg is, ook die in het substraat. Het effect van voorvulling van de substraatberging door opeenvolging van buien is hier niet in meegenomen.



Sim 3: Verhouding traditioneel / groen dak variabel, simulatie met extreme bui Herwijnen

Naarmate de buien extremer worden is het effect van de groene daken minder.

Toch neemt het overloopvolume van het rioolstelsel af van 88% voor een wijk met 100% traditionele daken naar 84% voor een wijk met 100% groene daken.

Nogmaals: het gaat hier om ruim gedimensioneerde groene daken. Bij daken met minder berging en zonder afvoerbegrenzing is dat effect aanzienlijk kleiner.

Wat leren we van het functioneren?

- Een relatief beperkte substraatberging (berging die door verdamping 'leegloopt') houdt op jaarbasis al een relatief grote hoeveelheid regenwater vast. Hierdoor vermindert de totale afvoer naar riolering en rioolwaterzuivering.
- De omvang van de substraatberging heeft invloed op de verdamping van regenwater. Toch zal ook bij een grote substraatberging en grote verdamping in de zomer bij hevige neerslag een deel tot afvoer komen. In de steeds nattere winters verdampt er heel weinig en is de substraatberging vrijwel continu helemaal vol. Het groene dak loopt dan bij vrijwel elke bui over.
- Waterberging in de drainagelaag met begrenzing van de dakafvoer tot een constant maximumdebiet heeft een gunstig effect op de reductie van de piekafvoer naar het rioolstelsel waarop het dak is aangesloten.
- Als onderdeel van een afgekoppeld perceel met infiltratievoorziening is de werking van een groen dak relatief beperkt, vooral bij zware en extreme buien. Met een verdiept grasveld of ondergrondse infiltratievoorziening is het verwerken van extreme neerslaghoeveelheden vaak eenvoudiger en goedkoper te realiseren. Dit geldt vooral voor gebieden met goed doorlatende grond.
- Buien zoals Herwijnen en Kopenhagen zijn zelfs voor een ruim gedimensioneerd afgekoppeld perceel lastig te verwerken.
- Een wijk volledig voorzien van ruim gedimensioneerde groene daken met een relevante substraatberging en een drainageberging met afvoerbegrenzing laat een duidelijk effect zien op het overloopvolume van het rioolstelsel bij zware buien en dus ook op de bijbehorende kans op water op straat. Bij extreme buien wordt dat effect veel kleiner.



Afbeelding 11 - Ruime berging in substraat en drainagelaag met afvoerbegrenzing heeft op grote schaal ook effect op riooloverloop en kans op water op straat

4. Andere effecten

Groene daken hebben naast hydrologische effecten ook andere effecten op omgeving en gebouw. Bij de meeste daarvan speelt water een rol, direct of via de dakvegetatie. Hieronder volgt een overzicht van deze andere effecten en de werking ervan.

Warmte-isolatie van gebouwen

De isolatiewaarde wordt uitgedrukt in de warmteweerstand (R_c -waarde). Dit is de weerstand die de constructie biedt tegen geleiding van warmte. Een twee keer hogere R_c -waarde betekent een halvering van het warmteverlies door het dak. De isolerende werking van groene daken wordt voornamelijk bepaald door de volgende drie processen:

- Vocht absorbeert een deel van de inkomende zonnestraling, de energie wordt via verdamping afgevoerd en zorgt voor afkoeling.
- De bedekkingsgraad van de beplanting zorgt voor schaduw op het dak.
- De albedo (het weerkaatsingsvermogen) van de beplanting zorgt voor reflectie van inkomende zonnestraling.

Ter indicatie de albedo van een aantal oppervlakken (lager getal betekent minder reflectie, meer opname van stralingswarmte): bitumen 5%, asfalt 5 tot 20%, rode keramische dakpannen 10 tot 30%, kort gras 15% en lang gras 30%. De albedo van water is afhankelijk van de stand van de zon, in Nederland is deze in de zomermaanden circa 5 tot 10%.

De R_c -waarde van groene daken is dus geen constante, maar varieert met de vochtigheid en begroeiing op het dak.

Naarmate de dakconstructie beter is geïsoleerd, neemt de toegevoegde waarde van groene daken af. Het voordeel van groene daken voor warmte-isolatie wordt beperkt nu volgens het Bouwbesluit de minimale R_c -waarde voor platte en schuine daken is verhoogd naar $6,0 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Koude-isolatie van gebouwen, de koellast

Door bovengenoemde processen (absorptie en verdamping, beschaduwing en weerkaatsing) blijft de temperatuur boven een groen dak in de zomer beperkt tot circa 35°C . Dit is veel lager dan boven een traditioneel plat (zwart) dak of (rood) pannendak, waar de temperatuur kan oplopen tot 70°C en bij bitumen dakbedekking zelfs tot 90°C . Omdat het temperatuurverschil over de dakconstructie kleiner is, is bij gelijke warmteweerstand de warmtestroom door een groen dak kleiner dan bij een plat of pannendak. Hierdoor heeft een gebouw met een groen dak in warme perioden minder koeling nodig, de zgn. koellast is kleiner.

Door variatie van het type planten, de beplantingsdichtheid en de waterberging op het dak is de temperatuur boven de dakconstructie te beïnvloeden en daarmee de warmtestroom door het dak. Uit onderzoeken met een vergelijkbare klimatologische situatie als in Nederland volgt dat een groen dak de gemiddelde dagelijkse warmtestroom in de zomer (naar binnen) met 70 tot 90% kan verminderen en in de winter (naar buiten) met 10 tot 30%. Uiteraard is het percentage afhankelijk van de R_c -waarde (bouwjaar) van het betreffende gebouw.

Opbrengst van zonnepanelen

De verkoelende werking van een groen dak heeft een positief effect op het vermogen en de levensduur van zonnepanelen. Bij hogere temperaturen neemt de energieopbrengst van PV-panelen af, bij kristallijne silicium-panelen 0,4 tot 0,5% per °C temperatuurstijging van de PV-panelen. Dit lijkt niet veel. Maar de luchttemperatuur boven een gravel- of bitumendak kan in de zomer oplopen naar 50 tot 70°C, terwijl de omgevingstemperatuur boven groene daken doorgaans beperkt blijft tot 35°C.

Uit de weinige onderzoeken hiernaar volgt een mogelijke toename van de opbrengst naar 6 tot 10% op jaarbasis. Dit percentage is onder meer afhankelijk van het klimaat. Er is weinig onderzoek beschikbaar dat in een vergelijkbaar klimaat is uitgevoerd als in Nederland.

Omgevingstemperatuur

Het verkoelende effect op de omgeving ontstaat door de verdamping van water uit dakvegetatie en substraat. Voor de verdamping van water is veel warmte nodig, ruim 500 keer meer dan om het 1°C te verwarmen. Deze warmte onttrekt het groene dak aan de omgeving, waardoor de omgevingstemperatuur daalt. Daarnaast weerkaatst een groen dak meer zonlicht dan bijvoorbeeld een zwarte dakbedekking. Maar het effect van individuele groene daken op de omgevingstemperatuur in stedelijk gebied is verwaarloosbaar.

Alleen grootschalige vergroening van daken zal effect hebben. Het effect van de hierdoor verhoogde luchtvochtigheid op de temperatuurbeleving is nog niet onderzocht en dus onbekend.

Geluidsisolatie

Groene daken kunnen zowel het binnendringen van omgevingsgeluiden in het gebouw (geluids-

isolatie) als de weerkaatsing van geluid verminderen. De geluidsreductie is afhankelijk van de begroeiing en van soort, dikte en vochtgehalte van het substraat. Deze reductie is dus geen constante. Groene daken kunnen de geluidsweerkaatsing tot 3 dB verminderen. Voor het binnendringen van geluid blijkt uit onderzoek dat deze reductie verwaarloosbaar is voor lage (tot 250 Hz) en hoge frequenties (boven 1.250 Hz). Daartussen kan de geluidsreductie oplopen tot 5 dB bij vrijwel verzadigd substraat en meer dan 8 dB bij droog substraat. Dit effect kan relevant zijn voor hellende daken met omgevingslawaaï van bijvoorbeeld autowegen, spoorlijn of vliegverkeer.

Filtering van fijnstof en gassen uit de lucht

Een traditioneel bitumendak heeft vrijwel geen invloed op het afvangen van fijnstof. Over de vraag of water op daken fijnstof afvangt, is weinig bekend. Aannemelijk is dat een waterdak fijnstof opneemt zodra het stof in contact komt met water. Anders dan bij groene of zwarte daken, is het aandeel dat verwaait nul.

Groen filtert fijnstof en gasvormige verontreinigingen uit de lucht. Ook groen op daken heeft een filterende werking voor de lucht. Fijnstof (PM10) valt vanuit de lucht op de planten. Hoe hoger en ruwer de dakvegetatie is en hoe groter, vochtiger, behaarder en kleveriger de bladeren zijn, hoe meer fijnstof het dak afvangt. Het fijnstof wordt niet door de vegetatie opgenomen, maar vastgelegd op het oppervlak van de vegetatie. Neerslag spoelt het in enige mate weg. Toch is het effect op de luchtkwaliteit in de omgeving beperkt. Een overschrijding van de luchtkwaliteitsnormen is niet met vergroening van daken op te lossen.



Afbeelding 12 - Beleving groen dak met zicht vanuit schoolgebouw (links) of flat (rechts, foto Zinco Benelux)

Beleving

Groene daken kunnen de ruimtelijke kwaliteit versterken en bijdragen aan het welzijn als ze zichtbaar zijn. Voor platte daken gaat dit meestal niet op, tenzij het dak toegankelijk is of mensen erop kunnen uitkijken. Uit onderzoek blijkt dat uitzicht op een groene omgeving een positief effect heeft op de gezondheid, het herstel van stress en pijnvermindering bij ziekenhuispatiënten.

In een Engels onderzoek is de persoonlijke beleving van verschillende typen vergroening van woningen beoordeeld op de aspecten schoonheid, aantrekkelijkheid, esthetische kwaliteit en welbevinden. Groene gevels scoorden hier het hoogst op alle aspecten, gevolgd door bloemrijk gras, bloeiend sedum, kort gras, wisselende beplanting/kleur/dikte en tot slot 'geen vegetatie'. Maar deze beleving hoeft in Nederland niet hetzelfde te zijn.

Biodiversiteit

Groene daken kunnen de biodiversiteit in de stad vergroten en zelfs plaats bieden aan bedreigde diersoorten. Door in het substraat lokaal bodemmateriaal te gebruiken, zijn oorspronkelijke soorten op het dak te behouden. Maar veel aanplant van groene daken bestaat uit mono- of polyculturen, met soorten die kunnen overleven in een beperkte substraatdikte en droge perioden. Zogenaamde biodiverse daken kunnen een grotere bijdrage aan de biodiversiteit leveren. Het meeste onderzoek is en wordt gedaan aan groene daken met mono- of polyculturen. Over het effect van biodiverse daken op bijvoorbeeld de hydrologische werking is nog weinig bekend.

Op groene daken kunnen relatief veel soorten planten leven. De mogelijkheden zijn nog verder uit te breiden door variatie in microklimaat (vooral zonnige en schaduwplekken) en aanplant, en minimale irrigatie en onderhoud (verstoring). In een groene omgeving vergroten zaailingen de kans op natuurlijke toename van de plantenvarië-

teit op het dak. Daarnaast heeft het type substraat invloed op de biodiversiteit en het voorkomen van bijzondere soorten. De omvang, helling of leeftijd van groene daken blijkt geen aanwijsbare invloed te hebben op de plantenvariëteit.

Naast voedselbron voor vogels kunnen groene daken een broedplaats bieden aan grondbroedende vogels.

Kwaliteit van afstromend regenwater

Groene daken kunnen invloed hebben op de kwaliteit van het afstromende regenwater.

Zuiverende werking

Groene daken kunnen een zuiverende werking hebben voor metalen en nutriënten in regenwater. Relatief gezien kan dit om flinke reducties gaan. Maar aangezien regenwater weinig verontreinigingen bevat, is de absolute betekenis hiervan voor de omgeving marginaal. Uitspoeling en accumulatie van nutriënten

Als het substraat veel organisch materiaal bevat, kan de nutriëntenvracht door uitspoeling toenemen. Na verloop van tijd stabiliseert het gehalte organisch materiaal door afbraak tussen de 2 en 5%. Als het oorspronkelijke gehalte organisch materiaal in het substraat lager is, neemt dit door de voedingsstoffen in de neerslag geleidelijk toe naar 2 tot 5%.

Geschiktheid als huishoudwater

Het afstromende regenwater van groene daken is in principe te gebruiken als huishoudwater. Maar omdat het water geelbruin kan verkleuren, is het niet geschikt voor gebruik in de (vaat)wasmachine. De kleuring neemt toe naarmate het fosforgehalte van het substraat hoger is.

Het benutten van het afstromende regenwater ligt overigens niet voor de hand. Een groen dak verdampt een groot deel van de neerslag in de zomer, waardoor dus geen afstromend water beschikbaar is.



Afbeelding 13 – Biodiverse vegetatie op het gebouw van NIOO-KNAW in Wageningen (l) (foto Carleen Mesters) en (r) daktuin in Rotterdam (foto Zinco Benelux)



Afbeelding 14 – Groen dak met positief effect op opwekking van zonne-energie

Levensduur

Bij normaal onderhoud is de levensduur van groene daken 30 tot 50 jaar. De levensduur van dakpannen is circa 50 jaar, voor bitumineuze dakbedekking 15 tot 30 jaar. Hoe lang waterdaken meegaan, is afhankelijk van de dakbedekking, maar circa 25 jaar is haalbaar. Voor platte daken zijn ook dakbedekkingen mogelijk die 40 tot 50 jaar meegaan.

De levensduur van groene daken is dus vergelijkbaar met die van pannendaken en tot tweemaal groter dan van daken met bitumineuze bedekking.

5. Beleidsmatige, financiële, juridische en innovatieve aspecten

Samenhang van effecten daken

Kijkend naar alle effecten kunnen we stellen dat ten opzichte van groene daken:

- daken met een witte dakbedekking, zogenaamd de witte daken of 'cool roofs', beter werken en kosteneffectiever zijn om de koellast te verminderen;
 - isolatiemateriaal kosteneffectiever is voor warmte-isolatie;
 - bomen meer effect hebben op verkoeling van de omgeving en het afvangen van fijnstof;
 - een retentievijver of een buffer in de tuin effectiever is voor de opvang van extreme neerslag.
- Een groenblauw dak blinkt op individuele punten

niet uit, maar kan juist door de combinatie van effecten toch een interessante keuze zijn.

Ook waterdaken combineren enkele effecten op één dak, zoals vermindering van de koellast in korte hitteperiodes en verkoeling van de omgeving. Voordelen van blauwe daken ten opzichte van vegetatiedaken zijn:

- de maximaal toelaatbare gewichtsbelasting is beschikbaar voor waterberging, dus het dak kan meer water bergen;
- de waterberging is beter te regelen dan de berging in een substraatlaag, het weer beschikbaar komen van de waterberging in het substraat is



Afbeelding 15 – Waterdak bij Walterboscomplex, belastingkantoor in Apeldoorn (links) en een eenvoudig waterdak (rechts)

geheel afhankelijk van de verdamping;

- er is meer water beschikbaar voor verkoeling (door verdamping) in warme perioden;
- de kosten voor aanleg en onderhoud zijn lager.

Waterdaken dragen daarentegen minder bij aan de biodiversiteit en de belevingswaarde dan groene daken.

Rol van perceeleeigenaren

Eigenaren hebben een eigen verantwoordelijkheid voor de verwerking van neerslag op hun perceel. Door zo veel mogelijk de neerslag op eigen terrein vast te houden, te infiltreren of vertraagd af te voeren, wordt het openbare systeem ontlast. Groene daken zijn daarbij niet hét antwoord op klimaatverandering of wateroverlast. Vergroening van daken is slechts een van de mogelijke maatregelen uit een heel scala van kleinschalige maatregelen die kunnen bijdragen aan een beter stedelijk klimaat.

Andere mogelijkheden zijn het 'ontstenen' van tuinen en het vergroten van waterberging en infiltratie op particuliere percelen. Net als groene daken dragen de effecten daarvan ook bij aan de waterhuishouding, biodiversiteit, beleving en verkoeling rond bebouwing.

Perceeeigenaren hebben belang bij praktische informatie over aanleg, beheer en onderhoud, betrouwbare producten en goede leveranciers en uitvoerders. Hiervoor zijn methoden nodig om de kwaliteit en eigenschappen van producten te beoordelen en een erkend kwaliteitslabel voor leveranciers en uitvoerders, zoals Groenkeur en Leven op Daken.

Financiële en juridische mogelijkheden

Diverse waterschappen en gemeenten stimuleren de aanleg van groene daken met subsidie voor het vasthouden van regenwater. Maar waarom een subsidie richten op één type maatregel, ter-

wijl er ook andere mogelijkheden zijn om regenwater op eigen terrein te verwerken?

Voor de financiële onderbouwing van subsidiebedragen zijn verschillende rekenmodellen voor maatschappelijke kosten en baten opgesteld en gebruikt. Maar door de vele effecten die afhankelijk zijn van het soort daksysteem, de variatie in de werking, het onderhoud van het dak, het gebouw, de omgeving en het lokale klimaat zijn de uitkomsten hiervan zeer onzeker.

Een andere financiële stimulans zou een lagere riool- of zuiveringsheffing kunnen zijn. Maar het effect van groene daken op de kosten voor benodigde regenwatervoorzieningen is marginaal. Bij afvoer van regenwater naar een rioolwaterzuivering is het effect op het te zuiveren volume groter, waardoor een korting op de zuiveringsheffing beter verdedigbaar is. Maar dit effect geldt niet voor gescheiden gerioleerde of afgekoppelde gebieden. Daarnaast is de grondslag voor de zuiveringsheffing gebaseerd op het aantal vervuilingseenheden en staat deze los van het (dak) oppervlak.

Een vergaande manier om groene daken te stimuleren, is verplichte aanleg bij nieuwbouw of renovatie. Dit gebeurt bijvoorbeeld in Stuttgart en Bazel. Maar vanuit het waterbeheer ligt een dergelijke verplichting niet voor de hand. Bovendien biedt ons Bouwbesluit daarvoor geen juridische ruimte. Indirect zou een gemeente via een hemelwaterverordening particulieren wel kunnen verplichten het hemelwater zo veel mogelijk op eigen perceel te verwerken.

Mogelijkheden voor het borgen van de instandhouding van groene daken zijn:

- een gemeente kan van particulieren eisen dat zij het regenwater op eigen terrein verwer-

ken (via verordening of maatwerkvoorschrift). Het is dan aan de eigenaar om te bepalen hoe dat gebeurt. Als een groen dak daarin een rol speelt, kan de gemeente handhaven als het dak niet meer (goed) functioneert.

- het sluiten van privaatrechtelijke overeenkomsten met de perceeleigenaren, net als bijvoorbeeld bij de verstrekking van subsidies voor afkoppelvoorzieningen (voor zover dat juridisch mogelijk is).

Bij bepaling van de hydrologische effecten van groene daken in een buurt of wijk is het goed rekening te houden met de kans dat een deel daarvan op termijn minder goed functioneert of is 'ontgroend'.

De water- of rioleringsbeheerder kan de kansen die de vergroening van daken biedt beter benutten door particulieren, opdrachtgevers en ontwerpers praktische informatie te geven over de eigen-



Afbeelding 16 – Groen dak op stadhuis Nijmegen

schappen van groene daken die nodig zijn voor een betere waterhuishouding, zoals waterberging, begroeiing en regeling van de dakafvoer.

In Nederland (en Europa) zijn nog geen officiële normen met eenduidige, uniforme specificaties voor groene daken. Wel moeten groene daken in ons land aan bepaalde regels voldoen, waarvan het Bouwbesluit en de daarin genoemde NEN-normen de belangrijkste zijn. Het gaat dan om (wind)belastingen en vervormingen, dakbedekking, brandveiligheid, isolerende werking (Rc-waarde) en waterafvoer.

In de huidige praktijk werken leverende en uitvoerende partijen volgens algemeen aanvaarde richtlijnen voor de technische opbouw en details van groene daken, zoals de VBB-richtlijn of de SBR-Dakbegroeiingsrichtlijn (vertaling van de FLL-Dachbegrünungsrichtlinie, aangepast aan Nederlandse regelgeving). Op basis van recente onderzoeken zijn in Nederland vernieuwende inzichten ontstaan op het gebied van (wind)belastingen en isolerende werking (warmte en koude) van begroeide daken.

Sinds 2012 werkt de NEN-normcommissie Begroeide Daken aan de ontwikkeling van normen die specifiek gericht zijn op groene daken. Er is behoefte aan:

1. een methode om de weerstand tegen windbelasting te berekenen bij gebruik van een groen daksysteem als ballastlaag op platte daken;
2. een geschikte manier om de brandveiligheid van dakbegroeiing te testen;
3. specificaties van substraatmaterialen, de werking en regeling van dakafvoeren en eenduidige methoden om de karakteristieke parameters voor de hydrologische werking te bepalen.

Met deze parameters zijn de hydrologische effecten van groene daken op verschillende schaalniveaus te simuleren. Deze effecten zijn alleen te bepalen voor het totale daksysteem, inclusief waterberging in substraat (vochtgehalten bij verzadiging, veldcapaciteit en verwelkingspunt) en drainagelaag, verdamping en afvoerregulering van de dakuitlaten.

De uiteindelijke norm moet het voor opdrachtgevers en instanties eenvoudiger maken om te weten of de prestaties van een groen dak voldoen aan de gevraagde eigenschappen.

Ontwikkelingen in onderzoek

Waterschappen, gemeenten, Stichting RIONED en STOWA zijn betrokken bij lopende praktijkonderzoeken, onder meer op daken in Wageningen (zie afbeelding 17), Rotterdam, Enschede en Amsterdam. De resultaten hiervan vergroten het inzicht in de werking van groene daken en stimuleren toepassing en productontwikkeling gericht op de hydrologische effecten. Praktijkonderzoek naar die effecten vindt nu meestal plaats met bestaande producten voor groene daken. Maar er is ook onderzoek nodig dat is gericht op bestaande daken en onderzoek dat de gewenste effecten als uitgangspunt neemt, waarbij producten worden ontwikkeld die daaraan voldoen. Zo zijn wellicht groenblauwe daken te ontwikkelen die meer bijdragen aan een verbeterde waterhuishouding. Maar ook blauwe daken zonder substraat of vegetatie kunnen een kosteneffectieve bijdrage leveren aan het waterbeheer.

Recente innovaties richten zich op luchtregulerende daken en waterregulerende daken. Dit sluit aan op de wens voor verdere ontwikkeling van effectieve, betrouwbare manieren voor regulering van de dakafvoer door deze te begrenzen of te besturen.



Afbeelding 17 – Onderzoek op experimentendak NIOO-KNAW naar gecombineerde effecten van warmte- en koude-isolatie, biodiversiteit en hydrologische werking i.s.m. Wageningen Universiteit, Waterschap Vallei en Veluwe, Rotterdam, ZinCo Benelux, Daklab/BetonRestore, Stichting RIONED en STOWA



Afbeelding 18 - Groen dak op kinderdagverblijf

Effecten hydrologische werking

Om de werking van kleinschalige regenwatervoorzieningen te simuleren, is in opdracht van Stichting RIONED RainTools ontwikkeld. Dit is een rekentool om het functioneren van meer-voudige reservoirsystemen zoals groenblauwe daken te berekenen met neerslagreeksen en individuele (extreme) buien. Met deze tool zijn de effecten gemiddeld over lange perioden en voor extreme gebeurtenissen te berekenen met een beperkte set gegevens.

Ook is met deze tool het functioneren van regenwatervoorzieningen op een perceel in onderlinge samenhang te bekijken (zie hoofdstuk 3). Voor specifieke situaties zijn de waterhoudkundige effecten van verschillende typen maatregelen en de dimensies van die maatregelen te vergelijken om tot gefundeerde keuzes te komen.

6. Aanbevelingen voor de (stedelijk) waterbeheerder

Voor de aanleg van groene daken kunnen meerdere overwegingen een rol spelen. Deze aanbevelingen zijn gericht op de hydrologische effecten. Op de huidige generatie groene daken is de rol van water voornamelijk gericht op de vegetatie, het effect hiervan op de stedelijke waterhuishouding is beperkt en vaak nog onbekend.

Waterbeheerders en rioleringsbeheerders kunnen de kansen van groene daken voor het waterbeheer beter benutten door de beoogde hydrologische werking en de gewenste effectiviteit daarvan duidelijk aan te geven. Hiervoor is een omslag van groene naar groenblauwe of blauwe daken nodig. Deze hebben een grote waterberging en afvoerbegrenzing, met een relevant effect op de waterhuishouding. De hydrologische werking geeft aan hoe het dak moet werken (vasthouden, verdampen, bergen en gestuurd of vertraagd afvoeren), de effectiviteit geeft aan in welke mate het dak dit realiseert.

Nieuwbouw of bestaande bouw

Bij nieuwbouw is bij ontwerp en detaillering van een groenblauw dak rekening te houden met het benodigde (extra) draagvermogen voor een grotere waterberging. Dit biedt aanzienlijk meer mogelijkheden dan bij bestaande bouw. Bij bestaande bouw moet rekening worden gehouden met het draagvermogen van de bestaande gebouwconstructie, vaak door beperking van de opbouwhoogte van het groene dak en het gebruik van lichte (substraat)materialen. Afhankelijk van het type constructie (steen, staal, beton, hout) kan door (eenvoudige) aanpassing

van de draagconstructie het draagvermogen worden vergroot. Bij bestaande bouw zal vaak een keuze in de beoogde werking nodig zijn en zal de te behalen effectiviteit kleiner zijn dan bij nieuwbouw. Hier kan juist de grootschalige toepassing van kleinschalige oplossingen een relevante bijdrage leveren aan de verbetering van de stedelijke waterhuishouding.

Nieuwbouw of bestaande bouw heeft geen invloed op de beoogde hydrologische werking, maar beïnvloedt wel de mogelijkheden om de gewenste effectiviteit van een groen dak te realiseren.

Principiële keuze voor daken met beperkt draagvermogen

Bij het vergroenen van daken met een beperkt draagvermogen is het aan te bevelen een principiële keuze te maken in het streven naar:

1. minder totale afvoer van dakwater in riolering, rwzi en watersysteem door meer verdamping of
2. verdergaande reductie van de piekafvoer van dakwater door meer berging, vertraging, begrenzing of sturing van de dakafvoer.

1. Minder totale afvoer van dakwater

Bij lozing op gemengde of verbeterd gescheiden rioolstelsels reduceert dit de totale afvoer van regenwater naar de rioolwaterzuivering. Een neveneffect hiervan is dat rioolgemalen minder water hoeven te verpompen. Dit effect is vooral te realiseren met een dak voorzien van alleen een substraatberging met een overloop (zie ook afbeelding 8). De piekbelastingen op dit type dak



Afbeelding 19 - Mos op groen dak

worden vaak niet of onvoldoende afgevangen, omdat de berging in het substraat te beperkt is en vaak niet of ten dele beschikbaar is. Om verdroging tegen te gaan of dakwater te benutten, is een minimale verdamping op een groen dak gewenst. Of wellicht is het beter om dan geen groen dak te realiseren en al het dakwater af te voeren naar de bodem of een bergingsvoorziening.

2. Reductie van de piekafvoer van dakwater

Het groene dak houdt zo veel mogelijk water tijdelijk vast en voert dit vervolgens vertraagd af. Dit reduceert de piekbelastingen op rioolstelsels en oppervlaktewater, waardoor de kans op wateroverlast afneemt en gemengde rioolstelsels minder vaak overstorten. Een grote waterberging is te realiseren door het substraat dun en licht (gewicht) te houden (eventueel weg te laten), zodat binnen het beschikbare draagvermogen zo veel mogelijk water in de

drainagelaag is vast te houden.

Belangrijk is de wijze waarop de dakafvoer wordt gereguleerd bij de dakuitlaten. Dit kan het beste door begrenzing of besturing van de afvoer (zie ook afbeelding 7).

Nieuwe groene daken

Op nieuwe groene daken die professioneel zijn aangelegd op een dak met een verzwaarde draagconstructie, is het eenvoudiger om de functies van verdampen en reductie van afvoerpieken te combineren. In het uiterste geval kunnen die daken ook zeer extreme buien vrijwel volledig zelfstandig verwerken met een minimale belasting van de omgeving. Met name voor nieuwbouw is daarbij de toepassing van groenblauwe of blauwe daken in het kader van de watercompensatie interessant. Door de waterberging dermate groot te maken (rond 70 mm of meer) en de afvoer te sturen of te begrenzen (tot 2 of 3 mm/uur), kan de verplichte watercompensatie op (of onder) maaiveld kleiner of achterwege blijven.

Colofon

© 2015 Groene daken nader beschouwd
is een uitgave van Stichting RIONED en STOWA

Auteurs

Kees Broks (namens STOWA, Broks-Messelaar Consultancy)
Harry van Luijtelaar (Stichting RIONED)

Deze publicatie is tot stand gekomen met medewerking van

Christoph Maria Ravesloot (Hogeschool InHolland, Hogeschool Rotterdam)
Carleen Mesters (Stroom en Onderstroom)
Petra van den Berg (Nederlands Instituut voor Ecologie / NIOO-KNAW)
Klaas Metselaar (Wageningen Universiteit)
Titus van Hille (Gemeente Rotterdam)
Daniël Goedbloed (Amsterdam Rainproof)
Dimitri van Dam (Waterschap Vallei en Veluwe)
Stef Janssen (Technische Universiteit Delft, VIBA Expo)
Peter Koop (ZinCo Benelux)
Erik Colijn (BetonRestore)
Bert Palsma (STOWA)

Met dank aan de coalitie 'Daklaboratorium & Water' voor het gebruik van de praktijkmetingen van het experimentendak op het gebouw van het NIOO-KNAW te Wageningen.

Tekstadvies

Karlijn Kunst (LijnTekst)

Vormgeving

GAW ontwerp+communicatie, Wageningen

Drukwerk

Modern, Bennekom

Rapportnummer 2015-12
ISBN 978 90 5773 674 2

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor de riolering en het stedelijk waterbeheer in Nederland. In RIONED participeren alle partijen die bij de rioleringszorg betrokken zijn: overheden (gemeenten, waterschappen, rijk en provincies), bedrijven (leveranciers, adviesbureaus, inspectiebedrijven en aannemers) en onderwijsinstellingen. De belangrijkste taak van Stichting RIONED is het beschikbaar stellen van kennis aan de vakwereld. Dit doet RIONED door onderzoek, het bundelen van bestaande kennis en het op vele manieren informeren en bij elkaar brengen van professionals.

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

Groene daken

nader beschouwd

Waterbeheerders en rioleringsbeheerders kunnen de kansen van groene daken voor het waterbeheer beter benutten door de beoogde hydrologische werking en de gewenste effectiviteit daarvan duidelijk aan te geven. Hiervoor is een omslag van groene naar groenblauwe of blauwe daken nodig. Deze publicatie helpt bij keuzes in het ontwerp, aanleg en beheer van groene daken en eventuele alternatieven, om de beoogde effecten op de waterhuishouding te kunnen realiseren. De publicatie richt zich daarbij op groene daken die professioneel zijn aangelegd en voldoen aan algemeen aanvaarde richtlijnen voor de technische opbouw en details van groene daken.

Rapport 2015-12
ISBN 978 90 5773 674 2