

Meten op hoogte

Een overzicht van onderzoek op groenblauwe daken

Groenblauwe daken bieden kansen voor het stedelijk waterbeheer. Deze publicatie beschrijft het onderzoek aan twaalf groenblauwe daken naar waterberging, waterafvoervertraging, verdamping, waterzuivering, koeling en biodiversiteit. De kennis en ervaringen uit deze onderzoeken zijn gedeeld in de Community of Practice 'Meten en Monitoren Groenblauwe daken' en in deze publicatie gebundeld.

Deze publicatie geeft een overzicht van uitgevoerde en lopende onderzoeken die de stedelijk waterbeheerder meer leren over o.a. gebruik en onderhoud van meetapparatuur, het laten overleven van sedumdaken in droge perioden, de onzekerheden van neerslagvoorspellingen en de isolerende werking van groenblauwe daken. Ook biedt de publicatie tips en adviezen van de onderzoekers ('lessons learned') voor nieuw onderzoek aan groenblauwe daken.

Rapport 2019-23
ISBN 978.90.5773.862.3

Meten op hoogte

Een overzicht van onderzoek op groenblauwe daken



Meten op hoogte

Een overzicht van onderzoek op groenblauwe daken

stowa

STICHTING
**RIO
NED**
STAD | WATER | MENS

Voorwoord

Groenblauwe daken zijn waardevol voor de stedelijke omgeving. Ze houden regenwater vast en zorgen voor verdamping. Hierdoor komt er minder water in het riool en gaat er bij een gemengd rioolstelsel minder afvalwater naar de zuivering (rwzi). Groenblauwe daken verminderen de piekbelasting van het riool bij een stortbui, waardoor het volume water op staat en het volume van riooloverstortingen verminderen en het oppervlaktewater schoner blijft. Dit is gezonder voor planten, dieren en mensen én bespaart zuiveringskosten. Groenblauwe daken met een vertraagde gelijkmatige afvoer kunnen werken als buffer voor het infiltreren van regenwater. Het water dat verdampt vanuit het substraat kan niet worden benut voor aanvulling van het grondwater.

Naast de toegevoegde waarde voor het stedelijk waterbeheer kunnen groenblauwe daken bijdragen aan meer biodiversiteit, minder snelle opwarming van gebouwen en hun omgeving bij hitte, het invangen van fijnstof en een aantrekkelijker omgevingsbeeld. Daarmee dragen groenblauwe daken bij aan verschillende duurzame ontwikkelingsdoelen.

Maar hoe en hoeveel dragen groenblauwe daken bij aan de wateropgave? Hoe gedragen ze zich bij piekbuien of juist onder extreem droge omstandigheden? En hoe kunt u als stedelijk waterbeheerder groenblauwe daken optimaal inzetten in een veranderend klimaat? Om deze vragen te beantwoorden, zijn STOWA en Stichting RIONED in 2015 een Community of Practice (CoP) gestart voor onderzoekers van groenblauwe daken. Voor de onderlinge kruisbestuiving met vragen en oplossingen uit de markt werkte deze community in een aantal bijeenkomsten samen met de partners van het Nationaal Daken Plan (NDP, voorheen Green Deal Groene Daken).

In de afgelopen jaren hebben onderzoekers in de CoP kennis, inzichten en uitkomsten gedeeld rond onderzoek aan en op groene en groenblauwe meetdaken. Met deze publicatie presenteren STOWA, Stichting RIONED en de CoP-kennispartners inhoudelijke lessen uit onderzoeken op twaalf meetdaken. Deze praktijkonderzoeken hebben de afgelopen jaren bijgedragen aan een beter inzicht in de werking en effecten van groenblauwe daken. Hierdoor kunt u deze daken een effectiever onderdeel laten zijn van klimaatadaptieve maatregelen in de stad. Samen met het Nationaal Daken Plan brengen zij deze resultaten graag verder via de samenwerking aan opschaling van groenblauwe daken.

December 2019

STOWA
Joost Buntsma

Stichting RIONED
Hugo Gastkemper

CoP
Bert Palsma

Nationaal Daken Plan
Jip Louwe Kooijmans

1. Inleiding

Klimaatverandering, energietransitie, bouwopgave en verlies aan biodiversiteit zorgen voor een groeiende belangstelling is breder dan vanuit het waterbeheer voor groenblauwe daken.

Als stedelijk waterbeheerder hebt u zekerheid nodig over de (blijvende) beschikbaarheid van de waterberging van groenblauwe daken. Ook om het beleid daarvoor verder te ontwikkelen, moet u de werking en effecten van groenblauwe daken kunnen kwantificeren en specificeren. Hiervoor gebruikt u beschikbare onderzoeksresultaten of start u nieuw onderzoek. Zo probeert u een steeds beter onderbouwd beeld te krijgen van de werking van groenblauwe daken en de wijze waarop groenblauwe daken de stad kunnen helpen bij klimaatadaptatie.

Van eerste onderzoeksdak tot CoP

Tot zo'n tien jaar geleden was de kennis over de werking van groen(blauw)e daken voornamelijk

gebaseerd op onderzoeken en publicaties uit het buitenland (bron: Broks e.a. [2015]). Sinds 2010 is de werking van groen(blauw)e daken verder onderzocht, ook met praktijkmetingen in Nederland.

De bouw van het daklaboratorium op het dak van het NIOO-KNAW in Wageningen in 2011-2012 luidde de start in van onderzoek naar water, temperatuur en biodiversiteit op meetdaken. STOWA initieerde rondom dit onderzoek een watercoalitie die fungeerde als klankbordgroep en watergerelateerde onderzoeksvragen formuleerde. Het bijbehorende onderzoeksplan leverde bruikbare handvatten voor het onderzoek aan andere daken.

Er ontstond behoefte aan uitwisseling en afstemming van onderzoeksvragen en kennis en van ervaringen met het meten aan groenblauwe daken. Welke opzet kies je? Welke apparatuur is nodig en mogelijk op een dak? Hoe verzamel je data en hoe relateer je ze aan meteorologische gegevens? Dit was voor STOWA en Stichting RIONED aanleiding om specifiek voor onderzoekers en onderzoeksbegeleiders bij gemeenten en waterschappen de Community of Practice 'Meten en monitoren groenblauwe daken' (CoP) in het leven te roepen.

Resultaten

Sinds de oprichting is deze CoP tot eind 2018 tien keer bijeengekomen. Dat heeft geresulteerd in een overzicht van meetdaken, doelen en parameters, een binaslijst van dakterminologie, een overzicht van te gebruiken modellen, een bijdrage aan de PerceelTool en een handreiking voor het rekenen aan groenblauwe daken "Groenblauwe daken: reken maar!". Informatie, presentaties en achtergronddocumenten vindt u op de betreffende CoP-pagina van de STOWA website.

Daarnaast zijn in verschillende onderzoeken de hydrologische effecten op het niveau van perceel, straat en wijk met modelberekeningen bepaald. Dit heeft nieuwe inzichten opgeleverd die via diverse bijeenkomsten en publicaties bekend zijn gemaakt (bron: Laeven & Broks, 2016).

Sinds 2017 werkt de CoP nauw samen met de Green Deal Groene Daken. Dat heeft geleid tot de gezamenlijke publicatie van de factsheet Facts and Values (www.greendealgroenedaken.nl/facts-values) en een overzicht van veelgestelde vragen en antwoorden (Q&A GRNBLW DKN! | STOWA).

Doel van deze publicatie

Deze publicatie is primair bedoeld voor waterbeheerders bij gemeenten en waterschappen die meer willen weten over (onderzoek naar) de werking van een groenblauw dak. Bijvoorbeeld omdat u groenblauwe daken in de stad wilt laten aanleggen (bij nieuwbouw en bestaande bouw) of om ontwerpvoorspannen vast te stellen en subsidievoorwaarden te bepalen. Deze publicatie geeft een overzicht van een aantal projecten waarin metingen zijn verricht aan groenblauwe daken. Deze metingen geven u nog geen pasklare antwoorden op alle vragen maar leveren wel een aantal interessante inzichten op. De publicatie geeft een tijdsbeeld van het meten aan groenblauwe daken.

Het uitgevoerde/lopende onderzoek heeft betrekking op aspecten als waterberging en verdamping, vertraagde en gestuurde afvoer van regenwater, effect op temperatuur in gebouwen en omgeving, zuivering van (afstromend) regenwater en biodiversiteit. De informatie per meetproject omvat een beschrijving van de meetopzet, een overzicht van de metingen, een samenvatting van de inzichten uit het onderzoek en een aantal lessen voor onderzoekers. In deze publicatie zijn ook contactgegevens van betrokkenen opgenomen en de publicaties over het uitgevoerde onderzoek.

Benamingen

Bij de start van de CoP was de formele benaming voor groene daken 'begroeide daken' (zie ook Broks e.a. [2015]). Met de toename van toepassingen van begroeide daken in de steden en in onderzoek, neemt ook de variatie aan benamingen voor een begroeid dak toe: groendak, groenblauw dak, blauwgroen dak, vegetatiedak, natuurdak, sedumdak, etc. In deze publicatie gebruiken we de term groenblauwe daken. Tegelijkertijd houden we in de beschrijvingen van de individuele meetdaken in hoofdstuk 3 de dakterminologie aan zoals de onderzoekers en dakeigenaren die hanteren.



Meetopstelling in Enschede. (Foto: HendrikJan Teekens)



Smartroof in Amsterdam. (Foto: Joris Voeten, Urban Roofscapes)



Meetdak in Antwerpen. (Foto: Vincent Wolfs)

Leeswijzer

Achtereenvolgens gaat de publicatie in op:

Hoofdstuk 2

De principe werking van een groenblauw dak.

Hoofdstuk 3

Meetdaken, onderzoeksthema's en betrokken organisaties bij

Hoofdstuk 4

Twaalf meetdaken in vogelvlucht: het dak zelf, het onderzoek, inzichten voor stedelijk waterbeheerders (inhoudelijke inzichten) en inzichten voor onderzoekers (onderzoekstechnische inzichten).

Hoofdstuk 5

Meetdaken in beweging, actuele ontwikkelingen en andere meetdaken in een beknopte opsomming.

Bijlage 1

Een overzicht van onderzoekers en contactpersonen per meetdak, bij wie u terecht kunt voor meer informatie over het onderzoek of de resultaten en de ontwikkelde kennis of tips bij het opzetten van een eigen meetdak.

Bijlage 2

Een bronnenlijst met algemene informatie en informatie per meetdak.

Tot slot het Colofon en beknopte informatie over de samenwerkingspartners.

2. De principe werking van een groenblauw dak

Een groenblauw dak bestaat in principe uit 2 lagen: een substraatlaag met vochtberging van waaruit het water kan verdampen en een drainagelaag waarin water (tijdelijk) kan worden geborgen en waaruit het water kan worden afgevoerd naar elders. Het water dat niet geborgen kan worden in de substraatlaag loopt over of door naar de drainagelaag.

Substraatlaag

De substraatlaag met vegetatie houdt het water vast in een vochtberging van waaruit het water geleidelijk kan verdampen. De snelheid van de verdamping wordt vooral bepaald door het soort vegetatie.

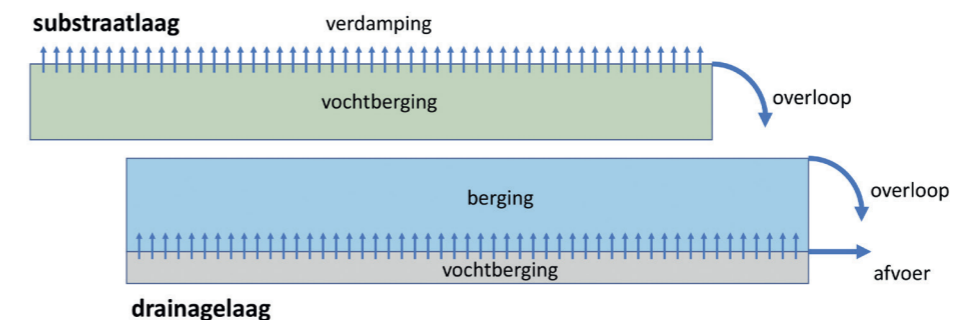
Als de waterberging in de substraatlaag maximaal gevuld is dan loopt het water door of over naar de drainagelaag. Als de drainagelaag ontbreekt dan spreken we van een groen dak. Vanaf dat dak loopt het water over naar de dakafvoer. De combinatie van een substraatlaag met een drainagelaag noemen we een groenblauw dak. Als de substraatlaag ontbreekt dan spreken we van een blauw dak.

Drainagelaag

De drainagelaag voert het water af naar elders. De afvoer via de drainagelaag kan op 2 manieren worden gereguleerd:

- 1) De afvoer van het dak kan bij de uitlaat worden geknepen of flexibel worden gestuurd via een regelbare klep (overlaat).
- 2) De afstroming over het dak kan worden vertraagd door de drainagelaag te profileren als een slingeroot.

De drainagelaag kan zijn voorzien van een noppenlaag waarin water als vochtberging wordt vastgehouden en geleidelijk verdampt. Er zijn ook systemen die de vochtberging in de substraatlaag voeden met water vanuit de drainagelaag.



Figuur 1 - Principe werking van een groenblauw dak

3. Meetdaken, onderzoeksthema's en betrokken organisaties

Voor deze publicatie zijn twaalf meetdaken geselecteerd die de diverse onderzoeken op verschillende typen groenblauwe daken goed illustreren. De publicatie beoogt niet volledig te zijn en is te beschouwen als een momentopname.

Meetdaken

Van de twaalf meetdaken liggen er tien in Nederland, een in Vlaanderen en een in Singapore. De meetdaken verschillen in opbouw, grootte, dakbegroeiing en onderzoeksvragen. De begroeiing van de meetdaken varieert van sedum tot biodiversiteit. Niet alle daken hebben een aparte waterretentielaag. In alle gevallen gaat het om groenblauwe

daken waarbij aan dakparameters is gemeten. Tabel 1 geeft een overzicht van de meetdaken gerangschikt naar type. In hoofdstuk 4 vindt u een kaartje met de locaties van de meetdaken. In hoofdstuk 5 wordt aanvullend een aantal meetdaken gepresenteerd, die interessant zijn om in de gaten te houden.

Daklaboratorium (proefvlakken; buiten)	NIOO-KNAW daklaboratorium (Wageningen) Bakproeven (Singapore) Meetdaken (Antwerpen)
Daklaboratorium (klein dak of deel van groter dak; buiten)	Polderdak 1.0 (Amsterdam) Smartroof 2.0 (Amsterdam) SlimDak010 (Rotterdam)
Experimenteel dak (binnen)	Moerasfiltratiedak (Leeuwarden)
Hellend dak (buiten)	Ecopannen (Enschede)
Groot dak (buiten)	Alexandrium (Rotterdam) Herderschêeschool (Utrecht) Daltonschool (Leidschendam-Voorburg) Fieldlab Polderdak (Delft)

Tabel 1 - Meetdaken per type

Onderzoeksthema's

Bij alle daken wordt gemeten aan de hand van onderzoeksvragen die zijn in te delen naar verschillende thema's en veronderstelde kenmerken van groenblauwe daken. In tabel 2 staan kenmerken waarvoor u als stedelijk waterbeheerder onderbouwing nodig hebt voor uw beleid en

beslissingen over klimaatadaptieve maatregelen. Thema's waaraan alleen is gerekend, zoals de meeropbrengst van zonnepanelen, of resultaten van ander rekenmodelonderzoek hebben we niet in deze publicatie opgenomen. Deze en andere thema's komen aan bod in publicaties Broks, e.a. (2015) en de 'Facts & Values (2019)'.

	Waterberging en verdamping Groenblauwe daken houden in het substraat regenwater vast. Dit water komt niet terecht in het riool of in het grondwater. Minder water naar het gemengde riool betekent ook minder water naar de afvalwaterzuivering. Door verdamping is minder water beschikbaar voor grond- en oppervlaktewater aanvulling of voor (her)gebruik.
	Vertraagde afvoer Vertraagde afvoer van een groenblauw dak houdt het water iets langer vast en voert het geleidelijker af. De piekbelasting van het riool kan afnemen met een reducerend effect op water op straat. Groenblauwe daken met een gelijkmatige afvoer kunnen werken als buffer voor het infiltreren van regenwater.
	Gestuurde afvoer Gestuurde (slimme) afvoeren van groenblauwe daken houden regenwater vast en voeren dat gedeest af om ruimte te maken voor de waterberging van een volgende bui. Deze sturing kan zijn gekoppeld aan een weersverwachting. Dit vermindert de (piek)belasting van het riool en heeft een reducerend effect op water op straat en riooloverstortingen.
	Temperatuur Verdamping van water op een blauw dak of door de vegetatie op een groenblauw dak zorgt voor minder opwarming van het gebouw onder het dak en de directe omgeving van het dak.
	Waterzuivering Groenblauwe 'moerasdaken' zuiveren het vervuild/verontreinigd water als dat door het substraat stroomt, door invang van deeltjes en bacteriële omzettingen. Zo is doorstromend water geschikt te maken voor hergebruik.
	Biodiversiteit Groenblauwe daken zorgen voor meer biodiversiteit in de stad en kunnen als stapstenen in ecologische structuren de leefgebieden voor verschillende soorten planten, insecten, vogels en zoogdieren aan elkaar verbinden of vergroten.

Tabel 2 - Kenmerken van groenblauwe daken

Betrokken organisaties

Tabel 3 geeft een overzicht van de onderzoeksthema's en betrokken organisaties per (type) meetdak.

Type meetdak	Onderzoeksthema's	Betrokken organisaties
Daklaboratorium (proefvlakken; buiten) NIOO-KNAW daklaboratorium (Wageningen)		Wageningen University & Research, Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW), STOWA
Bakproeven (Singapore) Meetdaken (Antwerpen)		Deltares KU Leuven, Stad Antwerpen, Vegetal I.D.
Daklaboratorium (klein dak of deel van groter dak; buiten) Polderdak 1.0 (Amsterdam) Smartroof 2.0 (Amsterdam)		Waternet, gemeente Amsterdam, Dakdokters Gemeente Amsterdam, Drain Products Europe, KWR, Bureau Marineterrein, Waternet, Aedes Real Estate, Topsector Water en Maritiem
SlimDak010 (Rotterdam)		Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, Rotterdams Milieucentrum, Optigrün Benelux
Experimenteel dak (binnen) Moerasfiltratiedak (Leeuwarden)		Centre of Expertise Water Technology (CEW)
Hellend dak (buiten) Ecopannen (Enschede)		Gemeente Enschede, Waterschap Vechtstromen, STOWA, Stichting Pioneering, Domijn
Groot dak (buiten) Alexandrium (Rotterdam)		Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, gemeente Rotterdam, Peutz
Herderschêeschool (Utrecht) Daltonschool (Leidschendam-Voorburg)		TU Delft, gemeente Utrecht, Provincie Utrecht Hoogheemraadschap van Delfland, Universal Greenfields, ACO BV, gemeente Leidschendam-Voorburg
Fieldlab Polderdak (Delft)		Hoogheemraadschap van Delfland, gemeente Delft, TU Delft, STOWA, VP Delta, Stichting RIONED

Tabel 3 - Overzicht onderzoeksthema's en betrokken organisaties per (type) meetdak

4. Meetdaken nader beschouwd

Overzicht meetdak per pagina

Daklaboratorium (proefvlakken; buiten)

- 1 NIOO-KNAW daklaboratorium (Wageningen) 14-15
- 2 Bakproeven (Singapore) 16-17
- 3 Meetdaken (Antwerpen) 18-19

Daklaboratorium (klein dak of deel van groter dak; buiten)

- 4 Polderdak 1.0 (Amsterdam) 20-21
- 5 Smartroof 2.0 (Amsterdam) 22-23
- 6 SlimDak010 (Rotterdam) 24-25

Experimenteel dak (binnen)

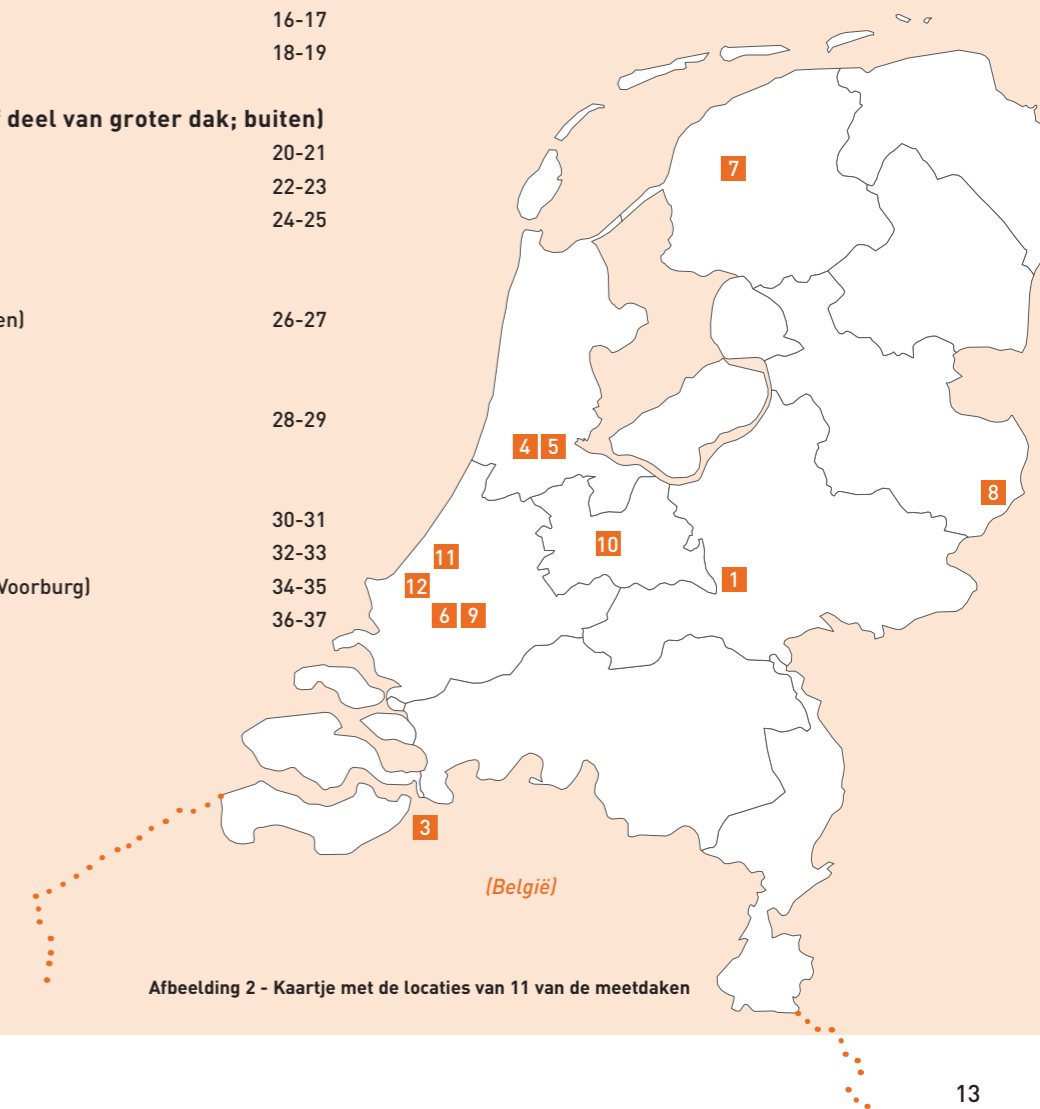
- 7 Moerasfiltratiedak (Leeuwarden) 26-27

Hellend dak (buiten)

- 8 Ecopannen (Enschede) 28-29

Groot dak (buiten)

- 9 Alexandrium (Rotterdam) 30-31
- 10 Herderschêeschool (Utrecht) 32-33
- 11 Daltonschool (Leidschendam-Voorburg) 34-35
- 12 Fieldlab Polderdak (Delft) 36-37



Afbeelding 2 - Kaartje met de locaties van 11 van de meetdaken

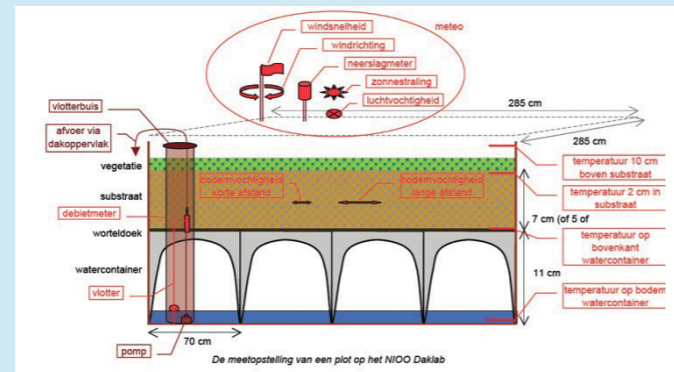
NIOO-KNAW (Wageningen)

Experimenteel daklaboratorium met minipolders

Locatie	Droevendaalsesteeg 10, 6708 PB Wageningen
Typering	Dakcomplex met verschillende onderdelen: groenblauw polderdak (experimenteel daklaboratorium met 45 plots), combinatiedaken kruiden-sedum en zonnecollectorgroendak, demonstratiedak plantenstroom.
Wat wordt gemeten?	<ul style="list-style-type: none"> - de temperatuur in vijf lagen vanaf gebouwtemperatuur onder de isolatielaag, via temperatuur in de waterspouw en substraat naar temperatuur vlak boven de vegetatielaag; - de neerslag op het dak op 3 locaties en de wind; - het waterpeil per plot, het waterpeil kan per plot gereguleerd worden; - monitoring van de vegetatie (diversiteit, soortenrijkdom en bedekkingsgraad) zowel in de 45 plots als op het kruiden-sedumdak en op het zonnecollectorgroendak.
Meetperiode	Vanaf zomer/najaar 2012 – nu, exclusief meteorologische winter.
Eigenaar van het dak	Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)
Onderzoekers	Petra van den Berg (NIOO-KNAW: contactpersoon) Henk-Jan van der Kolk (Ecoloog) Gerard Korthals (Ecoloog) Martijn Bezemer (Ecoloog) Thijs van Veen (Hydroloog) Klaas Metselaar (WUR: Ecohydroloog) Demonstratiedak plantenstroom i.s.m. Plant-e

Onderzoek naar

- Modelling van polderdaken;
 - Relaties tussen substraat, waterhuishouding en vegetatie;
 - Effect van substraat, water en vegetatie op daktemperatuur en biodiversiteit;
 - Effect van zonnecollectoren op vegetatie.
- De eerste onderzoeksfase gericht op waterafvoer en modellering is bijna afgerond. De vegetatiemonitoring loopt continu. Vanaf 2020 is ruimte voor data-analyse en nieuw onderzoek op het gebied van temperatureffecten en de relatie tussen waterhuishouding en temperatuur, de combinatie van water en vegetatie, en insecten en bodemleven.



De Meetopstelling van een plot op het NIOO-KNAW Daklab
(Bron: NIOO-KNAW)

Metingen

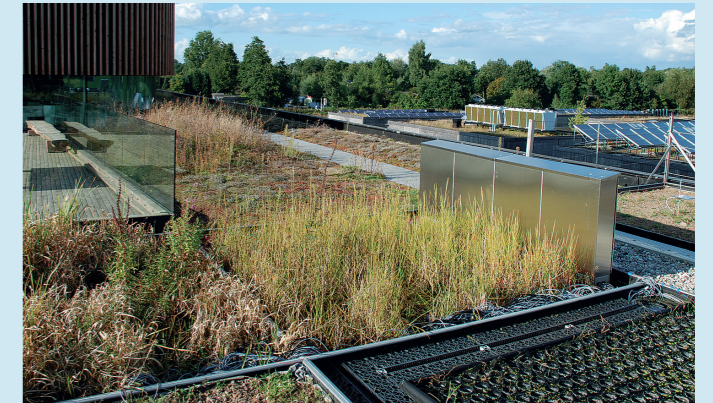
Het daklaboratorium is opgebouwd uit 45 plots van 8 m², die zijn gevuld met zes substraatmengsels, drie zaaimengsels en twee substraatdiktes. Er zijn negen verschillende combinaties die steeds vijf keer voorkomen. Voor het onderzoek naar modellering van het substraat vergelijken we waterafvoermetingen met de gesimuleerde data van vijf verschillende modellen. Aan de hand van de onderzoeksresultaten kunnen we concluderen welk model het beste is voor de modellering van groene daken. Continue temperatuurdata zijn beschikbaar voor alle geteste combinaties van substraat, waterpeil en vegetatie. Vegetatiemonitoring vindt in principe jaarlijks in juni/juli plaats. Kleinere monitoringsexperimenten hebben plaats-gevonden op het gebied van nematoden en vlinders.

Inzichten uit onderzoek

- Relatief eenvoudige modellen volstaan voor het nabootsen van de werking van het substraat.
- Verschillen in microklimaat als gevolg van vocht, beschaduwing, windrichting en substraatdikte zorgen voor grote verschillen in de vegetatie. Gecombineerd gebruik van deze elementen bevordert de diversiteit en aantrekkelijkheid van het dak.
- Aard en dikte van substraat zijn in hoge mate bepalend voor de waterretentie en de ontwikkeling van vegetatie qua diversiteit en bedekkingsgraad.
- Hooggeplaatste zonnecollectoren hebben een positief effect op de dakvegetatiediversiteit via vochthuishouding.



Het NIOO-KNAW Daklab (Foto: NIOO-KNAW)



De indeling van het NIOO-KNAW Daklab bestaat uit 45 plots van 8 m²
(Foto: NIOO-KNAW)

Lessen voor onderzoekers

- Zorg voor voldoende herhalingen van de proeven voor statistisch betrouwbare resultaten.
- Zorg voor een experimentele indeling waarbij vocht- en schadueffecten goed te scheiden zijn.
- Houd rekening met de verschillen in neerslag over de seizoenen en de jaren, en zorg voor accurate neerslagdata.
- Correctie voor windeffect (orde 5%) op regenmeter (bekend uit literatuur) blijkt voor waterhuishouding dak (b.v. grind) nodig, en zou voor elke hydrologische studie aanbevolen moeten worden.
- Daksubstraat gedraagt zich anders dan natuurlijke bodems. De huidige meetprincipes zijn ongeschikt voor groenblauwe daken. Er moet worden gezocht naar geschikte vochtsensoren.



Dakbeplanting en zonnecollectoren (Foto: NIOO-KNAW)

National University of Singapore (Singapore)

Bakproeven

Locatie	Engineering faculty, Nat. University of Singapore, 9 Engineering Drive 1, #07-26 EA, Singapore 117575
Typering	Onderzoeksbakken op poten (hoogte van de bak is 60 cm) op het dak van de universiteit.
Wat wordt gemeten?	Waterberging (afgeleid), gestuurde afvoer, neerslag, temperatuur, windsnelheid en -richting, zonnestraling, luchtvochtigheid, luchtdruk, gewicht van de opstelling.
Meetperiode	2008 – 2012 Daarbinnen meerdere meetperiodes (constant klimaat, rond evenaar): 2008 – 2009 (meetopstelling testen) 2009 (sept) – 2010 (sept): meetperiode 1 2010 (nov) – 2012 (feb): meetperiode 2 Wisselende opstellingen en periodes met meetstorings gedurende de hele periode.
Eigenaar van het dak	National University of Singapore
Onderzoeker	Toine Vergroesen (hydroloog, Deltares)

Onderzoek naar

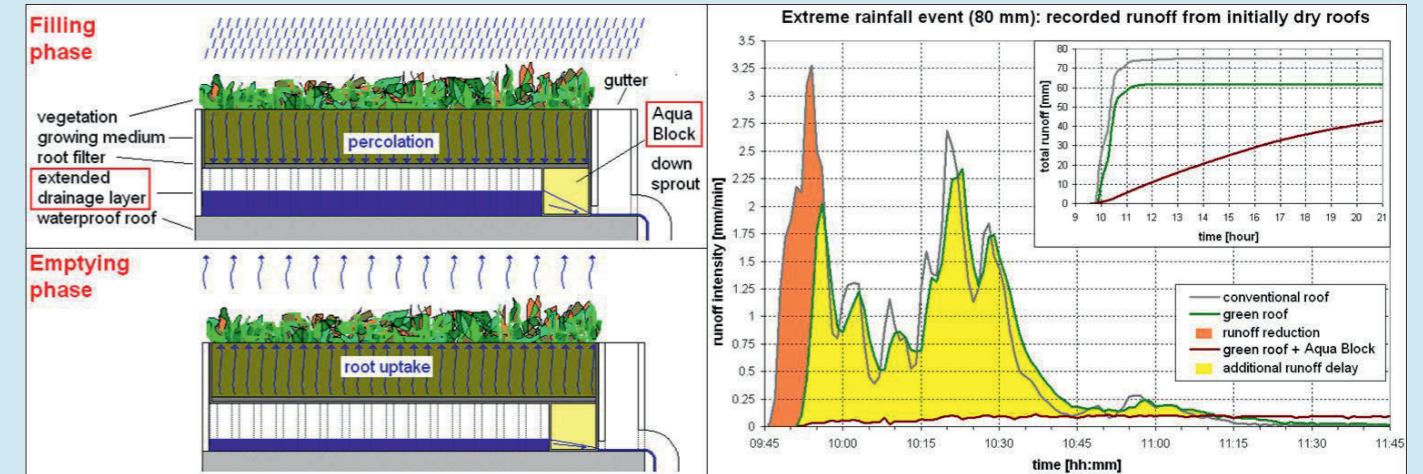
- Relevante processen om de neerslagafvoer van groene daken te kunnen identificeren, begrijpen en modelleren;
- Verbetering van de retentie door een afvoertraging en een vergrote waterberging in de drainagelaag aan te brengen.



Gebruik van vier personenweegschalen om tweemaal daags het gewicht van de complete setup te meten. (Foto: Toine Vergroesen)

Metingen

- Neerslagmeter (kalibratie, tipvolume neemt toe met de neerslagintensiteit);
- Neerslag per minuut (via aantal tips per minuut → [mm/min]);
- Temperatuur, luchtdruk, luchtvochtigheid, zonnestraling, windrichting en snelheid per 5 min;
- Afvoer meting met grote tipping bucket (1 liter per tip) op een hoge resolutie weegschaal.
- Afvoer [mm] per 2 seconden van:
 - Zwart dak (referentiedak van beton);
 - Groene daken zonder en met beplanting;
 - Groen dak met verhoogde drainagelaag en afvoertraging;
 - 'Wateroogstdak' (kiezeldek op holle ruimte met netto 140 mm berging in de drainagelaag en een sterke afvoertraging).
- Gewicht van een groendakopstelling (2x per dag met onder elke poot van de onderzoeksbak een personenweegschaal).



Groen dak met drainagevertraging, met gemeten afvoer bij extreme bui. (Bron: Toine Vergroesen)

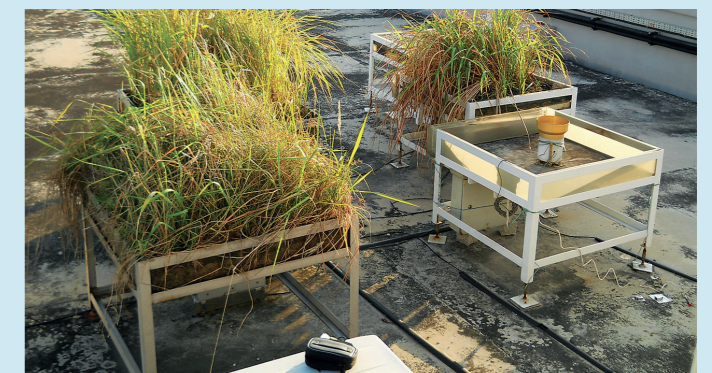
Inzichten uit onderzoek

- Het effect van aanpassing van de daken op de wijkafvoer is berekend door de minuutwaarden van de gemeten afvoeren van de experimenten op te nemen in een gedetailleerd SOBEK-routingmodel. Het effect van conventionele groene daken op de wijkafvoer bleek verwaarloosbaar. Met afvoertraging werd de piekafvoer uit de wijk 18% lager (bij 19% beschikbare daken).
- De waterberging in het groeimedium van extensief groene daken is beperkt en raakt bij extreme buien snel vol. De berging ledigt door verdamping, wat traag verloopt.
- Nadat de berging in het substraat vol is, is de afvoertraging verwaarloosbaar. Het vertragen van de afvoer uit de drainagelaag kan voor relevante piekreductie en afvoerspreiding zorgen. De experimenten leerden dat de afvoer is uit te smeren over meerdere dagen en dat de piek in zijn geheel kan verdwijnen.

Lessen voor onderzoekers

- Snelle processen vereisen geavanceerde meetapparatuur en kleine meetintervallen. Langzame processen zijn ook met veel eenvoudiger apparatuur en veel grotere meetintervallen te meten.
- De opbouw van de drainagelaag bepaalt de afvoertraging.

- De vertraging in het groeimedium is bij volle berging verwaarloosbaar. Het water is eenvoudig vertraagd uit de drainagelaag af te voeren, maar er is een grotere drainagelaag nodig om het water tijdelijk te bergen.
- Een neerslagmeter die niet gekalibreerd is op neerslagintensiteit, onderschat de neerslaghoeveelheid. Bij zware buien kan deze onderschatting oplopen tot meer dan 15%. Datzelfde geldt voor een neerslagmeter op een windgevoelige plek.



Initiële setup: situatie aan het eind van het experiment, na circa 2,5 jaar geen natuurbeheer, regenmeter op referentiedak (r). (Foto: Toine Vergroesen)

Meetdaken (Antwerpen)

Experimentele opstelling

Locatie	Nationalestraat 111, 2000 Antwerpen
Typering	Experimentele opstelling (bakken) met conventioneel groendak, hydroventiv-groendak, OASIS-groendak en een referentiedak.
Wat wordt gemeten?	Waterberging (waterhoogte) in reservoirs onder bepaalde groendaken, neerslag en -afstroming, gestuurde afvoer, koeling, luchttemperatuur, windsnelheid. Afstroming van zowel groendak als referentiedak met twee pluviometers.
Meetperiode	2017 (start in nov) - lopend
Eigenaar van het dak	Samenwerkingsverband Beweging.net
Onderzoekers	Patrick Willems (prof. dr. ir., hoogleraar, KU Leuven) Vincent Wolfs (dr. ir., onderzoeker, KU Leuven) Nora Danko (Stad Antwerpen, Stadslab2050 team klimaatrobuuste daken) Jean-Christophe Grimard (EcoHuis, Vegetal I.D.)

Onderzoek naar

- Relevante processen om de neerslagafvoer en waterhuishouding van groenblauwe daken te kunnen identificeren, begrijpen en modelleren. Op basis van de data werd een model opgesteld dat deze processen kan simuleren.
- Slimme sturing door (onzekere) neerslagvoorspellingen te combineren met het wiskundig groendakmodel, anticiperend op droogte en wateroverlast.
- Scenarioanalyses waarbij de impact van grootschalige toepassing van gestuurde groendaken onderzocht wordt op overstromingen (wateroverlast) in stad Antwerpen.

Meetopstellingen

- Referentiedak: leeg metalen plat dak onder een helling < 1%.
- Conventioneel groendak: vetplanten in een substraatlaag van 6 cm, daaronder ligt een drainagemat, met daaronder een ultradunne, waterbergende laag van argex- of kleikorrels van 3 cm. Zodra die verzadigd is, stroomt het water naar de riolering.



Sensor om de waterhoogte in de onderliggende waterbuffer te meten. (Foto: Vincent Wolfs)

- Hydroventiv-groendak: grassen, kruiden en bloemen in een substraatlaag van 8 cm, met daaronder een 8 cm dik waterbergend reservoir (verschillende plastic bakjes vormen samen één grote berging). Als het water meer dan 2 cm hoog in de drainagelaag staat, wordt water druppelsgewijs afgevoerd via de uitstroom via een vlottertje met een filter. Maar

- als het reservoir vol zit (de buffer kan maximaal voor 7 cm gevuld zijn), dan kan het water ook overstorten over de rand van de berging.
- OASIS-groendak: grassen, kruiden en bloemen in een substraatlaag van 20 cm, daaronder ligt een waterbergende laag van 7 cm zonder uitstroom maar met overloop.
- De neerslagafvoer van elk dak gemeten via een dubbele pluviometeropstelling. Alle variabelen zijn gemeten vanaf november 2017 met een tijdstap van 1 minuut.

Inzichten uit onderzoek

- Er moet voldoende water beschikbaar zijn om het sedum in droge periodes te laten overleven. Waterberging van minstens 50 liter/m² is nodig om een droge periode van zo'n maand te overbruggen bij een substraatdikte van 80 mm.
- Als in theorie alle platte daken in Antwerpen (9% van het totale verharde oppervlak) intelligente groendaken worden met waterberging (op het dak zelf of in de tuin of straat), kan het volume water op straat met circa 30% dalen bij extreme buien.
- Het onderzoek toont het belang van een nauwkeurige neerslagvoorspelling aan.
- De belangrijkste uitkomst is het wiskundig model waarmee je de waterhuishouding van diverse soorten groendaken kunt simuleren. De software is beschikbaar via www.sumaqua.be/sirio.



Proefopstelling van het OASIS-groendak. (Foto: Vincent Wolfs)



Detail van de opstelling om de afstroming van groendaken te meten met twee pluviometers. (Foto: Vincent Wolfs)

Lessen voor onderzoekers

- Het belang van een robuuste meetinstallatie. Op de testsite zijn vijftien sensoren geïnstalleerd, die via twee aparte configuraties data doorsturen naar twee geheugenkaarten.
- De afvoer van elk groendak is gemeten met twee pluviometers die parallel opgesteld staan. Kleine afvoeren zijn nauwkeurig geregistreerd met een tippingbucketsysteem van 10 mm. De afvoer via de kleine tipping buckets is gelimiteerd. Grotere afvoeren zijn afgeleid naar een tipping bucket van 1 liter.
- Het onderhoud is vergelijkbaar met dat van reguliere groendaken. Het groen is minimaal onderhouden om te onderzoeken welke types vegetatie meer/minder aanslaan. Zelfs na 1,5 jaar gebruik zijn de drijvende vlotters die een druppelsgewijze uitstroming mogelijk maken niet verstopt.

Polderdak 1.0 (Amsterdam)

Dak van de creatieve broedplaats Old School

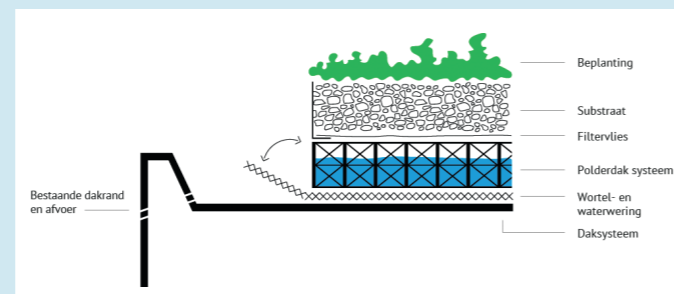
Locatie	Gaasterlandstraat 3, 1079 RH Amsterdam
Typering	Polderdak met daaromheen een dijk met afsluitbare openingen. De kleppen en de dijk onder het groen houden het regenwater tijdelijk vast. Na de bui wordt het water vastgehouden voor irrigatie van het groendak (zomer) of loopt het water gecontroleerd weg (winter).
Wat wordt gemeten?	Waterniveau, waterafvoer, temperatuur water/lucht, klepstand en tijdelijk: vochtgehalte groene laag, neerslag.
Meetperiode	2013 – 2019. Gebouw wordt naar verwachting eind 2019 gesloopt.
Eigenaar van het dak	Dakdokters, Waternet
Onderzoekers	Rob Tijsen (Waternet) Tijmen Heetebrij (afstudeerder Waternet, inmiddels Sweco) Kasper Spaan (Waternet) Friso Klapwijk (Dakdokters) Sacha Stolp (gemeente Amsterdam)

Onderzoek naar

- Het ontwikkelen en testen van een klepsysteem.
- De opzet bestond uit twee daken: een groen polderdak en een identiek 'zwart' bitumen/grind referentiedak. Beide daken bestonden uit twee helften, waarvan één helft was voorzien van een klepsturing en de andere helft vrij afwaterend was.
- Een groen polderdak in Amsterdam realiseren en laten zien hoe een polderdak functioneert. In de meetperiode hebben bedrijven, stagiair(e)s en afstudeerders diverse onderzoeken uitgevoerd.
- Modelmatig is bekeken wat het effect zou zijn als alle gebouwen in een gehele wijk dit polderdak zouden hebben.

Metingen en systeem

- Waterniveau, waterafvoer, temperatuur water/lucht, klepstand en tijdelijk: vochtgehalte groene laag en neerslag. De maximale waterbuffer bedraagt 135 mm: 108 mm in de blauwe laag, 27 mm in de groene laag.



Schematische weergave van de werking van het polderdak. (Bron: www.dakdokters.nl)

- De prestaties van het polderdak waren intern online te volgen en waar nodig was het systeem op afstand te besturen. De aansturing van deze eerste generatie kleppen verliep via een centrale regelkast met een Programmable Logic Controller (PLC).



Groentetuin met achteraan een bijenkast. (Foto: Merlijn Michon)



Klepsturing op groen sedum dak met groente- en kruidentuin van het in het gebouw gevestigde restaurant. (Foto: Dakdokters)

Inzichten uit onderzoek

- Technische verbeterlagen van het klepsysteem. Met 135 mm waterberging is vrijwel al de neerslag te bergen. De berging in de sedumlaag ligt tussen de 0 en 27 mm. Soms zat deze door eerdere neerslag al vol vocht bij aanvang van forse buien. Door verdamping verdwijnt in totaal op jaarbasis veel water van het dak, zonder dat dit naar het riool stroomt. In de zomer is de afvoer van het dak feitelijk nihil, in de periode van maart tot oktober verdampt al het water.
- Aansturing op neerslagvoorspelling kan zinvol zijn, maar door verschil in werkelijk gevallen neerslag komen regelmatig onnodige dakwaterlozingen voor. Dat kan een conflict geven als dakplanten hiervan afhankelijk zijn.
- Woonwijk Buitenveldert bestaat net als veel andere woonwijken uit maximaal 20% dakoppervlak. Als al deze daken plat zijn en alle neerslag kunnen opvangen en niet afvoeren, kunnen deze polderdaken een bui toch maar met maximaal 20% reduceren.

Lessen voor onderzoekers

- Klepsystemen hebben regelmatig onderhoud nodig;
- Werken op hoogte brengt veiligheidsrestricties met zich mee. Houd hier rekening mee bij het inrichten van daksystemen;



Zwart 'referentiedak' met op de voorgrond een klepgestuurd deel en op de achtergrond een vrij afwaterend deel. (Foto: Rob Tijsen)

- Bekijk ook of de neerslag van het dak benut kan worden om uitzakkende grondwaterpeilen in een stad met houten paalfunderingen aan te vullen, groenvoorziening te bewateren, verzilting tegen te gaan, etc.

Smartroof 2.0 (Amsterdam)

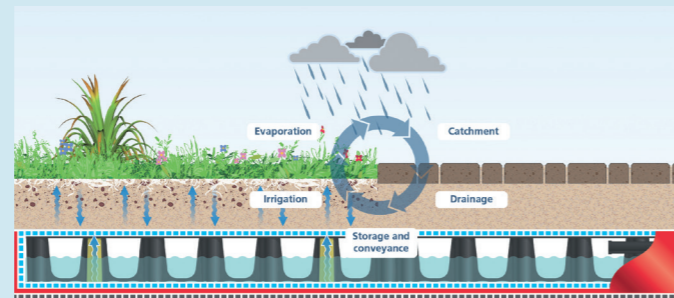
Blauw-groen vegetatiedak

Locatie	Het dak van gebouw 002 van het voormalig Marineterrein, Kattenburgerstraat 5, 1018 JA Amsterdam.
Typering	Blauw-groen vegetatiedak met verschillende proefvakken voor verschillen in waterberging en vegetatie.
Wat wordt gemeten?	Neerslag, verdamping/verkoeling, luchttemperatuur, luchtvochtigheid, luchtdruk, windsnelheid, straling, actuele verdamping en biodiversiteit.
Meetperiode	2017 – 2019
Eigenaar van het dak	Bureau Marineterrein en Rijksvastgoedbedrijf (RVB)
Onderzoekers	Gijsbert Cirkel (senior onderzoeker ecohydrologie, KWR) Joris Voeten (sr. ir. Groen Stedelijke Ruimte, Urban Roofscapes)

Onderzoek naar

- Verdamping van dakvegetaties en het effect hiervan op de energiebalans en de ontwikkeling van de biodiversiteit van de beplanting.
- Circulair waterbeheer op locatie: opvangen, opslaan en hergebruiken. De 85 mm dikke drainage- en waterretentielaag (Permavoid 85s) bevat specifieke steenwolcilinders die opgeslagen regenwater op natuurlijke wijze capillair terugvoeren naar het substraat, op het moment dat planten water verdampen en zonder energie te gebruiken.
- Het kwantificeren van de verdamping bij wel en geen passieve irrigatie en bij verschillende vegetaties. De vegetatie bestond uit sedummixmatten die op het dak doorgezaaid waren met een inheems gras-kruidenmengsel om te volgen hoe de vegetatie zich ontwikkelt onder de verschillende vochtcondities.

- Drie meetopstellingen op een dak van 440 m², met een zo licht mogelijke opbouw van het blauw-groene systeem (90-140 kg/m², afhankelijk van de substraatdiepte):
- Twee blauw-groene opstellingen met een waterbergende drainagelaag van 8,5 cm die het water capillair terugvoert naar de beplanting voor groei en verdamping, de een met een



Dwarsdoorsnede van het gebruikte blauw-groene dak.
(Bron: Permavoid)

- substraat van 8 cm, de ander van 4 cm.
- Een conventioneel groendak met een substraat van 4 cm op een standaard 2,5 cm dikke drainagelaag.

Metingen

- (Micro)meteorologische en hydrologische parameters verzameld om een water- en energiebalans van het blauw-groene dak op te stellen.
- Luchttemperatuurmetingen op drie verschillende hoogtes (20, 50 en 150 cm boven het substraat), relatieve luchtvochtig-



Overzicht van het meetak met zichtbaar verschil tussen de sedummixmatten en een vegetatietest met grasmatten.
(Foto: Joris Voeten, Urban Roofscapes)

- heid, luchtdruk, windsnelheid en -richting, globale straling, netto straling, bodemwarmteflux, bodemvocht, oppervlaktetemperatuur en uniek voor Nederland: actuele verdamping met drie in de meetvlakken ingebouwde gewogen lysimeters.
- Waterbalansmodel gebouwd en gevalideerd, waarmee de actuele verdamping ook buiten de meetperiode is te berekenen obv standaard meteorologische gegevens van een KNMI-meetstation.

Inzichten uit onderzoek

- Door passieve irrigatie vanuit de waterberging kunnen blauw-groene daken langere tijd verdampen. Bijvoorbeeld de gemeten verdamping tijdens de hittegolf (2 weken) in juni 2017. Het conventionele groene dak verdampte in deze periode 18 liter water per m², het blauwgroene dak verdampte 42 liter water per m². De waterberging op het conventionele groene dak is kleiner en wordt niet aangevuld waardoor minder water voor verdamping beschikbaar is.

- Capillaire irrigatie zorgt voor een stabiel bodemvochtgehalte en elimineert de sterke droog-natcyclus op conventionele groendaken. Hierdoor groeit beplanting met slechts 4 tot 8 cm substraat ook uit tot een rijke grassen- en kruidenbeplanting.
- Het gebruikte blauwgroene Permavoid-drainagesysteem met capillaire irrigatie zet per jaar gemiddeld 50% meer inkomende zonne-energie om in plantverdamping in plaats van lucht-opwarming dan een conventioneel groendak. Het effect is hier dat een deel van het water uit de drainagelaag verdampt via de substraatlaag en vegetatie.
- Ecologische scan (van 24 uur) op insectensoorten: 42 verschillende soorten insecten gevonden. Opmerkelijk hoog aantal vliegende insecten en meerdere soorten spinnen. Er werd zelfs een zeldzame soort sluipwesp gevonden. Dit wijst op een ecosysteem met meerdere prooi-roofdiercycli op een blauw-groen dak van slechts 18 maanden oud met een bodemlaag van slechts 4 cm diep.
- De gemeten gemiddelde oppervlaktetemperatuur op een zwart bitumen dak was op de warmste dagen in de zomer van 2017 circa 40°C hoger dan op het blauw-groene dak.

Lessen voor onderzoekers

- Inzicht in zowel energiebalans als verdamping is nodig om uitspraken te doen over de verkoelende werking van groene en blauwgroene daken.
- De sensoropzet en het gebruik van de gewogen lysimeter zijn zorgvuldig uitgewerkt. Dit levert data van hoge kwaliteit en betrouwbaarheid. Deze onderzoeksopzet kunnen andere onderzoekers ook toepassen, waarmee goed vergelijkbare onderzoeksresultaten te verkrijgen zijn.
- Houd bij het plaatsen van sensoren rekening met vegetatie-hoogtegroei: sedummix is niet meer dan 10 cm hoog, maar grassen en kruiden worden gemakkelijk 40 cm hoog, waardoor laaggeplaatste sensoren zich ineens in de beplanting bevinden.
- Maak op voorhand afspraken over het wel of niet bijvullen van het systeem bij extreem lange droogte, het specifieke moment waarop en de bij te vullen hoeveelheid water.

SlimDak010 (Rotterdam)

Retentiedak

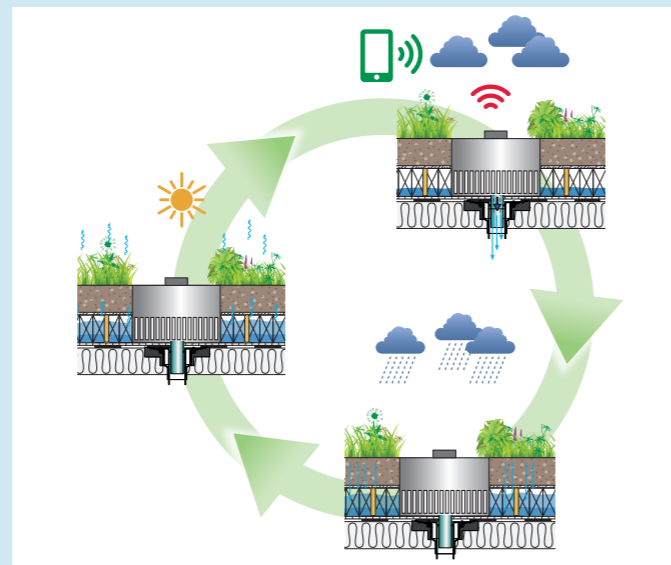
Locatie	Op het dak van het Dakpaviljoen van de DakAkker boven op het Schieblock in Rotterdam, Schiekade 189 (302), 3013 BR Rotterdam
Typering	Retentiedak met reguleerbare afvoer vanuit de waterberging Smart Flow Control.
Wat wordt gemeten?	Waterniveau in de retentiebussen en de luchttemperatuur in de controleschacht van de Smart Flow Control in relatie tot neerslagvoorspelling en lokale neerslagstatistieken (locatie Zestienhoven). Op het dak wordt geen neerslag gemeten.
Meetperiode	2018 (juni) tot (naar verwachting) 2028 In het eerste jaar (juni 2018 – juni 2019) is proefonderzoek uitgevoerd.
Eigenaar van het dak	Stichting de DakAkker, Schieblock
Onderzoekers	Rob Steltenpöhl (product- en systeemmanager, Optigrün International AG) Joeri Schenk (beleidsmedewerker watersystemen, Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard) Emile van Rinsum (directeur, Rotterdams Milieucentrum)

Onderzoek naar

Proefopstelling van een innovatief retentiedak met Smart Flow Control. Een testsite voor een retentiedak dat significant meer water bergt dan een conventioneel begroeid dak. De afvoer vanuit de waterberging is te reguleren en wordt volledig automatisch en digitaal aangestuurd op basis van lokale neerslagverwachtingen (MeteoGroup). Het doel is om het geborgen water zo lang mogelijk vast te houden en niet onnodig van het dak af te voeren, zodat het beschikbaar is voor de vegetatie.

Het doel van het onderzoek is om aan te tonen dat een retentiedak met Smart Flow Control, dat communiceert en reageert op lokale neerslagvoorspellingen, significant meer water verdampst en slechts incidenteel op een gunstig moment water van het dak afvoert. Dit kan leiden tot minder volume van riooloverstortingen en dat kan een gunstig effect hebben op de waterkwaliteit.

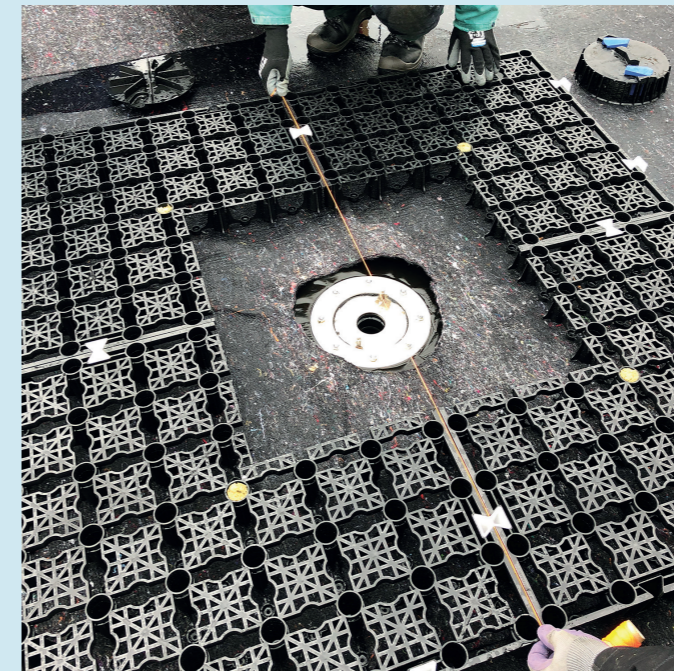
De inzet is om de toegevoegde waarde van een grotere water-



Waterkringloop SlimDak010. (Bron: SlimDak010)



Smart Flow Control in de controleschacht.
(Foto: Opitgrün International AG)



Het plaatsen van de basis van de Smart Flow Control op het SlimDak.
(Foto: Opitgrün International AG)



Locatie van het SlimDak, op het dak van het Dakpaviljoen van de DakAkker boven op het Schieblock in Rotterdam. (Foto: SlimDak)

bergingscapaciteit in Rotterdam aan te tonen. Daarvoor zijn niet alleen meer begroeide daken nodig, maar vooral begroeide daken die significant meer en slimmer water kunnen bergen dan een conventioneel begroeid dak.

Metingen

Waterniveau (mm) in de retentiebussen en luchttemperatuur (C) in de controleschacht van de Smart Flow Control. De metingen worden 24/7 verricht met een interval van 5 minuten en door-gestuurd naar de server, die de informatie verwerkt en waar nodig een actie communiceert richting de Smart Flow Control.

Inzichten uit onderzoek

Het eerste jaar na realisatie (juni 2018) is voornamelijk gebruikt om de proefopstelling te optimaliseren. Het onderzoek is dus pas in 2019 begonnen. Er zijn nog geen resultaten.

Lessen voor onderzoekers

- Het SlimDak is in de basis een conventioneel begroeid dak. Daarbij is de Smart Flow Control zowel online als op locatie te inspecteren, zodat proactief en accuraat ingrijpen mogelijk is als zich eventueel storingen voordoen.
- Het ontbreken van een neerslagmeter op het dak maakt interpretatie van resultaten heel lastig
- Het analyseren van de metingen moet bij voorkeur tijdens de metingen plaatsvinden en niet achteraf na een flinke periode!

Moerasfiltratiedak (Leeuwarden)

Dakfiltratiematten voor zuivering afvalwater

Locatie	In de kas van Hogeschool Van Hall Larenstein, Oostergoweg 9,8911 MA Leeuwarden.
Typering	Licht hellende moerasfiltratiedakbakken met als hoofdfunctie waterzuivering. Daarnaast verdampingskoeling en isolerende werking, dempen van geluid, invangen van fijnstof, bescherming van het dak en natuur-esthetische waarde.
Wat wordt gemeten?	Waterkwaliteit en zuiveringsvermogen, dosering met kunstmatig aangemaakt erfafspoelwater.
Meetperiode	2018 (maart – augustus)
Eigenaar van het dak	Niet van toepassing, uitvinder van het integratieconcept moerasfiltratiedak en stalbouw: Bouwgroep Riemersma Bouw & Projecten.
Onderzoekers	Länk Vaessen (business developer, CEW) Bob van Bijnen (projectmanager, CEW) Bob Laarhoven (onderzoeker, CEW)

Onderzoek naar

In 2018 heeft het Centre of Expertise Water Technology (CEW) verkennend onderzoek gedaan naar het gebruik van twee typen vegetatiematten om erfafspoelwater te zuiveren. Dit gebeurde via een moerasfiltratiedak, een geconstrueerd ondiep nat dakfiltersysteem van maar 40 kg/m², dat horizontaal doorstroomt om water te zuiveren. De vegetatiemat is beplant met grassen, moeras- en oeverplanten. Om in de praktijk dit erfafspoelwater op het dak te kunnen zuiveren is een systeem met een pomp en een bufferput nodig.

Metingen

De onderzoeksvraag was: hoe kun je vervuild erfafspoelwater zuiveren voordat je het naar het oppervlaktewater laat afstromen? In een laboratoriumopstelling in een broeikas zijn vijf combinaties gemonitord. Daarbij zijn drie verschillende hellingshoeken (5-15-25 graden) en twee typen matten (oevermat van kokosvezels (gebr.Visscher) en drijfmat (Blumberg/Rhizotech)) gecombineerd met een doorstroom dan wel recirculatie van afvalwater. Voor het onderzoek zijn waterkwaliteitsmetingen uit-

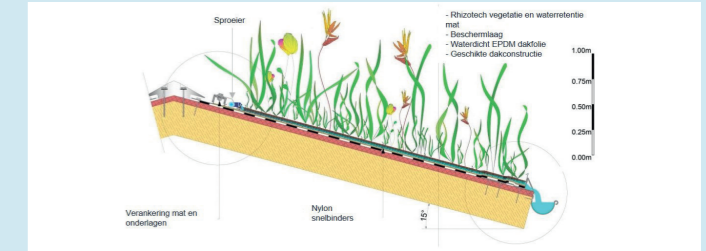


Opzet onderzoek: vijf opstellingen van 2 meter lang en 1 meter breed. (Foto: Bob Laarhoven)

gevoerd en is het verwijderingsrendement bepaald in termen van chemisch zuurstofverbruik, totaal stikstof, ammonium en fosfaat.



Vegetatiematten: (boven) kokosmat bij de start in maart 2018 (gebr.Visscher), (midden) drijfmat bij de start (Blumberg/Rhizotech) en (onder) drijfmat twee maanden na de start (Blumberg/Rhizotech). (Foto's: Bob Laarhoven)



Dwarsdoorsnede van een moerasfiltratiedak. (Bron: www.blumberg-engineers.com)

Inzichten uit onderzoek

- Recirculatie zorgt voor een beter verwijderingsrendement dan doorstroom. Met recirculatie hebben we effluentconcentraties behaald die voldoen aan de emissie-eisen binnen de IBA-normering klasse IIIa.
- Een hellingshoek van 5 graden zorgt voor een beter verwijderingsrendement dan een hellingshoek van 15 en 25 graden.
- De hoeveelheid vegetatie en het gebruikte type vegetatiemat hebben vooral effect op de waterhuishouding (verdamping en verblijftijd) en niet op het waterzuiverend vermogen.
- Bij een volgroeide vegetatie blijkt bij een kokosmat eerder sprake van uitdroging dan bij een meer gesloten drijfmat gebaseerd op kunstvezels.
- Het recirculeren van het te behandelen kunstmatige erfafspoelwater verbetert het verwijderingsrendement flink en helpt uitdroging voorkomen.
- De biologische fosfaatverwijdering blijkt in alle gevallen onvoldoende om aan de gestelde IBA-normering klasse IIIB te voldoen.
- Het advies is dan ook om filtratie in het vervolg te combineren met recirculatie, een gepaste techniek voor fosfaatverwijdering en een verbeterde waterhuishouding om zo de zuiveringscapaciteit te optimaliseren en het risico op uitdroging te verlagen.

Lessen voor onderzoekers

Om verder te kunnen opschalen, moet je de minimale en maximale hydraulische belasting en vuilbelasting per oppervlak bepalen om zo tot een gepast ontwerp en doseringsbeleid te komen voor in de praktijk.

Ecopannen (Enschede)

Ecopan, de groene dakpan

Locatie	Groene dakpannen op huizen aan de Kremersmaten, betonpannen op huizen aan de Stinsburg (referentiedaken), Enschede.
Typering	Op elf hellende daken zijn groene dakpannen, Ecopannen, aangelegd: waterdichte bakken van HDPE, gevuld met substraat en sedumplanten.
Wat wordt gemeten?	Neerslag, afvoer (met afvoermeetbuis), luchtvochtigheid, luchtdruk, windrichting en windsnelheid.
Meetperiode	2016 (mei) - 2017 (december) In de eerste tien maanden is de meetopstelling ingeregeld en zijn de waterhoogte-afvoerrelaties van de afvoermeetbuizen geijkt. Daarna is er tot 1 december 2017 gemeten.
Eigenaar van het dak	Woningcorporatie Domijn
Onderzoekers	Hendrikjan Teekens (Gemeente Enschede) Jeroen Buitenweg (Waterschap Vechtstromen) Kees Broks (STOWA) Joke Bults (Stichting Pionering) Arno Weppel (Floraroof)

Onderzoek naar

Op elf woningen met schuine daken met een afstroamlengte van 2 en 4 m zijn Ecopannen geplaatst: begroeide 'dakpannen' die de betonpannen vervangen op de bestaande panlatten. Van zowel een korte als een lange dakhelling van 45 graden is de neerslagafvoer in de regenpijp gemeten en vergeleken met de afvoer van de referentiedaken met betonpannen.

Meetapparatuur

- Heel nauwkeurige (dure) neerslagmeter (Lambrecht DGN 15184, met 'weighing tipping bucket').
- Eenvoudig (goedkoop) weerstation (BR-2000) om windrichting en -snelheid, temperatuur, luchtvochtigheid, luchtdruk en lichtsterkte te meten.
- Zelf ontworpen en door de werkplaats van Waterschap Vechtstromen gefabriceerde afvoermeetbuizen (vier stuks), met daarin drukopnemers (Keller DCX-22), om de afvoer van

de daken te meten. Deze drukopnemers meten het waterpeil in de opvangbak. Uit dat waterpeil wordt de afvoer afgeleid.
- Luchtdrukmeter (Keller DCX-22).

Voor het meten van de dakafvoer is hier bijzonder. Omdat de regenpijpen aan de straatzijde zitten en de ruimte beperkt is, zijn de dakafvoeren gemeten met drukopnemers onder in zogenaamde afvoermeetbuizen ('orifice restricted device'). In deze meetbuizen zitten meerdere afvoeropeningen die van onder naar boven in diameter toenemen. Elke meetbuis is aan een opvangbak in de bestaande regenpijp geplaatst. Bij toenemende dakafvoer in de meetbuis, stijgt het peil en neemt daardoor ook de afvoer door de openingen toe. De diameter van de openingen is afgestemd op de minimaal te meten afvoer (niet te kleine openingen vanwege risico op verstopping) en de maximaal te meten afvoer (alleen bij extreme neerslag zal de opvangbak boven de meetbuis overlopen).



Afvoermeetbuizen met opvangbak. (Foto: Hendrikjan Teekens)

Inzichten uit onderzoek

- De gemeten piekafvoeren van de Ecopannen zijn met 75 tot 80% een stuk lager dan van de betonpannen, de kleinere dakafvoer van de Ecopannen houdt wel veel langer aan. De kleinere afvoer heeft een gunstig effect op de belasting van het riool en de hoeveelheid water op straat.
- De oriëntatie van de dakhelling (noord, oost, zuid, west) heeft grote invloed op de hoeveelheid neerslag die op het dak valt. Op de hier bemeaten daken met oostelijke oriëntatie valt 55% van de gemeten neerslag. Uit dit wind effect kan worden afgeleid dat op daken met een zuidwestelijke oriëntatie circa 164% van de gemeten neerslag valt. Bij een minder grote dakhelling wordt dit effect kleiner.
- Uit de metingen blijkt dat de ecopannen circa 15 mm water kunnen vasthouden.
- Met het rioleringsmodel in InfoWorks is het effect op water op straat berekend als alle hellende daken 'bovenstrooms' van het centrum van Enschede 15 mm waterberging hebben. Bij bui 8 (19 mm neerslag in 1 uur) neemt het volume water op straat af met circa 80% en op veel locaties wordt geen water op straat meer berekend. Bij bui 10 (36 mm neerslag in 45



De korte en lange schuine daken met Ecopannen. (Foto: H. Teekens)

minuten) is het effect minder groot; het totale volume water op straat neemt met circa 40% af.

Lessen voor onderzoekers

- Een meetopstelling voor (heel) kleine dakafvoeren in een straat is lastig te realiseren. De afvoermeetbuizen zijn gevoelig voor de invloed van luchtdrukschommelingen, wind en temperatuur op de drukmeting in de afvoermeetbuis. Daarop is een correctie uitgevoerd. Ook zijn de afvoermeetbuizen gevoelig voor vervuiling, daarom zijn de dakgoten maandelijks gereinigd.
- Houd rekening met een extra meetperiode om de meetreeksen van alle meetinstallaties volledig en betrouwbaar te krijgen.
- De windsnelheid en windrichting zijn van grote invloed op de hoeveelheid neerslag die op een hellend dak valt.
- Met beperkte ruimte en beperkt budget is het toch mogelijk om met relatief eenvoudige meetinstrumenten een goed beeld te krijgen van het effect van Ecopannen op de neerslagafvoer.

Alexandrium (Rotterdam)

Extensief begroeid dak

Locatie	Winkelcentrum Alexandrium I, Korte Poolsterstraat 2, 3067 LZ Rotterdam
Typering	Extensief begroeid dak
Wat wordt gemeten?	Lokale neerslag, afvoer en bodemvochtgehalte van het dak, temperatuur.
Meetperiode	2015 (1 april) – 2016 (25 mei)
Eigenaar van het dak	Klépierre Vastgoedbeheer
Onderzoekers	Titus van Hille (adviseur stedelijk waterbeheer, gemeente Rotterdam) Paul van Roosmalen (projectleider duurzame daken, gemeente Rotterdam) Jaap de Ron (Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard) Gerrit Hulstein (ir., Bouwfysica, Peutz)

Onderzoek naar

Het ingenieursbureau van Stadsontwikkeling Rotterdam:

- waterberging op het dak;
- De rol van het dak:
 - in de reductie van de neerslagafvoer en de piekafvoer van neerslag naar het riool;
 - op de vertraging van de afvoer naar het riool.
- De invloed van neerslag en afvoer op het bodemvochtgehalte van het substraat.

Adviesbureau Peutz: temperatuuronderzoek op drie verschillende soorten daken (wit, zwart, groen).

- Van het groene dak zijn een groot (700 m²) en een kleiner dak (140 m²) bemeaten.
- De daken verschillen in dakconstructie en in isolatiewaarde (respectievelijk RC-waarde 2,8, 1,3 en 1,4) en de ruimten en temperaturen onder de daken.

Op basis van de metingen zijn simulaties met een BFEP-rekenmodel uitgevoerd voor de verschillende daken en voor een langere periode. Hiervoor is als referentiejaar 1964 gebruikt (gangbaar jaar in temperatuuronderzoek maar wel gemiddeld genomen koeler dan tegenwoordig).



Dak 17, het groene dak met ervoor het zwarte dak tijdens het aanbrengen van de meetapparatuur.
(Bron: Stadsontwikkeling Rotterdam, W. van Bommel)



Groen dak 700 m².
(Foto: Stadsontwikkeling Rotterdam, T. van Hille)

Metingen

- De metingen van neerslag per minuut van 126 buien uit de periode juli 2015 - mei 2016 zijn geanalyseerd en vergeleken met de afvoerdata en bodemvochtgehalten van twee groene daken (dak 15 van 700 m² en dak 17 van 140 m²).
- Temperatuur op verschillende niveaus boven en onder drie verschillende daken en warmtestroomdichtheid door de daken in de periode april 2015 - oktober 2015.

Inzichten uit onderzoek

Hierbij is onderscheid gemaakt in de waterhuishouding en het thermisch gedrag van het dak.

Neerslag-afvoerrelatie en bodemvocht

- De dakgrootte is van invloed op de afvoer door de af te leggen afvoerafstand en het daarmee samenhangende afschot. Hoe groter het dak des te groter de afvoerreductie en -vertraging. Kleine neerslag leidt op het grote dak niet tot afvoer.
- Het tijdsverschil tussen het zwaartepunt in het verloop van de neerslag en dat van de afvoer van 90% van de buien bedraagt op het grote dak niet meer dan 12 uur en op het kleine dak niet meer dan 6 uur. Bij 10% van de buien is het tijdsverschil groter.



Bodemvochtmeter in substraat op groen dak 700 m².
(Foto: Stadsontwikkeling Rotterdam, T. van Hille)

Thermisch gedrag en eigenschappen van het dak

- Een zwart dak vangt meer warmte in door instraling van de zon. Het verlies in hoeveelheid binnenkomende en uittredende energie was groter bij een groen dak dan bij een zwart dak, waardoor het onder een groen dak koeler blijft.
- Een groen dak isoleert niet meer/beter dan een wit dak.
- Er zijn geen uitspraken te doen over het hitte-eiland-effect.
- Onder een minder goed geïsoleerd zwart dak warmt een gebouw in de winter en in de zomer sneller op.
- Als je daken goed isoleert, maakt het voor het thermisch gedrag in het gebouw niet meer zo veel uit wat je boven op het dak doet.

Lessen voor onderzoekers

- Paddlewheel debietmeters meten kleine debieten niet goed.
- Te lange kabels en verbindingen kunnen tot meetfouten leiden vanwege geringe stroomsterkte.
- De meetdata moet je controleren en valideren. Niet wachten met de analyse tot het einde van de meetperiode.
- Combinatie van data uit verschillende dataloggers: recordtijden zijn soms ongelijk aan elkaar, dus die moet je controleren en corrigeren.

Herderschêeschool, Utrecht

Vegetatiedaken en referentiedaken

Locatie	Herderschêeschool, Stauntonstraat 9, 3554 EZ Utrecht
Typering	7 Vegetatiedaken en 2 referentiedaken
Wat wordt gemeten?	Waterberging, temperatuur/hittestress, gezondheid
Meetperiode	2011 (27 juni) tot 2014 (mei). Er wordt in 2020 weer gestart met meten.
Eigenaar van het dak	Herderschêeschool, eigenaar groene dak. Gemeente Utrecht, eigenaar monitoring.
Onderzoekers	Michiel Rijsdijk (Beleidsadviseur water, gemeente Utrecht) Anna Solcerova (onderzoeker, TUD) Mengye Wang (scriptie, TUD) Jan Cornelis Van Vliet (scriptie, HvA) Fahd Arbrini (scriptie, HU) Renske Zwart (Provincie Utrecht, afdeling Milieu)

Onderzoek naar

De gemeente wilde na de start van een subsidieregeling voor groene daken met dit demonstratieproject de inwoners kennis laten opdoen over groene daken. Daarnaast was de wens om zelf meer kennis op te doen over de werking van van groene daken en hoe deze in te zetten voor klimaatadaptatie in de stad. De onderzoeksvragen zijn gericht om de werking van sedum/heide, mos/sedum- en sedumdaken aan waterberging en afstromingsvertraging, temperatuurreductie en isolatiewaarde te kunnen kwantificeren.

Er is gemeten aan zes vegetatiedaken van elk 28 m², een vegetatiedak van 62 m² en twee referentiedaken (een met grind en een met bitumen). Een van de vegetatiedaken ligt op een meanderplaat, met 80 mm waterberging. Een van de vegetatiedaken is een ultralicht dak, 30 kg/m², met spons als drainage-laag.

Metingen

- De temperatuur in de groene daken is iedere 5 minuten gemeten (TS21) onder het dak, in de bodem en 15 en 30 cm boven het groene dak/grind. Op het referentie dak met grind is de temperatuur ook gemeten onder het grind;
- Het weerstation op locatie meet middels een tippingbucket iedere 5 minuten de neerslag intensiteit. De neerslagdata wordt vergeleken met de hoeveelheid opgevangen regenwater in de regenmeter (raincollector 7852M).
- Alle daken zijn voorzien van een aparte dakafvoer, uitgerust met een debietmeter – een bak met gaten met een bepaalde diameter en hoogte. Afhankelijk van de waterstand in de bak, loopt het water via een specifiek aantal gaten uit de bak. Bij iedere waterstand hoort één bepaalde afvoercapaciteit. Iedere 5 minuten wordt de waterstand bemeaten met een drukmeter in de bak.
- De daken zijn daarnaast gemonitord op bodemvocht (ECH20 EC-20), zonnekracht (Radiation shield model 306) en windkracht (EkoPower Max 40).



Meetapparatuur op het dak. (Foto: Michiel Rijsdijk)

Inzichten uit onderzoek

- Een enkel groen sedumdak heeft geen merkbaar effect op de temperatuur van de buitenlucht. Op 30 cm boven het dak is geen meetbaar temperatuurverschil tussen een extensief groen dak en een referentiedak. Let op: dit wil niet zeggen dat het dak niet koelt. Er is geen verdamping gemeten, dus de energiebalans is niet bekend. De temperatuur in een groendak kan op zomerse dagen 20 graden lager zijn dan in een grinddak.
- De nachtelijke warmteuitstraling van een groendak is lager dan die van een grinddak.
- De methode die is toegepast om het debiet van de afvoer te meten is erg vuilgevoelig. Hierdoor hebben we onvoldoende betrouwbare data kunnen genereren.

Lessen voor onderzoekers

- De daken in het project zijn relatief groot. Het bleek hierdoor niet eenvoudig om de afvoer van het regenwater te meten. De regentonnen die we in eerste instantie gebruikten om het afstromend regenwater op te vangen waren te snel vol.
- Er spoelt vanaf de daken organisch materiaal mee. Dit leidt snel tot verstopping van de gaatjes van de debietmeter. Tot nu toe hebben we nog geen representatieve data om een vergelijking te kunnen maken tussen de daken.



Overzicht vegetatiedaken. (Foto: Michiel Rijsdijk)



Dak van bovenaf. (Foto: Michiel Rijsdijk)

Daltonschool (Leidschendam-Voorburg)

SpongeTop waterretentiedak en sedumdak

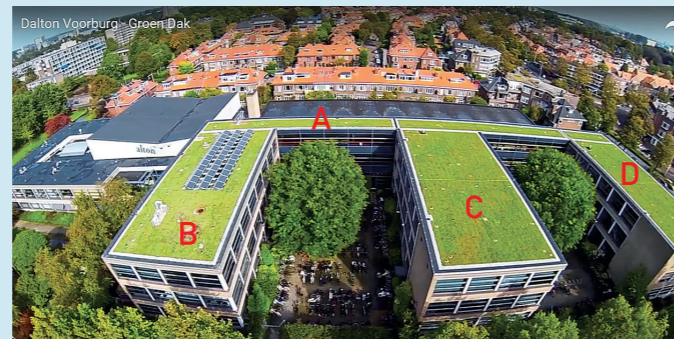
Locatie	Dak van middelbare school Dalton Voorburg, Loolaan 125, 2271 TM Voorburg.
Typering	Groenblauw dak volgens het Triple B®-concept: biodiversiteit, bodem en water, beleving en welbevinden.
Wat wordt gemeten?	Neerslag, vochtgehalte, waterberging per laag, (vertraagde) afvoer, verdamping/koeling, luchttemperatuur in klaslokalen, boven op het bitumendak en de begroeide daken (hittestress).
Meetperiode	2018 - 2022. Meetapparatuur is gedurende het jaar getest en afgestemd op situatie. Vanaf 2019 wordt regulier gemeten.
Eigenaar van het dak	Middelbare school Dalton Voorburg
Onderzoekers	Simon van Damme (Gemeente Leidschendam-Voorburg) Tjerron Boxem (Hoogheemraadschap Delfland) Dirk Roosendaal (Universal Greenfields) Pascal Derksen (ACO BV)

Onderzoek naar

Het inzicht krijgen in de mate van buffering bij verschillende soorten begroeide daken en in de mate van koeling (zowel binnen als buiten) en verdamping. Daarnaast leert het de school meer over klimaatadaptatie en biodiversiteit. Voor dit onderzoek is data verzameld en zijn de meetwaarden inzichtelijk gemaakt met grafieken, tabellen, per bui, per uur en per seizoen.

Metingen

- Temperatuur, neerslag, windrichting en -snelheid, vocht in groeilagen en waterretentielaag en waterafvoer (met Tipping Counter).
- De temperatuur wordt op diverse plaatsen op de daken en in de school gemeten: zowel op/onder groene daken als op een bitumen dak op een andere vleugel. Eventuele verschillen worden inzichtelijk door in de klaslokalen onder deze meetdaken de temperatuur te meten.
- Op het tradionele groendak staat een (1) regenmeter. Op die



Daken A en B zijn traditonieel opgebouwde sedumdaken. daken C en D zijn waterretentiedaken die in onder de groeilaag een waterbufferende opbouw van minerale wol hebben. (Foto: Universal Greenfields)

manier vergelijken we de waterafvoer van een traditioneel groendak en een waterretentiedak, hoeveel water elk dak vertraagt en hoeveel water er per dak verdampt. De vergelijking wordt uitgezet in de tijd: per uur, bui en seizoen.



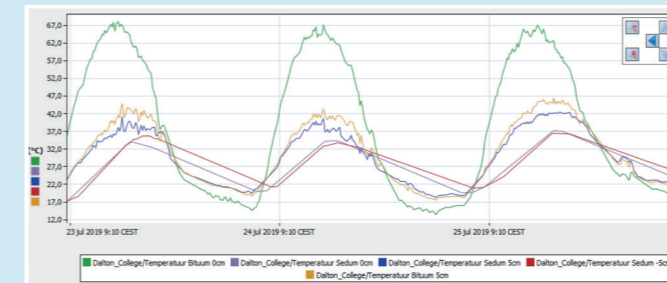
Sedumdaken na aanleg. (Foto: Universal Greenfields)



Sedumdaken zonder en met waterretentie in droge periode 2018. (Foto: Universal Greenfields)

Inzichten uit onderzoek

Bitumen warmt snel op als de zon opkomt tot wel 68°C. Het waren tropische dagen boven de 35 graden. Opvallend is dat boven de bitumen (5 cm) de temperatuur snel zakt richting omgevingstemperatuur. De omgeving wordt dus flink opgewarmd door bitumen. De sedum daarin tegen warmt later op, geeft een constant beeld en blijft koeler (door schaduwwerking, reflectie en verdamping van sedum en substraat).



Temperatuurmetingen (Bron Universal Greenfields).

Lessen voor onderzoekers

- De verschillende meetdaken zijn niet precies hetzelfde gesitueerd zoals in een laboratoriumopstelling het geval zou zijn. Daarom zijn de uitkomsten onder dezelfde omstandigheden

iets verschillend en anders dan verwacht gedurende de dag. Het is gebleken dat de stand van de zon of de ligging van een lokaal van invloed is op de temperatuur in het klaslokaal. Zo kan de temperatuur in een lokaal sneller stijgen door opwarming van gevel / kozijnen door de zon. Ook is bijvoorbeeld gebleken dat dit weer minder is als er een boom voor de gevel staat.

- Het afstellen van de vochtsensoren in zowel de SpongeTop-waterretentiedaken als de standaard sedumdaken is soms lastig vanwege bijvoorbeeld gesteente/lucht in de substraten.
- 2019 wordt gebruikt om stabielere gegevens uit te lezen.



Sedumdak in mei 2018. (Foto: Universal Greenfields)

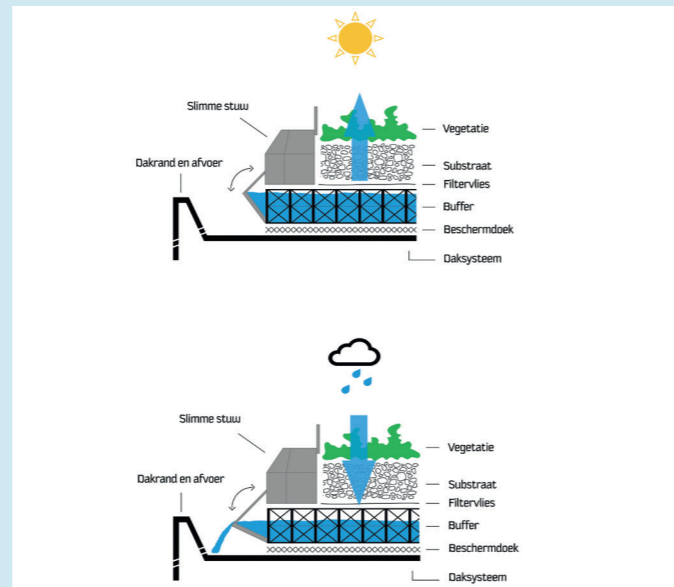
Fieldlab Polderdak (Delft)

Polderdak

Locatie	Collegezaal fac. Civiele Techniek en Geowetenschappen (CITG) TU Delft, Stevinweg 1, 2628 CN Delft
Typering	Polderdak en referentiedak (zwart bitumen) op identieke collegezalen met beweegbare stuw en sensoren. Het polderdak heeft een drainageberging van 70 mm en substraatberging van 12 mm in een substraatlaag van 6 cm.
Wat wordt gemeten?	Waterberging, neerslag, debietmetingen, gestuurde afvoer, verdamping/koeling, relatieve vochtigheid, temperatuur boven en onder het dak.
Meetperiode	2018 (sept) - 2020 (sept)
Eigenaar van het dak	Faculteit Civiele Techniek & Geowetenschappen TU Delft
Onderzoekers	Olivier Hoes (onderzoeker, TU Delft) Friso Klapwijk (Dakdokters / MetroPolder company) Cees-Anton van den Dool (MetroPolder company)

Onderzoek naar

- De waterbalans: hoeveel water van de jaarlijkse neerslag gebruikt het groenblauwe dak voor verdamping?
- Het afvlakken van afvoerpieken: is een eventueel wateroverschot vertraagd (> 6 uur later) en gedempt (max 1,5 l/s/ha) af te voeren? De hoeveelheid waterberging voor het afvlakken van de afvoer en de hoeveelheid berging voor je vegetatie variëren over de tijd (zomer/winter, veel verdamping, mogelijke kans op een bui). We onderzoeken hoe we door slim te sturen op basis van weersverwachtingen de beperkte berging optimaal in kunnen zetten.
- De temperatuur onder het dak: is het in de collegezaal onder het groenblauwe dak aanmerkelijk koeler in de zomer?
- Temperatuur op het dak: hoe groot is het temperatuurverschil op het dak tussen het conventionele dak en het groenblauwe dak en is dat ook merkbaar langs de gevel van het naastgelegen hoofdgebouw?
- Hoeveel stress ondervindt de vegetatie bij droogte en is dit te meten?



Werking van het Fieldlab Polderdak: door de slimme stuw is naar behoefte regenwater vast te houden voor de vegetatie of voor vertraagde afvoer naar de riolering. (Bron: MetroPolder company)



Meetapparatuur op het dak. (Foto: Olivier Hoes)



Urban farming experiment met verschillende groenten en kruiden op de groenblauwe collegezaal Fieldlab. (Foto: Olivier Hoes)

Binnen dit project zijn ook vier groenblauwe daken in Italië bij vier verschillende universiteiten aangelegd: Perugia, Viterbo, Cagliari en Palermo. Elk van deze universiteiten ligt in een andere klimaatzone met een eigen groeiseizoen. In Italië willen we vooral onderzoeken welke andere gewassen dan sedum het bij groenblauwe daken in Italië goed gaan doen.

Metingen

Er zijn twee keer vier HOB0-tipping buckets geplaatst om de neerslag te meten. Bij zowel het polderdak als het referentiedak is in de straat naast het dak de riolering aangepast, zodat twee Krohne-elektromagnetische debietmeters in een volledig gevulde buis de afvoer kunnen meten. Onder het dak meten twaalf Tidbits elke 5 minuten de temperatuur in de collegezalen. Boven het dak hangen twee FLIR A35-camera's om de temperatuur van het dak te filmen en een X-L-C ground based scatterometer om veranderingen in bodemvocht en de groei van de vegetatie te meten.

Inzichten uit onderzoek

- Sturing van de afvoer van groenblauwe daken betekent dat de waterberging tweeledig gebruikt kan worden voor zowel de irrigatie van de vegetatie als het afvlakken van de afvoerpieken tijdens hevige buien.
- In het voorjaar is in een dichte collegezaal zonder studenten gemeten dat het in de collegezaal met het polderdak zo'n twee graden koeler is dan in de collegezaal zonder polderdak. Het is een dak met relatief weinig substraat (6 cm) dat toch kan werken als een moestuin.

Lessen voor onderzoekers

- Bij een onderzoek aan een groenblauw dak hoort een identiek referentiedak ter controle.
- Je hebt betrouwbare sturingsregels nodig, ook een storing mag niet leiden tot falen.

5. Meetdaken in ontwikkeling

Meetdaken zijn in beweging. Het onderzoek op sommige meetdaken is inmiddels afgerond bij het verschijnen van deze publicatie. Nieuwe meetdaken zijn ingericht en klaargemaakt om er data en inzichten te verzamelen en op sommige meetdaken loopt het onderzoek nog door. Een ding hebben de meetdaken met elkaar gemeen: ze leveren betere data en kennis over de werking van groenblauwe daken.

Het dak als berging

De afgelopen jaren is veel onderzoek gedaan naar waterberging en vertraagde afvoer. In de beginfase van de CoP is daar ook veel over gesproken. Hoe is waterberging goed te meten, met welke apparatuur en hoe zijn nieuwe inzichten in te passen in stedelijke hydrologische modellen? De meetdaken in deze publicatie laten zien welke verschillen en overeenkomsten er zijn.

Gestuurde afvoer water

In de afgelopen jaren heeft het denken over de inzet van groenblauwe daken als oplossing voor maatschappelijke opgaven een vlucht genomen. Daarmee is ook de onderzoeksintensiteit toegenomen, en uitgebreid naar het vergroten van kennis over gestuurde afvoer en de koppeling met online weer-informatie die de komst van een bui kunnen voorspellen en een vol dak tijdig leeg laten lopen voor een piekbui.

Verdamping en energiebesparing

Het meten van verdamping geeft inzicht in de koelende werking van een groenblauw dak, zowel vlak boven de vegetatie, onder het dak als op straat. De behoefte aan meer en betere onderbouwing van het effect van dakbegroeiing op de opbrengst van zonnepanelen (PV) neemt toe. Tevens is het waardevol om meer te weten over de wijze waarop de circulariteit van neerslagwater energieneutraal gerealiseerd kan worden, zodat er altijd water beschikbaar is voor de

vegetatie op het dak. Onderzoek naar de koelere luchtinlaat van klimaatbeheersingsystemen op het dak mag steviger op de agenda.

Waterkwaliteit en invang van stoffen

Verder onderzoek naar de zuiverende werking van een blauwgroen dak kan de toepassingsmogelijkheden van dakwater in de stad vergroten. En met het oog op de Carbon-footprint en de uitstof van stikstof in de bouw zou het interessant zijn meer te data te verzamelen over de invang en vastlegging van koolstof en stikstof op groenblauwe daken. Bijvoorbeeld in de vorm van kruiden en groenten die lokale restaurants gebruiken waardoor voedselkilometers en uitstoot in de stad verminderen.

Facts & Values

Eerdere onderzoeken zijn verwerkt in de Facts & Values die het Nationaal Daken Plan opstelde met de partners van de CoP. Eerder onderzoek in het kader van het SIA-RAAK aan de Hogeschool van Rotterdam in de periode 2012-2013 leverde inzichten over bouwtechnische randvoorwaarden van een gebouw voor een blauwgroen dak. Ook windvastheid van begroeide daken is toen onderzocht. En biodiversiteit wordt al langere tijd onderzocht. Data uit onderzoek dragen bij aan betere onderbouwing van de werking van een blauwgroen dak, waarmee de inzet van het dak als oplossing voor maatschappelijke opgaven zal toenemen.

Om in de gaten te houden

De meetdaken in hoofdstuk 4 demonstrenen het belang van het delen van onderzoekskenis. De in-zichten uit onderzoek over gestuurde afvoer, waterberging en afvoervertraging, temperatuur, waterzuivering en biodiversiteit zijn van waarde bij de aanleg van groenblauwe daken in de stad. De lessen voor onderzoekers zijn waardevol om rekening mee te houden bij het starten en vormgeven van vervolgonderzoek. Het onderzoek aan groenblauwe daken staat niet stil. Hier vindt u interessante meetdaken om in de gaten te houden.

Het Resilio-project (Amsterdam)

Blauwgroene (polder)daken op sociale woningbouw. <https://resilio.amsterdam/>

Daktuin PLNT (Leiden)

Testopstelling en een proeflocatie waar studenten en ondernemers de nieuwste technieken kunnen testen. www.plnt.nl

RainBrain project (Antwerpen en Eindhoven)

Binnen het H2020 SynchroniCity-project wordt onder meer een goedkope sensor ontwikkeld om de kwaliteit van groendaken te monitoren via Internet of Things (IoT). www.rainbrain.be

Constructed WetRoof (Berkel-Enschot)

Een helofyten filterdak op een hellend deel van het dak. www.duurzaamkantoor2011.nl

Biesboschmuseum dak (Werkendam)

Het museumdak is een polderdakvariant gebaseerd op dynamische waterhuishouding. Het museum laat dakonderzoek toe op het dak. www.biesboschmuseumeiland.nl

Polderdak daktuin Breevast Vivaldistraat (Amsterdam)

Dakpark met waterbergend vermogen van 70 l/m². www.rainproof.nl/polderdak-breevast

LIFE@Urban Roofs (Rotterdam)

Voordelen van multifunctionele daken laten zien. www.rotterdam.nl/wonen-leven/urban-roofs/



Polderdaktuin WTC (Den Haag)

Het dak van de parkeergarage is getransformeerd. De polderdaktuin wordt onder andere gebruikt als waterberging. www.architectuur.nl/nieuws/polderdaktuin-wtc-den-haag-the-hague/

22 slimme daken

Na het Slimdak010 volgen nog eens 22 slimme daken in binnen- en buitenland. www.rotterdamsmilieucentrum.nl/site/22-slimme-daken-in-de-planning-als-vervolg-op-het-slimdak010/

4 Groenblauwe meetdaken (Italië)

Vier verschillende universiteiten, elk in een andere klimaatzone met een eigen groeiseizoen: Perugia, Viterbo, Cagliari en Palermo. www.tudelft.nl/citg/onderzoek/stories-of-science/water-stad/

Polder roof NYC Parks (the Parks Department's Five Borough Administrative Building)

Project in New York City: <http://nlintheusa.com/smart-cities-integrated-solutions/>
<https://metropolder.com/metropolder-company-goes-usa/>

Bijlage 1. Overzicht onderzoekers

CoP 'Meten en monitoren groenblauwe daken'

Bert Palsma (STOWA) 033-4603200, palsma@stowa.nl
Kees Broks (STOWA, Broks-Messelaar) 06-54951415, kees.broks@broks-messelaar.nl
Carleen Mesters (STOWA, Stroom en Onderstroom), 06-21508914, vraag@carleenmesters.nl

NIOO-KNAW daklaboratorium (Wageningen)

Petra van den Berg (Directeur bedrijfsvoering, NIOO-KNAW), p.vandenBerg@nioo.knaw.nl
Henk-Jan van der Kolk (Ecoloog) h.vanderkolk@nioo.knaw.nl
Gerard Korthals (Ecoloog), g.korthals@nioo.knaw.nl
Martijn Bezemer (Ecoloog), m.bezemer@nioo.knaw.nl
Thijs van Veen (Hydroloog), t.vanveen@nioo.knaw.nl
Water gerelateerd onderzoek i.s.m.
Klaas Metselaar (Ecohydroloog), klaas.metselaar@wur.nl
Demonstratiedak plantenstroom i.s.m.
Plant-e: info@plant-e.com

Bakproeven (Singapore)

Toine Vergroesen (hydroloog, Deltares), 06-20149095, toine.vergroesen@deltares.nl

Meetdaken (Antwerpen)

Patrick Willems (prof. dr. ir., KU Leuven), +32 16 321658, patrick.willems@kuleuven.be
Vincent Wolfs (dr. ir., KU Leuven), +32 474 422003, vincent.wolfs@kuleuven.be
Nora Danko, (Stadslab2050 team klimaatrobuuste daken, stad Antwerpen), nora.danko@antwerpen.be
Jean-Christophe Grimard (Vegetal I.D.), jeanchristophe.grimard@vegetalid.com

Samenwerking van KU Leuven en het Franse bedrijf vegetal I.D., met beweging.net en de stad Antwerpen. Het EU H2020 project BRIGAD financiert het project.

Polderdak 1.0, Amsterdam

Tijmen Heetebrij (Waternet), Rob.Tijmen@waternet.nl
Rob Tijssen (Waternet), Rob.Tijssen@waternet.nl
Friso Klapwijk (Dakdokters) friso@dakdokters.nl, 06-50124162
Kasper Spaan (Waternet), kasper.spaan@waternet.nl
Cees-Anton van den Dool, cees@metropolder.com, 06-41902278
Sacha Stolp (gemeente Amsterdam) i.o.v. OGA (Ontwikkelingsbedrijf Gemeente Amsterdam)

Smartroof 2.0 (Amsterdam)

Gijsbert Cirkel (senior onderzoeker

Ecohydrologie, KWR), 06-20614497, gijsbert.cirkel@kwrwater.nl
Joris Voeten (sr. ir. Groen Stedelijke Ruimte, Roofscapes), 06-15022281, joris@roofscapes.nl
Bernard Voortman (KWR, inmiddels Moisture Matters) en **Thijs van Veen** (afstudeerder KWR, inmiddels gemeente Utrecht), **Rob Tijssen** (Waternet)

Het Project Smartroof 2.0 werd mede mogelijk gemaakt door Topsector Water en Maritiem.

SlimDak010 (Rotterdam)

Rob Steltenpöhl (product- en systeemmanager, Optigrün International AG), r.steltenpohl@optigroen.nl
Joeri Schenk (beleidsmedewerker Watersystemen, Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard), j.schenk@hhsk.nl
Emile van Rinsum (directeur, Rotterdams Milieucentrum), info@rotterdamsmilieucentrum.nl

Moerasfiltratiedak (Leeuwarden)

Länk Vaessen (business developer, CEW), l.vaessen@cew-leeuwarden.nl
Bob van Bijnen (projectmanager, CEW), b.vanbijnen@cew-leeuwarden.nl
Bob Laarhoven (onderzoeker, CEW), 06-50691190, b.laarhoven@cew.nl

Het onderzoek werd begeleid door een projectgroep bestaande uit:
Riemer Riemersma (Bouwgroep Riemersma Bouw & Projecten),
Klaas Wiersma (Frisia Bergum),
Jan Broos (Brooswater), Waterschap Zuiderzeeland, Provincie Fryslân,
Jan Pieter van der Velde (Projectmanager) en studenten van Hogeschool van Hall Larenstein.

Ecopannen (Enschede)

Hendrikjan Teekens (gemeente Enschede), 06-13168686, hj.teekens@enschede.nl
Jeroen Buitenweg (Waterschap Vechtstromen), 088-2203215, j.buitenweg@vechtstromen.nl
Kees Broks (STOWA), 06-54951415, broks@stowa.nl
Joke Bults (Stichting Pioneering), 088-112 5000, j.bults@pioneering.nl
Arno Weppel (Floraroof), 06-53331875, info@ecopan.nl

Het onderzoek is uitgevoerd door een projectgroep bestaande uit: Gemeente Enschede, Stichting Pioneering, Waterschap Vechtstromen, STOWA, Universiteit Twente, Ecopan Floraroof en woningcorporatie Domijn.

Alexandrium (Rotterdam)

Titus van Hille (adviseur stedelijk waterbeheer, gemeente Rotterdam), 06-57877926, t.vanhille@Rotterdam.nl
Paul van Roosmalen (projectleider duurzame daken, gemeente Rotterdam), 06-22972435, pap.vanroosmalen@rotterdam.nl

Jaap de Ron (Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard)
Gerrit Hulstein (ir., Bouwfysica, Peutz), 024-3570761, g.hulstein@peutz.nl

Herderschêeschool (Utrecht)

Michiel Rijdsijk (beleidsadviseur water, gemeente Utrecht), 030-28673713, m.rijdsijk@utrecht.nl
Anna Solcerova (onderzoeker, TU Delft), a.solcerova@hva.nl
Mengye Wang (scriptie, TU Delft)
Jan Cornelis Van Vliet (scriptie, HvA)
Fahd Arbrini (scriptie, HU)
Renske Zwart (afdeling Milieu, Provincie Utrecht), secretariaat.mil@provincie-utrecht.nl

Het is een gezamenlijk project van Gemeente Utrecht, Provincie Utrecht en de school. BAM, Groendak, Optigrün Benelux, VanGinkelgroep, Esha/Icopal/Zinco.

Daltonschool (Leidschendam-Voorburg)

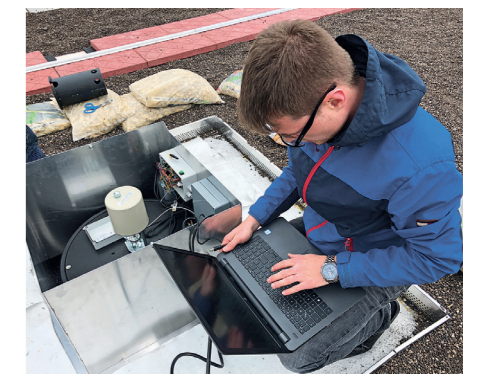
Simon van Damme (gemeente Leidschendam-Voorburg), 070-3009089, Scl.van.damme@lv.nl
Tjerron Boxem (hoogheemraadschap van Delfland), 06-15557049, tboxem@hhdelfland.nl
Dirk Roosendaal (Universal Greenfields), 06-24272717, info@universalgreenfields.nl
Pascal Derksen (Key-Account Manager, ACO BV), 0314-368280, info@aco.nl

Het onderzoek wordt uitgevoerd door Universal Greenfields BV. (GroeneDakenLeidschendamVoorburg.nl)

Fieldlab Polderdak (Delft)

Olivier Hoes (onderzoeker, TU Delft), 015-278 1646, o.a.c.hoes@tudelft.nl
Friso Klapwijk (Dakdokters/MetroPolder company)
Cees-Anton van den Dool (MetroPolder company), 06-41902278, cees@metropolder.com

Het Fieldlab Polderdak is tot stand gekomen in een samenwerking tussen EIT Climate KIC, STOWA, Hoogheemraadschap van Delfland, Stichting RIONED, gemeente Delft, VPdelta en TU Delft.



Bijlage 2. Bronnenlijst

Op de website van STOWA staat de volledige en aanklikbare Bronnenlijst.

www.stowa.nl/onderwerpen/klimaat-waterbeheer/klimaatbestendige-stad/cop-meten-en-monitoren-groenblauwe-daken

Algemene publicaties over mestdaken en dakprestaties

Websites/portals

Factsheet: Facts and Values groenblauwe daken, Green Deal Groene Daken (2019) www.greendealgroenedaken.nl/facts-values/

Websites: kennisdocumenten over multifunctionele daken, multifunctionele-daken.nl, greendealgroenedaken.nl

Hydrotheek: publicaties over groene daken, WUR, library.wur.nl.

Artikel: Groenblauwe daken, functioneren in beeld, (Stichting RIONED), <https://raintools.nl/groenblauwe-daken/>

Rapporten

Broks, K., e.a. (2015) *Groene Daken nader beschouwd*, STOWA en Stichting RIONED

Damen, N., e.a. (2012) *Technische eigenschappen van groene daken en gevels*

Voll, L., e.a. (2009) *Rotterdam Groen van boven, Toepassing van groene daken in Rotterdam*.

Posma, J. & R. De Kort (2018) *MKBA multifunctionele daken –met rekentool, LIFE@URBAN ROOFS*, Arcadis.

Hop, M.E.C.M. (2010), *Dak- en gevel-groen*; Plant Publicity Holland.

NTA 8292 (2017) *Norm voor begroeide daken NTA 8292*, artikel Bouw en Uitvoering.

Laeven, M.P. & K. Broks (2016) *Hoe gaan waterschappen om met waterberging op groene daken?* H2O-online, 23 nov 2016.

Bronnen per mestdak in deze publicatie

NIOO-KNAW daklaboratorium (Wageningen)

Website: Experimenteel groendak vol minipolders geopend bij NIOO, www.nioo.knaw.nl.

Het groene dak 2.0, www.nioo.knaw.nl.

Artikel: Vrolijk, M. (2013) Geen sedum maar kruidenrijk gras, Experimentendak test waterbuffering, Tuin en Landschap (nr. 3, 2013).

Constructiefilm: Kringloopgebouw, NTR Het Klokhuis (15min), NPOstart.nl (2017).

Samenvatting resultaten: geen.

Bakproeven (Singapore)

Artikel: Vergroesen, T., U. Man Joshi, N. C. van de Giesen, & F. H. M. van de Ven (2010) High resolution rainfall – runoff measurement setup for green roof experiments in a tropical environment, Hydrology and Earth System Sciences Discussions.

Artikel: Winters, F. (2010) Effectiviteit van groendaken, Delft en Singapore slaan handen ineen voor experiment, Dak & GevelGroen.

Constructiefilm: geen.

Samenvatting resultaten: Vergroesen, T. & U. Man Joshi (2010) Green roof runoff experiments in Singapore, Ruissellement des toitures végétalisées: expériences à Singapour, i-revues.

Mestdaken (Antwerpen)

Website: www.rainbrain.be

Artikel: Hoeyveld, B. (2017) Intelligent groendak maakt steden weerbaarder tegen klimaatverandering, KU Leuven.

Artikel: Wolfs, V. & P. Willems (2017) Hydroactive Smart Roof, Blue-green infrastructure to optimize storm water management, BRIGAIID, Presentatie voor CoP (23 nov 2017), STOWA.nl.

Constructiefilm: Wat als groendaken het weerbericht konden lezen - time-lapse, Stadslab2050.

Samenvatting resultaten: geen.

Polderdak1.0 (Amsterdam)

Website: Het Polderdak, Rainproof Amsterdam.

Artikel: Polderdak; ons doel, presentatie voor CoP (8 maart 2016), STOWA.nl.

Artikel: Multifunctioneledaken.nl (2016) Polderdak Amsterdam.

Constructiefilm: Polderdak op Old School behoedt Zuidas voor 'natte voeten', GBC Zuidas. (2013)

Samenvatting resultaten: Heetebrij, T. (2016), Green-blue roofs as a Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) measure, Master Thesis Hydrology, VU University en Waternet.

Smartroof 2.0 (Amsterdam)

Website: www.projectsmaartroof.nl

Artikel: Cirkel, D.G., e.a. (2019) Smartroof 2.0: een blauwgroen dak-

systeem actieve koeling stedelijke biodiversiteit en reductie regenwaterafvoer, KWR-water, Eindrapportage TKI project Smartroof 2.0.

Artikel: Cirkel, D.G., B.R. Voortman, T. van Veen & R.P. Bartholomeus (2018) Evaporation from (Blue-)Green Roofs: Assessing the Benefits of a Storage and Capillary Irrigation System Based on Measurements and Modeling, Water 10, no. 9: 1253.

Constructiefilm: Concept and Construction of Project Smartroof 2.0 – a new Blue-Green Roof System (5 min), Stadsbomendokter (2017).

Samenvatting resultaten: Gemeente Amsterdam (2019) Project Smartroof 2.0 Resultaatoverzicht voor de groei-seizoenen 2017 en 2018.

SlimDak010 (Rotterdam)

Website: Dakakker.nl, en CityLab010.nl.

Artikel: Rinsum, E. van & R. Steltenpöhl (2016) Nieuw stadsinitiatief: het Slimdak, Milieucentrum Rotterdam. ISSO.

Constructiefilm: Optigrün Smart Flow Control 4.0 (3 min), Optigrün International AG. (2018)

Samenvatting resultaten: geen.

Moerasfiltratiedak (Leeuwarden)

Website: Moerasdak als innovatieve zuiveringstechnologie voor erf-afspoelwater, CEW.

Artikel: Moerasdakproject in volle bloei, CEW.

Constructiefilm: Binnenkort op www.cew.nl.

Samenvatting resultaten: geen.

Ecopannen (Enschede)

Website: Ecopan, de groene dakpan, ecopan.nl.

Artikel: Teekens, H.J. (2018) Water bergen op schuine daken in Enschede, Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie.

Artikel: Stichting Pioneering (2017) Eerste resultaten 2016 waterretentie Ecopan Enschede bekend.

Artikel: Stegeman, I. & B. Asselman (2016) Onderzoeksrapport: een onderzoek naar de praktische werking van Ecopan, periode februari 2014 t/m februari 2015, Stichting Pioneering, Avante Consultancy.

Constructiefilm: geen.

Samenvatting resultaten: geen.

Alexandrium (Rotterdam)

Website: Geen eigen website.

Artikel: Binder groen en dak (2011) Rotterdam – Alexandrium shopping center. Binder groenprojecten.

Constructiefilm: geen.

Samenvatting resultaten: geen.

Herderschêeschool (Utrecht)

Website: Geen eigen website.

Artikel: Provincie Utrecht (2010)

Duurzame Dakproeftuinen, Factsheets van 5 Utrechtse proeftuinen voorzien van duurzame daktechnieken, via duurzaam gebouwd.nl.

Constructiefilm: geen.

Samenvatting resultaten: Solcerova, A., F. van de Ven, M. Wang, M. Rijsdijk, N. van de Giesen (2016) Do green roofs cool the air?, Building and Environment 111 (2017) 249-255.

Daltonschool (Leidschendam-Voorburg)

Website: Klimaatkrachtig Delfland, Hoogheemraadschap van Delfland.

Artikel: Janssen, M. & D. Roosendaal (2013) Dalton Voorburg eerste “coole” school met klimaatbestendig dak, Groene Daken Leidschendam-Voorburg.

Artikel: Damme, S. van (2019) Middelbare school Dalton Voorburg krijgt groenblauw dak, Kennisportaal Ruimtelijke Adaptatie.

Artikel: Waes, A. van (2017) Groene zonnepanelen (HAS 's-Hertogenbosch).

Constructiefilm: Dalton Voorburg - Groen Dak (1min20sec), scholengemeenschap Dalton Voorburg (2017).

Samenvatting resultaten: geen.

Fieldlab Polderdak (Delft)

Website: Het dak op voor klimaatadaptatie, TUDelft.

Artikel: Snijder, I. & H. Jansen (2018) Het dak op voor klimaatadaptatie, VP delta Dutch Water Innovations, in Land en Water magazine, 2018 nr. 11.

Constructiefilm: geen.

Samenvatting resultaten: geen.



Colofon

© 2019 *Meten op hoogte* is een uitgave van STOWA, Stichting RIONED en Nationaal Daken Plan
Teksten en figuren uit deze publicatie mag u met bronvermelding gebruiken.

Auteurs

Carleen Mesters (namens STOWA, Stroom en Onderstroom)
Yvonne Rietveld (NextGreen)
Kees Broks (namens STOWA, Broks-Messelaar Consultancy)

Deze publicatie is tot stand gekomen met medewerking van

Petra van den Berg (NIOO-KNAW), Anne-Marie Bor (Nationaal Daken Plan, NextGreen), Tjerron Boxem (hoogheemraadschap van Delfland), Gijsbert Cirkel (KWR), Nora Danko, (stad Antwerpen), Cees-Anton van den Dool (MetroPolder company), Titus van Hille (gemeente Rotterdam), Olivier Hoes (TU Delft), Gerrit Hulstein (Peutz), Friso Klapwijk (Dakdokters/ MetroPolder company), Bob Laarhoven (CEW), Bert Palsma (STOWA), Michiel Rijdsdijk (gemeente Utrecht), Dirk Roosendaal (Universal Greenfields), Paul van Roosmalen (gemeente Rotterdam), Joeri Schenk (HHSK), Rob Steltenpöhl (Optigrün International AG), Hendrikjan Teekens (gemeente Enschede), Rob Tijssen (Waternet), Länk Vaessen (CEW), Toine Vergroesen (Deltares), Joris Voeten (Roofscapes), Patrick Willems (KU Leuven), Vincent Wolfs (KU Leuven).

Met dank aan

De Community of Practice 'Meten en Monitoren Groenblauwe daken' van STOWA en Stichting RIONED voor de denkkraft en dialogen op het gebied van meten aan en monitoren van groenblauwe daken, Laurens Uilenbroek (InvloedOntwerp.nl).

Tekstadvies

Karlijn Kunst (LijnTekst, Utrecht)

Vormgeving

Marieke Eijt (GAW ontwerp+communicatie, Wageningen)

Drukwerk

Modern, Bennekom

Rapportnummer 2019-23
ISBN 978.90.5773.862.3

In het kort

STOWA, Stichting RIONED, Community of Practice en het Nationaal Daken Plan

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 toegestemd technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaal-wetenschappelijk gebied.

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

De Community of Practice 'Meten en Monitoren Groenblauwe daken' van STOWA en Stichting RIONED is een leergroep voor waterschappen en gemeenten met als doel kennis en ervaringen te delen en uit te dragen op het gebied van meten aan en monitoren van groenblauwe daken.

Het Nationaal Daken Plan is een brede coalitie van partijen die baat hebben bij meer groene daken, zoals gemeenten, waterschappen, provincies, bedrijven, kennisinstellingen, natuur- en milieuorganisaties, een bewonersinitiatief en de rijksoverheid. De coalitie komt voort uit de Green Deal Groene Daken (2014-2019) die als doel had om nieuwe verdienmodellen rondom dakbegroeiing te ontwikkelen en zodoende de toepassing van groene daken op te schalen.