

## Auteurs

L. M. (Louden) Kremer, MSc, J. G. W. F. (Joris) Voeten, MSc,  
beiden van Wageningen Environmental Research (WENR)

## Vegetatiedaken hebben veel potentie, waar wachten we nog op?

*Sinds de blauw-groene revolutie en de verregaande integratie van blauw-groene systemen op, tegen en in gebouwen, kan de installatietechniek niet langer los gezien worden van een succesvol functioneel-groen geïntegreerd gebouw. Zeker wanneer beschikbare ruimte een bepalende factor is, is het essentieel om multifunctionaliteit te omarmen door op daken functies te integreren zoals energieopwekking, regenwater opvang en hergebruik, grijswaterhergebruik, verkoeling en biodiversiteit.*

*Installatietechniek moet in deze klimaatadaptieve-, watersensitieve-, natuurinclusieve- en duurzaamheidsontwikkeling van de gebouwde omgeving geen remmende factor zijn, maar juist een facilitator, medeontwikkelaar en versneller, omdat al die nieuwe functies goed ontworpen, gebouwd en voorzien moeten worden van de juiste meet-en regeltechniek. TVVL heeft daarom aan ons, Louden Kremer en Joris Voeten, beiden onderzoekers stedelijke klimaatadaptatie bij Wageningen Environmental Research (WENR), gevraagd om een bundel te maken van bestaande kennis op het raakvlak van de genoemde thema's en de installatietechniek.*

Beschikbaarheid van kennis is niet langer een beperkende factor

Binnen de installatietechniek heerst een stigma dat een gebrek aan beschikbare kennis een drempel vormt bij het realiseren van multifunctionele daken. Echter, er zijn al veel onderzoeken gedaan naar deze typen daken en er worden al geregeld vegetatiedaken aangelegd in complexe casussen. De crux zit in toegankelijkheid van de kennis. Om de implementatiedrempel te verlagen is er daarom de vraag ontstaan om kennis op het gebied van vegetatiedaken toegankelijker te maken.

Dit vraagstuk hebben we opgepakt door een tabel te ontwikkelen waarin bestaande kennis gebundeld wordt in de vorm van een tabel met kengetallen. Hierin zijn voor een selectie van meest voorkomende type

vegetatiedaken kengetallen opgenomen die een breed scala aan relevante parameters beschrijven waaronder: beplantingsmogelijkheden, gewichtsbelasting, biodiversiteitswaarde, investeringskosten en waterbergend vermogen. Om de informatie extra toegankelijk te maken zijn de verschillende daktypen vervolgens verder beschreven en voorzien van schematische dwarsdoorsneden. Hoewel veel van deze data niet direct voor het oprapen lag, illustreert de tabel hoeveel informatie over vegetatiedaken er hedendaags al beschikbaar is. Daarnaast ondersteunt de bekende



informatie de notie dat een gebrek aan kennis geen rem hoeft te zijn binnen de ontwikkeling naar natuurinclusief- en multifunctioneel ruimtegebruik op daken.

#### Markt voor vegetatiedaken is volwassen

Om de huidige wet- en regelgeving op het gebied van vegetatiedaken uiteen te zetten is een inventarisatie uitgevoerd naar tien relevante nationale en internationale normen. Zo is er gekeken naar welke eisen of normen binnen de NEN, NPR, NTA, en de FLL gehanteerd worden met betrekking tot vegetatiedaken. Deze zijn vervolgens gecategoriseerd in thema's als waterretentie, energieprestatie, de samendrukbaarheid van het substraat en brandveiligheid om inzicht te krijgen in de volledigheid van de bestaande normen.

Hoewel het overgrote deel van de onderzochte normen slechts enkele van de relevante onderwerpen aankaart, is er één integrale norm die alle thema's behandelt. Dit is de in



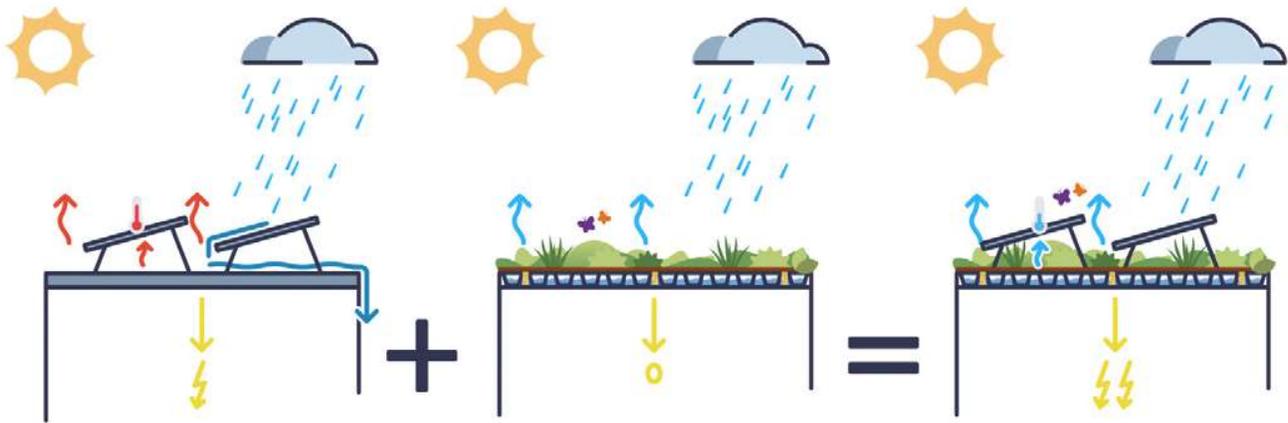
## Getal of bandbreedte

Door Loudon Kremer

In de tabel zijn specifieke waarden opgenomen om er een leesbaar en vergelijkbaar overzicht van te maken. In de praktijk is er rond die kengetallen sprake van een bandbreedte waarbinnen het kengetal kan variëren. Dit komt door variaties in lagenopbouw, substraattypen, al-dan-niet ingezette techniek en verschillen in waterretentie-systeem. De specifieke opbouw van het (blauw-) groene vegetatiesysteem heeft invloed op waarden zoals de opbouwhoogte, de kosten, de beplantingsmogelijkheden en de gewichtsbelasting.

Om dit toe te lichten is er een voorbeeldberekening uitgevoerd waarin er voor 1 type blauw-groen dak variaties toegepast zijn in type substraat (licht/zwaar), de dikte van substraat (min/max waarde invoegen) en de dikte van de waterretentie-/drainagelaag (min/max waarde invoegen). Uitkomsten van deze berekening laten zien dat de gewichtsbelasting hierdoor kan variëren tussen 128kg/m<sup>2</sup> en 294kg/m<sup>2</sup> in waterverzadigde toestand. Het potentieel waterbergende vermogen per kilo gewichtsbelasting van het vegetatiedak (het zogenaamde "water-stored-to-weight-ratio, WSWR") is in deze variaties ook doorgerekend en varieert tussen 40 en 65%. Het is zeer aanbevelenswaardig om door een expert een detailberekening te laten maken van de exact voorgestelde opbouw op basis van de laatste gegevens van de leveranciers, om ervoor te zorgen dat de constructie van het dak toereikend is voor het gewenste vegetatiedak type. Op deze wijze kan er binnen de bestaande constructietechnische grenzen maximaal aandacht besteed worden aan de specifieke wensen en doelstellingen van de opbouw zoals waterretentie, biodiversiteit, energieopwekking of koeling.

Foto 1: Loudon Kremer  
(links) en Joris Voeten (rechts)  
op een vegetatiedak in  
ontwikkeling WUR Campus.  
(foto: J. Voeten)



**Figuur 1:** Illustratie van de voordelen van blauw-groen-gele daken. (Illustratie: permavoid.nl, TKI Project Urban PhotoSynthesis)

2023 gepubliceerde Norm begroeide daken van de VBB-FLL (ISSO). Dit is een door de Vereniging Bouwwerk Begroeners vertaalde, geactualiseerde en in Nederlandse context geplaatste versie is van de Duitse FLL-norm, die voorheen als standaard in Nederland gold. Het is een bundel van (verwijzingen naar) relevante nationale en internationale normen inclusief hun rekenmethodes en biedt daarmee een duidelijk overzicht van de vereiste informatie om op een geschikte wijze vegetatiedaken aan te leggen.

Dit laat zien dat zowel de producten als de markt voor vegetatiedaken volwassen zijn. Er wordt namelijk nagedacht over kwaliteits- en veiligheidseisen voor de daken inclusief hun implementatie. Het is echter opvallend dat er (nog) weinig verwezen wordt naar de Norm Begroeide Daken (VBB-FLL), maar het is aannemelijk dat dit komt omdat de norm pas recentelijk verschenen is. Ons advies is om deze norm extra onder de aandacht te brengen en daarbij deze uiteenzetting als onderbouwing te gebruiken. Op deze wijze kan de implementatiedrempel van multifunctionele daken verder worden verlaagd.

**Installatietechnisch ontwerp en uitvoering behoeft extra aandacht**

Uit deze studie blijkt dat er voldoende bewezen systemen, producten, kennis en technieken op de markt beschikbaar zijn om op een professionele manier verschillende typen vegetatiedaken te ontwerpen en te realiseren. Kennis en ervaring is bij de leveranciers en groendekkers aanwezig en de nodige kengetallen voor ontwerp zijn in de opgestelde tabel gebundeld en kunnen dienen als leidraad (de genoemde variaties in gewichtsbelasting binnen ieder type in acht nemend). De norm begroeide daken van de VBB-FLL is een holistische bundel, waarin de belangrijkste standaarden en handreikingen zijn beschreven.

We zien echter wel dat in de praktijk een betere kennisdeling kan helpen om eerder gemaakte fouten in de toekomst voorkomen. Blauw-groene, natuurinclusieve, of klimaatadaptieve ontwerpen zitten nog onvoldoende in de business-as-usual van architecten, tekenaars, vergunningverleners en constructeurs, waardoor men het gevoel heeft alles voor het eerst te doen én dat het wiel steeds opnieuw uitgevonden moet worden. Hierbij blijven de risico's op terugkerende beginnersfouten en tegenvallende resultaten bestaan. In de installatie techniek ziet men graag gestandaardiseerde detailtekeningen voor onder andere dakopstanden, drempelhoogtes, HWA en dakdoorvoeren om potentiële schade en teleurstellingen te voorkomen. Hierbij kan ook geleerd worden van de fouten uit te geschiedenis door naast de detailtekeningen ook zogeheten "how-not-to" tekeningen te maken. Voor zowel successen als falen geldt: sharing is caring. We zijn daarom op zoek naar sponsors om standaardsituaties verder toe te lichten in de vorm van detailuitwerkingen.

**Exacte isolerende werking en koeling uit verdamping van vegetatiedaken**

Tijdens de deepdive in normen is onder andere ingezoomd op de NTA8800, die de rekenmethode van de energieprestatie van gebouwen definieert. Om de isolatiewaarde van daken te bepalen zijn er volgens NTA 8800 twee benaderingen beschreven: de basisopname en de detailopname. De detailopname is verplicht voor nieuwbouw en is het uitgangspunt voor bestaande bouw. Hierbij mag de Rc-waarde van de gehele lagenopbouw worden meegewogen, mits het gedurende het hele jaar beschikbaar is. Dit kan gegarandeerd worden voor blauw-groene daken.



Echter, na contact te hebben met stichting KEGO (Kenniscentrum Energieprestatie Gebouwde Omgeving), werd er gesteld dat groene daken momenteel niet meegewogen kunnen worden in de energieprestatie omdat er onvoldoende kengetallen beschikbaar zijn over isolatiewaarde en er geen gestandaardiseerde methode is om de verkoeling door plantverdamping mee te wegen.

We hebben gevraagd aan energieprestatieadviseur Leo Pelgröm, om theoretisch de isolatiewaarde van vegetatiedaken door te rekenen gebaseerd op de actuele rekenmethode van de isolatiewaarde van daken. Daarnaast wordt er momenteel onderzoek gedaan met theoretische modellen aan groene daken door Jorrit Parmentier, PhD-kandidaat bij de TU Delft.

Foto 2a en 2b: Boelelaan in Amsterdam tijdens en na de aanleg van het blauw-groene dak. (Foto: J. Voeten)



De uitkomsten tonen zeer interessante bevindingen waaruit blijkt dat een vegetatiedak wel degelijk een significant positief effect kan hebben op de energieprestatie. Toch is er praktijkonderzoek nodig voor het opstellen van een kwaliteitsverklaring, zodat de isolatiewaarde van vegetatiedaken geïntegreerd kan worden in de normberekeningen (zoals de NTA 8800) en uiteindelijk in de energieprestatie van gebouwen.

## Theoretische benadering van de isolatiewaarde van vegetatiedaken

Door Leo Pelgröm

De isolatiewaarde van begroeide daken kan momenteel nog niet volledig volgens een rekenmodel worden berekend. Bij deze studie is uit een verkorte literatuurverkenning vastgesteld dat er een goede benadering mogelijk is om een isolatiewaarde van begroeide daken te kunnen bepalen. Voor de aanwezige vegetatie wordt onderscheid gemaakt in een warmtegeleidingscoëfficiënt ( $\lambda$ -waarde) voor de winter- en zomersituatie; te weten  $\lambda_{\text{Vegetatie,winter}} = 0.2 \text{ W/mK}$  en  $\lambda_{\text{Vegetatie,zomer}} = 0.1 \text{ W/mK}$ . Het verschil wordt met name bepaald door het gemiddeld hogere vochtgehalte in de winter dan in de zomersituatie.

Op basis van een gegarandeerde/karakteristieke laagdikte ( $d$ ) van de vegetatie kan de isolatiewaarde berekend worden volgens de formule:  $R_d = d/\lambda$ .

De  $\lambda$ -waarde voor de substraat- en drainagelaag kunnen conform de NTA8800:2024 als een quasihomogene laag worden doorgerekend o.b.v. volumeverhouding van de samenstellende componenten met de daaraan gekoppelde  $\lambda$ -waarden. Met de laagdikten en uiteindelijk verkregen  $\lambda$ -waarden kunnen de  $R_d$ -waarden van de substraat- en drainagelaag worden berekend. Hierbij wordt opgemerkt dat de aanwezige luchtlagen als 'ingesloten en niet-geventileerd' beschouwd kunnen worden.

### Rekenresultaten:

Een standaard extensief dak met 20 mm drainageplaat, 40 mm substraat en een karakteristieke laagdikte van 40 mm vegetatie

(40% van de 100mm vegetatie kan 'gegarandeerd' worden) heeft een  $R_c$ -waarde van circa  $0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$ . Verder zijn in deze studie zijn vier scenario's blauw-groene daken met een drainagelaag van 85 mm met daarop 40 of 80 mm (I respectievelijk II) substraatlaag en 100 mm vegetatie doorgerekend. Er is onderscheid gemaakt in waterniveaus in de drainagelaag en er is een representatief vochtgehalte in de substraatlaag aangehouden. Bij de wintersituatie is onderscheid gemaakt in: geen of volledig met water gevulde drainagelaag en een vochtgehalte in de substraatlaag van 10% (droog) of 57% (volledig verzadigd). De resultaten zijn te zien in tabel 1.

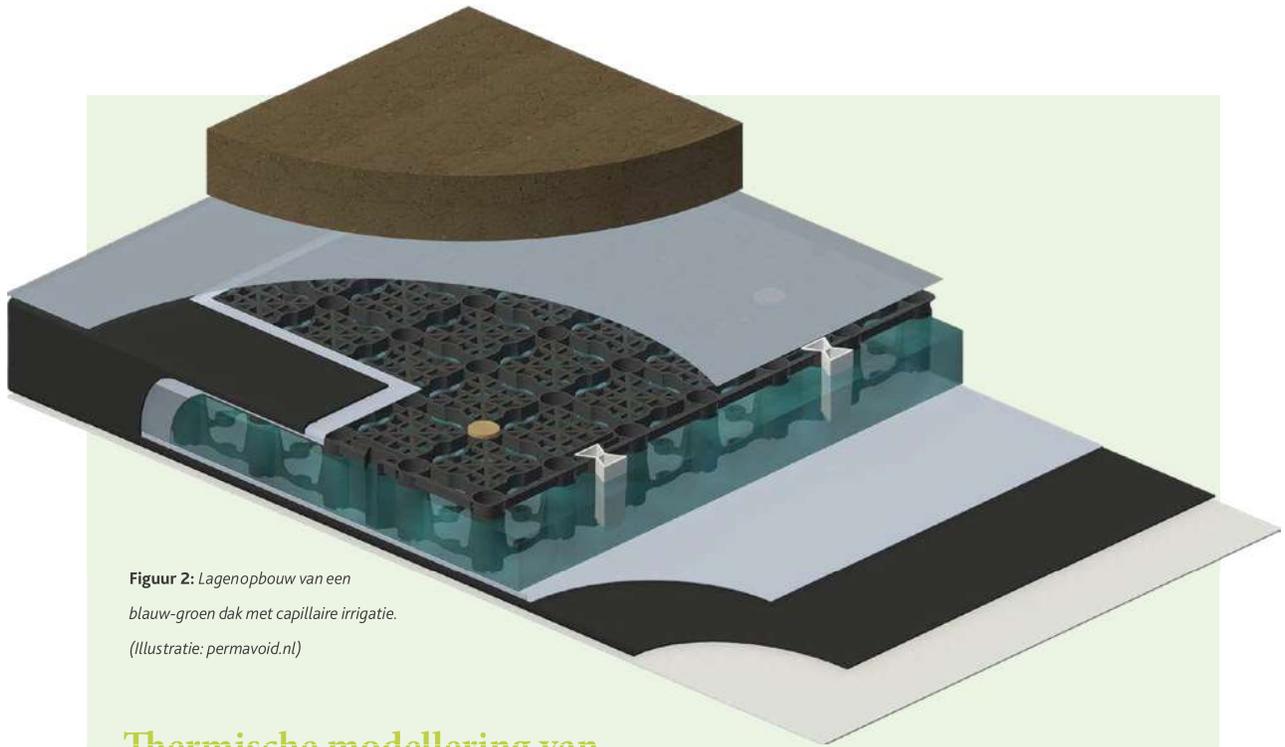
### Conclusies

Op basis van deze studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De isolatiewaarde van een standaard extensief vegetatiedak wordt in deze berekening op een geringe  $0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$  geschat.
2. Substraatdikte (I versus II) en waterhoogte in drainagelaag hebben een geringe invloed op de  $R_c$ -waarde van het dak
3. De gegarandeerde/karakteristieke dikte van de vegetatielaag is bepalend voor de uiteindelijke  $R_c$ -waarde.
4. Verschil  $R_c$ , winter versus  $R_c$ , zomer wordt bepaald door het vochtgehalte in de vegetatielaag (nader onderzoek).
5. Tijdens de zomer is met name verkoeling door verdamping de bepalende factor.

Dakvariant	A: Zomer	B: Zomer	C: Zomer	D: Winter	E: Winter	F: Winter
Waterhoogte retentielaag (mm)	80	60	40	0	85	85
Bodemvochtgehalte (Vol%)	30	30	30	10	10	57
Rc-Waarde Blauwgroen dak I (substraat 40mm)	1,26	1,33	1,32	0,71	-	-
Rc-Waarde Blauwgroen dak II (substraat 80mm)	1,30	1,37	1,36	0,75	0,74	0,71

Tabel 1: Resultaten van theoretische benadering  $R_c$ -waarde van verschillende opzetten vegetatiedaken (Leo Pelgröm, 2024).



**Figuur 2:** Lagenopbouw van een blauw-groen dak met capillaire irrigatie. (Illustratie: permavoid.nl)

## Thermische modellering van groendaken

Door Jorrit Parmentier

Het PhD onderzoek aan de Technische Universiteit Delft focust op de isolatiewaarden van groene daken. Het doel is om een wiskundig model te ontwikkelen waarmee het thermische effect op het gebouw goed voorspeld kan worden. Aan de hand van dit model is het dan mogelijk om de isolatiewaarde van een bepaald type groendak te berekenen op elke dag van het jaar. Daarnaast kan de energiebesparing berekend worden die een groendak oplevert.

De eerste inzichten uit het onderzoek zijn:

De isolatiewaarde van een groendak wordt in de zomer vooral bepaald door verdamping en transpiratie. Hierbij dient het substraat dus zo vochtig mogelijk gehouden te worden. De verslechtering in isolatiewaarden door een vochtig substraat valt weg tegen het positieve effect van de verdampingskoeling.

In de winter en 's nachts transpireren planten vrijwel niet en prevaleren de isolatiewaarden uit het substraat en de lucht in de vegetatielaag. Hierbij is het van belang dat in de winter het substraat goed draineert, dus is een goede afvoer belangrijk. Ook zijn plantensoorten

positief die een fijnmazige structuur hebben waar de wind niet doorheen komt. Onder andere Sedumplanten kennen een dergelijke dichte structuur.

Voor zowel de zomer als de winter is het belangrijk om beplanting te kiezen met een hoge Leaf Area Index (groot bladoppervlakte t.o.v. dakoppervlakte). Dit vergroot het verkoelende vermogen, geeft meer schaduw en houdt meer lucht vast. Daarnaast dient het dak zo snel mogelijk helemaal vol gegroeid te zijn.

Om het verkoelende effect in de zomer te vergroten is het advies om plantensoorten te kiezen die licht van kleur zijn waardoor ze meer zonlicht terugkaatsen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de grijze Ezelsoor [*Stachys byzantina*].

De experimenten in dit onderzoek worden uitgevoerd om nieuwe kennis te vergaren. Aanvullende praktijkonderzoeken zijn nodig om die kennis op een gestandaardiseerde wijze te toetsen. Daarmee kunnen de isolatiewaarden van de groene daken opgenomen worden in de NTA8800 en isoleren we onze huizen in de toekomst met groen.

### Beplantingskeuze en waterbeschikbaarheid

Zowel Leo Pelgröm als Jorrit Parmentier concluderen dat een groot deel van het verkoelende effect van planten afkomstig is uit de verdamping van water (adiabatisch verkoelend effect). Hoeveel planten verdampen is grofweg te onderscheiden in drie categorieën. C3-planten, C4-planten en CAM-planten. De meeste planten vallen in de C3 categorie (grassen, kruiden, bomen). C3-planten zijn niet specifiek aangepast om vocht vast te houden tijdens droge periodes, waar C4- en CAM-planten zich via evolutie wel hebben aangepast. Sedum soorten vallen binnen de categorie CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*) en sturen de fotosynthese in een dag of nacht cyclus op basis van waterbeschikbaarheid. De CAM-planten openen bij watertekorten alleen 's nachts hun huidmondjes om CO<sub>2</sub> op te vangen en op te slaan tot het weer licht is. Op deze wijze hoeven CAM-planten tijdens warme periodes overdag hun huidmondjes niet te openen om gassen uit te wisselen, daarmee voorkomen ze uitdroging en zijn ze beter bestand tegen periodes van droogte. Dit maakt ze zeer geschikt voor vegetatiedaken. De jaarlijkse verdamping van CAM planten worden gemiddeld op 160 liter/m<sup>2</sup>/jaar geschat, ongeveer een kwart van de jaarlijkse verdamping van C3 planten (650 liter/m<sup>2</sup>/jaar) [1 & 2].

Opvallend is dat wanneer er sprake is van een blauw-groen dak met capillaire irrigatie en het sedum daarom altijd water ter beschikking heeft, de CAM-plant zich gedraagt als een C3-plant, waardoor er gemiddeld toch een jaarlijkse verdamping optreedt van ongeveer 400 liter/m<sup>2</sup>/jaar [3]. Plantkeuze heeft dus een significant effect op de hoeveelheid verdamping en daarmee verkoeling, maar waterbeschikbaarheid speelt hierin de belangrijkste rol. Het is daarom essentieel dat er voldoende water beschikbaar is voor verdamping om een hoog verkoelend rendement uit het groene dak te halen.

Als verdamping bepalend is voor verkoeling, wil je maximale plantverdamping en rijst de vraag of sedum de meest gewenste beplanting is. Door te ontwerpen met grassen, kruiden of vaste planten kun je de plantverdamping laten toenemen maar ontstaat de vraag waar dat water vandaan moet komen. Irrigieren met drinkwater is niet wenselijk of toegestaan bij droogte en we zien dus dat er in de stedenbouw steeds vaker gezocht wordt naar alternatieve bronnen van irrigatiewater. Denk daarbij aan het hergebruik van gezuiverd grijswater, doucheafvalwater of seizoens-overstijgende regenwaterbergingen. De verwachting is ook dat met het steeds kostbaarder worden van drinkwater, de watercyclus in de stad de

komende decennia zal veranderen naar een meer circulair systeem waarin waar mogelijk en veilig ook regenwater en grijswater weer opnieuw voor onder andere plantirrigatie ingezet kan worden.

### Conclusie

De stad van de toekomst zal significant anders zijn dan de steden nu. Misschien zijn de blauw-groene-biodiverse daken wel het voorbeeld van hoe anders. Daar waar een dak vroeger niets anders 'dan de bovenafsluiting van een gebouw' was, is het nu een integraal onderdeel van het functioneren van het gebouw en het verkleinen van de footprint van het gebouw op zijn omgeving.



Foto 3: Meetstation in het zeer biodiverse blauw-groene dak van TKI Project SmartRoof 2.0 in Amsterdam. (foto J. Voeten)

Op het blauw-groene energiedak leren we dat als je met integrale oplossingen doelstellingen als klimaatadaptatie, natuurinclusiviteit en de energietransitie nastreeft, je niet meer 'verzuild' kunt ontwerpen, bouwen en onderhouden. De watersystemen faciliteren cyclisch waterbeheer op alle etages, de energiesystemen leveren en brengen energie van en naar het dak, klimaatbehandeling maakt ook ruimte voor groen, waardoor biodiversiteit een kans krijgt, de stad

minder opwarmt en zonnepanelen meer energie produceren. Alles raakt met alles verbonden, net als in de natuur. En die lijn moeten we doorzetten in stedenbouw, maar óók in installatietechniek. Want één ding is zeker: zonder vakkundige, gemotiveerde, geïntegreerde, slimme en vooruitdenkende installatietechnici gaan we de doelstellingen niet bereiken.

#### Referenties

1. KNMI - Verdamping in Nederland. (z.d.). van: <https://www.knmi.nl/kennisdatacentrum/achtergrond/verdamping-in-nederland>
2. Yamori, W., Hikosaka, K. & Way, D.A. Temperature response of photosynthesis in C3, C4, and CAM plants: temperature acclimation and temperature adaptation. *Photosynth Res* 119, 2014.
3. Cirkel, D. G., Voortman, B. R., Van Veen, T., & Bartholomeus, R. Evaporation from (Blue-)Green Roofs: Assessing the Benefits of a Storage and Capillary Irrigation System Based on Measurements and Modeling. *Water*, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10091253>

