

Technische eigenschappen van Begroeide Daken

De gemeente Rotterdam heeft van 2012-2014 geparticipeerd in een onderzoek naar technische eigenschappen van begroeide daken. Op het gebied van retentie en afloei-vertraging van water zijn nieuwe feiten bekend. De gemeente heeft bijgedragen aan deze ontdekkingen en kan de nieuwe kennis gebruiken voor verdere monitoring van een ondersteuningsprogramma voor begroeide daken in Rotterdam.

Uit wetenschappelijke literatuur is duidelijk geworden dat er nergens een meetmethode gebruikt is voor het vaststellen van retentie en afloei-vertraging. De metingen zijn niet vergelijkbaar door verschillende doelstellingen, locaties, dakopbouw, klimaat- en weersomstandigheden en details in de meetopstelling en meetprotocollen. Voor Nederland is wel één meetmethode beschikbaar die in de meeste gevallen voldoende nauwkeurigheid geeft op het hygrische gedrag van dakbegroeiing. De vertraging in de afvoer van het opvallende hemelwater zal gemeten worden ten opzichte van de werkelijke hoeveelheid hemelwater. De opgeslagen hoeveelheid water in substraat kunnen eenduidig gemeten worden. Het verschil is een redelijke maat voor de hoeveelheid water die verdampt. De beschikbaarheid van een meetmethode voor de Nederlandse situatie is nieuw. Op de testsite van NIOO in Wageningen is vanuit deze kennis gemeten aan de hoeveelheid opvallende neerslag, de hoeveelheid gebufferd water en hoeveelheid afgevoerd water van verschillend ingerichte plots met dakbegroeiing. De metingen moeten nog worden voortgezet om de betrouwbaarheid van modellen te kunnen helpen valideren.

Het is mogelijk geworden om via metingen te bepalen hoeveel hemelwater op welk vertraagd tijdstip na een piekbui via de hemelwaterafvoer van een gebouw op het watersysteem op maaiveld wordt geloosd. In simulaties is onderzocht welke invloed retentie en afloei-vertraging zouden hebben op berekeningen met SOBEK. Het onderzoek leverde voor het eerste een koppeling op, waarmee modellen als SOBEK geschikt worden om invoer gegevens van dakbegroeiing mee te rekenen. Tevens is vast komen te staan dat de invloed van dakbegroeiing voldoende groot is. Echter, de invloed van onnauwkeurige aannames van verharding van tuinen en openbaar groen is groter. De invloed van dakbegroeiing op het watersysteem wordt bevestigd uit wetenschappelijke modellen in landen als Duitsland en België. Begroeide daken kunnen bijdragen aan vermindering van invloed op het watersysteem als flankerende maatregel voor andere maatregelen op het maaiveld.

Bij verder onderzoek naar de invloed van begroeide daken op het watersysteem is in een laboratorium onderzocht hoe valide de in Duitsland gebruikelijke modellen voor retentie en afloei-vertraging zijn binnen de Nederlandse context. Daar kwam een verrassend resultaat uit. De aanname van de Duitse modellen dat de dikte van substraat recht evenredig is met de toename van bufferend en vertragend vermogen werd in de Nederlandse tests gefalsificeerd. Het blijkt dat in de laboratoriumopstelling naar mate het substraat dikker wordt, er steeds minder water wordt opgeslagen. Bij nadere bestudering van de Duitse modellen, blijkt dat de doelstelling van de Duitse doelstelling niet was om retentie en vertraging te modelleren, maar om een veilig model te hebben dat bruikbaar is voor het bepalen van constructief bezwijken van de constructie. Het verschil in Nederlandse metingen en Duitse modellen bestaat uit een risicodekking oftewel veiligheidsmarge.

Er zijn in het onderzoek naar monitoring van water eigenschappen van drie doorbraken bereikt:

1 het is mogelijk geworden om met één methode te meten welke hygrische eigenschappen een begroeid daken heeft. De methode is in Wageningen op de NIOO testsite gebruikt en verder ontwikkeld.

2 bekend is geworden hoe een koppeling van bestaande kennis met modellen als SOBEK gemaakt wordt.

3 de gangbare methode voor bepaling van water eigenschappen is gefalsificeerd. Nieuwe metingen geven een betrouwbaarder beeld van retentie en vertraging.

Deze gegevens zijn gevalideerd in enkele gevalstudies in Rotterdam voor het Witte Dorp en de Afrikanerwijk. Daarin werden de nieuwe uitgangspunten bevestigd als werkbaar en valide. Vanuit deze opzet is gewerkt aan de opstelling van praktijkmetingen op de daken van Woonmall Alexandrium. De opstelling daarvoor is uitgewerkt en de meetapparatuur uitgezocht. In 2014 zal de metingen worden ingericht en uitgevoerd.

Met de nieuwe kennis kan worden verder gewerkt aan invoering van begroeide daken als beleid van gemeente Rotterdam en waterschappen. De ontbrekende kennis voor water eigenschappen is voorhanden. De belangrijkste conclusie wordt zichtbaar in wat de Goedbloed Norm is gaan heten. Om de bijdrage van begroeide daken aan watermanagement boven flankerend beleid te laten uitkomen, is het noodzakelijk dat 50 mm water geborgen kan worden, van een hevige regenbui, die in 24 uren vertraagd naar het maaiveld wordt afgevoerd: de Goedbloed norm: 50/24. Door het onderzoek is duidelijk geworden dat dit alleen met extra maatregelen bovenop de huidige systemen voor dakbegroeiing mogelijk zal zijn. De ontwikkeling van de dakspouw, zoals toegepast op het NIOO dak en de dakpolder, zoals toegepast in Amsterdam, zijn een directe reactie daarop. Andere leveranciers zullen hun systemen binnenkort aangepast en marktrijp hebben.

Echter, ook op andere technische eigenschappen is vooruitgang geboekt. Van begroeide daken was tot nu toe niet bekend waarom ze niet wegwaaien bij storm. Na controle van uit wetenschappelijke literatuur beschikbare modellen met windtunneltests blijkt dat er twee mechanismen zijn: door erosie waait de balastlaag van substraat langzaam weg, waardoor een losliggende dikhuid kan wegwaaien en door hoge snelheden aan de dakrand kan het gehele dakpakket inclusief losliggende dikhuid opwaaien. Vervolg onderzoek moet betrouwbare modellen voor de Nederlandse situatie en voor Nederlandse dakbegroeiingssystemen beschikbaar maken.

Uit onderzoek met constructieve berekeningen blijkt dat bestaande staaldaken geen restcapaciteit hebben voor dakbegroeiing. Het blijkt echter technische en economisch haalbaar om versterkende constructies aan te brengen door middel van onderspanconstructies, waardoor juist hoge extra belastingen voor waterbuffering van meer dan 50 mm per vierkante meter toelaatbaar worden. Voor betonconstructies moet per geval worden berekend in hoeverre dakbegroeiing door de bestaande constructie kan worden opgevangen. De verwachting is dat hier vergelijkbare hoge belastingen mogelijk worden als aan de bovenkant extra versterking wordt aangebracht.

Vanuit een gevoeligheidsanalyse van thermische modellen voor dakbegroeiing in klimaten als het Nederlandse, blijkt dat er geen toegevoegde isolerende werking van drainage, substraat of vegetatie te verwachten valt. Dit valt bovendien weg tegen de huidige normen voor isolerende werking van de gehele dakconstructie. Omdat deze normen worden opgeschroefd, zal de significantie verder afnemen. Binnen energieberekeningen van een gebouw is geen gevoeligheid vastgesteld. De invloed is verwaarloosbaar klein. Bij de modelberekeningen is echter gebleken dat op drie eigenschappen van begroeide daken wel een dempende invloed op het temperatuurverschil tussen binnen en buiten te zien is. Deze invloed is bekend als het verkoelende effect bij zomerse temperaturen. Dit effect is te wijten aan de natte deken die een nat substraat vormt en de parasol werking die door de bladeren van planten wordt gecreëerd. De drie effecten zijn bij de huidige berekeningsmethodieken voor koellast en energieverbruik voor koeling niet berekenbaar. Simulaties met koellast modellen geven echter een significante invloed van begroeide daken op koellast van gebouwen. Op een meetopstelling in Amsterdam is geen invloed gemeten van koeling door dakbegroeiing op een verhoogde invloed van PV panelen. Uit wetenschappelijke publicaties van andere testopstelling zou een verhoging verwacht kunnen worden. De testopstelling wordt aangepast en de meting verlengd, omdat vermoedelijk windinvloeden van de dakrand de metingen beïnvloeden.

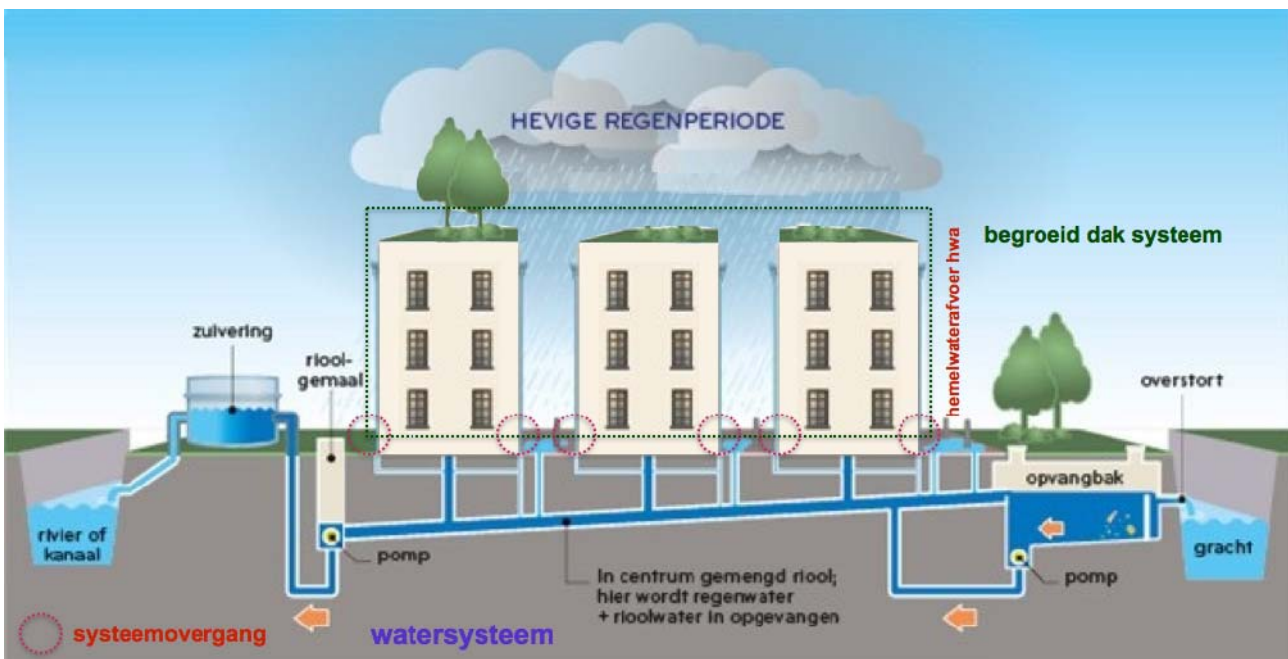
Op basis van de modelberekeningen van water en warmte zijn Kosten Baten Analyses KBA en Maatschappelijke Kosten Baten Analyses MKBA gemaakt. De modellen daarvoor zijn geschikt voor aanpassing aan locatie en uitrail van belangen van actoren. Verschillende vormen van financiële ondersteuning vanuit de gemeente en waterschap kunnen worden doorgerekend.

Christoph Maria Ravesloot

Delft 24 mei 2014
Dr.drs.ir. C.M. Ravesloot BV

Bijlage 1: Hoe werken begroeide daken?

De opbouw van een begroeid dak bestaat in de meeste gevallen uit een optelling van componenten die de functies van de diverse lagen in het begroeide dak kunnen vervullen. Van boven naar beneden geredeneerd zijn er allereerst de planten. De planten hebben als functie om met hun groei- en bloeiwijze voortdurend een dicht gegroeide vegetatielaag te vormen. Daardoor kan een begroeid dak er natuurlijk en gekleurd uitzien. Bovendien kan met een volgroeide vegetatielaag maximaal vocht worden verdampt, maximaal bescherming gegeven worden aan de lagen eronder en kan de vegetatie aanéén groeien. Dit heeft weer voordelen voor de lagen eronder. De komende definities zijn ontleend aan verschillende publicaties die in Nederland de afgelopen jaren zijn uitgekomen (Teeuw Ravesloot 1998 2011, Losken et.al. 2006). Vergelijkbare definities zijn te verwachten in een NEN voor begroeide daken die in voorbereiding is.



Afbeelding 1. Het begroeide dak als systeem sluit aan op het weersysteem van het KNMI en op het watersysteem van beheerders van riolering en van oppervlakte water. De verbinding wordt gevormd door de hemelwaterafvoer. De vraag die in deze publicatie centraal staat is hoeveel water door de hemelwater afvoer minder en later wordt afgeleverd ten opzichte van zwarte harde dakbedekking als het dak wordt begroeid (tekening @christophmaria).

De verschillende lagen zorgen er voor dat het begroeide dak op de bouwconstructie binnen het begroeide dak systeem voor de levensduur van naar verwachting 40 jaar en meer positieve effecten voor gebouw en omgeving behoudt.

De vegetatielaag heeft voeding nodig van voedingsstoffen, lucht en water uit de substraatlaag eronder. Als de vegetatielaag nog niet volgroeid is, zoals bij de meeste beplantingsmethodes het geval zal zijn, is een erosielaag nodig. Deze laag neemt de eerste twee jaar de functie van erosiebescherming van de vegetatielaag over. Na twee jaar zou de vegetatie volgroeid moeten zijn en kan de erosielaag functionaliteit verliezen.

De substraatlaag heeft als functie om voldoende houvast en voeding te bieden aan de vegetatie. De samenstelling van de laag bepaalt in welke verhouding houvast en voeding kunnen worden gerealiseerd. Er werd en wordt geëxperimenteerd met samenstelling van de materialen in de substraatlaag. De samenstelling kan variëren van tuin- of potaarde, via speciaal samengestelde daksubstraten met lavagesteente of lichte puingranulaat, tot kunststoffen als polyethyleen schuim en gerecycleerde rubbers.

Omdat de meeste begroeide daken een licht afschot hebben, of soms zelfs geen afschot hebben, wordt onder de vegetatielaag een drainagelaag toegepast. Deze laag zorgt voor afvoer van overtollig hemelwater. Deze laag kan soms juist ook nog enkele opslagruimtes voor hemelwater hebben, zodat water gebufferd wordt voor later gebruik in de substraatlaag. Bij hellingen vanaf 4 °, afhankelijk van het gekozen systeem, wordt geen drainagelaag meer toegepast. Om te voorkomen dat deeltjes uit de substraatlaag een drainage kunnen gaan verstoppen, wordt een filterlaag op de drainage gelegd.

Onder de drainagelaag, of als die ontbreekt onder de vegetatielaag, wordt een schuif- en beschermlaag aangebracht. Deze functioneert als bescherming tegen mechanische beschadigingen bij en na ijsvorming, bij het belopen van het dak of bij onderhoudsactiviteiten.

Omdat voor het bufferen van pieken in hemelwater als gevolg van hevige regenval een substraatlaag meestal onvoldoende berging kan bevatten, worden op allerlei manieren onder de substraatlaag, maar boven de waterkerende laag holle ruimtes gemaakt. Deze holle ruimtes komen bijvoorbeeld voor in systemen bekend als dakpolder of dakspouw. De belangrijkste functie is het vertragen van afvoer van hemelwater door het tijdelijk opslaan in de holle ruimtes onder het begroeide dak.

Bijlage 2: Lagenopbouw van begroeide daken

Vegetatielaag

De vegetatielaag wordt gevormd door de planten die op het dak groeien. Dit kunnen lage planten zijn die zonder specifiek onderhoud kunnen overleven, zoals sedum, mossen en kruiden. Dit wordt een extensieve vegetatie genoemd. Het kan ook een laag met planten, heesters en zelfs bomen zijn die specifiek tuinonderhoud vergen. Dit wordt een intensieve vegetatie genoemd.

Erosielaag

Afhankelijk van de beplantingswijze is een wapeningsnet nodig om erosie van het substraat door wind te voorkomen. Is de vegetatie eenmaal volgroeid, dan kan de erosielaag vervallen, bijvoorbeeld doordat de laag uit organisch materiaal bestond en is begonnen weg te rotten.

Substraatlaag

De substraatlaag geeft houvast aan wortels van de vegetatie. De laag kan uit diverse materialen bestaan. In hun samenstelling wordt een optimale verhouding tussen water en lucht gezocht, waarop de gekozen vegetatie kan groeien. Een extensief dak zal minder hoog zijn, van 50 mm tot 150 mm, een intensief dak zal een hoger substraat nodig hebben, vanaf 150 mm en dikker.

Filterlaag

De filterlaag voorkomt dat fijnere deeltjes uit de substraatlaag in de waterafvoerende laag worden gespoeld en op die manier het waterdoorlatend vermogen van de drainagelaag negatief beïnvloeden.

Drainagelaag

De drainagelaag zorgt voor de afvoer van het overtollige water in de opbouw. Deze laag bestaat uit een waterafvoerende laag en een filterlaag. Deze laag kan integraal (als onderdeel van) worden uitgevoerd binnen één systeem.

Schuif- en beschermlaag

De schuif en beschermlaag heeft als functie om de waterkerende en wortelkerende laag eronder te beschermen tegen directe mechanische beschadiging van boven. Dit is vooral bedoeld tijdens aanleg en onderhoud. Daarnaast kan tijdens strenge vorst in de drainagelaag of in het substraat ijsvorming optreden. Als dan een mechanische belasting optreedt, voorkomt deze beschermlaag onmiddellijke lekkage. Bij lichte hellingshoeken voorkomt deze laag afschuiven van bovenliggende lagen.

Waterafvoerende laag

De waterafvoerende (drainage-) laag neemt, op grond van het volume aan holle ruimten, water op en voert overtollig water af naar de dakafvoeren. Indien zodanig ontworpen kan de waterafvoerende laag een waterbufferend vermogen hebben. Tevens kan de waterafvoerende laag de doorwortelbare ruimte vergroten. Deze laag kan uitgevoerd worden uit diverse kunststoffen of natuurlijke (minerale) materialen.

Dakspouw en dakpolder

De functie van waterkering van een dak kan onder een begroeiing, bestaande uit bovenstaande genoemde lagen, op meer manieren worden vervuld. Het belangrijkste is om een waterkerende laag te kiezen die bestand is tegen doorworteling door de planten. Planten gaan op zoek naar water, als de substraatlaag voor lange tijd onvoldoende vocht heeft. Sommige dakbedekkingsmaterialen, gewoonlijk bestaande uit bitumineuze materialen, zijn niet tegen doorworteling bestand. Veel kunststof dakbedekkingslagen zijn wel

tegen doorworteling bestand. Wortelkering en waterkering kunnen dus integraal in één materiaal worden uitgevoerd.

Wortelkerende laag

Beschermt de onderliggende dakconstructie tegen doorworteling van planten bij droogte.

Waterkerende laag

Zorgt voor afvoer van water naar de hemelwaterafvoeren en voorkomt lekkage naar de onderliggende dakconstructie. De waterkerende laag bestaat uit bitumineuze materialen of kunststofmaterialen.

Dakconstructie

De dakconstructie onder de waterkering heeft als functie om het gebouw te beschermen van invloeden van buiten. Daarvoor worden constructieve materialen aangebracht in materialen als hout, staal, beton of kunststof gerelateerde materialen. Tevens worden aan binnen- en buitenkant van de constructie lagen aangebracht die afwerken van binnen en beliepbaar maken van buiten. De dakconstructie moet ook warmte en koude van binnen en van buiten isoleren. Daarvoor worden isolatiematerialen aangebracht. Dat kan op verschillende manieren. Vanwege energieverliezen en vanwege het voorkomen van vochtproblemen worden eisen gesteld aan luchtdichtheid van dakconstructies. Omdat door de isolatiematerialen opzettelijk verschillen in temperatuur wordt aangebracht, is het belangrijk te voorkomen dat in de constructie waterdamp van binnen kan condenseren. Dit worden douwpuntsberekeningen genoemd, ofwel Glaserberekeningen. Bij begroeide daken zijn deze bouwfysische berekeningen voor condens in de constructie lastiger te maken, omdat er aan de buitenkant niet zomaar een gemiddeld vochtgehalte kan worden aangenomen. Ook is de isolerende werking van drainagelaag, substraatlaag en vegetatielaag dynamisch en kan daarvoor geen gemiddelde waarde worden gevonden.

Bijlage 3: Effecten van begroeide daken

De werking van een begroeid dak met deze opbouw in lagen heeft zich in de loop van de afgelopen decennia voldoende bewezen. Begroeide daken die op een dergelijke manier zijn opgebouwd blijken in Nederland al meer dan veertig jaar te kunnen functioneren. Begroeide daken zijn in Nederland dus te beschouwen als een bewezen technologie. Er wordt echter nog volop geïnnoveerd. Doordat meer onderzoeksresultaat bekend wordt over technische eigenschappen van begroeide daken en over de eigenschappen van vegetatiegemeenschappen op begroeide daken, kunnen de effecten worden versterkt en optimalisaties worden doorgevoerd.

Aan begroeide daken worden aan aantal positieve eigenschappen toegekend. Deze eigenschappen of effecten worden onderscheiden naar het schaalniveau waarop de effecten intreden. Enerzijds heeft een dakbegroeiing een effect op het gebouw waarop het aangelegd is. Anderzijds heeft dakbegroeiing effecten op het schaalniveau van de omgeving zoals op straatniveau of op het niveau van een stad (Teeuw Ravesloot 2011).

Effecten op het gebouw

Een gebouweigenaar legt dakbegroeiing aan omdat hij er voordelen van verwacht. Begroeiing op het dak heeft een ander beeld dan een zwarte of grijze oppervlakte van bitumineuze afdekking. Dit kan voor een gebouweigenaar als voordeel beleefd worden. Soms is het vooral een voordeel van burens die van boven op een dak kijken.

In de opbouw van een begroeid dak wordt onderscheid gemaakt tussen een dak dat als kijkgroen ontwerpen en opgebouwd is en een dak dat als tuin gebruikt kan worden. Kijkdaken zijn meestal aangelegd voor minimaal onderhoud. Deze worden daarom extensieve tuinen genoemd. Extensieve tuinen hebben substraatdiktes tot 120 mm opbouwhoogte. Daktuinen moeten worden onderhouden als een gewone tuin. Daarom wordt deze daktuinen intensieve begroeide daken genoemd. De dakopbouw van intensieve dakbegroeiing kan in hoogte oplopen tot 2 meter. Er zijn enkele dakparken bekend, waar bomen geplant zijn die 2 meter substraat nodig hebben om gezond te kunnen blijven groeien.

Een economisch voordeel is het verlengen van de levensduur van de dakbedekking. Doordat de begroeiing en onderliggende lagen de dakbedekking tegen extreme weersinvloeden beschermt, gaat de dakbedekking langer mee. De levensduur wordt ten opzichte van een onbeschermd status met minstens 20 jaar verlengd. Een gedeelte van de verlenging komt voort uit de keuze voor betere materialen voor de dakbedekking als er dakbegroeiing op moet worden aangelegd. Het grootste deel van de verlenging komt voor rekening van de afscherpende functie.

Een ander voordeel dat soms genoemd wordt, is de isolerende werking. Voor het bepalen van extra isolerende werking in een opbouw voor dakbegroeiing is geen methode bekend.

De isolerende werking wordt uitgedrukt in de U-waarde, wat een uitwerking is van de mate waarin de verschillende lagen in de constructie samen een weerstand vormen tegen doorvoer van warmte via transmissie. De isolerende werking kan ook in de reciproque waarde van de u-waarde worden uitgedrukt. In dat geval worden de overgangsweerstanden van de stilstaande lucht binnen en buiten meegenomen. Dit wordt uitgedrukt in de zogenaamde de R-waarde

Over het algemeen wordt onderscheid gemaakt tussen situaties waarin de weersomstandigheden boven het dak zorgen voor een nattere en koudere omgeving van onder het dak. Dit is meestal in winterse situaties het geval. In de omgekeerde situatie is de temperatuur boven het dak hoger dan onder het dak. Dit komt veel voor onder zomers omstandigheden. Echter, omdat op het dak weersomstandigheden extremer zijn dan op het maaiveld, zijn de meeste weersomstandigheden in het gematigde zeeklimaat van Nederland een afwisseling van winter- en zomeromstandigheden. Boven een zwart bitumineus dak kan de luchttemperatuur in de zomer oplopen tot boven de zestig graden Celsius. In onbewolkte heldere nachten kan het op het dak al vriezen, terwijl de luchttemperatuur op 1 meter boven de grond nog positief is.

Het is voorsnog onmogelijk gebleken deze afwisselingen met metingen nauwkeurig in kaart te brengen. Het is daarom ook lastig gemiddelde waarden voor berekeningen te maken op basis van eigenschappen van daksystemen zonder extra isolerende materialen in een van de lagen.

Er zijn inderdaad systemen voor begroeide daken die aantoonbaar extra isolerende werking hebben. Dit is bijvoorbeeld mogelijk als de drainagelaag opgebouwd is uit XPS (geëxpandeerde PolyStyreen) bakken waar stilstaande lucht in holle ruimtes en in de XPS voor extra verdaging van warmtedoorvoer kan zorgen. Echter, in de meeste gevallen is het vochtgehalte van drainagelaag, substraatlaag en vegetatielaag dynamisch en schommelend tussen extreem droog en nat, dat geen sprake kan zijn van een isolerende werking. In natte toestand zal een begroeid dak eerder zorgen voor afkoeling.

De isolerende werking van dakbegroeiing in zomerse omstandigheden zijn vooralsnog niet te meten of te berekenen. Echter, de verkoelende werking van systemen voor begroeide daken kan wel gemeten worden in een overtuigend temperatuurverschil tussen de temperatuur boven het dak en onder het dak. Deze verkoelende werking, die via een kleine omweg wel in berekening voor koellast en energieverbruik voor koeling kan worden bepaald, is een groot voordeel voor gebouw eigenaren met oververhittingsproblemen tijdens zomerse dagen.

Als een begroeid dak goed is aangelegd, zal regenwater eerst opgezogen worden door vegetatie, substraat en eventueel een drainagelaag. Daardoor zal een eerste regenbui verkleind en vertraagd bij de hemelwater afvoeren terecht komen. Dit kan een voordeel opleveren voor het beheer van het gebouw en voor de aanleg van afvoer systemen op het maaiveld. Effecten op het bouw kunnen dus voordelig zijn voor de gebruiker en eigenaar.

Zijn er dan geen nadelen. Jawel, die zijn er wel. De nadelen vallen onder de categorie slechte uitvoering. Als een dakdekker en een hovenier slecht samenwerken en de kwaliteitseisen tijdens ontwerp, aanleg en onderhoud niet kunnen realiseren, kunnen schades ontstaan en zullen de voordelen niet of minder worden benut. Gelukkig komen er in Nederland weinig schades voor. Maar schades als gevolg van interne condensatie, lekkage door verkeerd gebruik, erosie van vegetatie en substraat door storm, wegwaaien van de dakbedekking inclusief opbouw van het begroeide daken bij zware storm, zijn incidenteel wel bekend. Een ander nadeel dat bij sommige materialen opduikt, is dat de levensduur van de aansluitdetails bij dakdoorvoeren voor lichtkoepels, rookgas en ontluchting minder lang is dan de beschermde dakbedekking. Bij het ontwerp en bij de keuze van het materiaal voor de dakbedekking kan hiermee rekening worden gehouden.

Daarnaast is het een nadeel dat ook extensieve begroeide daken onderhoud nodig hebben. Gezien de grote hoeveelheid met grind, split of tegels bedekte bitumineuze daken met structureel achterstand in onderhoud, lijkt er in Nederland geen gebruik te zijn om daken te onderhouden. Bij een begroeid dak is het verstandig regelmatig te schouwen, zodat eventuele verandering op het dak op tijd kunnen worden gezien en ongedaan gemaakt. Daarmee kunnen positieve effecten van begroeide daken ook daadwerkelijk over een termijn van dertig tot veertig jaar worden gerealiseerd.

Effecten op de stad

Reeds jaren wordt in literatuur aangegeven dat grote oppervlakten dakbegroeiing positieve invloed hebben op het stadsklimaat. De temperatuurverschillen in de stad zouden worden gedompt. In de zomer zou zo een urban heat island effect worden verminderd. Als gevolg zouden minder mensen uit kwetsbare groepen vroegtijdig overlijden door de hittestress.

Als begroeide daken op gebouwen worden aangelegd die afhankelijk zijn van airconditioning systemen om een aangenaam binnenklimaat te behouden, dan is er nog een bijkomend voordeel voor de stad. Op het moment dat er een hittegolf is in de stad, worden vaak airconditioners bijgeschakeld. Deze verbruiken op dat moment veel stroom. Dit stroomverbruik vormt een piekbelasting op het elektriciteitsnet. Piekbelastingen leiden op dergelijke momenten tot bijschakeling van elektriciteitscentrales, die vaak nog op kolen gestookt worden. Toepassing van begroeide daken voor beperking van koellast reduceert dus CO₂ uitstoot, met andere emissies, op de momenten dat je die uitstoot eigenlijk er niet bij kunt hebben.

Daarnaast worden aanwijzingen gegeven hoe en waarom grote oppervlakten begroeide daken ook direct zouden bijdragen aan verbetering van luchtkwaliteit. Fijnstof zou worden afgevangen en CO₂ gebonden, terwijl zuurstof wordt geproduceerd. De specifieke positieve werking van begroeide daken moet worden onderscheiden van de algemene positieve invloed van groen in de stad. De afweging is afhankelijk van de hoeveelheid bladoppervlak, omdat plantenbladeren actief zijn bij de binding van stof, demping van vocht en temperatuur in de stad en bij de binding van CO₂ en zuurstofproductie.

Het grootste positieve effect van begroeide daken voor de stad is dat hemelwater van regenbuien wordt opgevangen voordat het op maaiveld moet worden opgeslagen en afgevoerd. Binnen stedelijke omgevingen kan dat een belangrijk voordeel zijn in het managen van oppervlakte en rioolwater. Op dit voordeel voor de stad en voor de water en rioleringsmanagers van de stad, wordt in de loop van dit verslag uitvoerig ingegaan.

In 1992 werd in een vakblad beargumenteerd dat het voor de marktontwikkeling van begroeide daken handig zou zijn als er één uniforme bepalingsmethode zou zijn voor technische eigenschappen van dakbegroeiing (Ravesloot 1991). In 2012, twintig jaar later gingen vertegenwoordigers van de branche van dakdekkers en hoveniers, MKB'ers en kennisorganisaties als RIONED en STOWA in een consortium met de Hogeschool Rotterdam aan de slag om de laatste wetenschappelijke kennis van begroeide daken in kaart te brengen en nieuwe kennis voor de Nederlandse omstandigheden toe te voegen.

Op de technische specificaties voor windzekerheid, thermische koeling, wateropslag en -vertraging, verhoogde opbrengst PV systemen, constructieve eigenschappen van staal- en betonconstructies, bescherming tegen windbelasting, kosten en baten en maatschappelijke kosten en baten werden

vorderingen gemaakt. Bestaande wetenschappelijke kennis werd kritisch geordend en waar nodig met eigen onderzoek en meetopstellingen gevalideerd. 1 Lector, 17 afstudeerders, 3 projectleiders en enkele docenten van Hogeschool Rotterdam waren betrokken. Dezen werkten samen met meer dan 30 MKB'ers, vertegenwoordigers van TU Delft, Universiteit Wageningen, Deltares, Gemeente Rotterdam, Arcadis, Royal Haskoning, IC Dubo, STOWA, Rioned, brancheorganisatie Vereniging voor Bouwwerkbegroeners (VBB) en twee internationale organisaties: International Green Roof Association (IGRA-EU) en Green Roofs for Healthy Cities (USA).

Het doel van 1992 ligt binnen hardbereik. De nieuwe kennis uit het onderzoek zal de basis vormen voor de tekst van een nieuwe NEN norm voor begroeide daken. De kennis voor het maken van uniforme bepalingen, door metingen en berekeningen, voor de waterbufferende en -vertragende eigenschappen, voor koelende thermische werking, voor bescherming tegen windbelasting en voor verhoogde opbrengst van PV systemen.

Bijlage 4: Resultaten uit onderzoek en literatuur

Onderzoek van een consortium onder leiding van het NIOO, Nederlands Instituut voor Ecologie en WUR, Wageningen University Research, richt zich op het verband tussen thermische en hygrische eigenschappen van begroeide daken en de leefomstandigheden van vegetatiesoorten. Daarvoor zijn op het dak van het NIOO in Wageningen verschillende dakopbouwen met verschillende vegetatietypen van meetapparatuur voorzien. De metingen moeten inzicht verschaffen in eigenschappen over een lange termijn. De meeste consortiumleden van het NIOO onderzoek participeren in een parallel onderzoek van Hogeschool Rotterdam.

Uit dit onderzoek van een vergelijkbaar consortium onder leiding van lector Innovatie Bouwproces en Duurzaamheid, zijn interessante en nieuwe resultaten bekend geworden. Het onderzoek heeft als aanpak om eerst bestaande wetenschappelijke kennis te verkennen, te bundelen en op zijn waarde voor de Nederlandse situatie te beschouwen. Daarna worden toepassingen voor de Nederlandse situatie ontwikkeld en indien nodig in met testopstellingen in laboratoria of op begroeide daken gevalideerd. Het doel is om voor een aantal technische eigenschappen één uniforme bepalingmethode voor het meten en berekenen binnen de Nederlandse context te kunnen vaststellen.

De technische eigenschappen hebben betrekking op:

- thermische eigenschappen in winterse en zomerse situaties
- opbrengst verhogend effect van begroeide daken op PV installaties
- waterbufferende en vertragende eigenschappen van begroeide daken
- het effect van waterbufferende en vertragende eigenschappen van begroeide daken op het stedelijk watersysteem
- constructieve geschiktheid van bestaande beton- en staaldaken voor dakbegroeiing
- bescherming van de dakhuid tegen opwaaien en bestendigheid tegen erosie
- kosten en baten van extensieve begroeide daken voor de eigenaar en gebruiker
- maatschappelijke kosten en baten van extensief begroeid daken

Voorafgaand aan de start van het onderzoek is een NEN commissie gestart om een normtekst te schrijven voor de bepaling van technische eigenschappen van begroeide daken in Nederland. Deze commissie bestaat vrijwel geheel uit deelnemers aan het onderzoek van de hogeschool Rotterdam. De resultaten van het onderzoek worden gebruikt om een Nederlandse voornorm NTA, NVN en NEN tekst te schrijven.

Onderzoek thermisch

Over de hele wereld zijn veldexperimenten gedaan, waarbij de isolerende werking van dakbegroeiing gemeten werd. Afhankelijk van de klimaat- en de weersomstandigheden werden daaruit conclusies getrokken. Uit die conclusies is geprobeerd theoretische modellen te bouwen. De theorie wordt vanuit bodemfysica en bouwfysica kennis opgebouwd en leidt tot gecombineerde modellen. Bij bodemfysica staat daarbij het dynamisch gedrag van water centraal. Bij bouwfysica staat statisch gedrag van materialen centraal, maar dit moet worden gerelateerd aan het dynamisch gedrag van de warmtehuishouding in een gebouw en door de constructies en ventilatiesystemen.

De centrale vraag bij het opstellen van de modellen is of en hoe de isolerende werking in termen van R-waarde (warmteweerstand van de constructie) of u-waarde (doorgangscoefficient van warmte) kan worden gemeten en berekend.

Uit onderzoek van alle wetenschappelijke literatuur blijkt dat de omstandigheden bij de verschillende veldexperimenten grote verschillen vertonen. Er zijn desondanks toch vier wetenschappelijk gevalideerde modellen gebouwd die de vele bouwfysische en bodemfysische parameters, die een rol spelen bij warmte uitwisseling op een begroeid dak, afdekken (Huang 2013, Delemarre Somers 2012). De parameters binnen de modellen zijn opgebouwd uit wiskundige vergelijkingen, waarbij verschillende variabelen kunnen worden ingevoerd.

Voor zowel de zomerse omstandigheden op het dak, als voor de winterse omstandigheden bleek het niet mogelijk om omstandigheden te vinden en te berekenen, waarbij een betrouwbare gemiddelde isolerende werking van dakconstructie, daksubstraat en vegetatie kon worden vastgesteld. Dit geldt voor daken met een gemiddelde of goede isolatie binnen Nederlandse gemiddelde klimatologische omstandigheden. Voor ongeïsoleerde daken onder die omstandigheden kan wel een isolerende werking worden vastgesteld. Met de komende aanscherping van de verplichte R-waarde voor daken naar 5,0 SI, kan worden gesteld dat een isolerende werking van een extensief dakconstructie niet kan worden vastgesteld en in ieder geval verwaarloosbaar is.

Echter, een gevoeligheidsanalyse binnen één van de modellen leverde wel een opmerkelijke waardering op voor een verkoelend effect van een extensief begroeid dak onder zomerse omstandigheden. Er treedt een grote reductie op van het temperatuurverschil boven een begroeid dak met de onderliggende ruimte en constructie, ten opzichte van dezelfde constructie met een zwarte onbedekt dak. Deze temperatuurreductie ΔT zorgt voor minder warmtetransport tussen binnen en buiten en zou dus zichtbaar moeten worden in een verminderde opwarming binnen en in een gereduceerd energieverbruik voor koeling. Uit modelberekeningen blijkt vervolgens inderdaad een significante reductie op het energieverbruik. Bij een gemiddeld volgens huidige normen geïsoleerd kantoorgebouw van drie of vier lagen, levert een begroeid dak een bijdrage van minimaal 6 % reductie op koelvermogen en energieverbruik voor koeling. Dit kan in de praktijk nog meer zijn, als bekend is hoe de koeling als gevolg van verdamping van water in vegetatie, substraat en drainage meegenomen kan worden in de koellastberekening. De dichtheid van de beplanting, de natheid van het begroeid dak en de warmtestraling van substraat (Albedo) bepalen de mate van reductie in temperatuurverschil (Ravesloot 2013). Dit positieve effect van dakbegroeiing heeft ook gevolgen voor de opbrengst van PV cellen op een begroeid dak. Deze leveren in theorie meer kWh stroom op, ten opzichte van een zelfde opstelling op een kaal zwart dak (Abraham-Reynolds Shadmanfar 2014). Voor de Nederlandse weersomstandigheden is dit nog niet gevalideerd. De proefopstelling is in Amsterdam geplaatst en zal in de herfst van 2014 resultaat opleveren.

Onderzoek constructief

Omdat begroeide daken vergeleken met een zwarte bitumineus dak meer gewicht hebben, is het belangrijk te weten welk effect dit heeft voor de constructie van een onderliggend dak. Bij het ontwerpen van nieuwe daken is het over het algemeen geen probleem rekening te houden met extra gewicht van dakbegroeiing en tijdelijke opslag van hemelwater.

Nieuwe daken kunnen eenvoudig worden gedimensioneerd met de extra belasting van dakbegroeiing. Dat hoeft in de constructie niet tot meerkosten te leiden. Dakbegroeiing kan de functie van tegels en grind als ballastlaag op losliggende dakbedekking overnemen. Het gewicht is dan vergelijkbaar. Het leidt mogelijk tot minder hemelwaterafvoeren om dat de piekafvoer van hemelwater bij regen zou moeten afnemen.

Op bestaande daken, die voorzien zijn van balastlagen uit tegels en grind, kan die balast dus vervangen worden door dakbegroeiing. De praktijk wijst uit dat dit functioneert. Uit berekeningen in het onderzoek van Hogeschool Rotterdam blijkt dat staaldaken op bestaande utiliteitsgebouwen geen extra belasting kunnen opnemen. Deze daken zijn meestal voorzien van een verkleefde of gefixeerde dakbedekking, zonder balast van grind en tegels dus. In het onderzoek werden bestaande staaldaken doorgerekend met de nieuwe Euronorm voor staalconstructies. Daarin bleek zelfs dat oude constructie, die ooit goedgekeurd waren op basis van de oude normen, niet aan de eisen van de nieuwe Euronorm voldoen. Daarentegen blijkt het versterken van de constructie met een stalen onderspan hulpconstructie constructief een interessante oplossing te zijn. De hulpconstructie kan vermindering van het grootste veld moment opleveren met factor 20. De hulpconstructie kan er voor zorgen dat tegen geringe meerkosten een enorm veel grotere hoeveelheid gewicht op het dak kan.

Voor het bepalen van de mogelijkheid om op bestaand betonnen dak een begroeid dak aan te leggen is een schouw nodig. In die gevallen dat tegels en grind worden vervangen, kan dakbegroeiing van hetzelfde gewicht worden aangebracht. In andere gevallen kunnen constructieve maatregelen worden genomen. In het onderzoek van hogeschool Rotterdam werd een Quick scan ontwikkeld, waarmee een besluit tot begroeiing kan worden onderbouwd.

Er is geen gevalideerde berekeningsmethode voor het bepalen van de windvastheid van een losliggende dakbedekking als die met dakbegroeiing wordt verzaaid. Overigens geldt dit ook voor tegels en grind. De praktijk wijst uit dat dit bij de stormen die we de laatste twintig jaren gehad hebben, niet tot problemen leidt.

Het onderzoek van hogeschool Rotterdam richtte zich vooral op de windzekerheid van dakbegroeiing als balastlaag. Bij windbelasting op dakbegroeiing kunnen twee bezwijkmechanismen optreden.

- 1 het wegwaaien van substraat en vegetatie, waardoor het gewicht afneemt en de balast te licht wordt om de losliggende dakbedekking tegen opwaaien te beschermen;
- 2 het wegwaaien van de gehele dakbegroeiing door onderdruk onder en boven de dakbedekking.

Uit praktijkonderzoek blijkt dat het mogelijk is de grenswaarde voor het wegwaaien van substraat en vegetatie van te voren te bepalen in een windtunnel. Het blijkt belangrijk dat vegetatie en substraat zo snel mogelijk na aanleg één geheel vormen. De methode van inzaaien, inplanten en voorkweken is bepalend voor de tijd die nodig is om van een vegetatie op een nieuw aangelegd begroeid dak één laag te maken. Met

name bij dakranden kunnen hoge windsnelheden ontstaan, die substraat en begroeiing aantasten, terwijl de windsnelheid boven het dak nog niet eens zo hoog is. Vanuit theoretisch onderzoek, de huidige normering voor berekening van windvastheid voor balast met grind en tegel en vanuit praktijkervaring is bekend hoe bepaald kan worden wanneer een dakbedekking als geheel zou wegwaaien. De huidige norm maakt in de betreffende berekeningsmethodiek en de daar uit volgende bepalingsmethode gebruik van een zogenaamde drukvereffeningscoëfficiënt. Voor de Nederlandse situatie zijn de berekeningsmethode en de drukvereffeningscoëfficiënt nog niet empirisch gevalideerd. Binnen de te verwachten NEN norm voor begroeide daken zal de bepalingsmethode voor windbelasting worden uitgewerkt. Daarvoor zullen windtunnel experimenten worden uitgevoerd zodat de grenswaarde voor schade empirisch komt vast te staan en kan worden vergeleken met theoretische berekeningen.

Onderzoek water

Over de hele wereld wordt in diverse klimaten, onder verschillende weersomstandigheden gemeten aan de water vertragende en water bufferende eigenschappen van begroeide daken. Als je deze onderzoeken met elkaar probeert te vergelijken, dan blijken de uitgangspunten ver uit elkaar te liggen. Zowel in doelstelling, meetopstelling, meetinterval, regenval als dakopbouw zijn de metingen niet vergelijkbaar. Toch zou het handig zijn om te weten hoeveel water, onder welke omstandigheden, in de Nederlandse situatie op een begroeid dak opgevangen wordt. Vervolgens is het handig te weten hoeveel hemelwater voor hoe lang op het dak kan worden vastgehouden voordat het water op het watersysteem op het maaiveld wordt geloosd.

Uit de vergelijking van metingen over de hele wereld kunnen wel bandbreedtes van omstandigheden en bandbreedtes voor buffering en vertraging worden vastgesteld. Begroeide daken in Nederland zullen zeer waarschijnlijk binnen die bandbreedte functioneren. Echter, om het voor de Nederlandse situatie nauwkeuriger te weten te komen, is onderzoek gestart. De meetgegevens zullen de komende jaren beschikbaar worden.

Dat begroeide daken een bijdrage leveren aan bufferen en vertragen van hemelwater is onomstreden. De vraag hoeveel dat is en op welk tijdstip dat is, kan dus wel ongeveer worden beantwoord. Met de huidige inzichten zijn al modellen gemaakt om de invloed op het watersysteem op maaiveld te berekenen. Op de hogeschool Rotterdam is gekeken hoe de water eigenschappen van begroeide daken vertaald moeten worden naar inputgegevens voor modelberekeningen zoals bijvoorbeeld in SOBEK. Daarbij is met name gekeken naar de gevoeligheid van SOBEK voor invoer van de huidige bekende bandbreedtes. Daarnaast is gekeken of de aannames die vanuit bijvoorbeeld de Duitse richtlijnen over het bufferend vermogen van daksubstraten en dakvegetatie gedaan worden, kloppen met de substraten zoals die in Nederland gebruikelijk zijn.

Bronnen

- Abraham-Reynolds S. Shadmanfar D. (2014) Green Roof integrated Photovoltaics versus conventional photovoltaics, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Van Der Tol BV Amsterdam, Zinco Benelux BV Amsterdam, Hogeschool Rotterdam, maart 2014
- Boulghalegh Y. (2013) MKBA begroeide daken in de Spaanse Polder Rotterdam, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Hogeschool Rotterdam, november 2013
- Delemarre M.A., Somers P: 'De isolerende werking van begroeide daken in de zomer. Isolierend vermogen begroeide daken, fictie of feit?' SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken. Uitgevoerd bij Ingenieursbureau Gemeente Rotterdam, Hogeschool Rotterdam, augustus 2012
- Huang E.C.X.: 'De thermische werking van begroeide daken in de winter', SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Van Der Tol BV Berkel- en Rodenrijs, Zinco Benelux BV Amsterdam, Hogeschool Rotterdam, januari 2013
- Jong R Quack G M M (2013) Begroeide daken op bestaande staalconstructies, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Bouwen met Staal , Hogeschool Rotterdam, augustus 2013
- Karim M (2013) Herbestemming, hergebruik en herbeoordeling van betonnen daken voor dakbegroeiing, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Betonrestore Spijk, Hogeschool Rotterdam, september 2013
- Kerssen A J (2011) Handboek Groene Daken, BDA Dak- en Gevelopleidingen Gorinchem
- Klaasman M. (2013) De meerwaarde van koeling door een grotere D T bij begroeide daken, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Bink Software Dordrecht, Hogeschool Rotterdam, september 2013
- Koppelle J. P. (2013) Kenmerken Windvastheid Extensief Begroeide Daken, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Bureau Groen Advies Amersfoort, Hogeschool Rotterdam, juni 2013.
- Losken G (2006) Dakbegroeiingsrichtlijn, Vol. SBR publicatie 547.05 SBR Rotterdam
- Ravesloot C M (1992) Behoeftte aan richtlijnen voor groene daken, Dak Informatie Magazine, Keesing, Amsterdam
- Ravesloot C M (2013), Dakbegroeiing als parasol, Roofing 6, Lindeman Uitgevers Alkmaar, dakweb.nl
- Ravesloot C M (2013) Productinnovatie voor systeeminnovatie, rapport van het European Green Roof Association Congres in Hamburg, Dak- en Gevelgroen 7, 4, Uitgever NWST Nijmegen
- Teeuw P G Ravesloot C M (1998) Begroeide Daken in Nederland, Functie, Structuur en Vorm, Delft University Press Delft
- Teeuw P G Ravesloot C M (2011) Begroeide Daken na 2010, afstemming van techniek, organisatie en maatschappelijk belang, Techné Press Amsterdam
- Versluis S. Weij J (2013) Maatschappelijke Kosten- en Batenganalyse en Stimuleringsregelingen, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam, Hogeschool Rotterdam, juni 2013
- Horst B R van der Mos T J (2013) De invloed van begroeide daken op afwateringssytemen, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Deltares Delft, Hogeschool Rotterdam, juni 2013
- Wagemaker S (2012) Effect van begroeide daken op het stedelijk watersysteem, SIA RAAK MKB onderzoek Classificatie Implementatie extensief Begroeide Daken, uitgevoerd bij Deltares Delft, Hogeschool Rotterdam, augustus 2012