

## Hydrologische en thermische effecten van extensief groen dak op winkelcentrum Alexandrium

*Nàdia Mobron, Titus van Hille, Jeroen Prins (gemeente Rotterdam)*

**De Gemeente Rotterdam stimuleert groene daken. Om het effect van extensieve groene daken aan de diverse doelstellingen te onderzoeken is een jaar lang gemeten aan het daken van winkelcentrum Alexandrium. Groene daken dragen bij aan minder hemelwater naar de zuivering (65% volumereductie) en in mindere mate het verminderen van (het volume aan) riooloverstorten. Zowel groene als witte daken warmen veel minder op dan 'zwarte' daken. Voor het tegengaan van wateroverlast door zware neerslag bieden extensieve groene daken te weinig berging, voor hittemitigatie is witte coating een goedkoper alternatief.**

Sinds 2008 wordt in Rotterdam een breed scala aan klimaatadaptieve maatregelen gestimuleerd om de stad klimaatbestendig te maken. Reden voor deze stimulering is de verwachte bijdrage aan watermanagementdoelstellingen van de gemeente en de waterschappen. Onder die maatregelen vallen groene daken, zoals toegepast op winkelcentrum Alexandrium. Het gaat hier in de eerste plaats om het ontlasten van het achterliggende watersysteem (riool en/of oppervlaktewater), om wateroverlast bij extreme neerslag te voorkomen of te beperken. Ook is het een doel om het volume aan (en kans op) riooloverstorten op het oppervlaktewater te verminderen. Ook het reduceren van het totale volume aan 'schoon' hemelwater dat naar de zuivering wordt gebracht is van belang. Om de verwachte effecten te kunnen kwantificeren heeft het Ingenieursbureau Rotterdam de opdracht gekregen om de invloed van het groene dak op winkelcentrum Alexandrium op de afstroming van hemelwater te monitoren. Hierbij wordt onder andere gekeken naar piekreductie, piekvertraging, vertraagde afvoer en volumereductie bij een bui.

De thermische effecten van groene daken voor de onderliggende ruimtes zijn onderzocht door het adviesbureau Peutz. Met thermische metingen is een model gekalibreerd, zodat verschillende condities van de daken (zoals isolatiewaardes) konden worden gecorrigeerd. Andere positieve effecten, zoals vergroting van de biodiversiteit, esthetica, geluidsreductie fijnstofreductie, cetera zijn in dit onderzoek niet meegenomen.

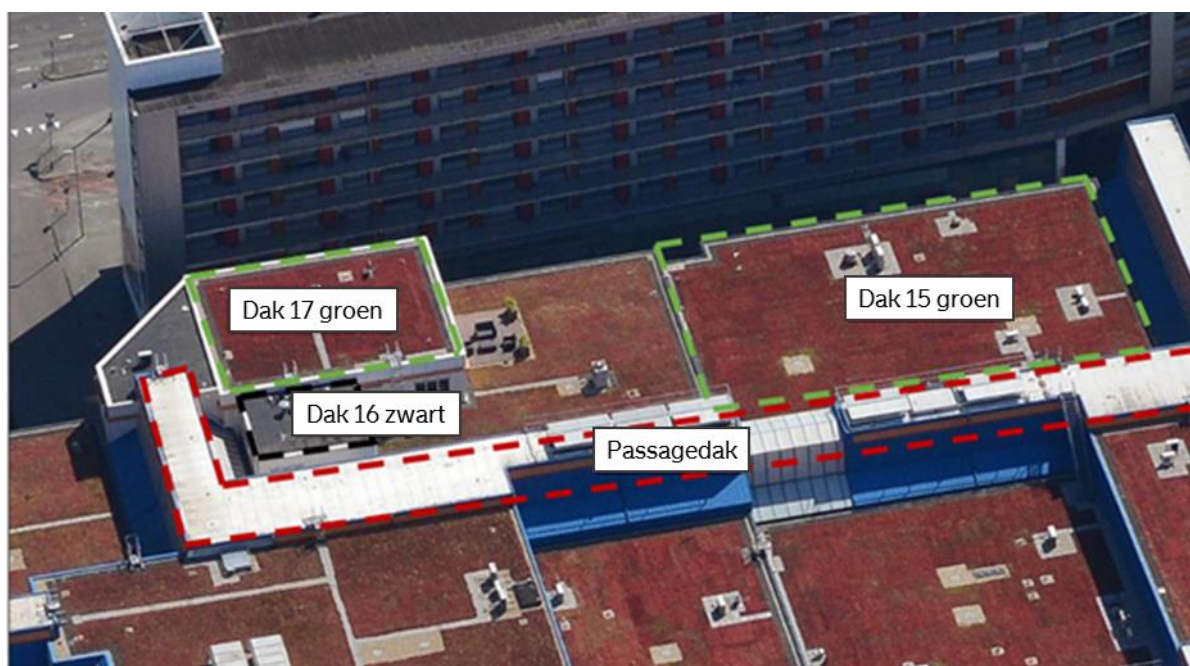
### **Doelstellingen neerslagmitigatie gekwantificeerd**

Een groen dak reduceert het volume aan hemelwater dat wordt afgevoerd door het water tijdelijk te bergen, waarbij het deels zal verdampen door de vegetatie op het dak. Een deel van het hemelwater zal nog wel tot afstroming komen naar de riolering. Om het achterliggende watersysteem te ontlasten is het van belang dat dit gespreid en vertraagd gebeurt. Als het groene dak is aangesloten op een hemelwaterstelsel is de afvoercapaciteit van het achterliggende oppervlaktewater bepalend voor de gewenste afvoer. De afvoernorm van waterschappen in Rotterdam is ca. 2 l/s/ha, oftewel 0,72 mm/uur. Watert het groene dak af op een gemengd riool, dan is de pompcapaciteit van het rioolgemaal maatgevend voor de gewenste afvoer. Deze bedraagt doorgaans 1,5 mm/uur. Bij voorkeur wordt echter alleen de pompovercapaciteit aangesproken (0,7 tot 1 mm/uur). De gewenste maximale afvoer van een groen dak bedraagt daarom ongeveer 0,7 mm/uur, ongeacht op welk type

rioolstelsel de afvoer is aangesloten. Ook (piek)vertraging draagt bij aan de doelstellingen. Overstorten vinden grotendeels plaats tussen 1 en 4 uur na een bui. Al het hemelwater dat in deze periode niet wordt afgevoerd draagt dus bij aan het verminderen van het volume aan (en kans op) riooloverstorten op oppervlaktewater (mits er een gemengd stelsel ligt). Het gemengde riool heeft een berging van ongeveer 9 mm, het (gedeeltelijk) afvangen van buien groter dan 9 mm heeft een positief effect op de vuillast naar het oppervlaktewater.

### Locatiebeschrijving

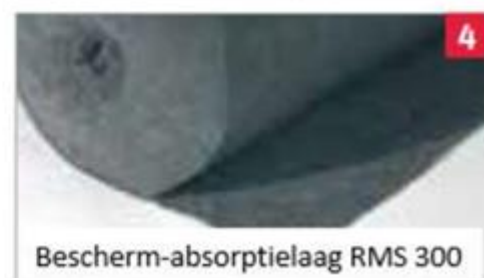
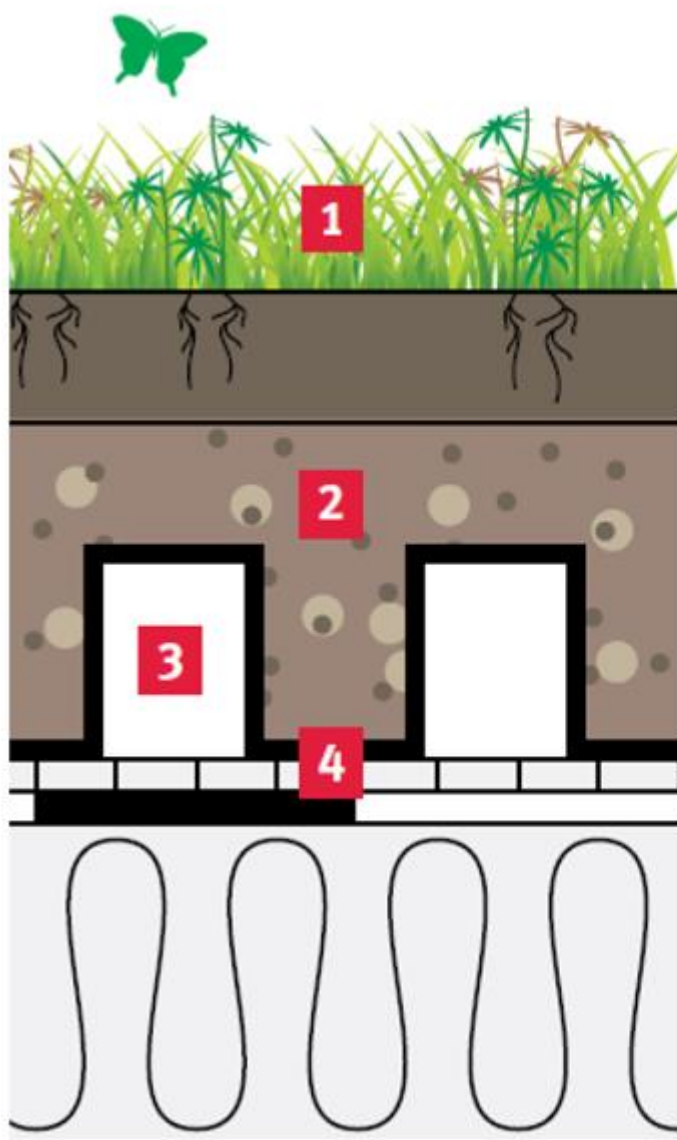
Voor dit onderzoek zijn drie daken van winkelcentrum Alexandrium, gelegen in de Alexanderpolder (Poolsterstraat) te Rotterdam, geselecteerd. Dit winkelcentrum is een combinatie van winkelgebouwen met verschillende afmetingen en dakhogten, inclusief een voetgangerspassage met witte coating. Alle daken zijn praktisch vlak. De daken die hier constructief geschikt voor zijn, zijn belegd met een extensief groen dak. 'Extensief' betekent hier dat de systeemdikte beperkt is (met dus ook minder ruimte voor waterberging) en de vegetatie uit sedumplanten bestaat. Voordeel van een extensief dak is dat het lichter is en dus makkelijker op een bestaande dakconstructie kan worden toegepast. Ook is er weinig onderhoud nodig. De drie bemeten daken zijn in afbeelding 1 weergegeven, de gegevens van deze daken zijn te vinden in tabel 1. De groene daken (fabrikant Optigroen, lichtgewicht dak) hebben een dikte van 50 mm en zijn begroeid met mos en sedum (extensief groen). De opgegeven wateropslagcapaciteit is 18 l/m<sup>2</sup> met een waterretentie van 40-50% en een afvoercoëfficiënt van 0,64. De opbouw van het groene dak is weergegeven in afbeelding 2.



Afbeelding 1. Locaties bemeten daken Alexandrium

Tabel 1. Gegevens bemeten daken Alexandrium

Daken	Dakoppervlak	Oppervlakte	Dakopbouw
Dak 15 groen	Sedum en substraat Rc = 1,3 m <sup>2</sup> K/W Met massa	700 m <sup>2</sup>	Gasbeton of staal
Dak 17 groen	Sedum en substraat Rc = 1,3 m <sup>2</sup> K/W Met massa	140 m <sup>2</sup>	Gasbeton
Dak 16 zwart	Zwart bitumen PS-isolatie damprem Rc = 2,8 m <sup>2</sup> K/W	50 m <sup>2</sup>	Hout
Passagedak wit	Lichtkleurige coating PS-isolatie Rc = 1,4 m <sup>2</sup> K/W	-	Staalplaat (damwandprofiel)



Afbeelding 2. Opbouw groen dak

### Monitoringsopzet

Op drie daken is een meetopstelling opgezet. Twee van deze daken zijn extensieve groene daken en één een standaard 'zwart' dak. Over de duur van een jaar (lente 2015 tot lente 2016) zijn 127 buien gemeten met een neerslaghoeveelheid van meer dan 0,2 mm. Het afstromend debiet, de temperatuur, wind, neerslag en het bodemvocht zijn gemeten (afbeeldingen 3, 4 en 5). Andere parameters zijn verkregen van het KNMI-station Rotterdam (zie tabel 2). Adviesbureau Peutz heeft dak 15, dak 16 en het witte passagedak bemeten. In elk van de drie daken is de temperatuur gemeten op diverse hoogten, namelijk aan de buitenzijde van het dak, aan de binnenzijde van het dak en onder het plafond. Verder wordt in elk van de daken de warmtestroomdichtheid gemeten met behulp van een warmtestroommeter. De debietmeters van de twee kleinere daken (16 en 17) bleken niet correct te functioneren, alleen de afstroom van het grote groene dak (dak 15) is geanalyseerd. Voor dit dak was een ander type debietmeter toegepast. Verder functioneerde de warmtestroommeter aan de onderzijde van het witte dak niet. Waar individuele buien flink kunnen afwijken, loopt de neerslagsom zeer gelijk op met die van KNMI-station Rotterdam ( $R^2=0,996$ ). Dit geeft vertrouwen in het correct functioneren van de regenmeter van Alexandrium. In totaal zijn er 119 neerslaggebeurtenissen gemeten waarbij alle meetinstrumenten correcte data leverden. In de monitoring ontbreken de data van twee wintermaanden (12 december tot 7 februari). In deze maanden vindt er minder verdamping plaats en komen lange natte periodes vaker voor dan gemiddeld in een jaar. Hierdoor zijn de afvoermetingen vertekend, waren de twee wintermaanden wel gemeten dan had het groene dak meer afstroming gegenereerd.





Afbeelding 3. Debietmeter dak 15 (boven) en dak 17 (onder)



Afbeelding 4. Weerstation Alexandrium (regen- en windmeter)



Afbeelding 5. Bodemvochtmeter groen dak

Tabel 2. Gegevens meetapparatuur

Parameter	Meetapparaat	Locatie	Meetinterval	Leverancier
Neerslag	1 Neerslagmeter Pluviometer type kantelbakje	Dak 17	1 minuut	IBR
Afvoer dak 15	1 debietmeter Krohne Waterflux 3100C DN100	Afvoerleiding parkeergarage	1 minuut	IBR
Afvoer dak 17	1 debietmeter Jumo Mid Flow Transmitter t40.6010.	Afvoerleiding dak 17	1 minuut	IBR
Afvoer dak 16	1 debietmeter Jumo Mid Flow Transmitter t40.6010.	Afvoerleiding dak 16	1 minuut	IBR
Bodemvocht (responsietijd) dak 15	2 bodemvochtmeters Campbell CS616 Water Content Reflectometer	Substraat dak 15	5 minuten	IBR
Bodemvocht (responsietijd) dak 17	2 bodemvochtmeters Campbell CS616 Water Content Reflectometer	Substraat dak 17	5 minuten	IBR
Wind	1 Windmeter	Dak 17	1 minuut	IBR
Temperatuur dak 17	2 thermometers	Dak 17	5 minuten	Peutz
Temperatuur dak 16	2 thermometers	Dak 16	5 minuten	Peutz
Globale straling	Stralingsmeter	Open weiland	1 dag	KNMI 06344
Minimale Relatieve luchtvochtigheid	Vochtmeter	Open weiland	1 dag	KNMI 06344
Referentie- gewasverdamping	Makkink	Te berekenen	1 dag	KNMI 06344

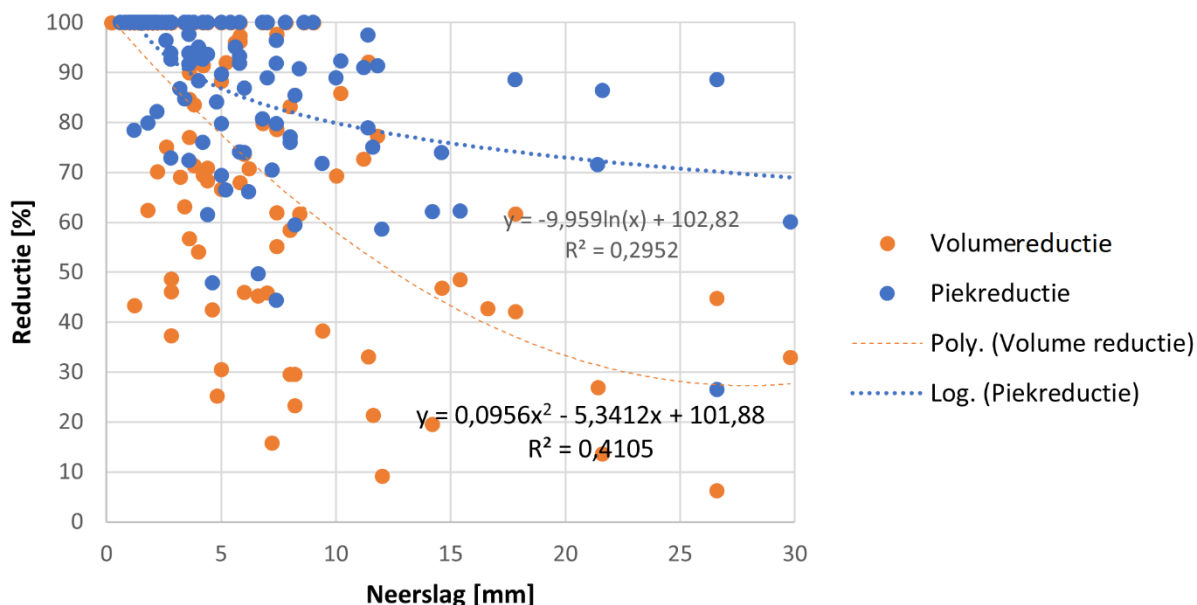
### Resultaten hydrologische metingen

Uit de metingen op dak 15 is gebleken dat 42% van de gemonitorde buien in de meetperiode volledig worden afgevangen. Dit correspondeert met 20% van de gemonitorde neerslag. Kleine buien (<3 mm) worden bijna compleet afgevangen, waar iets grotere buien (6-10 mm) een veel lagere volumereductie laten zien (ca. 65%). Voor grote buien (15-30 mm) is de volumereductie het kleinst (35%). Gemiddeld over alle buien is de volumereductie 76%. Het gewogen gemiddelde naar bui-afmeting is 60%. Omdat in de meetreeks twee wintermaanden ontbreken, zal de werkelijke gemiddelde volumereductie naar verwachting lager uitpakken.

Tabel 3. Hydrologische effecten groen dak

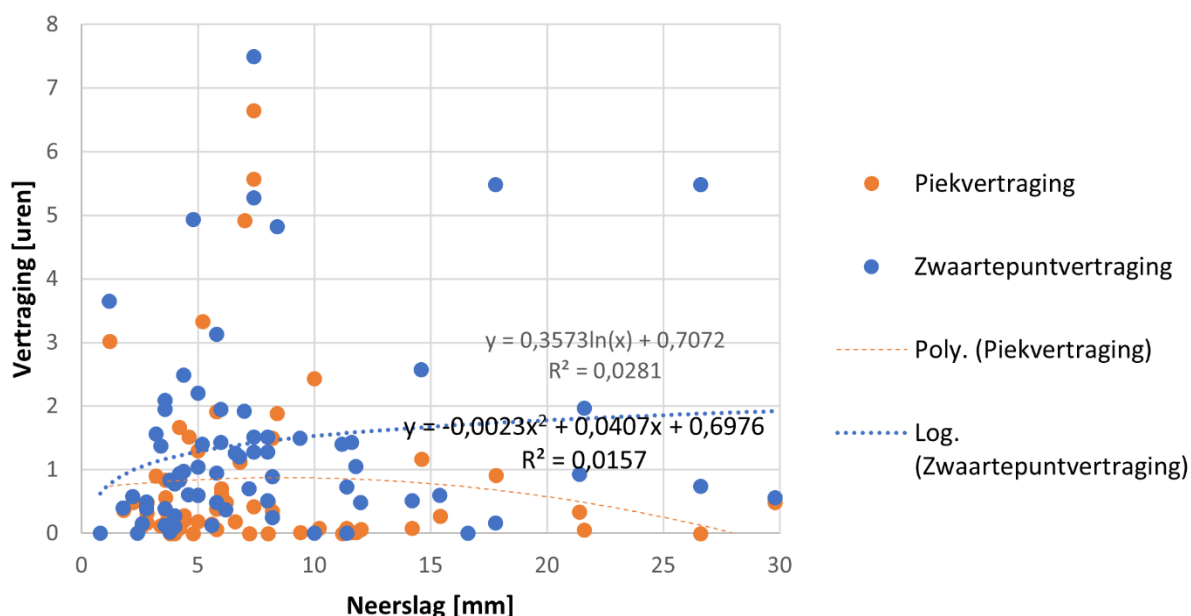
Buien	Aantal buien	Volumereductie [%]	Piekreductie [%]	Piekafvoer [mm/uur]	Piekvertraging [uren]	Zwaartepuntvertraging [uren]
0-3 mm	43	92,6	97,5	2,48	0,71	0,68
3-6 mm	34	80,6	88,4	2,50	0,60	1,21
6-10 mm	23	65,0	81,4	3,97	0,60	1,95
10-15 mm	10	52,7	81,0	5,77	0,17	0,91
15-30 mm	9	35,5	69,1	12,0	0,34	1,77
Totaal	119	76,2	88,5	4,38	0,52	1,36

Er is geen duidelijke relatie gevonden tussen de volumereductie en de voorafgaande droge periode ( $R^2=0,04$ ) of het initiële bodemvochtgehalte ( $R^2=0,14$ ). Wel is er een relatie met de hoeveelheid neerslag ( $R^2=0,41$ ). De volumereductie daalt bij een grotere hoeveelheid neerslag (afbeelding 6). De piekreductie ligt gemiddeld op 89%. Er is geen duidelijke relatie gevonden tussen de volumereductie en de voorafgaande droge periode ( $R^2=0,03$ ) of het initiële bodemvochtgehalte ( $R^2=0,11$ ). Wel is ook hier een relatie met de hoeveelheid neerslag ( $R^2=0,30$ ): de piekreductie neemt af bij grotere buien (afbeelding 6). Bij een droger substraat wordt een groter deel van de neerslag geborgen, wat resulteert in een hogere volume- en piekreductie. Is dit type groene dak (extensief) aangesloten op gemengde riolering, dan zal dit substantieel bijdragen aan minder afstroom van schoon hemelwater naar de zuivering (65% volumereductie). In mindere mate wordt ook het volume aan riooloverstorten gereduceerd (van de neerslag boven de 9 mm op het groene dak wordt 42% afgevangen). Alle volumereducties zijn ten opzichte van de neerslag die op een groen dak valt, niet ten opzichte van een bitumen dak (dat ook ongeveer 10% volumereductie geeft). Ook is alleen gekeken naar de volumereductie van afstroming vanaf daken. Aangezien daken maar een deel van het verharde oppervlak beslaan resulteert 100% groene daken in een wijk niet in 42% minder overstortvolume (maar bijvoorbeeld 21% als daken de helft van het verharde oppervlak uitmaken).



Afbeelding 6. Volume- en piekreductie afvoer groene dak

Bij het bepalen van de parameters piekvertraging en vertraging van het zwaartepunt van de afvoer is ervoor gekozen om volledig afgevangen buien buiten beschouwing te laten. Een volledig afgevangen bui resulteert namelijk in een oneindig lange piekvertraging en een oneindig lange vertraging van het zwaartepunt. De gemeten piekafvoer is significant lager dan de gemeten piekneerslag. Wel is deze nog altijd veel hoger dan de afvoernorm van het waterschap (0,72 mm/uur). De piekvertraging voor buien groter dan 9 mm ligt gemiddeld op 12 minuten en levert geen bijdrage aan het verminderen van riooloverstorten (minimaal 1 tot 4 uur vertraging nodig). Ook de vertraging van het zwaartepunt (gemiddeld 1 uur en 18 minuten) levert geen relevante bijdrage. Zowel de vertraging van het zwaartepunt als de piekvertraging lijken op basis van de meetgegevens geen relatie te hebben met de hoeveelheid neerslag ( $R^2$  van respectievelijk 0,025 en 0,016).



Afbeelding 7. Piek- en zwaartepuntvertraging groene dak



## Resultaten thermische metingen

Er worden drie meetperiodes onderscheiden, namelijk de lente (23 april t/m 5 mei), zomer (25 juni t/m 6 juli) en herfst (6 t/m 22 oktober). De temperatuur van de onderkant van het dak, onder het dak en onder het plafond laten dezelfde temperatuur zien ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) en worden verder niet meer apart benoemd.

In de lenteperiode is het overwegend zonnig, met een relatief hoge zonnestraling tot  $820 \text{ W/m}^2$ . Het oppervlak van het extensieve groene dak blijft in de middag aanmerkelijk koeler dan dat van het zwarte dak en in mindere mate het witte dak. De temperatuur van het plafond blijft constant in de dag en nacht, in tegenstelling tot het zwarte ( $\text{dT } 4 \text{ tot } 8^\circ\text{C}$ ) en het witte dak ( $\text{dT } 4 \text{ tot } 12^\circ\text{C}$ ) die een duidelijk dag- en nachtpatroon laten zien. Naar verwachting wordt dit veroorzaakt door de massa (inclusief water) in het groene dak. Bij meerdere dagen met veel zonnestraling loopt de temperatuur van het plafond langzaam op (ca.  $2^\circ\text{C}$ ). In de nacht is zo nu en dan de oppervlaktetemperatuur van het zwarte en witte dak negatief. Dit is het gevolg van nachtelijke uitstraling. De warmtestroomdichtheid van het groene dak is in de lente permanent negatief. Dit betekent dat er warmte van de onderliggende ruimte door het dak naar buiten stroomt.

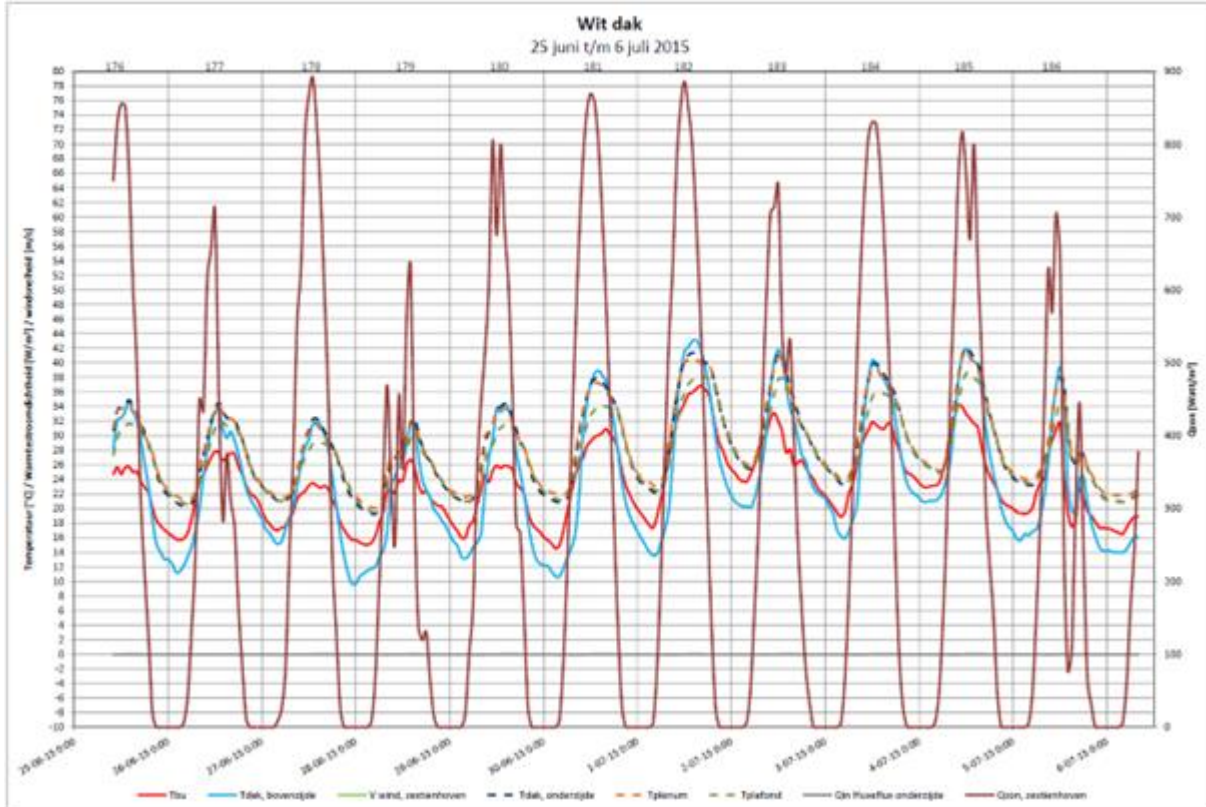
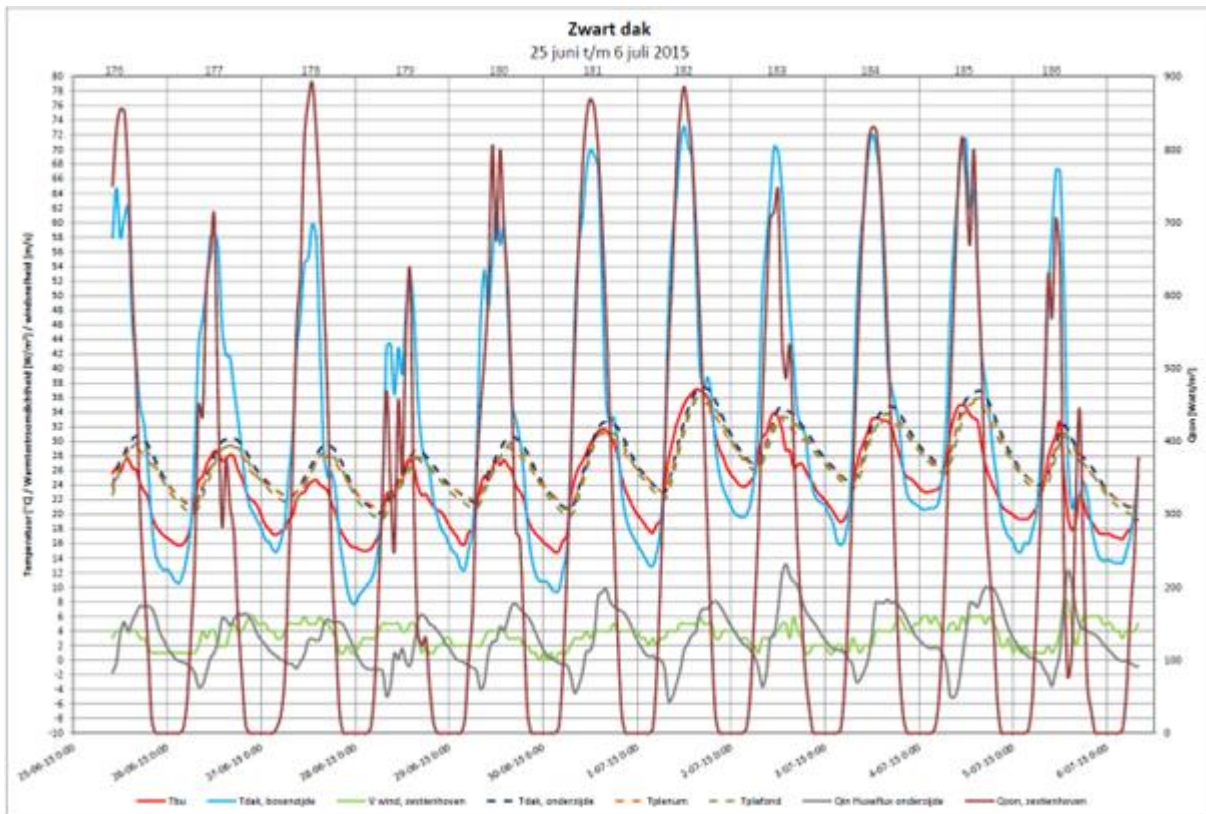
In de zomerperiode is het overwegend zonnig met een relatief hoge zoninstraling tot  $890 \text{ W/m}^2$ . De oppervlaktetemperatuur van het zwarte dak bereikt een maximum van  $73^\circ\text{C}$ . Voor het witte en groene dak is dit  $43^\circ\text{C}$ . De temperatuur van het plafond onder het groene dak blijft overdag lager (tot  $28^\circ\text{C}$ ) dan die van het zwarte en witte dak (tot resp.  $35^\circ\text{C}$  en  $38^\circ\text{C}$ ). Aangezien het witte dak evenveel opwarmt als het groene dak (en meer afkoelt) is het waarschijnlijk dat de klimaatregeling in de onderliggende ruimtes dit verschil veroorzaakt. Wat echter ook kan meespelen is dat het groene dak continu warmte onttrekt aan de onderliggende ruimte, waar het witte dak puur opwarming tegengaat (weerkaatst het zonlicht). In de nacht koelt het groene dak nauwelijks af (blijft  $2^\circ\text{C}$  boven de buitentemperatuur), waar het zwarte en witte dak dit wel doen (tot ca.  $4^\circ\text{C}$  onder de buitentemperatuur). Dit is ook te zien aan de warmtestroom van het zwarte dak: deze is in de ochtend negatief ( $-4 \text{ tot } -6 \text{ W/m}^2$ ) en overdag positief ( $8 \text{ tot } 12 \text{ W/m}^2$ ). Tussen 23 juni en 5 juli 2015 is er geen significante neerslag meer gevallen, waardoor het zeer waarschijnlijk is dat het groene dak in deze meetperiode uitgedroogd is geraakt (na ca. 9 dagen). Waarschijnlijk kon er dus geen verdamping (en dus koeling) meer plaatsvinden. De plafondtemperatuur stijgt in deze periode van  $24^\circ\text{C}$  naar  $28^\circ\text{C}$  en de daktemperatuur stijgt van maximaal  $32^\circ\text{C}$  naar  $42^\circ\text{C}$  per dag. De warmtestroom wordt in deze periode continu positief, waar deze eerst bijna continu negatief was. Na de neerslag op 5 juli zet een duidelijke daling van de dak- en plafondtemperatuur in; ook de warmtestroom wordt weer negatief.

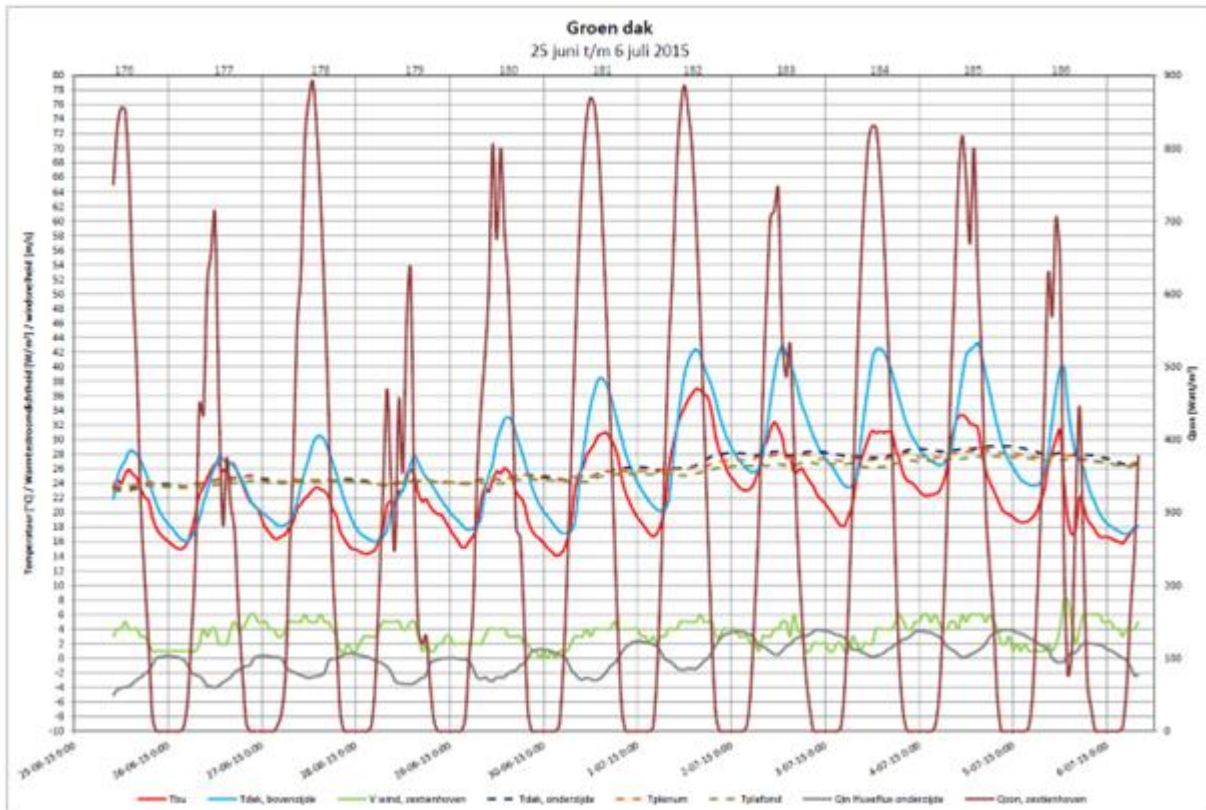
In de herfstperiode is het deels overwegend zonnig en deels bewolkt weer, met een zonnestraling tot  $530 \text{ W/m}^2$ . Er is een licht dag-nachtritme zichtbaar in de plafondtemperatuur van het groene dak, veroorzaakt door de sterkere fluctuaties in de buitentemperatuur. Op 14 oktober is er een duidelijke omslag te zien in de meetgegevens van het groene dak. Waar de temperatuur van het plafond al enige tijd aan het dalen was stabiliseert deze ineens op een iets hoger niveau (ca.  $21^\circ\text{C}$ ). Er is een duidelijker dag- nachtritme te zien in de temperatuur van het plafond en de warmtestroom fluctueert met een veel hogere frequentie dan in de zomer. Naar verwachting worden deze effecten veroorzaakt door verwarming binnen, die is aangezet/aangeslagen bij de lagere temperatuur. Over de gehele herfstperiode is de warmtestroom van het groene dak negatief ( $-3 \text{ tot } -10 \text{ W/m}^2$ ). Ook de warmtestroom van het zwarte dak is, in mindere mate, negatief ( $+1 \text{ tot } -8 \text{ W/m}^2$ ). Er stroomt dus

meer warmte door het groene dak naar buiten dan door het zwarte dak. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de ruimte onder het groene dak verwarmd wordt en onder het zwarte dak niet (direct). Hier daalt de temperatuur tot 14°C. Ook is de temperatuur aan de onderkant van het dak hoger dan die van het plafond (omgekeerd voor het groene dak). Verder kan feit meespelen dat het zwarte dak overdag (meer) wordt opgewarmd door de zon en een relatief hoge isolatiewaarde heeft.

Tabel 4. Thermische effecten groen dak

Temperatuur	Zwart dak [°C] Rc = 2,8 m <sup>2</sup> K/W	Wit dak [°C] Rc = 1,4 m <sup>2</sup> K/W	Groen dak [°C] Rc = 1,3 m <sup>2</sup> K/W
Lente periode (4 t/m 22°C)			
Dakoppervlak	-2 t/m 54	-2 t/m 26	7 t/m 23
Dak onderzijde	13 t/m 26	12 t/m 28	20 t/m 23
Plafond	12 t/m 25	12 t/m 27	20 t/m 22
Zomerperiode (15 t/m 37°C)			
Dakoppervlak	8 t/m 73	10 t/m 43	16 t/m 43
Dak onderzijde	20 t/m 37	20 t/m 42	24 t/m 29
Plafond	19 t/m 36	20 t/m 38	24 t/m 28
Herfstperiode (3 t/m 19)			
Dakoppervlak	-1 t/m 39	0 t/m 22	4 t/m 17
Dak onderzijde	14 t/m 21	11 t/m 25	16 t/m 22
Plafond	13 t/m 20	11 t/m 25	18 t/m 22





Afbeelding 8. Temperatuur- en warmtestroming in de zomer voor zwart, wit en groen dak

## Conclusie

### Hydrologische effecten

Om het volume aan riooloverstorten en de stroom schoon regenwater naar de zuivering te reduceren in een wijk met een gemengd rioolstelsel, loont het om extensieve groene daken toe te passen. Een groot deel van de neerslag valt in kleine hoeveelheden, die goed af te vangen zijn met een dun substraat (kleine berging). Voor het tegengaan van wateroverlast door zware of extreme neerslag is dit type groen dak echter niet effectief. Hiervoor is de berging simpelweg te klein. Voor het mitigeren van zware neerslag worden intensieve groene daken geadviseerd (systeemdikte >150 mm). Ook deze daken zullen extreme neerslag maar deels kunnen afvangen. Het achterliggende watersysteem wordt echter wel merkbaar ontlast. Ook het toepassen van afvoerbegrenzing kan bijdragen aan het tegengaan van wateroverlast. De behaalde afvoervertraging zonder begrenzing is niet relevant. Tenslotte kunnen groenblauwe daken met een dynamische waterberging ingezet worden, waarbij de beschikbare waterbergingscapaciteit gekoppeld kan worden aan de weersvoorspellingen.

De ontwikkeling in waterbergend vermogen is ook terug te zien in de eisen voor subsidie. Die zijn in Rotterdam de afgelopen jaren al opgeschaald van een waterretentie van minimaal 15 l/m<sup>2</sup> naar minimaal 30 l/m<sup>2</sup>.

**Thermische effecten**

Uit de temperatuur- en warmtestroommetingen volgt dat het zwarte dakoppervlak het meest opwarmt (tot 73°C). Het groene en witte dak warmen evenveel op (tot 43°C). Als het groene dak geen water meer bevat, stijgt de plafondtemperatuur. De massa van het groene dak vlakt dag-nachtfluctuaties in temperatuur bijna compleet af. De plafondtemperatuur is in de nacht/ochtend wel een paar graden hoger dan bij het witte en het zwarte dak, die in de loop van de nacht veel warmte verliezen. Groene daken functioneren goed als koelmiddel voor zowel de stad (lagere temperatuur dakoppervlak) als voor de ruimtes eronder (lagere temperatuur plafond). Wel koelt het witte dak in de nacht meer af. Voor de beste koeling moet er voldoende vocht aanwezig zijn in het groene dak.

Extensieve groene daken, zoals dak 15, koelen de onderliggende ruimte sterk in vergelijking met een zwart dak. Aangeraden wordt wel om na ongeveer 9 dagen heet, droog weer water toe te voegen voor optimale koeling. In theorie wordt ook de omgeving van het dak gekoeld, al zal dit pas merkbaar zijn bij grootschalige vergroening van daken. Het witte dak warmt evenveel op als het groene dak en koelt meer af in de nacht. Witte daken zijn dus een (goedkoper) alternatief voor het beschermen van de onderliggende ruimtes tegen opwarming door zonnestraling op het dak, maar kennen niet de overige voordelen van (extensieve) groene daken. Doordat de warmtestroommeter van het witte dak niet functioneerde, is het op basis van dit onderzoek nog onduidelijk of groene daken de onderliggende ruimtes extra koelen door het onttrekken van warmte voor verdamping.