



## DE INVLOED VAN BEGROEIDE DAKEN OP AFWATERINGSSYSTEMEN

Onderzoek naar de invloed van begroeide daken op  
afwateringssystemen in Nederlandse steden

**Auteurs:**

**B.R. van der Horst  
T.J. Mos**

Classificatie  
Technische Eindhoven Hogeschool  
**Begroefde Daken**

**Afstudeerscriptie  
18 juni 2013**

# De invloed van begroeide daken op afwateringssystemen

Onderzoek naar de invloed van begroeide daken op afwateringssystemen in Nederlandse  
steden

<b>Versie:</b>	:	Definitief
<b>Organisatie opleiding</b>	:	Hogeschool Rotterdam, IGO
<b>Auteurs</b>	:	B.R. (Bastiaan) van der Horst - 0824212 T.J. (Thomas) Mos - 0786063
<b>Studiejaar</b>	:	Jaar 4, 2012 - 2013
<b>Plaats en datum</b>	:	Rotterdam, 18 juni 2013
<b>Opdrachtgever</b>	:	C.M. (Christoph Maria) Ravesloot Lectoraat Innovatie, Bouwproces en Duurzaamheid
<b>Begeleider</b>	:	A.J.J. (Toine) Vergroesen Deltares, Delft
<b>1<sup>e</sup> lezer</b>	:	M.J.C. (Michaël) Meijer
<b>2<sup>e</sup> lezer</b>	:	A. (Anabel) Mendez Lorenzo Hogeschool Rotterdam

## Voorwoord

Dit onderzoeksrapport is geschreven in het kader van het afstuderen aan de Hogeschool Rotterdam voor de studie watermanagement. Het rapport richt zich op de werking en invloed van begroeide daken op stedelijke afwateringssystemen. Dit rapport maakt onderdeel uit van een groter onderzoek binnen het lectoraat Innovatie, Bouwproces en Duurzaamheid van de Hogeschool Rotterdam naar de werking en toepassing van begroeide daken. Zodoende is dit rapport in eerste instantie bestemd voor dit lectoraat en na goedkeuring zal worden besloten of dit rapport openbaar gemaakt wordt. Wanneer het rapport openbaar gemaakt wordt, dan zal de inhoud van dit rapport voor een ieder bestemd zijn die geïnteresseerd is in de invloed van begroeide daken op afwateringssystemen. Voor waterschappen en gemeenten zal dit rapport in het bijzonder interessant zijn. Het rapport is namelijk op twee manieren bruikbaar voor deze partijen. Het rapport kan gebruikt worden om de werking van begroeide daken beter te begrijpen en welke factoren daar een rol bij spelen. Zo is een begroeid dak afhankelijk van seizoensinvloeden en welke materialen er gebruikt worden bij de opbouw ervan. Het rapport biedt inzicht in de daadwerkelijke werking van een begroeid dak en er kan niet meer gesproken worden van een gemiddelde werking. Daarnaast kan het rapport gebruikt worden om bijvoorbeeld methoden te bepalen voor het toepassen van reductie op de waterschapsbelasting voor particulieren en bedrijven die begroeide daken toepassen.

Dit onderzoeksrapport is tot stand gekomen dankzij de hulp van enkele personen. In het bijzonder willen wij bedanken A.J.J. Vergroesen, begeleider en onderzoeker aan het kennisinstituut Deltares die ons gedurende de gehele afstudeerperiode intensief begeleid heeft. Daarnaast C.M. Ravesloot, onze opdrachtgever die ons contacten en informatie gaf wanneer daar vraag naar was. Optigroen, RHP en Bas van Buren, leveranciers van substraten willen wij ook bedanken voor het leveren en aanbieden van hulp daar waar nodig bij het bepalen van de eigenschappen van substraten. Zonder hun hulp zouden wij geen proeven uit hebben kunnen voeren die tot een betere onderbouwing van de resultaten uit dit onderzoek hebben geleid.

Rotterdam, juni 2013.

Thomas Mos

Bastiaan van der Horst



## Samenvatting

Met de uitbreiding van stedelijke gebieden komt er steeds meer verharding bestaande uit asfalt, daken et cetera. Waar vroeger hemelwater de grond kon infiltreren, valt het nu op deze verharding en wordt het overgrote deel vrijwel direct afgevoerd richting de rioolstelsels. Met name verouderde rioolstelsels kunnen deze toename van hemelwater niet voldoende verwerken waardoor ze overbelast raken tijdens hevige neerslag en de kans op wateroverlast of waterschade toeneemt. Begroeide daken, daken die speciaal zijn voorzien van vegetatie, zijn in staat regenwater op te vangen en vast te houden. Hierdoor kan de druk op rioolstelsels afnemen tijdens hevige neerslag, zo blijkt uit een voorgaande studie. Als vervolg op die studie is verder onderzoek gedaan naar de werking van begroeide daken, de drukvermindering op rioolstelsels en de effecten ervan in verscheidene, Nederlandse steden. Het doel hiervan is breder inzicht te creëren in de werking van begroeide daken op landelijke schaal en of begroeide daken een oplossing kunnen bieden voor stedelijke gebieden waar waterproblemen zijn. Met deze kennis kunnen bijvoorbeeld gemeentes, waterschappen, particulieren en bedrijven aanmoedigen begroeide daken toe te passen. Een reductie op de riool- en waterschapsbelasting zou voor een financiële prikkel kunnen zorgen.

Een begroeid dak is voorzien van een speciale grondlaag waar de wortels van de vegetatie zich in vastzetten. Deze grondlaag, het substraat, bepaald in zeer grote mate hoeveel neerslagwater er vastgehouden kan worden en daarmee de afvoer op rioolstelsels. Er zijn verschillende substraat soorten getest op het vermogen om water vast te houden, hierbij is ook gekeken naar diverse diktes. Om te bepalen wat de effecten zijn in Nederlandse steden, is gekeken naar de lokale neerslag en verdamping en de verhouding hiervan per seizoen.

De uitkomsten van de testen lieten zien dat het gemiddeld vochtgehalte per substraat soort verschillend is, en dat dit gemiddelde vochtgehalte afneemt naarmate de substraat laag dikker wordt. Een dikkere substraat laag hoeft niet efficiënter te zijn dan een dunnere substraat laag. Opgevangen neerslagwater wordt alleen afgevoerd wanneer dit de opslagcapaciteit van het substraat overschrijdt. In dat geval is er weinig sprake van vertraagde afvoer omdat in deze toestand het neerslagwater snel door het substraat infiltreert. Wat in het substraat achter blijft, zal het substraat alleen verlaten via verdamping. Omdat de neerslag en verdamping per locatie verschillen, wordt ook hierdoor de werking van het begroeide dak beïnvloedt. Ook de seizoenen spelen hierin mee, daar het in de winter harder regent dan verdampt en in de zomer andersom.

Een begroeid dak is aan veel factoren onderhevig wat de werking ervan beïnvloedt. De dikte van het substraat, locatie en seizoen bepalen in welke mate een begroeid dak de druk op een rioolsysteem kan laten afnemen. Zo is gebleken dat in de winter begroeide daken minder efficiënt werken dan in de zomer. Begroeide daken zullen dus niet over het gehele jaar even efficiënt werken en dus niet altijd een garantie bieden om waterproblemen te voorkomen. Een van de aanbevelingen die gedaan wordt betreft het aanpassen van de opbouw van begroeide daken. Door een speciale, slecht waterdoorlaatbare laag toe te passen kan de opslag worden vergroot en de afvoer aanzienlijk vertraagd. Hiermee kan de betrouwbaarheid van een begroeid dak toenemen wanneer deze toegepast wordt om een oplossing te bieden voor waterproblemen in stedelijke gebieden.



## Verklarende woordenlijst

- Field capacity:** De field capacity staat voor de hoeveelheid water die het substraat tegen de zwaartekracht in vast kan houden. Net als een spons zal substraat overtollig water afvoeren, en een gedeelte vasthouden. Hetgene dat vast gehouden wordt, staat voor de field capacity. Dit water wordt niet meer naar het riool afgevoerd, maar verlaat het substraat alleen maar via verdamping. Het kan ook tot het bergend vermogen worden gerekend.
- Bergend vermogen:** Het bergend vermogen voor zowel een begroeid dak als het referentie dak geeft aan wat het dak vast houdt aan water. Dit water wordt niet meer afgevoerd richting het watersysteem. De enige manier om het dak te verlaten geschiedt via verdamping.
- Vertraagde afvoer:** Wanneer er neerslagwater op het begroeide dak terecht komt, zal dit het substraat infiltreren. Een gedeelte wordt in het substraat vastgehouden (field capacity). Wat niet vastgehouden kan worden, wordt via het riool afgevoerd. Het duurt dus even eer het water door het substraat is gefiltreerd en naar het riool wordt afgevoerd. Dit valt onder de vertraagde afvoer. Dit kan enkele minuten duren tot enkele uren.
- Substraat:** Een speciale soort grond voor begroeide daken. Het is doorgaans vrij licht en in staat water vast te houden voor de vegetatie.
- Soil saturation:** Wanneer alle poriën in het substraat gevuld zijn met water, is het substraat verzadigd. Dit wordt soil saturation genoemd. Vanuit deze toestand zal het substraat altijd naar de field capacity gaan. Er vindt ook alleen maar afvoer richting het riool plaats vanaf begroeide daken wanneer het substraat zich in de verzadigde toestand bevindt.
- Referentie dak:** In SOBEK wordt een referentie dak gebruikt die een normaal plat dak in de praktijk voorstelt. De uitkomsten van dit referentie dak worden gebruikt om te vergelijken met de uitkomsten van begroeide daken en zo de verschillen aan te tonen tussen beide dakvormen.
- Afwateringssysteem:** Een rioolstelsel waarbij gemengde stelsels zowel neerslagwater als afvalwater afvoert richting een zuiveringsinstallatie. In dit onderzoek wordt niet gekeken naar gescheiden rioleringsstelsel omdat deze stelsels neerslagwater en afvalwater apart afvoeren, waardoor de kans op wateroverlast gering is.
- Percoleren:** Het sijpelen van vocht door kleine openingen.
- Piekmoment:** Tijdens een bui zal de hoeveelheid neerslagwater een hoogtepunt bereiken waarbij de grootste hoeveelheid neerslagwater valt. Dit wordt het piekmoment genoemd.



# Inhoudsopgave

<b>VOORWOORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMENVATTING</b> .....	<b>II</b>
<b>VERKLARENDE WOORDENLIJST</b> .....	<b>III</b>
<b>1. INLEIDING</b> .....	<b>1</b>
1.1 AANLEIDING.....	1
1.2 DOEL.....	2
1.3 HOOFD- EN DEELVRAGEN .....	2
1.4 STRUCTUURBESCHRIJVING .....	3
<b>2. ONDERZOEKSMETHODE</b> .....	<b>4</b>
2.1 RANDVOORWAARDEN .....	4
2.2 INFORMATIEVERZAMELING EN VERSPREIDING .....	5
2.3 ONDERZOEKSMODEL.....	6
<b>3. BEGROEIDE DAKEN ALGEMEEN</b> .....	<b>7</b>
3.1 KEUZE BEPALING BEGROEID DAK.....	7
3.2 OPBOUW BEGROEID DAK .....	8
3.3 WATERBERGEND VERMOGEN BEGROEID DAK.....	9
3.4 SAMENVATTEND BEGROEIDE DAKEN ALGEMEEN .....	9
<b>4. DATAVERZAMELING</b> .....	<b>10</b>
4.1 IS DIKKER WEL BETER?.....	10
4.2 SUBSTRAAT EN RICHTLIJNEN .....	12
4.3 PROEFOPSTELLING .....	13
4.3.1 Valideren en kalibreren.....	15
4.3.2 Onnauwkeurigheden.....	16
4.3.3 Filteren data op fouten .....	16
4.3.4 Uitkomsten proefopstelling .....	17
4.4 KNMI NEERSLAG- EN VERDAMPINGDATA.....	21
4.5 SAMENVATTEND DATAVERZAMELING .....	23
<b>5. SOBEK MODELLERINGEN</b> .....	<b>24</b>
5.1 TOELICHTING SOBEK .....	24
5.2 INVOER DATA SOBEK .....	24
5.3 GEVOELIGHEIDSANALYSE SOBEK .....	30
5.3.1 Validatie op model en invoer fouten.....	30
5.3.2 Gevoeligheid modelinvoer op uitkomsten .....	31
5.4 UITKOMSTEN SOBEK.....	34
5.4.1 Visualisatie werking begroeid dak vs. referentie dak .....	36
5.4.2 Seizoensinvloeden .....	38
5.5 SAMENVATTEND SOBEK MODELLERINGEN.....	39
<b>6. TOETSING GEVALSTUDIELOCATIE</b> .....	<b>40</b>
6.1 AFRIKAANDERWIJK, ROTTERDAM.....	40
6.2 SAMENVATTING TOETSING GEVALSTUDIELOCATIE .....	43
<b>7. DISCUSSIE</b> .....	<b>44</b>
7.1 REFERENTIEGEWAS .....	44
7.2 TIJDSDUUR METINGEN.....	44
7.3 WERKING SUBSTRAAT PRAKTIJK, PROEFOPSTELLING EN MODELLERINGEN .....	45
7.4 REFERENTIE DAK; PRAKTIJK VS. SOBEK .....	45

<b>8.</b>	<b>CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN.....</b>	<b>46</b>
8.1	AANVULLEN DACHBEGRÜNUNGSRICHTLINIE.....	46
8.2	15 LITER PER 1M <sup>2</sup> .....	46
8.3	50 LITER / 24 UUR AFVOER .....	46
8.4	NEERSLAG EN VERDAMPING PER LOCATIE.....	47
8.5	GEWASVERDAMPING.....	48
8.6	SEIZOENSINVLOEDEN .....	48
8.7	PIEKMOMENT BUI WEGNEMEN.....	48
8.8	ALGEMENE CONCLUSIE .....	49
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>50</b>
9.1	GERAADPLEEGDE SCHRIFTELIJKE BRONNEN.....	50
9.2	GERAADPLEEGDE DIGITALE BRONNEN .....	50
9.3	GERAADPLEEGDE BRONNEN VOOR ILLUSTRATIES EN AFBEELDINGEN .....	51
<b>10.</b>	<b>BIJLAGEN .....</b>	<b>I</b>
	BIJLAGE A. ONDERZOEK LIJST LECTORAAT .....	I
	BIJLAGE B. VERDAMPING PER SUBSTRAAT PER LOCATIE .....	II
	BIJLAGE C. ZEEF RESULTATEN SUBSTRAAT SOORTEN .....	VI
	BIJLAGE D. RESULTATEN SUBSTRAAT METINGEN PROEFOPSTELLING.....	VII
	BIJLAGE E. FIELD CAPACITY VERREKEND MET OVEN DROOG RESULTATEN .....	XII
	BIJLAGE F. TAKENVERDELING .....	XVI



## 1. Inleiding

Dit afstudeeronderzoek maakt deel uit van een groter, geheel onderzoek naar de toepassing van begroeide daken, dat wordt geleid vanuit het lectoraat Innovatie, Bouwproces en Duurzaamheid van de Hogeschool Rotterdam. Dit algehele onderzoek richt zich op de toepassing van begroeide daken, waar een zevental deelonderzoeken invulling aan geven en richten zich op het volgende:

- **Water:** onderzoek naar de werking van begroeide daken op het gebied van water en hoeveel begroeide daken de druk op het afwateringssysteem kunnen verminderen.
- **MKBA & FKBA (Maatschappelijke / Financiële Kosten Baten Analyse):** onderzoek naar de maatschappelijke en financiële kosten en baten die begroeide daken opleveren.
- **Wind:** onderzoek naar de risico's bij harde wind waarbij het begroeide dak van het dak kan afwaaien.
- **Zonne-energie:** begroeide daken creëren koeling wat de opwekking van energie via zonnepanelen ten goede kan komen.
- **Sterktebelasting staal:** onderzoek naar de reststerkte van stalen dakconstructies om een begroeid dak te kunnen plaatsen zonder (ingrijpende) aanpassingen aan de dakconstructie.
- **Sterktebelasting beton:** onderzoek naar de reststerkte van betonnen dakconstructies om een begroeid dak te kunnen plaatsen zonder (ingrijpende) aanpassingen aan de dakconstructie.

Alle deelonderzoeken hebben overlap met elkaar en waar mogelijk en nodig vullen ze elkaar aan. Dit rapport richt zich specifiek op de invloed van begroeide daken op afwateringssystemen in stedelijke gebieden. Waar kunnen begroeide daken een nuttige aanvulling zijn op deze systemen? Het onderzoek sluit aan op het voorgaand onderzoek van Wagemaker (Wagemaker, 2012). Daarin is aangetoond dat begroeide daken een verandering teweeg kunnen brengen op een afwateringssysteem, waarmee het waterbergend vermogen van begroeide daken aangetoond wordt. Daarvoor is gekeken naar de gevalstudielocatie het Witte Dorp in Rotterdam. Met behulp van het modelleringsysteem SOBEK is geconcludeerd dat het afwateringssysteem minder belast wordt met de aan- en afvoer van neerslag wanneer begroeide daken op het afwateringssysteem aangesloten zijn. Op basis van deze bevindingen is het onderzoek in dit rapport uitgevoerd.

### 1.1 Aanleiding

Het maaiveld in bebouwde gebieden maakt steeds meer plaats voor wegen, daken en andere soorten verharding. Deze verharding zorgt ervoor dat neerslagwater (regen) moeilijker of helemaal niet de bodem kan infiltreren. Een rioleringsstelsel is in bebouwde gebieden daarmee essentieel om neerslagwater af te kunnen voeren. Deze stelsels zijn voornamelijk gemengde stelsels, waarbij afvalwater en neerslagwater gemengd wordt afgevoerd door één leiding met een bepaalde maximum capaciteit. Waar vroeger het neerslagwater via het maaiveld naar het grondwater kon infiltreren, blijft het nu langer op straat staan met in het ergste geval waterschade als gevolg. Voorbeelden hiervan zijn ondergelopen kelders, vertraging in verkeersstromen et cetera. Buien die naar verwachting intensiever worden door klimaatverandering versterken deze problematiek. Tijdens piekmomenten, de hoogste intensiteit van een bui, kan een afwateringssysteem dusdanig overbelast raken dat overstort (ongewenste afvoer) naar oppervlakte water plaatsvindt, wat kan leiden tot stankoverlast en vissterfte. Het rioolstelsel is doorgaans niet berekend op deze extreme aanvoer van neerslagwater, omdat in de loop der jaren meer verharding is gerealiseerd en het rioolstelsel hier niet op aangepast is. Het gaat hier dan wel om gemengde rioolstelsels. Een gescheiden rioolstelsel waarbij afvalwater en neerslagwater gescheiden wordt afgevoerd, wordt in veel gemeenten in Nederland steeds meer toegepast als vervanger van het gemengde rioolstelsel.





Er zijn de afgelopen jaren diverse oplossingen ontwikkeld om de waterproblematiek in stedelijke gebieden te verminderen. Enkele voorbeelden zijn gescheiden rioolstelsels en de ondergrondse waterberging in het Museumpark Rotterdam zoals onlangs gerealiseerd. Deze dient een overschot aan neerslagwater tijdelijk te bergen wanneer het rioolstelsel dit niet volledig af kan voeren en overbelast dreigt te raken. Een aanzienlijk deel van de verharding in stedelijke gebieden bestaat uit daken. Deze daken voeren direct neerslagwater af op het rioolstelsel. Door deze afvoer te vertragen of te verminderen wordt het rioolstelsel minder belast. Begroeide daken kunnen daaraan bijdragen. Zo houden zij water voor een langere periode vast en vertragen zij de afvoer van neerslagwater naar het rioolstelsel.

## 1.2 Doel

Het Lectoraat Innovatie, Bouwproces en Duurzaamheid van de Hogeschool Rotterdam, onder leiding van Dr. drs. ir. C.M. Ravesloot, doet onderzoek naar begroeide daken en de implementatie ervan in stedelijke gebieden. Voorliggend onderzoek richt zich op de invloed van begroeide daken op afwateringssystemen in Nederland met als doel aan te kunnen tonen waar begroeide daken een oplossing bieden en geïmplementeerd kunnen worden. Het onderzoek dient bij te dragen tot een versnelling in de realisatie van begroeide daken.

## 1.3 Hoofd- en deelvragen

De hoofdvraag voor dit onderzoek luidt als volgt:

“Wat is de invloed van begroeide daken op stedelijke afwateringssystemen gebaseerd op locatie specifieke weersomstandigheden?”

*Begroeide daken kunnen de druk op een afwateringssysteem verminderen. Deze kennis is gebaseerd op één gevalstudielocatie met gemiddelde waarden (Wagemaker, 2012).*

*Maar wat doen begroeide daken nu met verschillende opbouw op verschillende locaties in Nederland, onderhevig aan lokale weersomstandigheden met lokale watersystemen?*

Op basis van de hoofdvraag zijn de volgende zeven deelvragen afgeleid. Per deelvraag wordt een korte toelichting gegeven.

1. “Wat zijn begroeide daken en welke typen zijn relevant voor dit onderzoek?”

*In dit onderzoek wordt de werking van een extensief begroeid dak onderzocht. Door deze deelvraag te beantwoorden wordt duidelijk waarom juist dit type begroeide dak wordt meegenomen. Dit maakt deel uit van de afbakening van het onderzoek.*

2. “Welke onderdelen bepalen het waterbergend vermogen van een begroeid dak?”

*Een groot deel van dit onderzoek is gebaseerd op het beantwoorden van deze deelvraag. Een begroeid dak kan op enkele manieren water bergen, maar welk onderdelen zijn bepalend voor de omvang van dit waterbergend vermogen.*

3. “Welke externe factoren hebben invloed op het waterbergend vermogen van een begroeid dak?”

*Worden begroeide daken door externe invloeden beïnvloedt, en zo ja, in welke mate? In hoeverre bepalen deze invloeden de uitkomsten van het onderzoek en is het noodzakelijk om deze invloeden mee te nemen?*



4. “Hoe kan het waterbergend vermogen van een begroeid dak worden aangetoond in rekenmodel?”  
*Welke gegevens dienen er in rekenmodellen meegenomen te worden om begroeide daken te simuleren, wordt met deze deelvraag beantwoord.*
5. “Hoe ziet de werking van een begroeid dak eruit in diverse locaties in Nederland?”  
*Deze deelvraag is gebaseerd op deelvraag 3, daar onder andere de verdamping per seizoen en per locatie in Nederland anders is. In welke mate dat speelt wordt met deze deelvraag beantwoord.*
6. “Hoeveel kan een minimale en maximale variant van een begroeid dak bergen?”  
*Het gewicht van een begroeid dak bepaalt of er aanpassingen nodig zijn aan de bestaande dakconstructie. Omdat van te voren niet altijd duidelijk is wat een dakconstructie aankan, wordt met een minimale en maximale variant gewerkt die de minimale en maximale dak belasting aangeven. Zo kan er een schatting worden gemaakt van het minimale en maximale effect van begroeide daken in een gebied.*
7. “Hoe wordt de invloed van een begroeid dak op een locatie aangetoond?”  
*Hoeveel m<sup>2</sup> aan begroeide daken is er nodig om voor een specifieke locatie de wateropgave op te lossen? Middels een berekening wordt antwoord op deze deelvraag gegeven.*

## 1.4 Structuurbeschrijving

Voorliggend rapport is als volgt opgebouwd. In hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de onderzoeksmethode waarin de randvoorwaarden worden beschreven en de wijze waarop informatie is verzameld en verspreid. Hoofdstuk 3 geeft een toelichting op diverse soorten begroeide daken, welke meegenomen worden in dit onderzoek en waarom. Een bepalende factor voor dit onderzoek wordt in dit betreffende hoofdstuk beschreven. De wijze waarop alle data is verzameld, hoe dit via gevoeligheidsanalyses wordt gecontroleerd, is te lezen in hoofdstuk 4. De berekeningen en uitkomsten waarmee de invloed van begroeide daken op afwateringssystemen in Nederlandse steden mee is bepaald, wordt beschreven in hoofdstuk 5. Een toetsing van alle resultaten en een verduidelijking van de bevindingen op een situatie in de praktijk, is te vinden in hoofdstuk 6. Hier wordt onderzocht of begroeide daken de wateropgave in de Afrikaanderwijk te Rotterdam kunnen oplossen. De wijze waarop dit is onderzocht, is breed toepasbaar voor andere locaties in Nederland. Onduidelijke keuzes of beslismomenten worden besproken in hoofdstuk 7, de discussie. De conclusies en aanbevelingen zijn in hoofdstuk 8 terug te vinden. Hoofdstuk 9 bevat de bibliografie en in hoofdstuk 10 bevinden zich de bijlagen.



## 2. Onderzoeksmethode

De randvoorwaarden voor dit onderzoek staan in dit hoofdstuk beschreven. Dit bepaalt welke informatie gezocht en gebruikt is en tot hoever er is gegaan om deze informatie te vinden en toe te passen. Een korte toelichting op de wijze waarop de informatie werd verzameld, staat in 2.2.

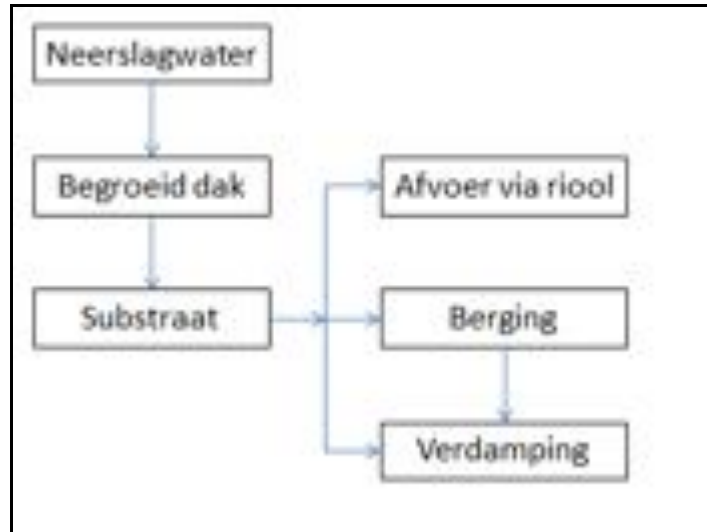
### 2.1 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden die dit onderzoek vormen staan hieronder opgesomd en toegelicht:

1. Het dak moet 15l per m<sup>2</sup> kunnen bergen.  
*Deze eis, bepaald door de gemeente Rotterdam (Gemeente Rotterdam, 2013), dat overeenkomt met 15mm neerslag moet gehaald worden om in aanmerking te kunnen komen voor subsidie bij het toepassen van begroeide daken.*
2. Het dak moet 50l per m<sup>2</sup> (=50mm) kunnen bergen en dit binnen 24uur weer afgevoerd hebben.  
*De tweede eis is geopperd tijdens de opening van het NIOO-instituut in Wageningen (Ravesloot, 2013). Deze eis is sindsdien een richtlijn voor het bepalen van het waterbergend vermogen van een begroeid dak waarmee het begroeide dak een concrete bijdrage kan leveren aan het verminderen van wateroverlast. De eis moet als volgt gelezen worden. Het KNMI heeft bepaald dat een neerslag van  $\geq 50$ mm binnen 24 uur behoort tot zware regen waarbij wateroverlast kan ontstaan (KNMI, 2012). Om de wateroverlast te beperken of tegen te gaan, zou een begroeid dak een bijdrage hieraan kunnen leveren door 50mm te kunnen bergen. Echter, omdat er altijd een kans bestaat dat binnen 24 uur na deze regenval opnieuw een neerslag van 50mm kan vallen, zou het begroeide dak idealiter ook deze regenval op moeten kunnen vangen. Het begroeide dak moet daarvoor wel binnen 24 uur het water volledig verstraagd afgevoerd moeten hebben, vandaar de eis 50mm/24uur.*
3. Het begroeide dak dient een extensief begroeid dak te zijn.  
*Extensief begroeide daken hebben een dunne opbouw en zijn relatief licht. Door deze variant toe te passen zullen naar verwachting dakconstructies minder of geen aanpassingen behoeven om een begroeid dak te kunnen dragen. In hoofdstuk 3 wordt hier kort verder op ingegaan.*
4. Er wordt alleen naar platte daken gekeken om een begroeid dak op toe te passen.  
*Het aandeel platte daken in stedelijke gebieden is groter dan schuine daken. Om meer begroeide daken toe te kunnen passen, zal in dit onderzoek alleen naar platte daken gekeken worden tot een helling van maximaal 5 graden.*
5. De dikte van het substraat is minimaal 40mm en maximaal 150mm.  
*De overgang van extensief begroeide daken naar intensief begroeide daken is gedefinieerd bij een substraatdikte van 150mm. Er wordt in dit onderzoek alleen naar extensieve daken gekeken en daarmee is de maximale dikte van het substraat ook 150mm. Hoofdstuk 3 gaat verder in op deze keuze.*
6. De modelleringen worden gemaakt met het programma SOBEK.  
*SOBEK is een veel gebruikt modelleringsprogramma voor het modelleren van watersystemen. Dit programma wordt onder andere gebruikt door de gemeente Rotterdam, maar ook in voorgaande onderzoeken (Wagemaker, 2012). Om aan te kunnen sluiten bij deze partijen en onderzoeken zal in dit onderzoek gebruik gemaakt worden van SOBEK.*



7. Er wordt alleen naar de werking van het begroeide dak gekeken en de invloed op het rioolsysteem.  
*Er wordt in dit onderzoek alleen gekeken naar de wijze waarop een begroeid dak omgaat met het opvangen neerslagwater. Er wordt aangenomen dat het begroeide dak alleen neerslagwater afvoert via het rioelstelsel of via verdamping. Afbeelding 1 laat zien hoe de waterbalans van begroeide daken in dit onderzoek is.*



Afbeelding 1: Waterbalans begroeid dak binnen dit onderzoek.

## 2.2 Informatieverzameling en verspreiding

Om de werking van een begroeid dak te kunnen begrijpen is via literatuur onderzoek kennis opgedaan. Doormiddel van bijeenkomsten en semi gestructureerde interviews met specialisten is deze kennis uitgebreid. Kennisuitwisseling geschiedt ook via grotere bijeenkomsten zoals SIA Raak<sup>1</sup> en PFU's<sup>2</sup>. Specialist<sup>3</sup> die betrokken zijn bij de SIA RAAK worden via deze bijeenkomsten op de hoogte gehouden van de ontwikkelingen en bieden eventueel hun diensten aan. Gedurende het onderzoek is gebleken dat er behoefte was aan bepaalde informatie die op dat moment niet voorhanden was. Om die reden is voor een toegepast wetenschappelijke onderzoeksmethode gekozen.

<sup>1</sup> SIA RAAK staat voor Stichting Innovatie Alliantie en is gericht op praktijkgericht onderzoek in samenwerking met hogescholen en het werkveld. Het lectoraat Innovatie, Bouwproces en Duurzaamheid is één van de partijen die betrokken is bij SIA RAAK en valt binnen het thema Duurzaamheid en Energie. Binnen SIA RAAK valt dit lectoraat onder de naam CLASSBD, of Classificatie Begroeide Daken. In totaal zijn er 16 thema's.

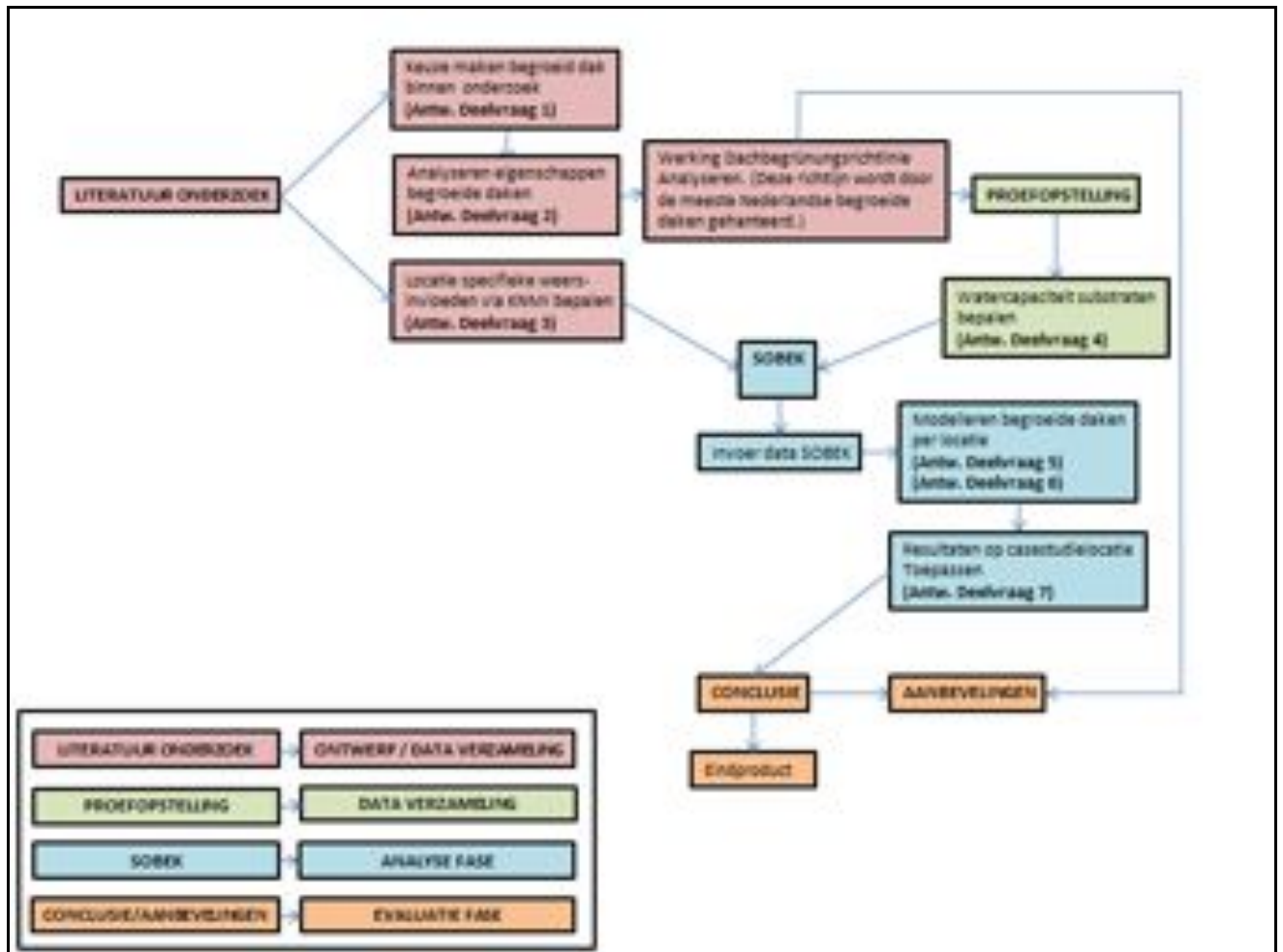
<sup>2</sup> Een PFU staat voor Project Follow Up en is een wekelijkse bijeenkomst van afgestudeerden onder begeleiding van C.M. Ravesloot. Tijdens deze bijeenkomst en lichten de afgestudeerden hun voortgang toe aan elkaar en waar nodig wordt informatie gewisseld om dubbel werk te voorkomen.

<sup>3</sup> De specialisten die binnen het SIA RAAK aangesloten zijn bij CLASSBD, komen uit het werkveld en wisselen ervaring en informatie uit. Daarnaast geven zij hun visie en mening over de voortgang van lopende projecten binnen de CLASSBD om daarmee de kwaliteit te verhogen en de aansluiting met het werkveld te optimaliseren.



## 2.3 Onderzoeksmodel

Met het onderzoeksmodel zoals weergegeven in afbeelding 2, wordt inzichtelijk gemaakt hoe het onderzoek is vormgegeven. Tijdens het onderzoek zijn er een viertal fases, iedere fase is met een kleur aangegeven en toegelicht in de legenda.



Afbeelding 2: Onderzoeksmodel binnen dit onderzoek.



### 3. Begroeide daken algemeen

Begroeide daken komen in diverse vormen voor en hebben, afhankelijk van de wens van de gebruiker, verscheidene doelen. Het doel of de functie bepaalt de benaming voor het begroeide dak en daarmee ook de technische aspecten en opbouw. In voorliggend onderzoek wordt gebruik gemaakt van één type begroeid dak en diens functioneren. Ieder type begroeid dak heeft specifieke kenmerken en daar wordt ook de invloed op een afwateringssysteem mee bepaald. Het is zodoende belangrijk om te begrijpen waarom er in dit onderzoek voor één type begroeid dak wordt gekozen, en dit wordt verduidelijkt door de eigenschappen ervan te vergelijken met andere type begroeide daken. Dit hoofdstuk beschrijft welke typen begroeide daken er voor komen, hoe deze werken en welke factoren bepalend zijn voor de keuze van het begroeide dak in dit onderzoek.

#### 3.1 Keuzebepaling begroeid dak

De term ‘begroeid dak’ wordt in dit onderzoek gehanteerd omdat dit impliceert dat het dak begroeid is. In tegenstelling tot de (veelgebruikte) term ‘groen dak’ die zou kunnen impliceren dat het dak groen geverfd kan zijn of dat het dak met milieubewuste middelen is opgebouwd. Begroeide daken kunnen onderverdeeld worden in twee categorieën, te weten ‘intensieve’ en ‘extensieve’ begroeide daken. De overgang tussen intensieve en extensieve begroeide daken is gedefinieerd bij een substraat laagdikte van 150mm (Hendriks, 2007:5). Het substraat is de vegetatie dragende laag waarin de vegetatie de wortels vastzet en het water uit opneemt. Substraat is ook in staat om water vast te houden wat het één van de waterbergende lagen van een begroeid dak maakt. Zie ook hoofdstuk 4. Het is te vergelijken met bijvoorbeeld potgrond voor planten, hoewel de samenstelling doorgaans bestaat uit klei-, lava-, leemkorrels et cetera. Het substraat van begroeide daken is speciaal ontwikkeld omdat het licht is, wat ten goede komt van de last op de dakconstructie.

De SBR Daken in 't Groen (Hendriks, 2007), een richtlijn voor begroeide daken gebaseerd op de Duitse Dachbegrünungsrichtlinie (Schuize-Ardey, 2008), maakt onderscheid in een drietal varianten:

1. Tuindaken
2. Grasdaken
3. Vegetatiedaken

Deze Duitse richtlijn beschrijft veel over begroeide daken op het gebied van onderzoek, beleid, ontwerpen et cetera. Nederland neemt deze kennis en kunde over en past dit toe in de Nederlandse SBR ‘Daken in 't Groen’ en in de praktijk. De drie hierboven genoemde varianten worden hieronder kort toegelicht in tabel 1 (Schuize-Ardey, 2008: 5-11).

Soort dak	Intensief / extensief	Minimale dikte substraat	Maximale dikte substraat	Soort vegetatie	Toepasbaar op hellend dak?	Toepasbaar op plat dak?
<b>Tuindak</b>	Intensief	150mm	1000mm	Alle soorten	Nee	Ja
<b>Grasdak</b>	Extensief	80mm	150mm	Siergras	Ja	Ja
<b>Vegetatiedak</b>	Extensief	20mm	150mm	Mos, sedum, gras, kruiden	Ja	ja

Tabel 1: Soorten begroeide daken en diens eigenschappen.

In dit onderzoek worden enkel extensief begroeide daken meegenomen. De reden hiervoor is als volgt. Intensief begroeide daken zijn dusdanig zwaar vanwege de dikke opbouw, dat er behoorlijke aanpassingen aan dakconstructies gedaan moet worden om deze intensieve daken te kunnen





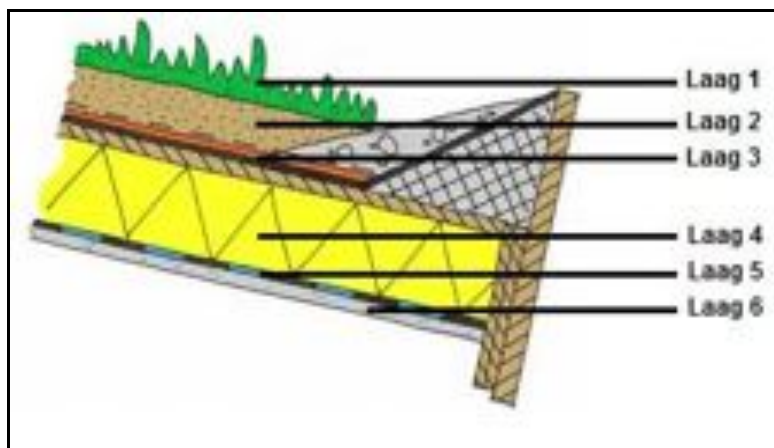
dragen. Extensieve daken daarentegen zijn aanzienlijk dunner en hiermee ook minder zwaar. Verwacht wordt dat dakconstructies geen of nauwelijks aanpassingen behoeven om de extensieve begroeide daken te kunnen dragen. Hiermee kan een groter aandeel begroeide daken in de praktijk toegepast worden. Op het moment van schrijven van dit rapport wordt onderzoek gedaan naar de reststerkte van dakconstructies en kunnen nog geen uitspraken gedaan worden of bovenstaande hypothese klopt of niet. Dit zal ook via een onderzoek binnen de CLASSBD gebeuren gedurende deze afstudeerperiode. Verder zijn extensief begroeide daken minder gevoelig voor onderhoud in vergelijking met intensief begroeide daken die, net als tuinen op maaiveldniveau, wel veel meer onderhoud nodig hebben. Leveranciers van extensief begroeide daken bieden doorgaans een beheer en onderhoudscontract aan waarbij het extensief begroeide dak 2x per jaar onderhouden wordt.

### 3.2 Opbouw begroeid dak

Een begroeid dak is uit diverse lagen opgebouwd. Afhankelijk van het soort begroeide dak en tevens de helling waar het zich op bevindt, worden lagen toegepast of weggelaten. Hieronder staat een overzicht van de lagen die toegepast kunnen worden om een begroeid dak te realiseren. De lagen hieronder zijn beschreven vanaf de bovenste laag tot de onderste laag.

1. Vegetatie laag: de bovenste laag van het begroeide dak dat uit vegetatie bestaat.
2. Vegetatie dragende laag: de laag waarin de vegetatie de wortels zet, ook wel substraat genoemd.
3. Filter laag: de laag die voorkomt dat er substraat in de drainage laag terecht komt. Deze laag is poreus.
4. Drainage laag: een laag om het overtollige water snel wat te voeren maar ook waarin water vastgehouden kan worden, zodat de vegetatie hier water uit kan halen.
5. Bescherm laag: een laag die voorkomt dat er een chemische reactie plaatsvindt tussen de gebruikte materialen en de wortelwerende laag. Hiermee wordt voorkomen dat af te voeren water schadelijke stoffen in het afwateringssysteem brengen.
6. Wortelwerende laag: een laag die voorkomt dat de wortels van de vegetatie door de bestaande dakbedekking dringen en waterschade voorkomt.

Afbeelding 3 hieronder laat een overzicht zien van de dakopbouw en de hierboven benoemde lagen.



Afbeelding 3: Zijaanzicht opbouw lagen begroeid dak.





### 3.3 Waterbergend vermogen begroeid dak

Zoals in sectie 3.1 is aangegeven heeft een begroeid dak diverse toepassingsmogelijkheden. Enkel het waterbergend vermogen van een begroeid dak is bepalend voor dit onderzoek. Een begroeid dak werkt als volgt als het gaat om het waterbergende vermogen.

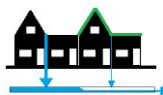
1. Neerslagwater dat op het begroeide dak neerkomt, filtreert langzaam de vegetatie dragende laag in (hierna substraat genoemd). De samenstelling van deze laag (poriën volume, gebruikte materialen) bepaalt hoe snel het neerslagwater infiltreert en hoeveel water er in deze laag wordt vastgehouden. Wanneer er meer water in het substraat infiltreert dan het substraat kan vasthouden percoleert het naar de drainage, en wordt het afgevoerd. Substraat zal altijd toegepast moeten worden en speelt daarom een belangrijke rol in dit onderzoek. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op de werking van het substraat.
2. De drainage laag kan bestaan uit plastic bakken of bijvoorbeeld steenwol. Het doel van deze laag is primair om overtollig water af te voeren. Het kan echter ook een deel van het water vast houden om de vegetatie te voorzien van water wanneer het lange periodes droog en warm is. Ook deze laag heeft een maximale watercapaciteit en wanneer deze capaciteit overschreden wordt, zal overtollig neerslagwater direct worden afgevoerd. Deze laag hoeft niet altijd toegepast te worden. De vegetatie haalt met de wortels het water uit het substraat en eventueel uit de drainage laag. Het opgenomen water verdampt via de vegetatie maar ook wind en warmte spelen een rol in de verdamping van het water.

De verdamping is een belangrijke factor in de werking van het begroeide dak als het gaat om het vrijmaken van de waterberging. Het is deze factor die het begroeide dak weer het vermogen geeft water vast te houden tijdens neerslag. Substraat en vegetatie zijn zeer afhankelijk van elkaar en moeten altijd toegepast worden op een begroeid dak. Vegetatie is een op zichzelf staand onderdeel wat betekent dat de wijze waarop het functioneert slecht beïnvloedbaar is. Het neemt water op en verdampt dit. Wanneer de ondergrond te nat of te droog is, dan zal de vegetatie verdrinken of verdrogen. Vegetatie kan niet ingesteld worden meer of minder water te verdampen. Het waterbergend vermogen van substraat daarentegen kan door meerdere factoren beïnvloed worden. Bepalende factoren zijn de dikte, samenstelling en de doorlatendheid van het substraat, zie hoofdstuk 4.

De drainage laag is minder cruciaal en kan indien gewenst toegepast worden. De bergingscapaciteit van deze laag hangt af van het gebruikte materiaal en de dimensies ervan. Deze bergingscapaciteit verandert niet gedurende de levensloop van de drainage laag.

### 3.4 Samenvattend begroeide daken algemeen

Extensief begroeide daken zijn aanzienlijk lichter (in gewicht) dan intensief begroeide daken. Dit komt door de gebruikte materialen waarmee het begroeide dak wordt opgebouwd. Extensief begroeide daken hebben een maximaal gedefinieerde substraat dikte van 150mm, voor intensief begroeide daken kan deze dikte oplopen tot meer dan 1000mm. Omdat begroeide daken op bestaande dakconstructies geplaatst worden, kunnen kosten gedrukt worden door zo min mogelijk aanpassingen aan de dakconstructies te verrichten. Door lichte, begroeide daken toe te passen, kan dit doel behaald worden. Ook beheer en onderhoud speelt een rol hierin. Intensief begroeide daken zijn meer gevoelig voor beheer en onderhoud dan extensief begroeide daken. Dit zijn enkele redenen wat de implementatie van extensief begroeide daken in de praktijk bevorderen en waarom enkel deze vorm van begroeide daken wordt meegenomen in dit onderzoek.



## 4. Dataverzameling

De data die benodigd is voor dit onderzoek is op een aantal manieren verzameld. In de beginfase van het onderzoek bleek dat bepaalde informatie niet voorhanden was en dat juist deze informatie een belangrijke rol speelde in de totstandkoming van dit onderzoek. Er is een proefopstelling gebouwd waarmee de werking van substraat bij diverse laagdiktes is bepaald. Ook is er gekeken naar diverse data die beschikbaar wordt gesteld door het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut). Uit deze data is gebleken dat de neerslag- en verdampingsgegevens per locatie aanzienlijk kunnen verschillen. Dit hoofdstuk gaat in op de wijze waarop data verzameld is.

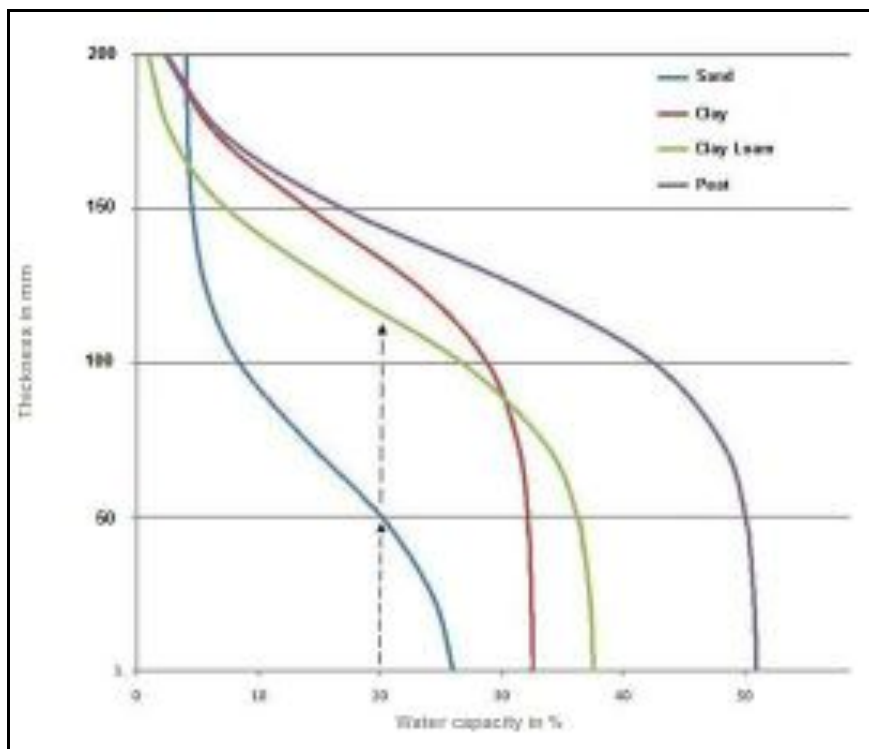
### 4.1 Is dikker wel beter?

Substraat is samengestelde grond die is ontwikkeld voor begroeide daken. De samenstelling ervan is afhankelijk van het type begroeide dak en bepaalt daarmee ook het waterbergend vermogen. Er zijn drie factoren die het waterbergend vermogen in het substraat bepalen:

1. Laag dikte.
2. Poriën volume.
3. Doorlatendheid.

#### Laagdikte

De laagdikte spreekt voor zich, maar houdt niet in dat als de laag dik is, er per definitie een effectiever waterbergend vermogen wordt gecreëerd, zie ook afbeelding 4.



Afbeelding 4: Waterretentie curve, waterhoudend vermogen grond naar ratio dikte.

De curve in de bovenstaande afbeelding is als volgt af te lezen. De onderkant van de bodem zal relatief gezien het meeste water bevatten. De curve laat zien dat het waterhoudend vermogen per grondsoort anders is. Zand houdt bijvoorbeeld slecht water vast, klei daarentegen goed. De hoeveelheid water neemt af in neerwaartse richting. Kijkend naar curve van het zand, dan is te zien dat de hoeveelheid water op 50mm hoogte 20% is, en op 150mm hoogte nog maar ongeveer 5%.



Deze curve wordt een waterretentie curve genoemd. Voor zand, klei en leem is globaal bekend hoe het waterbergend vermogen zich ten opzichte van de dikte verhoudt (Ball, 2001; Agriculture, 1998). Substraat voor begroeide daken is echter niet te vergelijken met deze grondsoorten. Begroeide daken zijn meer onderhevig aan extremere weersomstandigheden dan grondsoorten die zich op maaiveldniveau bevinden. Ook zit er bij begroeide daken geen verzadigde grond met grondwater onder. Op grotere hoogte is de wind sterker aanwezig dan op maaiveldniveau, deze windfactor beïnvloedt onder andere het verdampingsproces (Hendriks, 2007: 37; Werdin, 2013). Om deze reden is het van groot belang dat het substraat in staat is meer water vast te houden om zo ook de vegetatie in water te kunnen voorzien zodat dit niet verdroogd en dood gaat. De vegetatie zorgt er grotendeels voor dat het water dat zich in het substraat bevindt wordt onttrokken en verdampt. Dit is belangrijk omdat het substraat dan weer ruimte krijgt om water te bergen. In de context van dit onderzoek staat meer verdamping gelijk aan een beter resultaat op het afwateringssysteem. Echter worden begroeide daken ook voor esthetische redenen toegepast en is het belangrijk om de vegetatie zo lang mogelijk in leven te houden. De water retentie curve is bijzonder belangrijk voor dit onderzoek. Het laat zien hoe het water zich waarschijnlijk in substraat verdeeld en dus wat het waterbergend vermogen is bij een bepaalde laagdikte. In sectie 4.2 wordt hier verder op ingegaan.

### Poriën volume

Het poriën volume van substraat staat voor de hoeveelheid open ruimtes in het substraat. Net als bij grond bestaat substraat uit onder andere korrels en deze sluiten niet naadloos op elkaar aan. Er zal altijd ruimte tussen de korrels blijven en deze ruimte kan gevuld worden met water. De grootte van de poriën bepaald tevens de capillaire werking. Bij capillariteit stijgt water in buisjes of holtes, hoe nauwer de ruimte, hoe verder het water zal stijgen (NASA, 2013). Dit houdt in dat het water altijd op natuurlijke wijze op een bepaald niveau wordt gehouden in grond of substraat.

Als ook in de korrels zelf poriën aanwezig zijn, zijn de korrels in staat water op te zuigen en vast te houden. Een dergelijk materiaal is de 'hydrokorrel'<sup>4</sup>, zie ook afbeelding 5.



Afbeelding 5 Hydrokorrels.

### Doorlatendheid

De doorlatendheid bepaalt hoe snel het neerslagwater het substraat kan infiltreren. Dit hangt grotendeels af van het poriën volume. Wanneer de neerslagintensiteit hoger is dan de doorlatendheid, zal water via het dakoppervlak afstromen. Dit is een ongewenst effect want de kans dat het begroeide dak hierdoor wegspoelt en beschadigt is groot.

<sup>4</sup> Hydrokorrels zijn speciale korrels die worden gebruikt om een waterreservoir in bijvoorbeeld plantenbakken te creëren. Ze zijn in staat veel water vast te houden en langzaam af te voeren. Deze korrels worden overigens niet gebruikt op begroeide daken.



## 4.2 Substraat en richtlijnen

De Duitse Dachbegrünungsrichtlinie (hierna FLL<sup>5</sup>) betreft een richtlijn waar tot in detail wordt beschreven hoe begroeide daken opgebouwd moeten worden, hoe metingen uit te voeren et cetera. Het betreft een zeer veelzijdig document dat in Nederland is overgenomen. Producenten van begroeide daken en onderdelen daarvan in Nederland houden zich vast aan deze richtlijn en producten worden in sommige gevallen gecertificeerd wanneer ze aan deze richtlijn voldoen. Op basis van semi gestructureerde interviews met bedrijven en literatuur studie is gebleken dat ook substraat conform deze Duitse richtlijn wordt gemeten en gecertificeerd. Tijdens dit onderzoek zijn er echter enkele vraagtekens ontstaan bij het nalezen van deze meetmethoden en de resultaten die hieruit voortkomen. Zoals uit sectie 4.1 blijkt, wordt het waterbergend vermogen in substraat door een drietal factoren bepaald. Het waterbergend vermogen in substraat is dus beïnvloedbaar, maar de FLL bepaalt het waterbergend vermogen op basis van één te meten laagdikte. Conform de FLL wordt een buis met 100mm substraat gevuld en wordt er water overheen gegoten. Het begin gewicht van het substraat wordt gewogen en het eindgewicht nadat het water er doorheen is gegaan. Het verschil in gewicht bepaalt het waterbergend vermogen. Dit is een zeer beknopte beschrijving van de methode, maar kijkend naar de curve in het hoofdstuk hiervoor, zou het waterbergend vermogen per dikte anders moeten zijn. Omdat de FLL maar één dikte aanneemt en meet, wordt verondersteld dat dit waterbergend vermogen op iedere dikte toepasbaar is en dat is niet juist.

Wanneer met de gegevens van de FLL gemodelleerd zou worden, ontstaat er een verkeerd beeld van de werking van begroeide daken. Begroeide daken zullen dan namelijk op iedere dikte dezelfde waterhoudende capaciteit (in %) hebben en dat klopt niet. Navraag bij de producenten van substraten en literatuur onderzoek leverde geen informatie op aangaande de capaciteit van substraat bij diverse diktes. Wel werd geconcludeerd dat het waterbergend vermogen per substraatsoort anders was op basis van andere informatie dat zou betekenen dat de invloed van begroeide daken op het afwateringssysteem mede bepaald wordt per substraat soort. Omdat per substraat soort het waterbergend vermogen anders is, is besloten meerdere substraat soorten mee te nemen in het onderzoek. Zo kon een beter beeld van de werking ervan worden verkregen en meer resultaten. Zie afbeelding 6 voor de gebruikte substraat soorten.



Afbeelding 6: Gebruikte substraat soorten. V.l.n.r.: OPTI-M, OPTI-L, RHP, BVB.

Er is bij enkele producenten substraat afgenomen met diverse eigenschappen. Met een proefopstelling is bepaald hoe het water zich in substraat gedraagt, is een realistischer beeld verkregen van de invloed op het afwateringssysteem en konden de minimale en maximale scenario's worden doorberekend. Voor de scenario's, zie sectie 1.3. In sectie 4.3 hierna wordt verder ingegaan op de proefopstelling.

<sup>5</sup> FLL staat voor Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau en betreft een Duitse variant van de Nederlandse BRL. De Dachbegrünungsrichtlinie wordt in het Nederlandse jargon ook wel tot FLL afgekort.



### 4.3 Proefopstelling

Zoals in sectie 4.2 is te lezen, is met de proefopstelling het waterbergend vermogen van diverse substraatsoorten bij diverse diktes bepaald. Hiermee is bepaald of de waterretentie curve toepasbaar is op substraat. De resultaten uit de proefopstelling zijn gebruikt om in SOBEK te modelleren en realistischere resultaten en meer betrouwbare conclusies te kunnen vormen. De opbouw en meetmethode van de proefopstelling is gebaseerd op de FLL met als verschil de tijd waarin de resultaten worden verkregen, het feit dat er meerdere diktes worden gemeten en dat het substraat niet verdicht wordt. Op het verdichten gaat sectie 4.3.3 verder in. In de FLL wordt enkel voor een dikte van 10cm een meting verricht en zit er 24 uur tussen het begin en het einde van de meting. In de proefopstelling in dit onderzoek worden er laagdiktes per cm gemeten tussen 4cm en 15cm. De periode waarin dit gebeurt hangt af van het substraat en de doorlatendheidsfactor. De proefopstelling dient om een indruk te krijgen van de vochtverdeling bij bepaalde diktes van substraat en is geen wetenschappelijk dichtgetimmerde proef. De aanpak was als volgt:

1. Een buis (diameter 11.7cm) die is voorzien van een deksel met gaten en filterdoek werd gevuld met substraat.
2. De laagdikte van het substraat werd bepaald aan de hand van het soortelijk gewicht van het substraat bij 1 liter, en de inhoud van de buis.
3. Het gewicht van de buis met substraat werd gewogen en genoteerd, dit betrof de droge situatie.
4. Er werd een hoeveelheid van 500ml water over het substraat heen geschonken. Deze hoeveelheid staat niet voor een referentiebus.
5. Het poriën volume bepaalt hoeveel water er in het substraat achterblijft. Al het overige water lekte uit het substraat via het deksel en werd opgevangen.
6. Nadat het uitlekken gestopt was, werd het gewicht van de buis met substraat gewogen en genoteerd. Dit betrof de natte situatie.
7. Het verschil in gewicht tussen de droge en natte situatie bepaalt hoeveel water er in het substraat bij de betreffende laagdikte is achtergebleven. Dit bepaalt het waterbergend vermogen.

De proeven zijn uitgevoerd op aangeleverd substraat (direct uit de zak) en ovdroog substraat (24uur op 105° C gedroogd). Tabel 2 laat de verschillen en overeenkomsten zien tussen de proefopstelling en de FLL methode. De hoeveelheid water dat wordt toegepast in de FLL betreft een referentiebus. De gebruikte 500ml in de proefopstelling staat niet voor een referentiebus, vanwege gebrek aan tijd en middelen was het niet mogelijk een referentiebus na te bootsen. Aangenomen werd dat de hoeveelheid water weinig invloed zou uitoefenen op het bereiken van de field capacity van het substraat.

Onderdeel	FLL methode	Proefopstelling
Diameter cilinder	15,0 cm	11,7 cm
Hoogte cilinder	16,5 cm	20,0 cm
Aantal gemeten laagdiktes	1 laagdikte	12 laagdiktes
Toegepaste hoeveelheid water	27l/1m <sup>2</sup>	500ml/0,0107m <sup>2</sup> (= 50 l/m <sup>2</sup> )
Periode / temperatuur in oven	24 uur / 105° C	24 uur / 105° C
Uitlekperiode bepalen field capacity	24 uur	10 min – 12 uur
Maaswijdte filter / gaas	0,6mm	∅ niet bekend
Verdichten substraat <sup>6</sup>	Ja	Nee

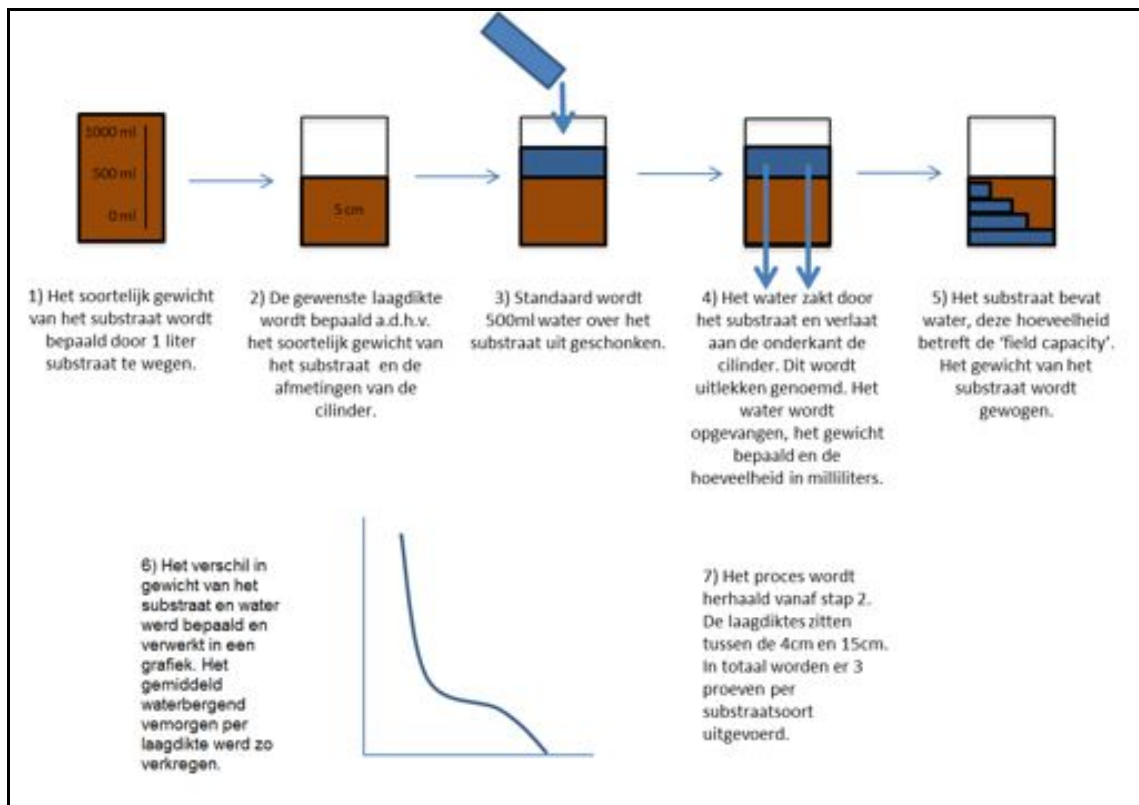
Tabel 2: FLL methode vs. Proefopstelling.

<sup>6</sup> De Dachbegrünungsrichtlinie stampt substraat aan alvorens het te testen. Dit gebeurt met een 'proctor hammer', een apparaat die de te testen monsters via trillingen verdicht om de maximale dichtheid te bepalen. Deze methode roept vraagtekens op omdat substraat in de praktijk niet aangestampt wordt op een dak, maar los gestort. Dit zou geen realistisch beeld van de werking van het substraat geven. Zie ook [hoofdstuk 4.3.4 en hoofdstuk 7 discussie](#).





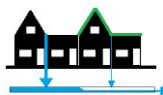
Afbeelding 7 geeft een schematische en fotografische weergave weer van de proefopstelling.



Afbeelding 7: Schematische en fotografische weergave proefopstelling.

Met de proefopstelling werden de volgende resultaten verkregen:

1. Soortelijk gewicht van het substraat bij 1 liter.
2. Het waterbergend vermogen van het substraat bij een bepaalde laagdikte, ook wel de 'field capacity' genoemd. Deze getallen werden uiteindelijk verrekend met de ovendroge bevindingen.
3. Het verzadigde gewicht van het substraat bij een bepaalde laagdikte, ook wel de 'soil saturation' genoemd.
4. Het ovendroge gewicht van het substraat.



### 4.3.1 Valideren en kalibreren

Om de metingen zo nauwkeurig mogelijk uit te voeren, zijn er enkele controle momenten in het proces aanwezig geweest. Ook werden de gebruikte instrumenten gekalibreerd om er zeker van te zijn dat deze de uitkomsten niet beïnvloeden.

- IJken weegschalen
  - De weegschalen die zijn gebruikt zijn 10 à 15x gekalibreerd door een 1000gr gewicht te wegen. De weegschalen, elektrisch, zijn iedere keer uitgezet en opgestart alvorens het gewicht te testen. Weegschaal 2 had een afwijking van 1gr, weegschaal 1 een afwijking van 0gr. Met weegschaal 1 is gewerkt.
- Zeven substraat
  - Het substraat werd vanuit de zakken in een speciekuip (bak a 65 liter) gedaan. Om te bepalen of de samenstelling van het substraat te allen tijde nagenoeg gelijkwaardig was, is er per substraat 3x 500gr gezeefd gedurende 5 minuten. Hiermee is de korrel diameter en samenstelling van het substraat bepaald. In bijlage c is een overzicht per zeefmeting terug te vinden.
- Owendroog metingen
  - Van ieder substraat is 3x 10cm substraat in een buis met een diameter 11,7cm in een oven gezet welke verwarmd was op 105°C voor 24 uur. Voorafgaand is eerst de watercapaciteit van het 10cm monster bepaald. Na 24 uur is wederom per monster de watercapaciteit bepaald. Met de owendroog meting werd al het vocht uit de poriën van het substraat verdampt en kon nadien de maximale watercapaciteit worden bepaald. De owendroog metingen zijn belangrijk om de maximale watercapaciteit te kunnen bepalen en een vergelijking te kunnen maken met de FLL gegevens.
- IJken maatcilinder
  - De maatcilinder die is gebruikt heeft een schaalverdeling van 500ml in stappen van 10ml. De maatcilinder is gewogen en vervolgens is hier 500ml water in gegoten. Een afwijking op de maatcilinder is aangegeven met een watervaste viltstift, zodoende kan er altijd 500ml water worden afgemeten.
- Cilinders
  - Er zijn tijdens het proces cilinders gebruikt waarin het substraat werd gedaan. Voor iedere meting werd het gewicht van de cilinder gewogen en genoteerd.
- Restant water
  - Tijdens het overhevelen van water was er een kans dat er water achter bleef in de maatcilinder of opvangbak. Zodoende zijn deze voorwerpen eerst vochtig gemaakt om achtergebleven water te simuleren. Het vochtige voorwerp werd gewogen voordat deze gevuld werd met water en nadat het water eruit was geschonken. Het verschil liet zien hoeveel water er is achtergebleven in het voorwerp.
- Wegen
  - Tijdens het proces werd het substraat en het water meerdere malen gewogen. Voorafgaand werd het substraat en de hoeveelheid water gewogen. Na afloop werd wederom het substraat en de hoeveelheid water gewogen. Met dit verschil kon het waterbergend vermogen van het substraat worden bepaald.





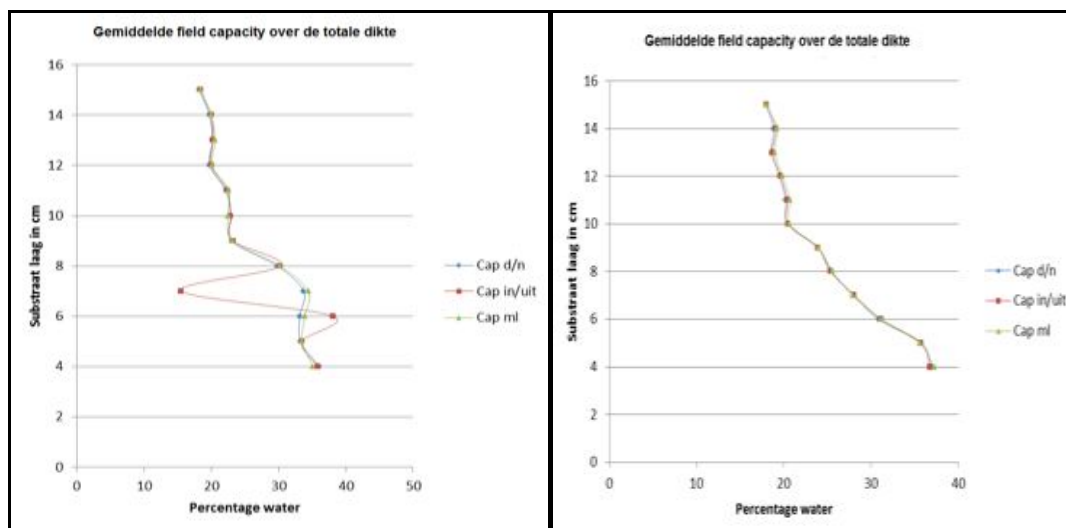
### 4.3.2 Onnauwkeurigheden

Tijdens het proces konden er fouten optreden die de resultaten beïnvloeden. Zo werd het substraat tijdens de meting verplaatst vanaf de stelling naar de weegschalen. Tijdens het verplaatsen kon er water verloren gaan. Ook het aflezen van de hoeveelheid water in milliliters is minder nauwkeurig. Hoewel er voorzichtig te werk werd gegaan, kon dit nooit volledig voorkomen worden. Door het substraat en het water op verschillende momenten in het proces te wegen, werden de onnauwkeurigheden wel verminderd.

### 4.3.3 Filteren data op fouten

In bijlage d is een overzicht te vinden van de metingen en uitkomsten van alle geteste substraatsoorten. Dit overzicht laat zien dat de waarden die zijn gemeten bij de controlemomenten niet altijd gelijk zijn aan elkaar. In de optimale situatie zouden alle controlemomenten gelijk moeten zijn, door de onnauwkeurigheden gebeurt dit niet altijd. Afbeelding 8 laat een tweetal grafieken zien van een geteste substraatsoort. De lijnen in deze grafieken staan voor het volgende:

Lijn:	Percentage water bepaald via:
Blaauwe Lijn	Verskil droog en nat substraat
Rode lijn	Verskil water in en uit
Groene lijn	Verskil water in en uit in milliliters



Afbeelding 8: Grafiek met fout links, correcte grafiek rechts. Field capacity gemiddeld over totale dikte.

De grafiek links laat een fout zien. De rode lijn wijkt af van de andere twee. Dit laat zien dat er een afleesfout of notatiefout heeft plaatsgevonden. Dit is een reden waarom er een drietal controlemomenten zijn uitgevoerd tijdens het proces. Omdat de andere twee lijnen nagenoeg gelijk zijn, is de data toch bruikbaar. De grafiek rechts laat zien dat alle controle momenten goed zijn verlopen, bij deze metingen zijn geen grote lees of notatie fouten gemaakt. Alle verzamelde data is verwerkt in een Excel sheet, zie ook bijlage d voor alle data en deze Excel sheet. Afbeelding 9 laat een overzichtstabel zien van de in totaal 12 tabellen met gemeten data. Per laagdikte wordt aangegeven hoeveel water er achter is gebleven en wat het gewicht van het substraat op field capacity is. De drie rijen rechts van de tabel laten de daadwerkelijke field capacity zien nadat het is omgerekend naar de bijbehorende laagdikte. Let wel, de gegevens in onderstaande tabel 9 zijn hierin nog niet verrekend met de oevdroge getallen en laten niet de waarden zien waarmee is gewerkt in SOBEK. Dit laat tabel 5 in sectie 4.3.4 zien.



Hoogte	Delta droog nat	Delta water in uit	Delta ml in uit	Cap d/n	Cap in/uit	Cap ml
4	120	121	120	27.90	28.14	27.90
5	157	130	155	29.21	24.18	28.83
6	177	184	182	27.44	28.52	28.21
7	290	257	259	38.53	34.15	34.41
8	236	237	239	27.44	27.55	27.79
9	240	240	240	24.80	24.80	24.80
10	250	252	250	23.25	23.44	23.25
11	242	243	240	20.46	20.55	20.29
12	269	268	269	20.85	20.77	20.85
13	261	262	261	18.67	18.75	18.67
14	274	274	275	18.20	18.20	18.27
15	256	256	259	15.87	15.87	16.06

Afbeelding 9: Tabel met gemeten data voor bepalen field capacity.

Toelichting op de tabel:

- Onverklaarbare waarden zijn aangegeven met een rode kleur. Dit houdt in dat alle waarden bij de dikte afwijken met meer dan 1% ten opzichte van elkaar. Deze waarden zijn in principe niet bruikbaar en worden ook niet meegenomen. Omdat er voor alle substraten drie tabellen met resultaten waren, leverde het geen problemen op om uit één tabel een laagdikte niet mee te nemen wanneer deze onverklaarbare waarden gaf. Deze waarden konden namelijk nog uit de andere tabellen worden gehaald.
- De oranje kleur geeft aan dat er minimaal 2 waarden zijn die niet meer dan 1% van elkaar afwijken.
- De groene kleur geeft aan dat er minimaal 2 waarden 100% gelijk zijn.

Van de in totaal 144 metingen die uitgevoerd zijn, zijn er 34 metingen met onverklaarbare waarden en onbruikbaar zijn. Van de overige 109 metingen is per meting het gemiddelde genomen. Voor iedere substraatsoort zijn er per laagdikte 3 gemiddelde waarden, ook hieruit wordt een gemiddelde berekend. Dit gemiddelde werd verrekend met de ovdroge resultaten.

#### 4.3.4 Uitkomsten proefopstelling

De proefopstelling en meetmethode waren gebaseerd op de methode zoals beschreven in de FLL. De grootste verschillen zijn weergegeven in tabel 2 van sectie 4.3. Alle substraten die in de proefopstelling zijn meegenomen, zijn getest conform de FLL. Tabel 3 hieronder laat overeenkomsten tussen beide methoden zien in ovdroge gewichten, maar verschillen bij watercapaciteit. Dat laatste is wellicht te verklaren aan het feit dat de FLL het substraat aanstamp met een proctor hammer, een apparaat die het substraat met trillingen verdicht. De reden hiervoor staat niet beschreven in de FLL. Wat dit wel gevolg heeft is dat het aantal poriën hiermee wordt verkleind en dus ook het vermogen van het substraat om water op te nemen. In de proefopstelling wordt het substraat nauwelijks aangestamp omdat dit niet overeenkomt met de praktijk. Immers zal substraat op een begroeid dak ook niet aangestamp worden, maar los gestort. Dit verklaart waarschijnlijk het feit dat de uitkomsten in de laatste rij tussen de FLL en proefopstelling met elkaar verschillen. Het substraat heeft in de FLL methode minder capaciteit om water vast te houden. Ook maakt de tabel duidelijk dat de beschikbare gegevens van RHP verschillen met OPTI en BVB. Dit laat eveneens zien waarom het lastig is om uit de beschikbare informatie die geleverd wordt bij de substraten consistente waarden te halen. Per substraat en leverancier wordt hierin afgeweken. Dit belicht de noodzaak van de proefopstelling vanuit een andere hoek.



Product	Substraat type	FLL of proefopstelling (nr)	Dikte in cm	Gewicht substraat uit zak in kg/m <sup>3</sup>	Ovendroog gewicht in kg/m <sup>3</sup>	Nat gewicht in kg/m <sup>3</sup> na uitlekken	Watercapaciteit in % bij 10cm dikte uit zak	Watercapaciteit in % bij 10cm dikte uit oven
BvB	E+GR	FLL	10	-	1000 kg/m <sup>3</sup>	1400 kg/m <sup>3</sup>	-	40%
BvB <sup>7</sup>	E+GR	Proef 1	10	1235 kg/m <sup>3</sup>	957 kg/m <sup>3</sup>	1538 kg/m <sup>3</sup>	40%	47.8%
OPTI-L	L-GE	FLL	10	-	490 kg/m <sup>3</sup>	820 kg/m <sup>3</sup>	-	39%
OPTI-L	L-GE	Proef 1	10	795 kg/m <sup>3</sup>	429 kg/m <sup>3</sup>	1039 kg/m <sup>3</sup>	11.69%	48.18%
OPTI-L	L-GE	Proef 2	10	796 kg/m <sup>3</sup>	424 kg/m <sup>3</sup>	1013 kg/m <sup>3</sup>	13.58%	47.7%
OPTI-L	L-GE	Proef 3	10	796 kg/m <sup>3</sup>	428 kg/m <sup>3</sup>	980 kg/m <sup>3</sup>	12.84%	46.8%
OPTI-M	M	FLL	10	-	1000 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	-	35%
OPTI-M	M	Proef 1	10	1290 kg/m <sup>3</sup>	1094 kg/m <sup>3</sup>	1638 kg/m <sup>3</sup>	22.23%	34.51%
OPTI-M	M	Proef 2	10	1290 kg/m <sup>3</sup>	1090 kg/m <sup>3</sup>	1510 kg/m <sup>3</sup>	21.86%	40.46%
OPTI-M	M	Proef 3	10	1290 kg/m <sup>3</sup>	1086 kg/m <sup>3</sup>	1617 kg/m <sup>3</sup>	23.25%	42.23%
RHP	Jiffy	FLL	10	660 kg/m <sup>3</sup>	-	920 kg/m <sup>3</sup>	26%	-
RHP	Jiffy	Proef 1	10	793 kg/m <sup>3</sup>	402 kg/m <sup>3</sup>	1080 kg/m <sup>3</sup>	22.01%	61%
RHP	Jiffy	Proef 2	10	703 kg/m <sup>3</sup>	356 kg/m <sup>3</sup>	982 kg/m <sup>3</sup>	20.46%	59.2%
RHP	Jiffy	Proef 3	10	793 kg/m <sup>3</sup>	405 kg/m <sup>3</sup>	1068 kg/m <sup>3</sup>	22.79%	61.8%

Tabel 3: vergelijkingen data substraat leveranciers tegen eigen proefmetingen.

Onderstaande tabel 4 geeft een toelichting op de voorgaande tabel en de gebruikte termen.

<b>FLL of proefopstelling</b>	Dit geeft aan of de resultaten op basis van de FLL of de proefopstelling zijn bepaald.
<b>Gewicht substraat uit zak in kg/m<sup>3</sup></b>	Het gewicht van het substraat nadat het uit de zak waarin het vervoerd wordt kwam.
<b>Ovendroog gewicht in kg/m<sup>3</sup></b>	Het gewicht van het substraat nadat het 24 uur in de oven heeft gedroogd.
<b>Nat gewicht in kg/m<sup>3</sup> na uitlekken</b>	Het gewicht van het substraat nadat er 500ml water overheen is gegoten. Dit substraat kwam uit de zak.
<b>Watercapaciteit in % bij 10cm dikte uit zak</b>	Field capacity van het substraat afkomstig uit de zak na uitschenken water en uitlekken.
<b>Watercapaciteit in % bij 10cm dikte uit oven</b>	Field capacity van substraat afkomstig uit de oven na uitschenken water en uitlekken.

Tabel 4: Toelichting op tabel 3.

Tabel 5 en 5.1 hierna laat zien wat het gemiddelde waterbergende vermogen per cm is voor de gemeten substraten. Te zien is dat het gemiddelde percentage water over de totale substraat dikte afneemt naarmate de substraatdikte toeneemt. Dit komt overeen met de waterretentie curve. In deze tabel worden de resultaten van twee verschillende metingen weergegeven. Aan de linker kant van de tabel staan de waarden die zijn verkregen met substraat dat direct uit de zak is gekomen. Al het substraat is aangeleverd in zakken en was altijd vochtig. Dit beïnvloedt de grootte van de vocht toename. In de rechter kant van de tabel zijn de resultaten weergegeven die zijn verkregen met substraat dat uit de oven is gekomen. Dit substraat was zo goed als droog en te zien is het dan meer vocht kan opnemen. Het substraat van BVB is niet compleet, zoals beschreven bij verwijzing 7 moest deze meting opnieuw en was er niet genoeg substraat om te testen. Met de resultaten aan de rechterkant van de tabel is gewerkt in SOBEK. De watercapaciteit van het substraat ligt dan weliswaar hoger dan in werkelijkheid het geval zou zijn. Immers, het substraat zal in de praktijk bijna nooit een ovedroge situatie bereiken en dus altijd vochtig zijn. Hoe dit de uitkomsten in SOBEK beïnvloedt, wordt beschreven in sectie 5.2.3.

<sup>7</sup> Voor het substraat van BVB is maar één meting uitgevoerd. Tijdens het uitlezen van de data bleek dat er onnauwkeurigheden waren ontstaan tijdens de metingen en waren 2 van de 3 metingen niet bruikbaar. Dit is aangepast voor de overige substraat metingen. Wegens tekort aan tijd is het niet gelukt BVB opnieuw 3x te meten.

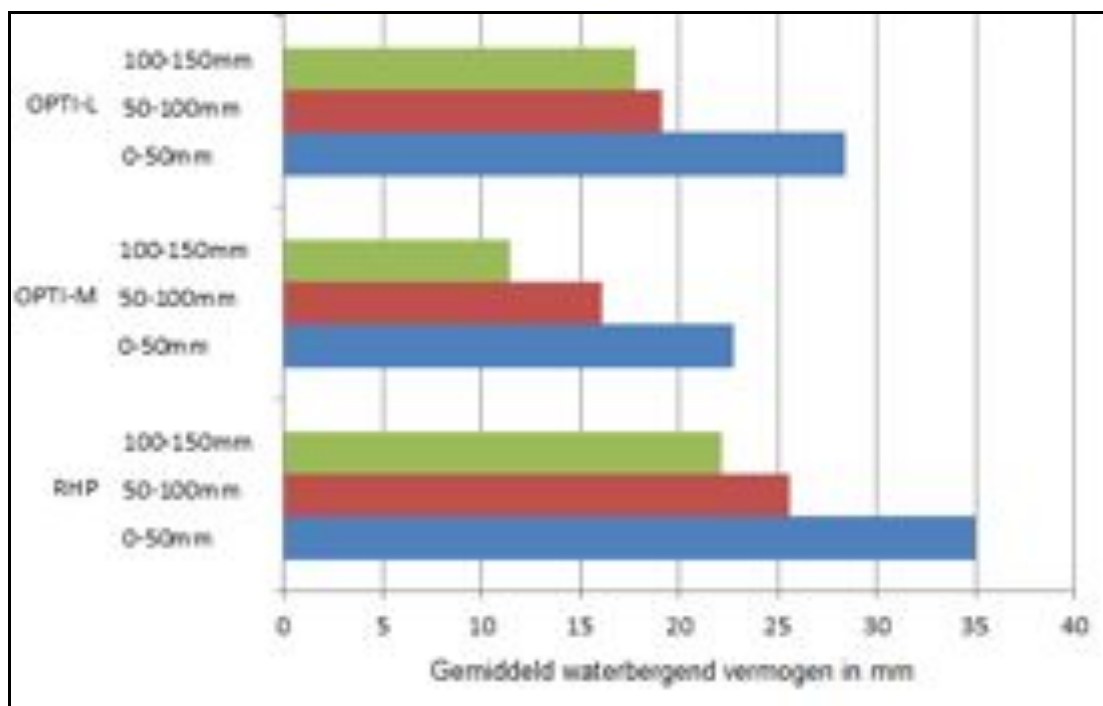


Dikte	Gemiddeld waterbergend vermogen per cm, substraat uit zak					Gemiddeld waterbergend vermogen per cm, substraat uit oven				
	RHP	OPTI-M	OPTI-L	BVB	%	RHP	OPTI-M	OPTI-L	BVB	%
4	34.9	29.7	30.4	25.5	%	70.0	47.6	60.9	56.3	%
5	34.7	31.3	23.0	27.1	%	70.0	45.7	56.8	-	%
6	30.1	28.1	18.8	27.4	%	69.5	44.2	52.6	-	%
7	27.9	30.9	16.4	26.2	%	68.6	43.5	51.2	-	%
8	28.2	26.1	15.4	26.1	%	66.9	42.4	49.7	54.9	%
9	24.2	24.0	13.2	24.3	%	62.9	40.6	47.7	-	%
10	21.7	22.4	12.7	22.0	%	60.6	39.0	47.5	-	%
11	21.6	21.0	10.9	22.3	%	60.2	37.9	46.7	-	%
12	20.2	21.0	11.1	19.2	%	58.9	37.5	46.4	43.9	%
13	19.1	18.4	10.1	19.7	%	57.8	35.1	45.0	-	%
14	19.1	17.0	8.9	18.9	%	57.7	33.7	42.9	-	%
15	17.9	17.0	8.5	17.4	%	55.2	33.7	42.9	42.5	%

Tabel 5: Gemiddelde waterbergend vermogen per laagdikte in %.

Vocht in	RHP	OPTI-M	OPTI-L
0-50mm	35.0mm	22.8mm	28.4mm
50-100mm	25.6mm	16.1mm	19.1mm
100-150mm	22.2mm	11.5mm	17.8mm

Tabel 5.1: Gemiddeld waterbergend vermogen substraat in mm.



Afbeelding 10: Gemiddeld waterbergend vermogen substraat in mm.

Bovenstaande afbeelding 10 laat zien wat het gemiddelde waterbergend vermogen in mm is tussen de aangegeven laagdiktes. Het percentage waterhoudend vermogen neemt af naarmate de dikte toeneemt. Dit ligt in verhouding met de verwachtingen zoals beschreven in sectie 4.1.

Uit de metingen van het substraat van RHP kwamen onverwachte uitkomsten. Het gewicht van het substraat dient op field capacity altijd hetzelfde te zijn, of het substraat nou vanuit een ovedroge



situatie wordt gemeten of direct vanuit de zak. Immers, het substraat houdt water vast wat het tegen de zwaartekracht in vast kan houden. Uit de metingen bleek dat het gewicht bij de oevdroge meting beduidend lager uitkwam dan vanuit de zak. Tabel 6 laat dit zien, het verschil ligt rond de 200gr. Uit dit resultaat blijkt dat het substraat niet voldoende tijd heeft gehad water op te nemen nadat het oevdroog was gemaakt en er water over werd uitgeschonken. Pas nadat eenzelfde 10cm oevdroog monster gedurende een week onder water was gezet, bleek dat het substraat uiteindelijk zelfs boven oorspronkelijke gewicht uitkwam, namelijk 1119gr. Dit resulteert in 6% meer waterbergend vermogen op 10cm. Afbeelding 11 laat zie hoe het substraat onder water is gezet.

Deze bevindingen zijn interessant omdat dit aantoont dat substraat tijd nodig kan hebben om volledig water op te nemen. En het zal waarschijnlijk tijd nodig om uit te kunnen lekken en in field capacity te komen. In deze situatie heeft het substraat pas volledig water op kunnen nemen nadat het enkele dagen onder water heeft gestaan. Dit is in de praktijk te vergelijken met een begroeid dak waarvan de afvoer verstopt is geraakt en het substraat verzadigd raakt. Het kan dus gebeuren dat substraat in normale situaties in de praktijk niet de volledige field capacity bereikt wat invloed kan hebben op het afwateringssysteem.

Meting 10cm RHP	Substraat uit zak	Substraat uit oven	Substraat na week onder water
<b>Gewicht droog</b>	796gr	402gr	402gr
<b>Gewicht na uitlek</b>	1043gr	844gr	1119gr
<b>Vocht toename</b>	21.7%	60.6%	66.2%

Tabel 6: Diverse uitkomsten in gewicht waterbergend vermogen.



Afbeelding 11: Substraat voor een week onder water.



#### 4.4 KNMI neerslag- en verdampingdata

Voor de modelberekeningen met SOBEK wordt er neerslag en verdamping data gebruikt van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Het KNMI haalt deze gegevens uit meetstations, verspreid over Nederland. Enkele meetstations hebben gedurende 50 jaar de neerslag en verdamping gemeten. In SOBEK is er de mogelijkheid om een fictieve buienreeks te gebruiken. Echter is voor dit onderzoek gekozen om data te gebruiken van het KNMI, omdat zodoende de uitkomsten direct te koppelen zijn aan de locatie waarvoor de modellering wordt uitgevoerd. Uit analyses van verschillende meetstations bleek dat er verschillen zijn in de neerslag en verdampinggegevens. Tabel 7 geeft een aantal meetstations en de onderlinge verschillen weer.

Provincie	Plaats	Neerslag (mm)	Verdamping (mm)
Zuid-Holland	Rotterdam	21.824mm	14.683mm
Limburg	Maastricht	19.037mm	14.835mm
Zeeland	Vlissingen	18.716mm	15.669mm
Utrecht	De Bilt	21.247mm	14.206mm
Groningen	Eelde	<b>20.619mm</b>	<b>13.861mm</b>

Tabel 7: Vergelijking data meetstations totale neerslag en verdamping voor de periode 1988 - 2012.

De gegevens in deze tabel geven de totale neerslag en verdamping in millimeters weer voor de periode van 1-1-1988 tot en met 31-12-2012. Er zijn hierin duidelijke verschillen te zien tussen de meetstations. Deze gegevens kunnen invloed hebben op de effectiviteit van begroeide daken. Om dit uit te sluiten zijn er meerdere meetstations meegenomen in de SOBEK modelleringen.

In Nederland zijn er in totaal 36 meetstations van het KNMI, zie ook afbeelding 12. Er is per provincie gekeken naar de neerslag en verdamping. Zo zijn er een aantal meetstation die vrij jong zijn en zodoende nog maar beperkte neerslag en verdamping hebben gemeten. Het KNMI gebruikt een periode van 30 jaar om een klimaat te beschrijven (KNMI, 2011). Zodoende is ook in dit onderzoek ervoor gekozen om een neerslag- en verdampingsreeks van minimaal 30 jaar te gebruiken in de SOBEK modelleringen. Voor de modelleringen wordt er gebruik gemaakt van de KNMI data voor de jaren 31-12-1982 tot 31-12-2012, hierna aangegeven met 1982-2012.







Afbeelding 12: Overzicht KNMI meetstations van Nederland, gebruikte stations weergegeven met rode stip.

Omdat niet alle meetstations metingen van deze periode hebben, zijn alleen de meetstations gekozen die dit wel hebben en die in de buurt van stedelijke gebieden meten. De afstanden tot deze steden is niet bekeken, het doel hiervan is om neerslag en verdamping te gebruiken die in de omgeving van stedelijke gebieden is gemeten. De invloed van begroeide daken op watersystemen in agrarische gebieden is minder interessant en deze gebieden worden daarom niet meegenomen. Hieruit zijn een zestal meetstations gekomen die in tabel 8 staan weergegeven.

Provincie	Plaats
Limburg	Maastricht
Zeeland	Vlissingen
Noord-Holland	De Kooy
	Schiphol
Zuid-Holland	Rotterdam
Friesland	Leeuwarden

Tabel 8: Overzicht meegenomen meetstations.

De data van de meetstations moeten ingevoerd worden in SOBEK. Dit gebeurt via de meteorological data settings in SOBEK. Via Excel wordt alle data leesbaar gemaakt en vervolgens naar SOBEK gekopieerd. SOBEK gebruikt deze data vervolgens in de modelleringen.





## 4.5 Samenvattend dataverzameling

Op basis van de waterretentie curve zou de watercapaciteit in substraat per laagdikte naar verwachting anders moeten zijn. Omdat in dit onderzoek is gekeken naar de werking van een minimale en maximale variant van een begroeid dak, was informatie nodig van de watercapaciteit van substraat bij bepaalde laagdiktes. Deze informatie bleek niet voorhanden te zijn. Wel werd er informatie gegeven die was gebaseerd op metingen vanuit de Duitse Dachbegrünungsrichtlinie (FLL). Een richtlijn voor het ontwerpen en toepassen van begroeide daken. Deze informatie bleek niet voldoende om er een dikte afhankelijkheid uit te halen. Ofwel, wat is het waterbergend vermogen van substraat bij bepaalde laagdiktes. Zodoende zijn zelf metingen verricht die de watercapaciteit van een aantal substraat soorten bij verschillende laagdiktes zouden moeten geven. Uit deze metingen is inderdaad gebleken dat ook bij substraat de watercapaciteit per laagdikte veranderd. Deze gegevens zijn meegenomen in de SOBEK modelleringen.

Uit analyses van verschillende meetstations en diens neerslag- en verdampingsgegevens bleek dat er aanzienlijke, onderlinge verschillen waren. Begroeide daken zouden andere uitkomsten kunnen geven wanneer ze op verschillende locaties in Nederland worden toegepast. Er zijn zodoende een aantal meetstations geselecteerd die metingen van minimaal 30 jaar geven, deze gegevens zijn meegenomen in de SOBEK modelleringen.



## 5. SOBEK modelleringen

Om de werking en invloed van begroeide daken op het afwateringssysteem te berekenen, is gebruik gemaakt van het modelleringsprogramma SOBEK. Met dit programma kan met de invoer van neerslag- en verdampingsgegevens de werking van een begroeid dak worden gesimuleerd. Met de uitkomsten uit SOBEK kan een uitspraak gedaan worden over de werking van een begroeid dak en invloed ervan op het afwateringssysteem. Dit hoofdstuk gaat verder in op SOBEK en hoe het is gebruikt in dit onderzoek. Er is met SOBEK versie 2.12.004 gewerkt gedurende dit onderzoek.

### 5.1 Toelichting SOBEK

SOBEK is een modelleringsprogramma dat is geschreven door Deltares<sup>8</sup>. Dit programma kan verschillende scenario's simuleren waarmee bijvoorbeeld watersystemen geoptimaliseerd kunnen worden. Wanneer men een rioolstelsel wil aanleggen, kan dit riool netwerk in SOBEK worden gemodelleerd en kan inzichtelijk worden gemaakt waar knelpunten zitten in het systeem. Op deze manier kunnen onverwachte problemen zoveel mogelijk worden voorkomen in de praktijk. Het programma is zeer veelzijdig, zo kan men riolen, drainage, overstromingsrisico's, irrigatie systemen et cetera modelleren en door lokale neerslag – en verdampinggegevens toe te passen kan er een indruk worden verkregen van de werking op het lokale afwateringssysteem.

Alle type systemen kunnen met behulp van zogenaamde 'strengen' (reaches) en 'knopen' (nodes) worden nagebootst. Een streng is een verbinding tussen knopen en kan bijvoorbeeld bestaan uit een watergang, riool of verharding (weg, stoep). Een streng vervoert voornamelijk water over een afstand in het programma. Een knoop kan een verbindingspunt zijn waarop een streng uitkomt, zoals een rioolput, meer of een gemaal. Maar met een knoop kan ook een dak worden gesimuleerd of de oppervlakte van een tuin, plein et cetera. Knopen zijn vaste punten binnen SOBEK. Binnen dit onderzoek wordt SOBEK gebruikt om de werking van een begroeid dak op een afwateringssysteem te simuleren. Een begroeid dak wordt met behulp van een knoop nagebootst. sectie 5.2 gaat hier verder op in.

SOBEK is een veel gebruikt modelleringsprogramma in Nederland maar ook in het buitenland. Binnen Nederland gebruiken veel gemeenten het programma en zo ook de gemeente Rotterdam. De gemeente Rotterdam heeft grote delen van het afwateringssysteem van Rotterdam gemodelleerd in SOBEK. Daarnaast wordt van SOBEK gebruik gemaakt omdat met dit programma binnen het lectoraat (sectie 2.1) al eerder onderzoeksresultaten zijn verkregen. Om aansluiting te behouden met de eerder uitgevoerde onderzoeken, zal ook in dit onderzoek verder gewerkt worden met SOBEK.

### 5.2 Invoer data SOBEK

Het vermogen van een begroeid dak om water vast te houden wordt bepaald door de volgende factoren (Uhl et al, 2008):

1. Substraatsoort
2. Vegetatiesoort
3. Drainagelaag

De drie hierboven genoemde factoren betreffen lagen die op een begroeid dak worden aangebracht. Zie voor meer verduidelijking afbeelding 3 van sectie 3.3. Iedere laag heeft een bepaalde capaciteit

---

<sup>8</sup> Deltares is een kennisinstituut op het gebied van water, ondergrond en infrastructuur. SOBEK is een programma dat is geschreven door Deltares. [www.deltares.nl](http://www.deltares.nl)



om water vast te houden. Bij substraat hangt de capaciteit om water vast te houden af van het soort substraat dat wordt gebruikt en de dikte van het substraat. Hetzelfde geldt voor vegetatie, plant x kan meer water opnemen en verdampen dan plant y, in enkele gevallen fluctueert ook de mate van verdamping bij vegetatie.

In het modelleringsprogramma SOBEK kan een knoop worden toegepast in een model waar een begroeid dak mee kan worden gesimuleerd. SOBEK werkt met de 'van Genuchten' relatie voor onverzadigde grondwaterstroming (Verschelling, 2012:11). Deze knoop (flow, type 3 manhole with runoff<sup>9</sup>) vraagt om specifieke data om het waterhoudende vermogen van het begroeide dak te bepalen. Er wordt om de volgende data gevraagd:

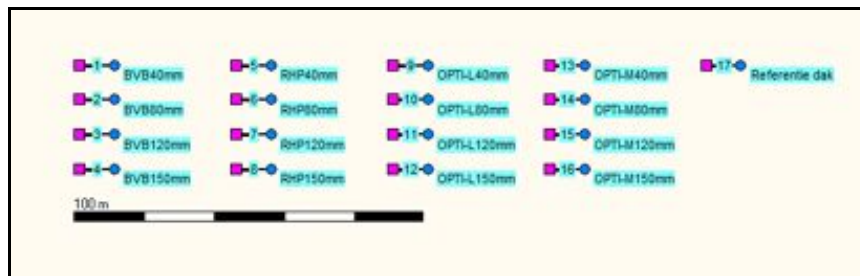
1. Thickness of soil layer (mm)
  - a. *Hiermee wordt de dikte van het substraat in mm bedoeld. In dit onderzoek wordt voor ieder begroeid dak een minimale en maximale variant meegenomen. De soort variant hangt af van de dikte van het dak. Aangenomen wordt dat een begroeid dak met een minimale substraat dikte vanaf 40mm pas effectief gaat werken, dit is de minimale invoer. De overgang tussen een extensief en intensief begroeid dak is gedefinieerd bij 150mm, dit is de maximale invoer.*
2. Evaporation Crop Factor (-)
  - a. *Het soort vegetatie heeft invloed op de hoeveelheid water dat vanuit het substraat wordt onttrokken. Dit wordt ook wel de Evaporation Crop Factor genoemd en is afhankelijk van onder andere het seizoen (KNMI, 2011). Dit staat gelijk aan de verdampings coëfficiënt (Samuel Bennet, 2008).*
3. Theta Initial (%)
  - a. *Theta initial staat voor de hoeveelheid vocht die in het substraat aanwezig is aan het begin van de berekening. De Engelse term hiervoor is soil moisture en kan eventueel berekend worden. In SOBEK wordt de waarde 0 ingevoerd omdat vanuit oeverdroge resultaten gewerkt wordt.*
4. Theta at wilting point (%)
  - a. *'Wilting' is Engels voor verwelken. Hiermee wordt het moment bedoeld waarop de vegetatie van een begroeid dak geen water meer kan opnemen vanuit het substraat. De wortels van de vegetatie nemen water op, maar wanneer het substraat onder een x percentage water verzadiging uitkomt, hebben de wortels niet meer voldoende vermogen om het water op te zuigen (Nyvall, 2002). In dit onderzoek is dit als 0 ingevuld, omdat de field capacity tegenover oeverdroog is bepaald. In de praktijk kan het in uitzonderlijke gevallen voorkomen dat al het water uit het substraat wordt onttrokken.*
5. Theta at Field Capacity (%)
  - a. *Substraat heeft open ruimtes genaamd poriën. Water dat in het substraat terecht komt, zal voor een deel uit het substraat lekken door de zwaartekracht. De poriën houden een ander deel van het water vast, ook wel vochtspanningspotentiaal genoemd. Het uiteindelijke verschil tussen theta wilting point en de field capacity staat voor de Field Capacity (Pidwirny, 2006).*
6. Theta at Soil Saturation (%)
  - a. *Wanneer het substraat volledig gevuld is met water, wordt dit Soil Saturation genoemd. Dit houdt in dat alle ruimtes in de poriën zijn gevuld met water. Nadat de toevoer van neerslagwater stopt, voert het substraat net zolang af tot deze weer terug in de field capacity toestand komt. Dit zal in praktijk (bij een goed functioneel dak) nooit optreden.*

<sup>9</sup> Wanneer een begroeid dak in SOBEK gemodelleerd wordt, moet dit type knoop worden toegepast. Dit geldt op dit moment voor versie 2.12.004 van SOBEK.



7. Conductivity at Field Capacity (mm/min)
  - a. *De conductivity geeft in deze context aan hoe snel het water door het substraat stroomt, ofwel percolatie snelheid. Dit betreft de K-waarde( de doorlatendheid) in onverzadigde toestand.*
8. Conductivity at Soil Saturation (mm/min)
  - a. *Wanneer het substraat volledig is gevuld met water, zal het water sneller door het substraat stromen. De verzadigde doorlatendheid.*

De acht bovenstaande punten zijn nodig om een begroeid dak in SOBEK te kunnen modelleren. Met behulp van de resultaten uit de proefopstelling, kunnen enkele van bovenstaande waarden worden ingevoerd in SOBEK. In SOBEK zijn er per substraat vier laagdiktes gemodelleerd. Daarnaast is er een referentie dak gemodelleerd die een normaal plat dak simuleert. Afbeelding 13 laat zien hoe de begroeide daken en het referentie dak in SOBEK zijn getekend.



Afbeelding 13: Weergave model begroeide daken en referentie dak SOBEK.

Te zien is op bovenstaande afbeelding dat alle modellen bestaan uit een tweetal knopen en een streng. Er wordt met dit model enkel gekeken naar de situatie die zich voordoet op het begroeide of referentie dak. Met dit model wordt er vanuit gegaan dat het neerslagwater dat op het dak neerkomt verdampt, of wordt afgevoerd richting het rioolstelsel. Er wordt geen rekening gehouden met het neerslagwater dat in tuinen terecht komt of op straat, eenvoudigweg omdat deze vormen van afvoer geen invloed hebben op wat zich op het dak afspeelt. Zie sectie 2.1. Tabellen 9.a, 9.b, 9.c laten zien welke waarden en dimensies er zijn gebruikt voor de modellen zoals weergegeven in afbeelding 13. Alle waarden en dimensies die in de tabellen zijn te vinden, zijn handmatig ingevoerd. Wanneer bovenstaand model in SOBEK ingevoerd moet worden, zal met deze waarden en dimensies gewerkt moeten worden. Alle overige waarden en dimensies zijn 'default' waarden (standaard in SOBEK aangegeven), deze zijn niet aangegeven in de tabel. Een korte toelichting op de tabel staat hieronder.

- **FLOW MODEL MANHOLE WITH RUNOFF**
- Surface-, bottom level: Dit is het hoogste en laagste punt van de knoop of streng ten opzichte van het maaiveldniveau. Het kan de hoogte van het dak aangeven, maar bepaalt ook de stromingsrichting van het af te voeren water tussen twee knopen of in een streng.
- Opp. : De oppervlakte van de daken wordt in dit model gedefinieerd met 50m<sup>2</sup>. Deze waarde is gekozen omdat hiermee de uitkomsten duidelijker zijn. Deze waarde heeft overigens geen invloed op de werking, wel op de hoeveelheid water die van het dak afkomt.
- Storage area: Knopen hebben standaard een storage, of een vermogen om te bergen. Deze wordt zo klein mogelijk gemaakt om de uitkomsten zo min mogelijk te beïnvloeden.
- Bergend vermogen: Dit is geen waarde die wordt ingevoerd in SOBEK, maar laat zien wat het bergend vermogen is van het dak aan de hand van de dikte en de field capacity.



– **FLOW MODEL BOUNDARY NODE**

- Boundary: Dit is de rand van het model en ‘sluit’ het model af. Zonder rand kan het water ‘nergens’ heen en zal er geen simulatie uitgevoerd kunnen worden.
- Well-, street storage: Knopen hebben standaard een storage, of een vermogen om te bergen. Deze wordt zo klein mogelijk gemaakt om de uitkomsten zo min mogelijk te beïnvloeden.
- Er zit ook een afvoer coëfficiënt (0-1 liter/min) in SOBEK, die aangeeft hoe het water van een oppervlak afstroomt. 0,1 betekend dat de afvoer zich in 10 gelijke stappen van één minuut verdeeld; 0,2 in 5 stappen, 0,5 in 2 stappen, 1 in 1 stap.

– **FLOW MODEL FLOW PIPE**

- Cross section: Dit geeft de vorm en dimensie van de afvoerpijp af die ook standaard worden toegepast in de SOBEK modellen van de gemeente Rotterdam.
- Friction type: Dit geeft de formule aan waarmee de weerstand in de pijp wordt bepaalt. Dit type wordt gebruikt in de SOBEK modellen van de gemeente Rotterdam.
- Friction value: Deze waarde hoort bij de friction type en wordt gebruikt in de SOBEK modellen van de gemeente Rotterdam.

In de drie rechtse kolommen in tabel 9.a zijn waarden aangegeven die niet in SOBEK ingevoerd hoeven te worden. Deze waarden zijn weergegeven om een indicatie te geven van de hoeveelheid water die het substraat bij een bepaalde dikte kan bergen. Zo is er een indicatie gegeven van de berging bij field capacity, soil saturation en het verschil tussen deze twee. Voornamelijk het verschil is interessant voor de bergings- en afvoereis van 50liter/24uur zoals beschreven in sectie 2.1. In de conclusie en aanbevelingen (hoofdstuk 8) wordt aangegeven hoe met deze berging omgegaan kan worden om deze eis te behalen.

De waarden die worden gebruikt door de gemeente Rotterdam en zijn gebruikt in de modelleringen binnen dit onderzoek, zijn niet gevalideerd. Dit heeft overigens geen invloed op de uitkomsten van de modelleringen omdat deze waarden enkel zijn gebruikt bij het dimensioneren van de riolering. Er wordt niet gekeken naar de werking van het riool in SOBEK, maar enkel naar wat het begroeide dak doet. Om de modellen sluitend te maken, zoals te lezen in hoofdstuk 5.2 strengen reaches, moet er een riool gemodelleerd worden.



FLOW MODEL 'MANHOLE WITH RUNOFF NODE' (VOOR ALLE DAKEN)															BERGING		
RAINFALL RUNOFF MODEL DATA EDIT											FLOW MODEL DATA EDIT				BEREKEND TER VOORBEELD		
Dak type	Substraat dikte	Surface level	Opp.	Evap. crop factor	Theta initial	Wilting point	Field capacity	Soil saturation	Field capacity conductivity	Soil saturation conductivity	Botom Level	Storage Area	Surface Level	Storage Area	Bergend vermogen Field capacity	Bergend vermogen Soil saturation	Verschil bergend vermogen
BVB	40mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	56.3%	60%	5mm/min	16.5mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	22.5mm	24.0mm	1.5mm
BVB	80mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	54.9%	60%	5mm/min	16.5mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	43.9mm	48.0mm	4.1mm
BVB	120mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	43.9%	60%	5mm/min	16.5mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	52.7mm	72.0mm	19.3mm
BVB	150mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	42.5%	60%	5mm/min	16.5mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	62.7mm	90.0mm	27.3mm
RHP	40mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	73.0%	73%	5mm/min	200mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	28.0mm	29.2mm	1.2mm
RHP	80mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	66.9%	73%	5mm/min	200mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	53.5mm	58.4mm	4.9mm
RHP	120mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	58.9%	73%	5mm/min	200mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	70.7mm	87.6mm	16.9mm
RHP	150mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	55.2%	73%	5mm/min	200mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	82.8mm	109.5mm	26.7mm
OPTI-L	40mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	60.9%	86%	5mm/min	86mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	24.3mm	34.4mm	10.1mm
OPTI-L	80mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	49.7%	86%	5mm/min	86mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	39.7mm	68.8mm	29.1mm
OPTI-L	120mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	46.4%	86%	5mm/min	86mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	55.7mm	103.2mm	47.5mm
OPTI-L	150mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	42.9%	86%	5mm/min	86mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	64.3mm	129.0mm	64.7mm
OPTI-M	40mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	47.6%	65%	5mm/min	60mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	19.0mm	26.0mm	7.0mm
OPTI-M	80mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	42.4%	65%	5mm/min	60mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	33.9mm	52.0mm	18.1mm
OPTI-M	120mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	37.5%	65%	5mm/min	60mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	45.0mm	78.0mm	33.0mm
OPTI-M	150mm	1.5m	50m <sup>2</sup>	1 (-)	0%	0%	33.7%	65%	5mm/min	60mm/min	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	50.5mm	97.5mm	47.0mm
Ref. dak	n.v.t	1.5m	50m <sup>2</sup>	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	1.0m	0.0001m <sup>2</sup>	1.1m	0.0001m <sup>2</sup>	2.0mm	2.0mm	0.0mm

Table 9.a: Gebruikte waarden en dimensies in SOBEK model knoop begroeid en referentie dak.

FLOW MODEL 'BOUNDARY NODE' (VOOR ALLE DAKEN)						
Type	Botom level	Well storage	Street level	Street storage level	-	-
Flow Boundary	0.5m	0.0001m <sup>2</sup>	0.51m	0.0001m <sup>2</sup>	-	-
FLOW MODEL 'FLOW PIPE' (VOOR ALLE DAKEN)						
Type	Cross section	Level upstream	Level downstream	Friction type	Value	Length
Flow Pipe	Round 80mm	1.0m	0.5m	White-Colebrook	0.003 (-)	10m

Tabel 9.b: Gebruikte waarden en dimensies in SOBEK model voor strengen.

SETTINGS					
Modules	Time settings	Output options			Simulation settings
	Timestep computation	Timestep output	Output value	Output definition	Hours of evaporation
1DFLOW (RURAL)	1 uur	24 uur	Average	-	-
1DFLOW (URBAN)	1 uur	24 uur	Average	-	-
RR (Rainfall Runoff)	1 uur	24 uur	Average	Balances Boundary node Flows at links Paved node Sewerage node Structure node	0700u – 1900u (gedurende gehele jaar)

Tabel 9.c: Gebruikte waarden en dimensies in SOBEK model settings.



### 5.3 Gevoeligheidsanalyse SOBEK

SOBEK vraagt diverse waarden die nodig zijn om modellen te kunnen dimensioneren. Alle waarden dienen in principe mee genomen te worden in de berekeningen die SOBEK uitvoert, maar er bestaat een kans dat door ontwerpfouten in het programma waarden niet meegenomen worden. Hoewel niet alle waarden even belangrijk zijn, bijvoorbeeld de hoogte waarop een dak zich bevindt, zijn er voldoende waarden die wel degelijk de resultaten kunnen en moeten beïnvloeden. Om te controleren of SOBEK deze belangrijke waarden meeneemt wordt er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Door voor een factor diverse waarden in te voeren en een willekeurige berekening uit te voeren, zouden verschillen in de uitkomsten de werking van de factor aan moeten tonen. Wanneer een factor geen of een verwaarloosbare verandering laat zien in de uitkomsten, dan is deze factor niet bepalend. Om te controleren of SOBEK wel correcte berekeningen uitvoert, wordt het programma met enkele stappen gevalideerd. Indien er fouten in de uitkomsten voorkomen, dient het model of de ingevoerde waarden opnieuw bekeken te worden en aangepast totdat de uitkomsten correct zijn.

#### 5.3.1 Validatie op model en invoer fouten

Wat het afwateringssysteem in gaat, moet het afwateringssysteem ook kunnen verlaten. Modellen in SOBEK worden gemaakt door strengen en knopen met elkaar te verbinden. Deze strengen en knopen hebben technische waarden die ingevuld moeten worden zoals de diameter van een rioolbuis. Wanneer deze waarde niet of niet goed zijn ingevuld, kan dit de uitkomst van het model beïnvloeden. Maar het kan ook zijn dat de hoogtes van bijvoorbeeld rioolputten en rioolbuizen niet gelijk zijn waardoor ze niet op elkaar aansluiten.

SOBEK kan gevalideerd worden met behulp van de functie 'check flow model'. Wanneer een systeem is gemodelleerd kan een simulatie gestart worden waarmee de werking van het model wordt berekend. Alvorens de simulatie te starten kan het model gecontroleerd worden op fouten, zie afbeelding 14. Deze afbeelding laat zien dat er een fout zit bij de nodes, of knopen. Het model zal niet goed functioneren totdat de fout is verholpen. Fouten waar deze functie op controleert zijn bijvoorbeeld gericht op de ingevulde dimensies van knopen of strengen.



Afbeelding 14: Check flow model met fout indicatie in SOBEK model aangeduid met 'Fatal!'.



Een andere methode om te valideren is om handmatig te berekenen of de waarden die uit het model komen overeenkomen met de waarden die in het model zijn gestopt. Zo is bekend hoeveel neerslag er is gevallen tijdens een bepaalde reeks. Wanneer deze reeks wordt toegepast op het model en de uitkomsten laten een lagere waarde zien, kan aangenomen worden dat er een fout in het model is gemaakt. In dat geval dient het model nagekeken te worden op verkeerd ingevoerde waarden.

### 5.3.2 Gevoeligheid modelinvoer op uitkomsten

De factoren die een begroeid dak in SOBEK bepalen, zijn onder andere bepaald met de proefopstelling. Zie voor een overzicht van deze factoren het overzicht hieronder.

- Thickness of soil layer (mm)
- Theta at wilthing point (%)
- Theta at field capacity (%)
- Theta at soil saturation (%)
- Theta initial (%)

De factoren hierboven veranderen mee wanneer de dikte van het substraat verandert. Op deze manier wordt direct inzichtelijk gemaakt wat de invloed van deze factoren is in het programma en of SOBEK daadwerkelijk deze factoren gebruikt. Als dat niet zou gebeuren, dan zouden alle daken dezelfde uitkomsten moeten geven. De overige factoren veranderen in principe niet omdat zij niet afhankelijk zijn van de dikte van de substraat laag. Wanneer voor deze factoren een standaard invoer wordt meegegeven, zal niet duidelijk zijn of SOBEK hier mee werkt. Deze factoren bepalen wel deels de werking van een begroeid dak. De desbetreffende factoren staan hieronder weergegeven.

- Ovendroog vs. vochtig substraat (-)
- Evaporation crop factor (-)
- Conductivity at field capacity (mm/min)
- Conductivity at soil saturation (mm/min)

Zoals in sectie 4.3.1 is te lezen, zijn de substraten voor 24 uur gedroogd in de oven. Het waterbergend vermogen is zodoende bepaald vanuit een ovendroge situatie. In de praktijk zal substraat niet of zelden in een ovendroge toestand terecht komen, maar altijd enigszins vochtig zijn. Dit zou betekenen dat de metingen een hogere waterbergend vermogen aantonen dan het substraat in de praktijk zal hebben. De waarden van het substraat die zijn gebaseerd op de ovendroge metingen, zijn zo in SOBEK ingevoerd. Er zijn test metingen gemodelleerd in SOBEK waarbij een ovendroog substraat werd vergeleken met een vochtig substraat. Uit de uitkomsten is gebleken dat het ovendroge substraat enkele buien meer nodig had om op hetzelfde niveau te komen als het al vochtige substraat. Dit komt omdat het substraat naar zijn field capacity toegaat, en hetzelfde gaat werken als het al vochtige substraat. De modelleringen worden nauwelijks beïnvloedt wanneer de waarden van het substraat - gebaseerd op ovendroog - worden ingevoerd, maar deze waarden zijn wel nodig om het daadwerkelijke waterbergende vermogen te kunnen bepalen en dus het maximale resultaat te behalen.

De evaporation crop factor (gewasverdamping) hangt van de vegetatie af. De conductivity at field capacity en soil saturation wordt en bepaald door de samenstelling van het substraat. Zodoende hebben deze factoren een vaste waarde. Om te bepalen of bovenstaande factoren worden meegenomen in SOBEK, zullen er een aantal berekeningen worden uitgevoerd waarin de waarden van deze factoren veranderen. Tabel 10 hierna laat zien hoe de factoren met variabele waarden worden ingevoerd.

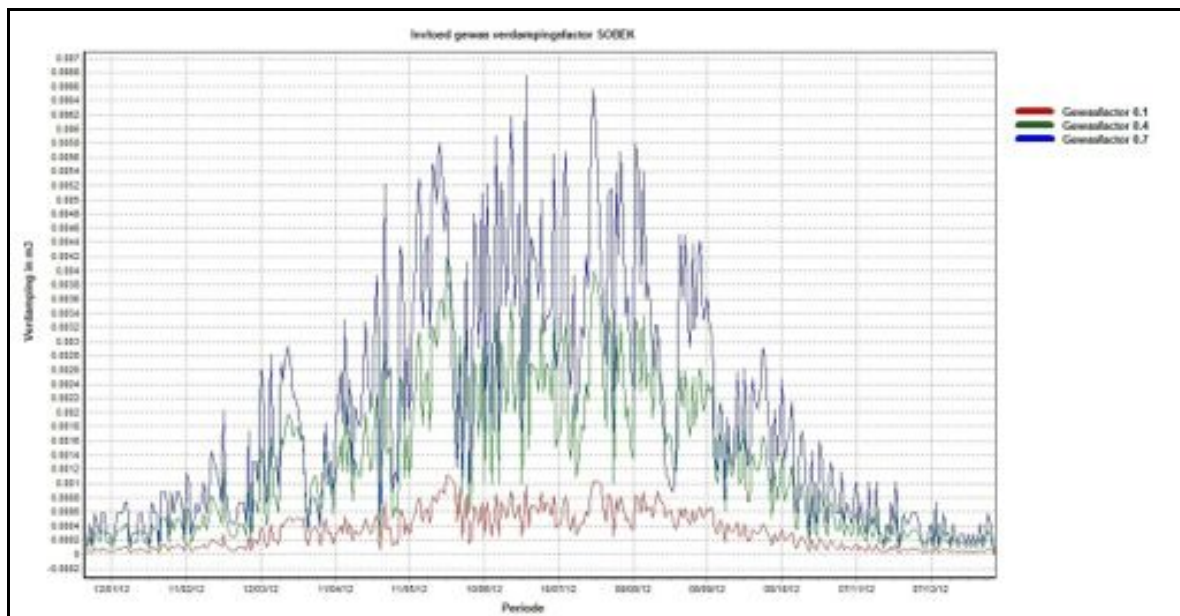


Factor	Waarde	Waarde	Waarde	Waarde	Factor	Waarde	Factor	Waarde
Evaporation crop factor (-)	0.1	0.4	0.7		Neerslag	Rotterdam 2012	Verdamping	Rotterdam 2012
Cond. Field capacity (mm/min)	0.01	0.1	1.0	10	Neerslag	100mm/uur	Verdamping	5mm/uur
Cond. Soil saturation (mm/min)	0.1	1	10	100	Neerslag	60mm/uur	Verdamping	4mm/uur

Tabel 10: Variabele waarden in SOBEK ten behoeve van gevoeligheidsanalyse.

### Evaporation crop factor

De evaporation crop factor in SOBEK wordt bepaald middels de formule van Makkink (Hiemstra, 2011), ook wel de referentie gewasverdamping van Makkink genoemd. Makkink berekent hoeveel een referentiegewas (gras) verdampt op basis van zonstraling en temperatuur. Een extensief begroeid dak kan worden voorzien van sedum planten, grassen en kruiden. Voor deze gewassen wordt een referentiewaarde aangenomen van 1. Deze waarde komt overeen met het referentiegewas 'gras' en is over nagenoeg het gehele jaar 1 (KNMI, 2011). Andere referentiegewassen betreffen landbouwgewassen die niet vergelijkbaar zijn met de vegetatiesoorten die op het begroeide dak voorkomen. Het gaat hier om gewassen zoals mais, aardappelen, suikerbieten et cetera. Gras is om deze reden het enige referentiegewas dat overeenkomt met de vegetatie op een begroeid dak. Om te bepalen of deze factor in SOBEK werkt, zijn er in een model enkele willekeurige waarden voor deze factor ingevuld en is er een neerslag reeks van één jaar toegepast. Op afbeelding 15 wordt een grafiek weergegeven die duidelijk de verschillen laat zien van de werking van een begroeid dak qua verdamping wanneer de gewas factor wordt aangepast. Hiermee wordt bevestigd dat SOBEK de gewasfactor goed gebruikt.



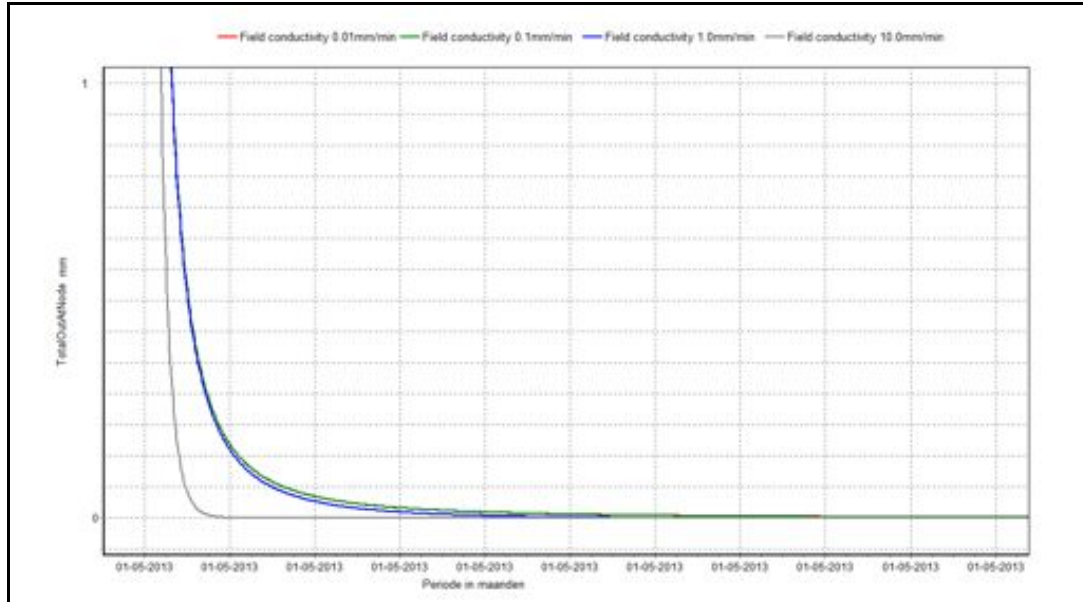
Afbeelding 15: Invloed evaporation crop factor SOBEK.

### Conductivity at field capacity

De conductivity at field capacity geeft aan hoe snel het neerslagwater door het substraat heen kan filteren. Deze waarde wordt in SOBEK ingevuld als 5mm/min wat inhoudt dat het substraat niet meer dan 5mm neerslag per minuut aan kan. Deze neerslag komt overeen met 300mm/uur wat in



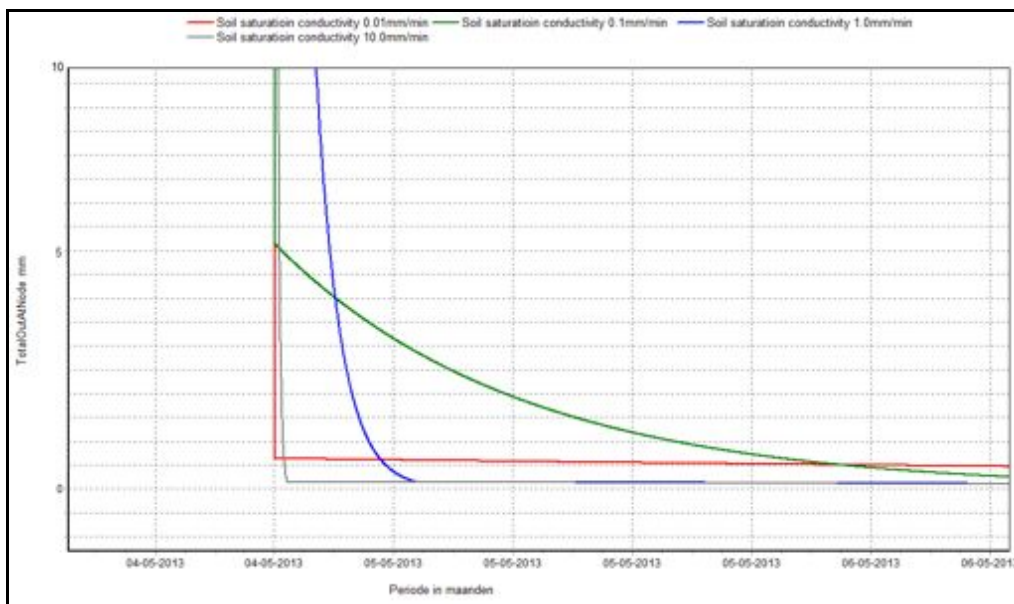
Nederland nog niet is voorgekomen. In SOBEK zijn de waarden aangepast zoals in tabel 10 is te lezen. Bij een neerslag van 100mm/uur valt er 1.6mm/min. Dit zou betekenen dat bij doorlatendheden lager dan 1.6mm/min dit zou resulteren in afstroming van neerslagwater via het oppervlak. Afbeelding 16 laat zien dat bij de waarden 0,01mm/min, 0.1mm/min en 1.0mm/min er afstroming plaatsvindt bij een neerslag van 1.6mm/min. Bij een waarde van 10mm/min vindt er geen afstroming meer plaats. SOBEK neemt deze factor dus mee in de berekeningen.



Afbeelding 16: Invloed conductivity at field capacity SOBEK.

### Conductivity at soil saturation

De conductivity at soil saturation geeft aan hoe snel het water door het substraat filtreert wanneer het begroeide dak verzadigd is. Onderstaande afbeelding 17 laat zien wat SOBEK met deze factor doet wanneer er willekeurige waarden voor worden ingevuld. Te zien is dat SOBEK ook deze waarden meeneemt in de berekeningen.



Afbeelding 17: Invloed conductivity at soil saturation SOBEK.



## 5.4 Uitkomsten SOBEK

Op basis van de neerslag en verdampingsreeksen per locatie over een periode van 30 jaar (1982-2012) zijn modelleringen uitgevoerd. Zoals beschreven in sectie 4.4 was de verwachting dat de begroeiende daken per locatie andere resultaten zouden geven. Deze verwachting is uitgekomen en geldt ook voor de laagdiktes die zijn meegenomen in SOBEK. Begroeiende daken hebben een locatie specifieke invloed op het afwateringssysteem. De resultaten uit SOBEK zijn verwerkt in grafieken en in een tabel. Tabel 11 laat zien wat een type begroeid dak op een specifieke locatie bij een bepaalde laagdikte voor uitwerking heeft op het afwateringssysteem.

			Rotterdam		Vlissingen		Maastricht		
			Neerslag gemiddeld:	864 mm/jaar	Neerslag gemiddeld:	744 mm/jaar	Neerslag gemiddeld	765 mm/jaar	
Dak type	Dikte (mm)	Berging (mm)	Verdampin g (%)	Afvoer (%)	Verdamping (%)	Afvoer (%)	Verdamping (%)	Afvoer (%)	
<b>Ref. dak</b>	2mm	2mm	25%	74%	28%	70%	27%	72%	
<b>BVB</b>	40mm	22.5mm	41%	56%	50%	50%	49%	51%	
	80mm	43.9mm	48%	52%	55%	45%	54%	45%	
	120mm	72.0mm	50%	50%	58%	42%	57%	43%	
	150mm	90.0mm	52%	48%	59%	40%	58%	41%	
	<b>OPTI -M</b>	40mm	26.0mm	42%	58%	48%	52%	48%	52%
	80mm	52.0mm	47%	53%	54%	46%	53%	47%	
	120mm	78.0mm	49%	51%	56%	43%	56%	44%	
	150mm	97.5mm	52%	48%	60%	40%	59%	41%	
	<b>OPTI-L</b>	40mm	24.3mm	44%	56%	51%	49%	50%	50%
	80mm	39.7mm	48%	52%	55%	45%	54%	45%	
	120mm	55.7mm	51%	49%	58%	42%	57%	42%	
	150mm	64.3mm	52%	48%	60%	40%	59%	41%	
<b>RHP</b>	40mm	28.0mm	45%	55%	52%	48%	51%	49%	
	80mm	53.5mm	50%	49%	58%	42%	57%	43%	
	120mm	70.7mm	52%	47%	60%	39%	59%	41%	
	150mm	82.8mm	54%	46%	62%	38%	60%	39%	
			De Kooy		Leeuwarden		Schiphol		
			Neerslag:	773 mm/jaar	Neerslag:	864 mm/jaar	Neerslag:	847 mm/jaar	
Dak type:	Dikte (mm)	Berging (mm)	Verdampin g (%)	Afvoer (%)	Verdamping (%)	Afvoer (%)	Verdamping (%)	Afvoer (%)	
<b>Ref. dak</b>	2mm	2mm	26%	72%	26%	72%	26%	72%	
<b>BVB</b>	40mm	22.5mm	46%	54%	46%	55%	45%	55%	
	80mm	43.9mm	50%	50%	51%	51%	49%	50%	
	120mm	72.0mm	52%	47%	53%	48%	51%	48%	
	150mm	90.0mm	54%	46%	55%	47%	53%	47%	
	<b>OPTI -M</b>	40mm	26.0mm	45%	55%	43%	57%	43%	57%
	80mm	52.0mm	49%	51%	48%	52%	48%	52%	
	120mm	78.0mm	51%	49%	50%	50%	50%	49%	
	150mm	97.5mm	54%	46%	53%	47%	53%	47%	
	<b>OPTI-L</b>	40mm	24.3mm	47%	53%	45%	55%	45%	55%
	80mm	39.7mm	50%	50%	49%	51%	49%	50%	
	120mm	55.7mm	53%	47%	52%	48%	52%	48%	
	150mm	64.3mm	54%	46%	53%	47%	53%	47%	
<b>RHP</b>	40mm	28.0mm	48%	52%	46%	54%	47%	53%	
	80mm	53.5mm	52%	47%	51%	48%	52%	48%	
	120mm	70.7mm	55%	45%	53%	46%	54%	46%	
	150mm	82.8mm	56%	44%	55%	45%	55%	45%	

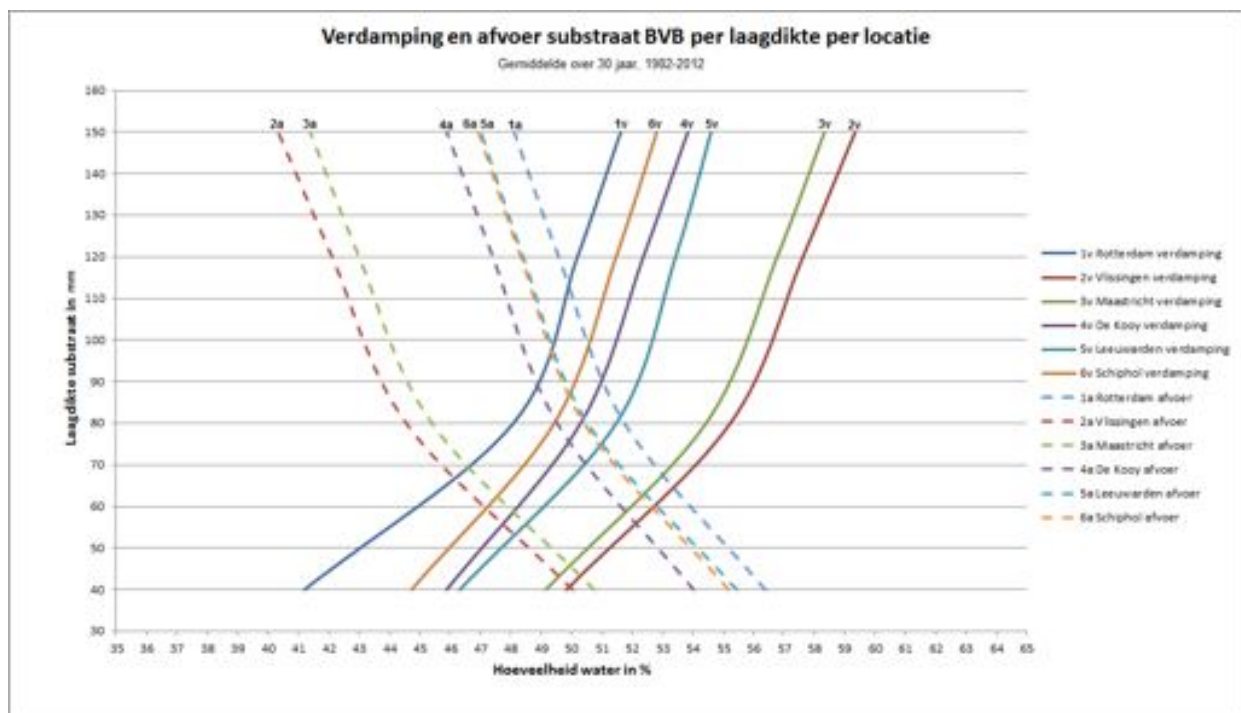
Tabel 11: Gemiddelde werking begroeiende daken op basis van lokale neerslag en verdamping. Periode 1982-2012.





De gegevens in voorgaande tabel laten de verschillen zien tussen het referentie dak en de begroeide daken. Ook laat het de werking van de begroeide daken bij de verschillende laagdiktes zien. Wat hieruit geconcludeerd kan worden is dat de werking van een begroeid dak afhangt van de locatie specifieke omstandigheden (neerslag en afvoer) maar ook van het soort substraat en de laagdikte ervan. Omdat de verschillen in de bovenstaande tabel maar enkele procenten bedragen en het verschil niet goed zichtbaar is, is afbeelding 18 hieronder weergegeven. Deze grafiek laat duidelijk het verschil van één type substraat zien per locatie en wat deze verdampt en afvoert.

De grafiek dient als volgt afgelezen te worden. De stippellijnen staan voor de afvoer richting het riool vanaf het begroeide dak. De doorgetrokken lijnen voor de verdamping van het begroeide dak. Op de verticale as staat de laagdikte aangegeven in millimeters. Op de horizontale as de hoeveelheid water die het dak afvoert of verdampt in procenten. Wanneer de lijnen van onder naar boven bekeken worden, dan worden beide parameters steeds beter. De waarde van de verdamping wordt groter, en de waarde van de afvoerlijn wordt steeds kleiner af. Te zien is dat de lijnen elkaar kruisen. Als voorbeeld wordt gekeken naar de lijnen 1a en 1v welke staan voor de afvoer (a) en verdamping (v) in Rotterdam. Deze lijnen kruisen elkaar op ongeveer 110mm dikte, vanaf die dikte is er een omslag punt ontstaan waarbij het dak meer verdampt dan het afvoert en dus effectiever is. Maar kijkend naar de verdamping en afvoer bij 40mm dikte (respectievelijk 41% en 57%), dan is te zien dat de afvoer en verdamping bij 110mm dikte niet is verdubbeld. Dit ligt namelijk rond de 50%. Dit laat zien dat een dikkere substraat laag wel meer water vast kan houden en verdampen, maar dat dit niet efficiënter hoeft te zijn ten opzichte van een dunnere laagdikte.



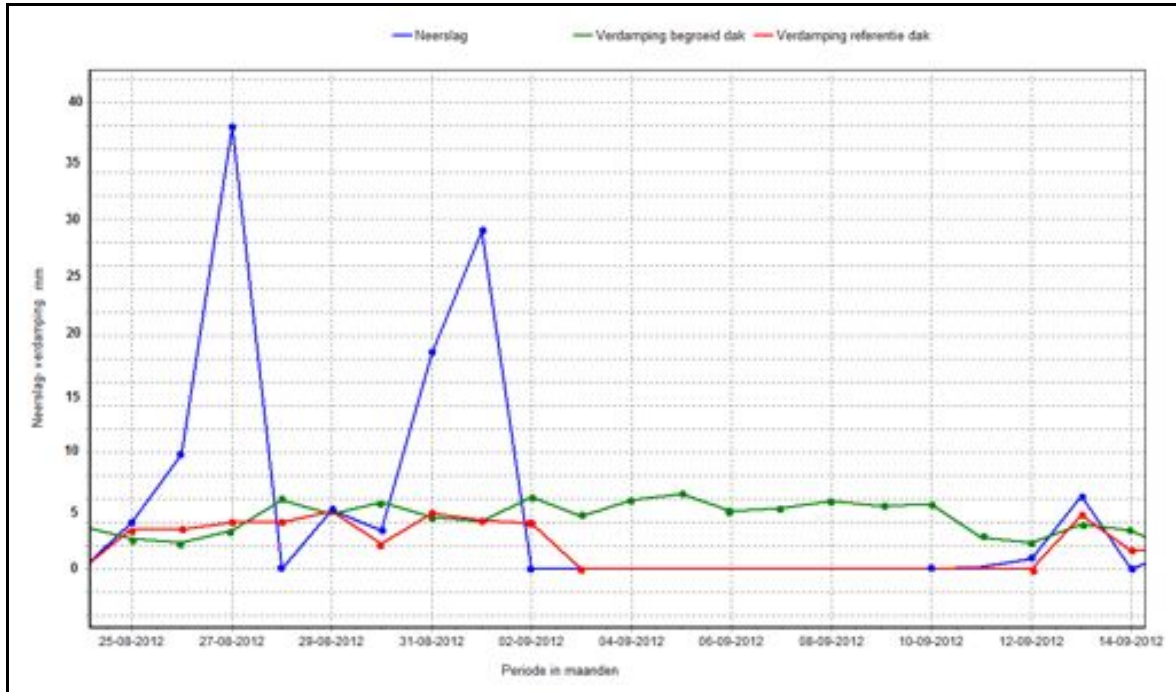
afbeeldingen 18: Verdamping en afvoer substraat per laagdikte gemiddeld over een periode 30 jaar.

In bijlage b zijn deze afbeeldingen voor alle onderzochte substraten terug te vinden.



### 5.4.1 Visualisatie werking begroeid dak vs. referentie dak

Met het model, dat in hoofdstuk 5.2 is beschreven, is een neerslag- en verdampingsreeks van 1 jaar gemodelleerd om de verschillen tussen een begroeid dak en een referentie dak aan te kunnen tonen. Zie ook de afbeeldingen 19 en 20. Er is hier voor 1 jaar gekozen omdat zo de resultaten overzichtelijker in een grafiek weer te geven zijn.

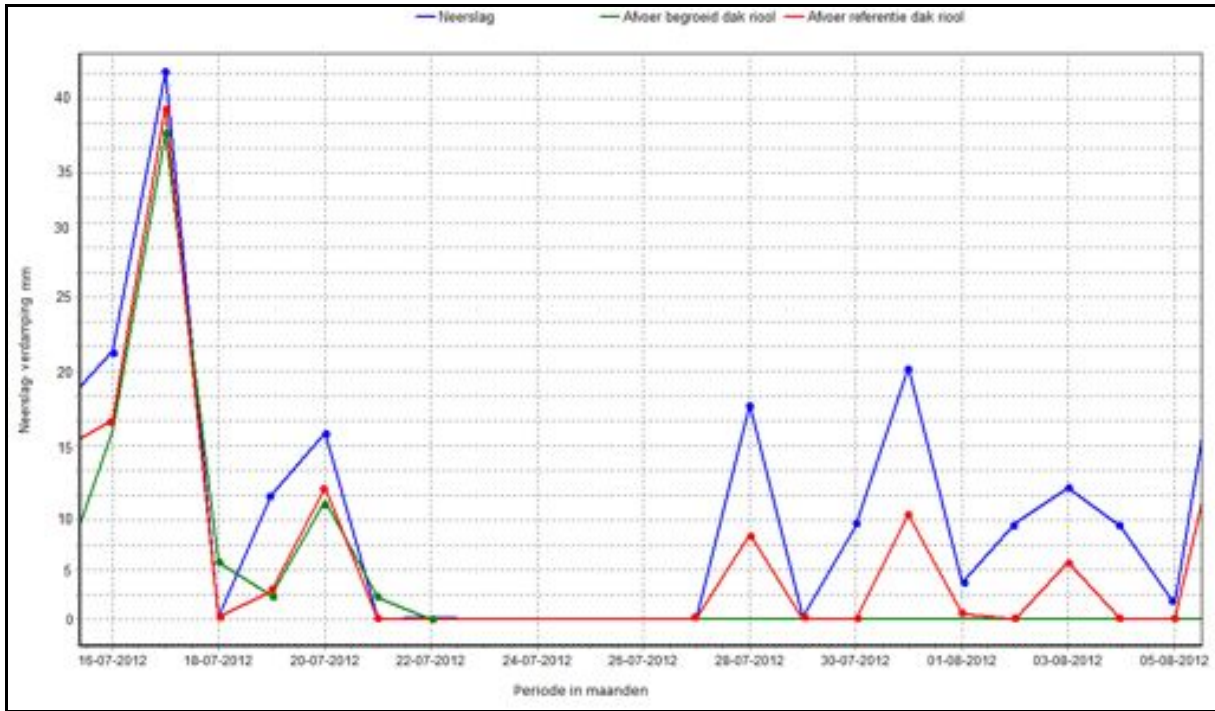


Afbeelding 19: Verschil in verdamping referentie dak en begroeid dak.

Op bovenstaande afbeelding is te zien hoe de betreffende daken verdampen. De weer data is ten tijde van augustus/september 2012, rond de zomer en relatief warm. Te zien is dat tijdens en na een neerslag reeks (blauwe lijn) het referentie dak (rode lijn) direct verdampst en kort na het einde van de neerslag is gestopt met verdampen. Het begroeide dak (groene lijn) echter verdampst nog steeds enkele dagen na de laatste neerslagreeks. In dit voorbeeld zelfs tot de volgende neerslag reeks die vijf dagen later plaats vindt. Dit voorbeeld laat zien dat het begroeide dak continu bezig is water te verdampen wat anders in het riool terecht zou komen, ook tijdens neerslag. Dit water wordt vastgehouden in het substraat. Het referentie dak houdt minder water vast en voert nagenoeg direct af tijdens neerslag. Om deze reden stopt het referentie dak vrij snel met verdampen omdat nagenoeg al het opgevangen water is afgevoerd naar het riool en niet meer verdampst kan worden. De punten geven aan waar de neerslag of verdamping begint of eindigt. Wanneer een punt op 0 staat, betekent dit dat de neerslag of verdamping bij het voorgaande punt is gestopt.







Afbeelding 20: Verschil in afvoer referentie dak en begroeid dak.

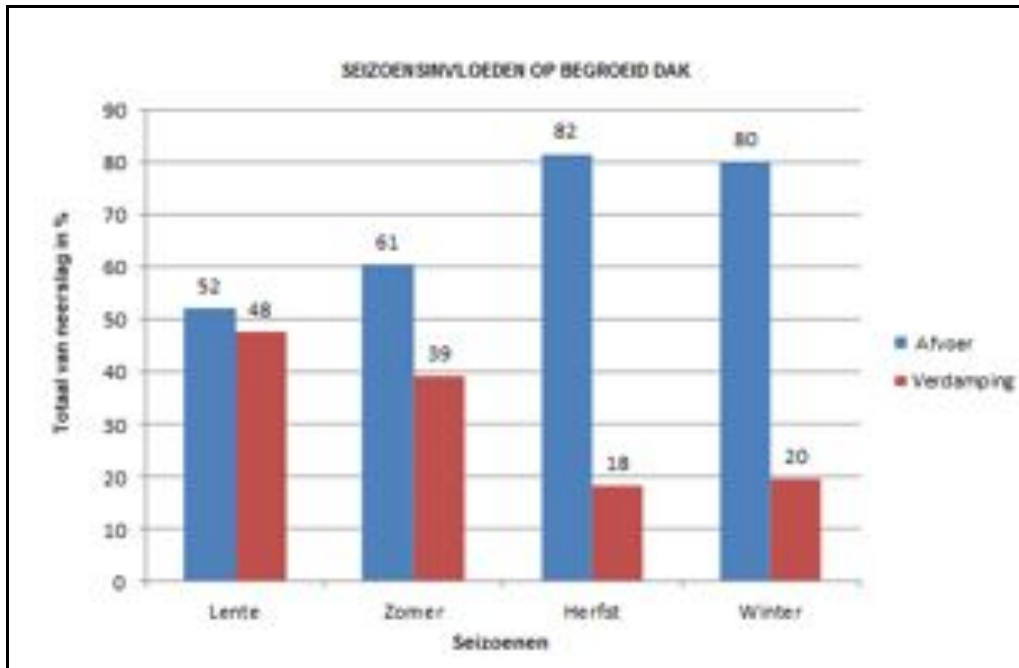
Bovenstaande afbeelding laat de afvoer zien van een referentie dak en een begroeid dak op het riool. De weer data is ten tijde van juli/augustus 2012 rond de zomer. De blauwe lijn betreft de neerslagreeks, de rode en groene lijn de afvoer op het riool van respectievelijk het referentie dak en begroeide dak. Te zien is dat de afvoer van het referentie dak nagenoeg altijd gelijktijdig is aan de neerslag. Het referentie dak begint met afvoeren op het moment dat de neerslag begint en bijna gelijktijdig stopt met afvoeren wanneer de neerslag eindigt. Het begroeide dak voert niet altijd af, ook niet ten tijde van neerslag. Dit komt omdat het substraat op het begroeide dak op die momenten niet de field capacity heeft bereikt en zodoende ook niet uitlekt en afvoert. Wanneer het begroeide dak wel afvoert, dan is field capacity overschreden (en de maximale berging van het dak bereikt). Wanneer het weer de field capacity bereikt, stopt de afvoer naar het riool. Vanaf dat moment zal het water verdampt worden. De punten geven aan waar de neerslag of afvoer begint of eindigt. Wanneer een punt op 0 staat, betekent dit dat de neerslag of afvoer bij het voorgaande punt is gestopt.

Er is bij het modelleren van het referentie dak geen rekening gehouden met oneffenheden op het dak. In de praktijk kan het voorkomen dat deze oneffenheden (mos aangroei, kiezelstenen et cetera) ervoor zorgen dat het bergend vermogen en de vertragende afvoer van neerslagwater groter is dan in SOBEK is gemodelleerd. Omdat het echter niet mogelijk is om met al deze factoren rekening te houden, is vastgehouden aan de 2mm berging die een referentie dak standaard heeft in SOBEK.



### 5.4.2 Seizoensinvloeden

Het waterbergend vermogen van een begroeid dak is afhankelijk van onder meer de verdamping en neerslag. Hoe meer verdamping er plaatsvindt, hoe sneller het dak weer volledig beschikbaar is na een regenbui. Hoe minder neerslag er is, hoe minder er verdampt hoeft te worden. Met deze gedachte is er in dit onderzoek gekeken naar diverse locaties in Nederland omdat de verhouding neerslag en verdamping niet overal gelijk is in Nederland. Zo zal er in de winter meer neerslag en minder verdamping zijn, en in de zomer andersom. De effectiviteit van een begroeid dak wordt dus ook nog eens bepaald door het seizoen. Dit is gecontroleerd met de uitkomsten vanuit SOBEK. Uit de resultaten bleek dat er inderdaad significante verschillen zitten in de werking van begroeide daken per seizoen. Afbeelding 21 laat dit ook zien, deze afbeelding laat de werking van een begroeid dak (BVB 80mm) en de fluctuerende werking per seizoen zien.



Afbeelding 21: Effectiviteit begroeid dak BVB met 80mm substraatdikte per seizoen. Periode van 1982-2012.

Tabel 12 zet de werking van een minimale en maximale variant begroeid dak af tegen een referentie dak. Hierbij wordt enkel gekeken naar de verdamping van de daken. In het warmste seizoen, de zomer, verdampen de daken tussen de 35% à 40% van het opgevangen neerslagwater. In het koudste seizoen ligt de verdamping tussen de 10% en 15%. Hierbij zijn de totale neerslag- en verdampingsgegevens van het weerstation in Rotterdam gebruikt over een periode van 30 jaar.



Seizoen	Dak type					
	Minimale variant begroeid dak BVB 40mm. Bergend vermogen is 22.5mm.		Maximale variant begroeid dak RHP 150mm. Bergend vermogen is 82.8mm.		Referentie dak. Bergend vermogen is 2mm.	
	Verdampt gemiddeld 375mm per jaar		Verdampt gemiddeld 462mm per jaar		Verdampt gemiddeld 213mm per jaar	
	Verdamping per seizoen in %	Verdamping per seizoen in mm	Verdamping per seizoen in %	Verdamping per seizoen in mm	Verdamping per seizoen in %	Verdamping per seizoen in mm
Lente	35%	131.2mm	38%	175.6mm	32%	68.2mm
Zomer	38%	142.5mm	38%	175.6mm	36%	76.7mm
Herfst	14%	52.5mm	12%	55.4mm	17%	36.2mm
Winter	13%	48.7mm	12%	55.4mm	15%	31.9mm
Gemiddeld	100%	375mm	100%	462mm	100%	213mm

Tabel 12: Bergend vermogen begroeide daken vs. referentie dak per seizoen, gemiddelde over 30 jaar (1982 – 2012).

Tabel 12 laat zien wat de begroeide daken en het referentie dak per seizoen verdampen. In percentages verdampt een referentie dak soms evenveel als een begroeid dak. Het gaat hier echter om de hoeveelheid water die het dak kan verdampen vanuit het bergend vermogen. Dit verschil wordt duidelijk gemaakt wanneer er gekeken wordt naar de verdamping in mm. De tabel laat de gemiddelde verdamping over 30 jaar zien tussen de periode 1982 en 2012.

## 5.5 Samenvattend SOBEK modelleringen

SOBEK vraagt om enkele factoren en waarden om een begroeid dak te kunnen modelleren. Enkele van deze factoren zijn bepaald aan de hand van de proefopstelling en enkele andere factoren zijn hier inherent aan verbonden. Op basis van de gevoeligheidsanalyse kan geconcludeerd worden dat SOBEK alle factoren en de desbetreffende waarden meeneemt in de modelberekeningen. Dit houdt enerzijds in dat het programma zeer nauwkeurig is, maar dat het ook zeer gevoelig is voor de waarden die niet of verkeerd ingevoerd worden.

Uit de modelberekeningen van SOBEK blijkt dat de laagdiktes van begroeide daken bepalend zijn voor de werking ervan en de invloed op een afwateringssysteem. Ook de lokale neerslag- en verdampingsgegevens van het KNMI spelen een grote rol in de werking van begroeide daken. Deze uitkomsten laten ook zeer duidelijk zien dat de effectiviteit van het begroeide dak niet evenredig veel beter wordt naarmate de laagdikte van het substraat toeneemt. Absoluut gezien wordt de werking van het begroeide dak wel beter naarmate de laagdikte toeneemt.

Begroeide daken voeren niet altijd water af, ook niet tijdens een regenbui. Dit houdt in dat begroeide daken een waterbergend vermogen hebben die afhankelijk is van de substraatlaagdikte. Deze substraatlaagdikte heeft ook invloed op. De dikte van de substraat laag bepaalt hoe lang het duurt eer een begroeid dak door verdamping weer volledig beschikbaar is voor een volgende bui. Is een begroeid dak niet of slechts gedeeltelijk beschikbaar voor berging van neerslagwater, dan zal het relatief snel na de start van een neerslagreeks opgevangen neerslagwater af voeren richting het riool.

Omdat de verdamping en neerslag in Nederland per seizoen anders is, is er gekeken naar de werking van een willekeurig begroeid dak per seizoen. Hieruit is gebleken dat dit begroeide dak in de winter minder effectief is dan in de zomer. Dit komt omdat in de winter relatief meer neerslag valt en minder verdamping plaatsvindt. In de zomer gelde het omgekeerde.



## 6. Toetsing gevalstudielocatie

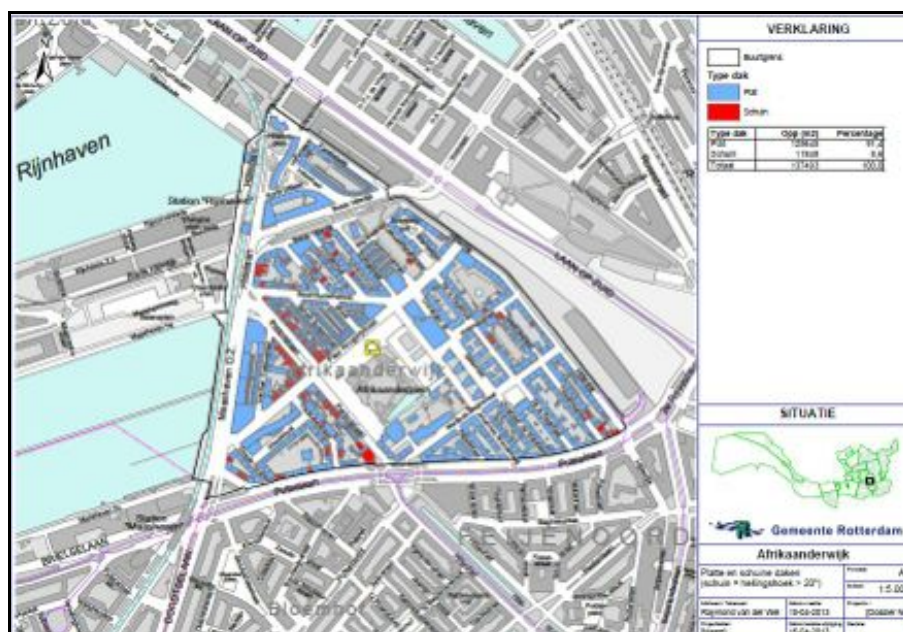
Om het effect van de minimale en maximale begroeide dak varianten aan te tonen op een praktijkvoorbeeld, zijn de resultaten uit SOBEK verrekend met een gevalstudielocatie in Rotterdam. Het betreft een toetsing. Hiervoor is er gekeken naar de hoeveelheid platte daken in vierkante meters binnen de gevalstudielocatie. Deze daken zouden in theorie geschikt moeten zijn voor het toepassen van extensieve begroeide daken. Door de minimale en maximale resultaten door te berekenen, wordt onder meer een indruk verkregen van de totale invloed van begroeide daken op een afwateringssysteem. De uitkomsten werden vergeleken met de wateropgave<sup>10</sup> wat volgens het deelgemeentelijke waterplan is aangegeven. Zodoende kan er een indruk worden verkregen van de invloed van begroeide daken in de praktijk op een afwateringssysteem en of dit interessant is of niet.

### 6.1 Afrikaanderwijk, Rotterdam

De Afrikaanderwijk in Rotterdam is gekozen als gevalstudielocatie in samenspraak met de andere lopende afstudeeronderzoeken binnen het lectoraat. Voor de Afrikaanderwijk is een wateropgave opgesteld van 4000m<sup>3</sup> en er is weinig oppervlaktewater. Daarentegen is er wel genoeg oppervlak aan plat dak aanwezig waar mogelijk begroeide daken op aangelegd kunnen worden. Tabel 13 geeft weer hoeveel oppervlak aan daken er beschikbaar is voor begroeide daken. Afbeelding 22 laat de verhouding daken ten opzichte van verharding zien in het gebied. Ook laat deze afbeelding zien hoeveel platte en schuine daken er in het gebied aanwezig zijn.

Dak soorten	Percentage (%)	Oppervlakte (m <sup>2</sup> )
Plat dak	91.4	125.645
Schuin dak	8.6	11.848
Totaal	100	137.493

Tabel 13: Verhouding dak soorten Afrikaanderwijk.



Afbeelding 22: Verhouding daken ten opzichte van verhard oppervlak.

<sup>10</sup> De wateropgave komt voort uit het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) en is gericht op het voorkomen van wateroverlast dat wordt veroorzaakt door onder andere gebrekkige afvoer van regenwater. (Royal Haskoning, 2013).



Voor deze toetsing zijn de verdamping en neerslag gegevens gebruikt van het meetstation in Rotterdam en kent een gemiddelde neerslag van 864.67 mm/jaar over 30 jaar. Om de totale afvoer over het gebied te bepalen, moet het aantal vierkante meters aan plat dak vermenigvuldigd worden met de gemiddelde neerslag. Dit komt neer op 108.641 m<sup>3</sup> afvoer per jaar voor de Afrikaanderwijk. Door de totale afvoer te vermenigvuldigen met de verdamping percentages die zijn bepaald en weergegeven in sectie 5.4, kan de totale waterberging worden bepaald voor het gebied. Deze resultaten worden in tabel 14 weergegeven in de kolom waterberging. Om de reductie van de waterafvoer te bepalen, moet het waterbergend vermogen van het referentie dak worden afgetrokken. Het referentie dak is in sectie 5.4 gemodelleerd met een verdampingspercentage van 24,81%. Dit komt neer op 26.955 m<sup>3</sup> voor de Afrikaanderwijk. Deze waarde moet dus worden afgetrokken van de waterberging waardes die in tabel 14 zijn weergegeven. Dit resulteert vervolgens in de totale afvoer reductie van begroeide daken op het afwateringssysteem.

Product	Dikte	Bergend vermogen in mm	Verdamping	Waterberging	Reductie waterafvoer t.o.v. referentie dak
<b>BVB</b>					
	40mm	22.5mm	41.20%	44.755m <sup>3</sup>	17.800m <sup>3</sup>
	80mm	43.9mm	48.08%	52.235m <sup>3</sup>	25.280m <sup>3</sup>
	120mm	72.0mm	50.19%	54.530m <sup>3</sup>	27.575m <sup>3</sup>
	150mm	90.0mm	51.62%	56.080m <sup>3</sup>	29.125m <sup>3</sup>
<b>OPTI-M</b>					
	40mm	26.0mm	42.10%	45.735m <sup>3</sup>	18.780m <sup>3</sup>
	80mm	52.0mm	46.78%	50.828m <sup>3</sup>	23.873m <sup>3</sup>
	120mm	78.0mm	49.07%	53.307m <sup>3</sup>	26.352m <sup>3</sup>
	150mm	97.5mm	51.77%	56.247m <sup>3</sup>	29.292m <sup>3</sup>
<b>OPTI- L</b>					
	40mm	24.3mm	44.15%	47.963m <sup>3</sup>	21.008m <sup>3</sup>
	80mm	39.7mm	48.08%	52.235m <sup>3</sup>	25.280m <sup>3</sup>
	120mm	55.7mm	50.66%	55.041m <sup>3</sup>	28.086m <sup>3</sup>
	150mm	64.3mm	51.77%	56.247m <sup>3</sup>	29.292m <sup>3</sup>
<b>RHP</b>					
	40mm	28.0mm	45.24%	49.152m <sup>3</sup>	22.197m <sup>3</sup>
	80mm	53.5mm	50.29%	54.630m <sup>3</sup>	27.675m <sup>3</sup>
	120mm	70.7mm	52.35%	56.875m <sup>3</sup>	29.920m <sup>3</sup>
	150mm	82.8mm	53.51%	58.132m <sup>3</sup>	31.177m <sup>3</sup>

Tabel 14: Waterbergend vermogen Begroeide daken in Afrikaanderwijk.

Bovenstaande tabel geeft de totale reductie van waterafvoer weer wanneer 91.4% van alle daken in Afrikaanderwijk worden voorzien van begroeide daken. De Afrikaanderwijk valt in de deelgemeente Feijenoord en heeft volgens het waterplan een wateropgave van 4000 m<sup>3</sup> (Gemeente Rotterdam, 2010). Uit bovenstaande berekening blijkt dat de wateropgave gerealiseerd kan worden wanneer 91.4% van de daken wordt voorzien van begroeide daken, bij zowel de minimale als de maximale variant. Er is zelfs een overschot ontstaan.





Om te bepalen met hoeveel vierkante meters aan begroeid dak de wateropgave van 4000 m<sup>3</sup> behaalt kan worden, is er de volgende berekening gemaakt. Zie tabel 15.

Product	Dikte	Verdamping	Reductie Waterafvoer	Aantal vierkante meters plat dak	Percentage van Totaal Plat dakoppervlak
<b>BVB</b>					
	40mm	41.20%	4000m <sup>3</sup>	28.232 m <sup>2</sup>	22.5%
<b>RHP</b>					
	150mm	53.51%	4000m <sup>3</sup>	16.120 m <sup>2</sup>	12.8%

Tabel 15: Benodigd aantal m<sup>2</sup> dakoppervlak om wateropgave te reduceren.

Met een minimale variant (BVB) met een laagdikte van 40mm is er 28.232m<sup>2</sup> aan begroeid dak nodig om de wateropgave te realiseren. Voor de maximale variant (RHP) van 150mm is er 16.120m<sup>2</sup> begroeid dak nodig.

Let wel dat dit een jaarlijks gemiddelde is. Het beschikbare waterbergende vermogen wordt door de mate van verdamping bepaald. Hoe meer verdamping, hoe effectiever het begroeide dak is en hoe meer er geborgen kan worden. Er wordt dan meer gereduceerd op de waterafvoer. In de seizoenen winter en herfst neemt de effectiviteit van een begroeid dak af doordat er minder wordt verdampt. Hierdoor kan er dus mogelijk ook eerder wateroverlast ontstaan. In de lente en zomer is een begroeid dak effectiever, dit staat ook in sectie 5.4.2 seizoensinvloeden beschreven.

Om dit uit te sluiten is er ook een berekening gemaakt wat het zou betekenen als er wordt doorgerekend met de neerslag en verdampinggegevens van het minst effectieve seizoen. Dit is volgens sectie 5.4.2 het seizoen herfst. In het seizoen herfst wordt er relatief minder verdampt dan dat er wordt afgevoerd tegenover de andere seizoenen. Daarnaast is er nog een berekening gemaakt wanneer de neerslag en verdamping gegevens worden gebruikt van de zomer. De zomer heeft in verhouding meer verdamping en minder afvoer ten opzichte van de andere seizoenen. De resultaten worden in tabel 16 weergegeven.

Product	Dikte	Reductie Waterafvoer	Benodigd aantal plat dak (m <sup>2</sup> )	Verhouding totaal platte daken
<b>SEIZOEN HERFST</b>				
<b>BVB</b>				
	40mm	4000m <sup>3</sup>	253.137 m <sup>2</sup>	201%
<b>RHP</b>				
	150mm	4000m <sup>3</sup>	209.150 m <sup>2</sup>	166%
<b>SEIZOEN ZOMER</b>				
<b>BVB</b>				
	40mm	4000m <sup>3</sup>	60.559 m <sup>2</sup>	48%
<b>RHP</b>				
	150mm	4000m <sup>3</sup>	41.054 m <sup>2</sup>	32%

Tabel 16: Benodigde hoeveelheid begroeid dak per seizoen voor wateropgave.

Geconcludeerd kan worden dat in het seizoen herfst meer dakoppervlak nodig is dan dat er aanwezig is om de wateropgave in de Afrikaanderwijk te realiseren. Bij de minimale variant is er zelfs 2x meer dakoppervlak nodig om dit te realiseren. In de zomer daarentegen, is maar de helft van het





beschikbare dakoppervlak nodig om de wateropgave te realiseren. Tabel 17 geeft de resultaten weer wanneer alle beschikbare daken van Afrikaanderwijk worden voorzien van begroeiing. Bij een relatief minder effectief seizoen (herfst) en een relatief effectief seizoen (zomer).

Product	Dikte	Aantal beschikbare platte daken (m <sup>2</sup> )	Waterbergend vermogen per m <sup>2</sup> (m <sup>3</sup> )	Totaal waterbergend vermogen	Verhouding tegenover wateropgave
<b>SEIZOEN HERFST</b>					
<b>BVB</b>					
	40mm	125.645m <sup>2</sup>	0.015 m <sup>3</sup>	1985 m <sup>3</sup>	-49 %
<b>RHP</b>					
	150mm	125.645m <sup>2</sup>	0.019 m <sup>3</sup>	2402 m <sup>3</sup>	-60 %
<b>SEIZOEN ZOMER</b>					
<b>BVB</b>					
	40mm	125.645m <sup>2</sup>	0.066 m <sup>3</sup>	8299 m <sup>3</sup>	207 %
<b>RHP</b>					
	150mm	125.645m <sup>2</sup>	0.097 m <sup>3</sup>	12241 m <sup>3</sup>	306 %

Tabel 17: Waterbergend vermogen Afrikaanderwijk volledig begroeid per seizoen.

Uit tabel 17 is op te merken dat wanneer er met de neerslag- en verdampingsgegevens van de zomer periodes wordt gerekend, er bij een minimale variant (BVB) pakket van 40mm twee keer de wateropgave gerealiseerd kan worden. Met een maximale variant (RHP) substraat pakket van 150mm kan ruim vier keer de wateropgave worden gerealiseerd. Tijdens het seizoen herfst is de effectiviteit van een begroeid dak aanzienlijk afgenomen, en heeft de Afrikaanderwijk niet voldoende dakoppervlak om de wateropgave te realiseren.

## 6.2 Samenvatting Toetsing Gevalstudielocatie

De Afrikaanderwijk in Rotterdam Zuid kent een wateropgave van ongeveer 4000m<sup>3</sup>. Met de uitkomsten uit SOBEK is berekend of begroeide daken deze wateropgave kunnen realiseren. Wanneer er gekeken wordt naar de gemiddelde werking van de begroeide daken per jaar, dan wordt de wateropgave ruimschoots gerealiseerd. Bij een minimaal scenario wordt de wateropgave ongeveer 3x gehaald, en bij het maximale scenario ongeveer 8x. Omdat dit in beide gevallen meer is dan noodzakelijk, is er ook gekeken naar hoeveel begroeid dakoppervlak er nodig is om de wateropgave te halen. Er is dan gemiddeld minimaal 12.8% en maximaal 22.5% van het totale dakoppervlak nodig.

Maar bovenstaande resultaten zijn gebaseerd op gemiddelde neerslag- en verdamping. Gedurende het jaar fluctueert de neerslag en verdamping per seizoen. Om deze reden is er gekeken in welk seizoen de wateropgave wel en niet wordt gerealiseerd. Hieruit blijkt dat het benodigd oppervlak aan begroeide daken in de herfst onvoldoende is, er is namelijk 1.5x tot 2x meer dakoppervlak nodig in dat seizoen dan beschikbaar is. In de zomer is er wel voldoende dakoppervlak beschikbaar. Geconcludeerd kan worden dat een begroeid dak dus niet het gehele jaar de wateropgave kan realiseren en dat er vanuit het klimaat gerekend moet worden met de minste verdamping. Dit scenario geeft dan weer wat een begroeid dak minimaal kan, van daaruit kan het begroeide dak alleen maar efficiënter werken.



## 7. Discussie

De discussie punten in dit hoofdstuk gaan in op handelingen die zijn gedaan tijdens dit onderzoek en waarbij vraagtekens gezet kunnen worden. Ook worden er punten bediscussieerd die binnen dit onderzoek genomen moesten worden en waar niet van afgeweken kon worden. Bijvoorbeeld omdat er niet meer informatie voor handen was. De discussie betreft een kritische terugblik op het onderzoek en de handelingen en is bedoeld om de resultaten te verklaren en op de juiste wijze te interpreteren.

### 7.1 Referentiegewas

De referentiegewas verdamping voor de vegetatie op begroeide daken wordt in SOBEK ingevoerd met de waarde 1. Deze waarde is bepaald met het gewas 'gras' volgens de formule van Makkink. Gras is één van de soorten vegetatie die op het begroeide dak voor kan komen, maar het zijn met name sedums die op extensief begroeide daken worden aangebracht. Het onderzoek laat zien dat de invloed van de gewasverdamping (evaporation crop factor) bijzonder groot is wanneer willekeurige waarden hiervoor worden ingevoerd. Het is de vraag of de referentiefactor 1 van gras ook gebruikt kan worden voor sedums. Hetzelfde geldt voor de andere gewassen zoals kruiden en mossen. Sedums houden namelijk water vast in de bladeren tijdens droge periodes terwijl grassen altijd verdampen, zowel in droge als natte periodes. Omdat sedums gereduceerd verdampen, maakt dit het begroeide dak minder effectief voor waterberging.

### 7.2 Tijdsduur metingen

Substraat dat gemeten wordt aan de hand van de FLL neemt minimaal 24 uur in beslag. Er wordt altijd 24 uur gewacht tot het substraat volledig uitgelekt is om zo de field capacity te bepalen. De vraag is of dit niet te lang is, en hoeveel verdamping er al niet heeft plaats gevonden in die 24 uur. De field capacity werd in dit onderzoek tijdens de proeven bereikt wanneer het substraat stopte met lekken, en dit duurde in uitzonderlijke gevallen nooit meer dan een half uur. Vanwege beperkte tijd tijdens dit onderzoek, de hoeveelheid substraatsoorten, te meten laagdiktes en beschikbare materialen was het niet haalbaar 24 uur per meting te wachten. De kans dat de field capacity niet volledig bereikt werd, is daarmee ook groter. Dit wordt ook duidelijk wanneer gekeken wordt naar de resultaten uit de proefopstelling. Zoals te lezen in het rapport is er een substraatmonster voor een periode van één week onder water gezet. Na uitlekken bevatte dit substraatmonster meer water dan eenzelfde monster waar 500ml in een korte tijd over werd uitgegoten. Het substraat had bij het uitgieten van 500ml niet voldoende tijd om een maximale hoeveelheid water op te nemen.



### 7.3 Werking substraat praktijk, proefopstelling en modelleringen

Gedurende de proefopstelling zijn op drie manieren de field capacity van de substraten bepaald. Deze zijn als volgt bepaald:

1. De field capacity is gemeten nadat het substraat direct uit de zak kwam.
2. De field capacity is gemeten nadat het substraat uit de oven kwam.
3. De field capacity is bepaald door het ovendroge gewicht te verrekenen met het natte gewicht. Hiermee is de maximale opname capaciteit van het substraat bepaald.

Alle drie manieren leverden andere waarden van de field capacity op. In enkele gevallen woog het substraat op field capacity nadat het uit de oven kwam zelfs minder dan wanneer de field capacity vanuit de zak was bepaald. Dit zou erop duiden dat het substraat, wanneer het tegen ovendroog is, niet voldoende tijd krijgt tijdens de metingen om water op te nemen en vast te houden. Het water filtreert te snel door het substraat. In de praktijk kan tijdens bijzonder droge en warme periodes het substraat erg droog worden, bijna vergelijkbaar met ovendroog. Als er regenperiodes volgen, kan het gebeuren dat het substraat dan minder water opneemt omdat het water te snel infiltreert. In de SOBEK modelleringen wordt gerekend met een maximale watercapaciteit. SOBEK houdt in de modelleringen geen rekening met het feit dat substraat na extreem droge periodes blijkbaar niet in staat is gelijk op field capacity te komen. Het is dus niet duidelijk wat voor invloed dit heeft op de resultaten vanuit SOBEK, maar ook niet wat het substraat in de praktijk doet. Wat in het laboratorium is gemeten en met SOBEK is gemodelleerd, hoeft niet op het dak te gebeuren.

Tevens kunnen er vraagtekens gezet worden bij de snelheid waarmee regenval wordt gesimuleerd tijdens zowel de FLL als tijdens de proefopstelling. Regenval wordt tijdens deze proeven in respectievelijk 15 minuten en maximaal 1 minuut gesimuleerd. In de praktijk kan een regenbui soms enkele uren aanhouden. Met de constatering bij het berekenen van de field capacity is het de vraag of het substraat in de praktijk net zoveel water opneemt tijdens een langdurige regenbui als tijdens de proefopstellingen.

### 7.4 Referentie dak; praktijk vs. SOBEK

Het referentie dak in SOBEK simuleert een plat dak in de praktijk. Dit referentie dak is gemodelleerd met een berging van 2mm en voert vrij direct af op het rioelstelsel tijdens en na een regenbui. In de praktijk kan het voorkomen dat platte daken zijn voorzien van planten aangroei, kiezelstenen et cetera. Dit zijn factoren die voor meer berging en vertragende afvoer kunnen zorgen. In SOBEK wordt dit niet meegenomen omdat het nagenoeg onmogelijk is al deze variabelen mee te nemen. Er bestaat hierdoor echter wel een kans dat een plat dak in de praktijk anders werkt dan in SOBEK wordt gemodelleerd. Het is niet duidelijk hoe groot dit verschil is en ook niet of dit de vergelijkingen tussen het referentie dak en de begroeide daken in dit onderzoek heeft beïnvloed.



## 8. Conclusie en aanbevelingen

Op basis van de bevindingen in dit onderzoek worden de conclusies en aanbevelingen in dit hoofdstuk beschreven. Indien noodzakelijk, is er bij de betreffende conclusie ook een aanbeveling geschreven. De conclusies en aanbevelingen geven antwoord op de hoofd- en deelvragen die in dit onderzoek leidend zijn geweest. Ook sluiten enkele aan op de randvoorwaarden en hoe hieraan tegemoet gekomen is.

### 8.1 Aanvullen Dachbegrünungsrichtlinie

Uit de resultaten die zijn verkregen met de proefopstelling is gebleken dat de dikte en samenstelling van substraatsoorten bepalend is voor de waterbergende capaciteit. De dikte van het substraat oefent invloed uit op de afvoer van het begroeide dak. Het waterbergend vermogen neemt echter niet lineair toe met de dikte, wat betekent dat het waterbergend vermogen op 80mm niet is verdubbeld ten opzichte van 40mm. Het vermogen neemt veel minder snel toe dan de dikte toeneemt. Met de gegevens vanuit de FLL wordt dit wel aangenomen. De meerwaarde van dikkere daken is dus relatief kleiner voor waterretentie. Dit is een belangrijke conclusie omdat dit inhoudt dat het per substraatsoort afhangt tot welke dikte het substraat efficiënt water bergt.

Er wordt aanbevolen om de methode die de FLL hanteert bij het bepalen van de watercapaciteit van substraat aan te vullen met dikte afhankelijke metingen. Aangetoond is dat de dikte een cruciale rol speelt bij het waterbergend vermogen en dus ook op het afwateringssysteem in stedelijke gebieden. Zeker wanneer gekeken wordt naar grote hoeveelheden dakoppervlak en per seizoen kan dit verschil uitmaken.

### 8.2 15 liter per 1m<sup>2</sup>

De eis van de gemeente Rotterdam om 15 liter per 1m<sup>2</sup> (=15mm) te kunnen bergen is haalbaar voor alle laagdiktes voor de in dit onderzoek gemeten substraatsoorten. Het substraat met de minste berging is in staat om 19 liter per 1m<sup>2</sup> (=19mm) te kunnen bergen.

Aanbevolen wordt om voor substraat soorten die niet zijn meegenomen in dit onderzoek de minimale dikte te bepalen waarbij 15 liter per 1m<sup>2</sup> wordt vastgehouden. Zie ook de aanbeveling bij 8.1. Het substraat dient aan het begin van een bui wel volledig beschikbaar te zijn om minimaal 15mm neerslag te kunnen bergen, en dit zal in de praktijk niet altijd het geval zijn.

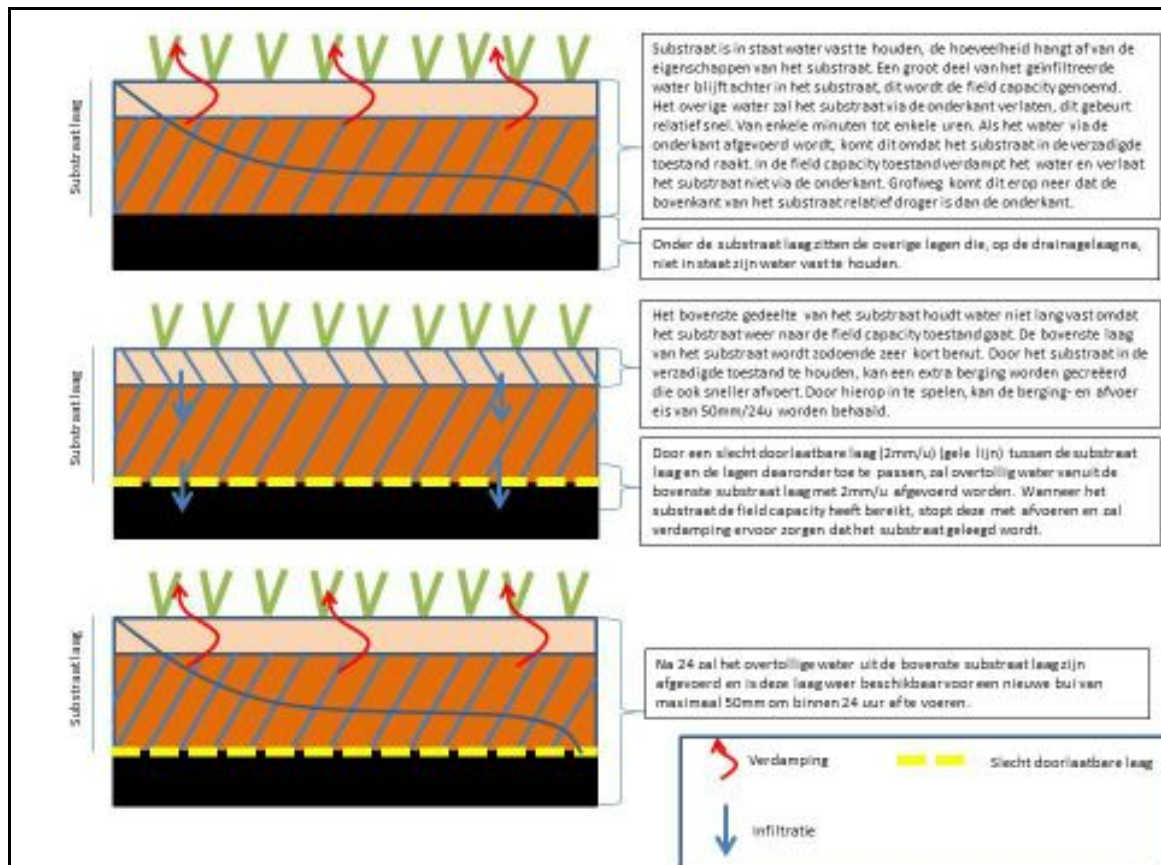
### 8.3 50 liter / 24 uur afvoer

De richtlijn om een begroeid dak 50l (=50mm) te kunnen laten bergen en binnen 24 uur af te laten voeren is, zoals begroeide daken momenteel worden opgebouwd, onhaalbaar. Het vasthouden van 50l is niet onhaalbaar, het afvoeren binnen 24 uur daarentegen wel. De afvoer van het water is namelijk grotendeels afhankelijk van de verdamping. De verdamping geschiedt via de vegetatie, wind en warmtestraling. Volgens het KNMI is de verdamping in Nederland op zeer warme, zonnige en winderige dagen in juli 7mm per dag, en ongeveer 95mm over deze hele maand. 50mm afvoer is een onhaalbare eis als er geen aanpassingen aan het begroeide dak worden gedaan. Een aanpassing die gedaan kan worden om aan deze eis te voldoen zou als volgt kunnen zijn.

Onder de vegetatie dragende laag (substraat) zou een laag aangebracht kunnen worden die slecht doorlaatbaar is. Deze laag zou dan ongeveer 2mm per uur door moeten laten (50mm/24u = 2mm/u). Hierbij moet wel in acht genomen worden dat de substraat laag een dusdanige dikte nodig heeft, dat deze tussen de field capacity laag en soil saturated laag 50mm kan bergen. Immers, de field capacity laag houdt water vast en leegt zich via verdamping dat nooit aan de eis 50mm in 24 uur zal voldoen. Wanneer de hoeveelheid water boven de field capacity uitkomt, zal dit vrij snel het substraat



verlaten omdat dit niet tegen de zwaartekracht in vastgehouden kan worden. De snelheid waarmee dit gebeurd is echter te hoog waardoor de tijd na het piekmoment van de bui te kort is en het effect van bergen en vertraagd afvoeren verloren gaat. Het is deze laag die het mogelijk maakt 50l in 24 uur af te voeren mits onder de vegetatie dragende laag een laag wordt toegepast met een maximale doorlatendheid van 2mm/u. Mocht dit mogelijk zijn, dan wordt tevens aanbevolen rekening te houden met de vegetatie en de periode waarin de vegetatie in een verzadigde substraat laag kan staan zonder te verdrinken. Daarbij zal het dak in verzadigde toestand minimaal 50kg/m<sup>2</sup> meer wegen. Daarmee dient rekening mee gehouden te worden bij de draagkracht van de onderliggende dakconstructie. Tevens bestaat het risico dat bij een vertragende doorlaatbare laag er afstroming op het oppervlak van het begroeide dak kan plaatsvinden bij extreme neerslag. Zie afbeelding 23 voor een schematische weergave van deze aanbeveling.



Afbeelding 23: Schematische weergave aanbeveling hoofdstuk 9.3.

## 8.4 Neerslag en verdamping per locatie

Binnen dit onderzoek is gekeken naar enkele locaties, en de daarbij behorende neerslag- en verdampingsreeksen zijn gemodelleerd in SOBEK. De verwachting was dat begroeide daken andere resultaten zouden geven per locatie, en dit is ook het geval. Hoewel ieder substraat een gelijkwaardige waterretentie curve per locatie vertoond is te zien dat afhankelijk van de neerslag en verdamping per locatie het begroeide dak anders werkt. Het hangt per gebied en de lokale neerslag en verdamping af hoeveel een begroeid dak afvoert of verdampt. De uiteindelijke verschillen in verdamping en afvoer zijn tussen alle begroeide daken niet bijzonder groot, maar het moment waarop een begroeid dak verdampt en afvoert en bij welke dikte bepaalt hoe snel een dak weer volledig beschikbaar is voor neerslag. Hierin zitten wel duidelijke verschillen per begroeid dak.





Aanbevolen wordt meerdere substraatsoorten te testen op het waterbergend vermogen en te modelleren. Voor het modelleren wordt aanbevolen om de specifieke lokale neerslag- en verdampingsgegevens toe te passen om een zo betrouwbaar beeld als mogelijk te krijgen van de werking van het begroeide dak.

## 8.5 Gewasverdamping

Zoals in de discussie en de gevoeligheidsanalyse is te lezen, werkt SOBEK met gewasverdamping. De gebruikte waarde is bepaald op basis van de verdamping van gras en verdampt gedurende het gehele jaar gelijkwaardig. Sedum daarentegen wordt veel toegepast op begroeide daken en verdampt onregelmatig wat invloed heeft op de werking en efficiëntie van het begroeide dak. Aanbevolen wordt om de gewasverdamping van sedum te onderzoeken en toe te passen in de modelleringen van begroeide daken om zo een betrouwbaarder resultaat te verkrijgen.

## 8.6 Seizoensinvloeden

Het beschikbare waterbergend vermogen van een begroeid dak wordt in mate van verdamping bepaald. Hoe meer verdamping er is, hoe effectiever een begroeid dak. Uit het onderzoek is gebleken dat een begroeid dak seizoengevoelig is. In de seizoenen lente en zomer wordt er relatief meer verdampt dan met de seizoenen herfst en winter. Hierdoor is een begroeid dak effectiever in de maanden lente en de zomer.

Aanbevolen wordt om vanuit een klimaat te rekenen met de minste verdamping. Dit scenario geeft dan aan wat een begroeid dak minimaal kan, van daaruit kan het begroeide dak alleen maar efficiënter werken.

## 8.7 Piekmoment bui wegnemen

Een begroeid dak dient de overbelasting van een afwateringssysteem weg te nemen tijdens een piekmoment van een bui. Dit was althans een van de verwachtingen voorafgaand aan dit onderzoek. Tijdens het onderzoek is echter gebleken dat het een begroeid dak niet altijd een piekmoment kan wegnemen en dat dit van een aantal factoren afhangt.

Zo is tijdens de proefopstelling geconstateerd dat de doorlaatbaarheid ( $k$ ) van substraat een aanzienlijke rol kan spelen in de vertraagde afvoer van neerslagwater als het substraat verzadigd raakt. De doorlaatbaarheid van de substraat soorten varieerde van 6mm/min tot 200mm/min. Bij een zeer hoge doorlaatbaarheid zal het opgevangen neerslagwater zeer snel door het substraat heen filteren. Soms zo snel, dat het substraat te weinig tijd heeft om water op te nemen. Dit leidt er enerzijds toe dat er vrij snel afvoer richting het afwateringssysteem plaatsvindt vanaf het begroeide dak, en dat het piekmoment van de bui nauwelijks weggenomen wordt. Anderzijds leidt deze verhoogde doorlaatbaarheid tot een verminderde field capacity en dus een verhoogde afvoer op het afwateringssysteem. Bij alle geteste substraten werd er een dusdanige hoeveelheid water over uitgeschonken, dat er ook afvoer plaatsvond. Het duurde bijna nooit langer dan enkele minuten totdat de afvoer stopte en het substraat de field capacity had bereikt. Dit betekent dat de afvoervertraging van begroeide daken kort is en waarschijnlijk weinig drukvermindering op het afwateringssysteem wegneemt. Dit kan tijdens een 'normale' bui zijn, maar ook tijdens een zeer hevige bui.

Tevens is het zeer afhankelijk hoe de neerslag en verdamping is geweest voorafgaand op een zeer hevige bui waarvan het piekmoment weggenomen moet worden. Als er voorafgaand een vochtige periode is geweest met weinig verdamping, dan zal het substraat waarschijnlijk al vochtig zijn





waardoor het weinig kans meer heeft een piekmoment op te vangen en te bergen. Het komt er dan op neer dat er wederom vrij direct wordt afgevoerd op het afwateringssysteem.

Als er een zeer droge periode is geweest voorafgaand aan een hevige bui, dan kunnen substraat soorten te droog zijn om water op te nemen. Dit zal vergelijkbaar zijn met een oeverdrome toestand. Neerslagwater zal snel het substraat infiltreren en direct worden afgevoerd op het afwateringssysteem.

Het wegnemen van een piekmoment is dus zeer afhankelijk van het soort substraat en de weersomstandigheden voorafgaand aan een hevige bui. Wanneer deze factoren positief zijn, dan zal waarschijnlijk wel een piekmoment weggenomen kunnen worden. In dit onderzoek is niet gekeken wanneer en hoe vaak zo een moment plaatsvindt in Nederland. Aanbevolen wordt om hier een vervolgonderzoek naar te doen.

## 8.8 Algemene conclusie

Begroeide daken zijn in staat neerslagwater vast te houden wat ten goede komt van de drukvermindering op een afwateringssysteem. Het hangt, zo is gebleken, ook af van de lokale weersomstandigheden wat betekent dat een begroeid dak in stad a anders werkt dan in stad b. Een begroeid dak zal alleen nooit de oplossing zijn om bijvoorbeeld een wateropgave te realiseren. De seizoensinvloeden, weersomstandigheden, substraat eigenschappen et cetera, spelen allemaal een significante rol in de werking van een begroeid dak en bepalen daarmee op de drukvermindering een van een afwateringssysteem. Dit fluctueert ieder moment van het jaar waardoor een begroeid dak niet de volledige zekerheid kan bieden voor drukvermindering op een afwateringssysteem.

De invloed van een begroeid dak op een afwateringssysteem in Nederland is dusdanig fluctuerend, dat het lang niet altijd wateroverlast voor 100% kan voorkomen. Alleen wanneer begroeide daken aangepast worden, zoals in een van de aanbevelingen is te lezen in sectie 8.3, zal de efficiëntie van een begroeid dak toenemen.



## 9. Bibliografie

### 9.1 Geraadpleegde schriftelijke bronnen

- Bennet, S. et al. (2008). *Vegetated roofs in the Los Angeles river watershed: the environmental and economic impacts of stormwater runoff and management*. Santa Barbara: University of California.
- Gemeente Rotterdam (2010). *Deelgemeentelijk waterplan Charlois en Feijenoord 2011-2016*. Rotterdam.
- Hendriks, N.A. et al. (2007) *Daken in 't groen: aanwijzingen voor het ontwerpen van vegetatiedaken en tuindaken*. Rotterdam: SBR.
- Hiemstra, P., Sluiter, R. (2011). *Interpolation of Makkink evaporation in the Netherlands*. De Bilt. Technical report; TR-327.
- KNMI (2011). *Neerslag en verdamping: toelichting maandoverzicht neerslag en verdamping in Nederland*. De Bilt.
- Nyvall, J. (2002). *Water conservation factsheet: soil water storage capacity and available soil moisture*. British Columbia: Ministry of Agriculture, Food and Fisheries
- Ravesloot, C.M. (2013). Richtlijn watermanagement 24/50: krijgen begroeide daken een gouden randje? *Dak en gevelgroen*, 27, 46-49.
- Schuize-Ardey, C. et al. (2002) *Richtlinie für die Planung: Dachbegrünungsrichtlinie*. Bonn, Duitsland. Richtliniën für Dachbegrünungen.
- Uhl, M., Schiedt, L. (2008). *Green roof storm water retention – monitoring results*. 11th international conference on urban drainage, Edingburgh, Scotland, UK, 2008.
- Verschelling, E. (2012). *Urban Flooding: verbeteren SOBEK-instrumentarium*. Delft: Deltares.
- Wagemaker, S. (2012). *Onderzoek begroeide daken: effect op het stedelijk afwateringssysteem*. Rotterdam: Hogeschool Rotterdam.
- Werdin, J. et al. (2013) Moisture retention characteristics of green roof substrates. *The green roof research conference*.

### 9.2 Geraadpleegde digitale bronnen

- Ball, J. (2001). *Soil and water relationships*.  
<http://www.noble.org/ag/soils/soilwaterrelationships/> Geraadpleegd 15 maart 2013.
- Gemeente Rotterdam (2013). *Subsidie groene daken*.  
[http://www.rotterdam.nl/product:subsidie\\_groene\\_daken](http://www.rotterdam.nl/product:subsidie_groene_daken) Geraadpleegd 2 maart 2013.
- KNMI (2012). *Nader verklaard: regendagen*.  
<http://www.knmi.nl/cms/content/101549/regendagen> Geraadpleegd 15 april 2013.
- NASA (2013) *Capillary flow experiment*.  
[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/station/research/experiments/978.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/978.html) Geraadpleegd 15 mei 2013.
- Pidwirny, M. (2006) *Infiltration and soil water storage*.  
<http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8I.html> Geraadpleegd 13 mei 2013.



- Royal Haskoning (2013) *Stedelijke wateropgave*. <http://www.waterindestad.nl/nl-nl/oppervlaktewater/Pages/swoOppervlaktewater.aspx> Geraadpleegd 13 juni 2013.
- *Soil quality resource concerns: available water capacity*. <http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/avwater.pdf> Geraadpleegd 15 maart 2013.

### 9.3 Geraadpleegde bronnen voor illustraties en afbeeldingen

- Afbeelding 3: Ravesloot, C.M., Teeuw, P.G. (2011) *Begroeide daken na 2010: afstemming van techniek, organisatie & maatschappelijk belang*. Amsterdam: Techne Press.
- Afbeelding 4: *Soil porosity and water retention (2009)*  
<http://cactiguide.com/forum/viewtopic.php?t=13438> Geraadpleegd 4 april 2013.
- Afbeelding 5: *Hydrokorrels 8-16mm*.  
<http://www.snoei.nl/sierbestrating/zand-en-grond/zak-hydrokorrels-8-16-mm>  
Geraadpleegd 25 maart 2013.
- Afbeelding 12: KNMI (2009) *Klimaatdata en advies*. [www.knmi.nl](http://www.knmi.nl) Geraadpleegd 13 mei 2013.
- Afbeelding 22: Gemeente Rotterdam (2013). Opgevraagd bij de gemeente Rotterdam op 16 april 2013.



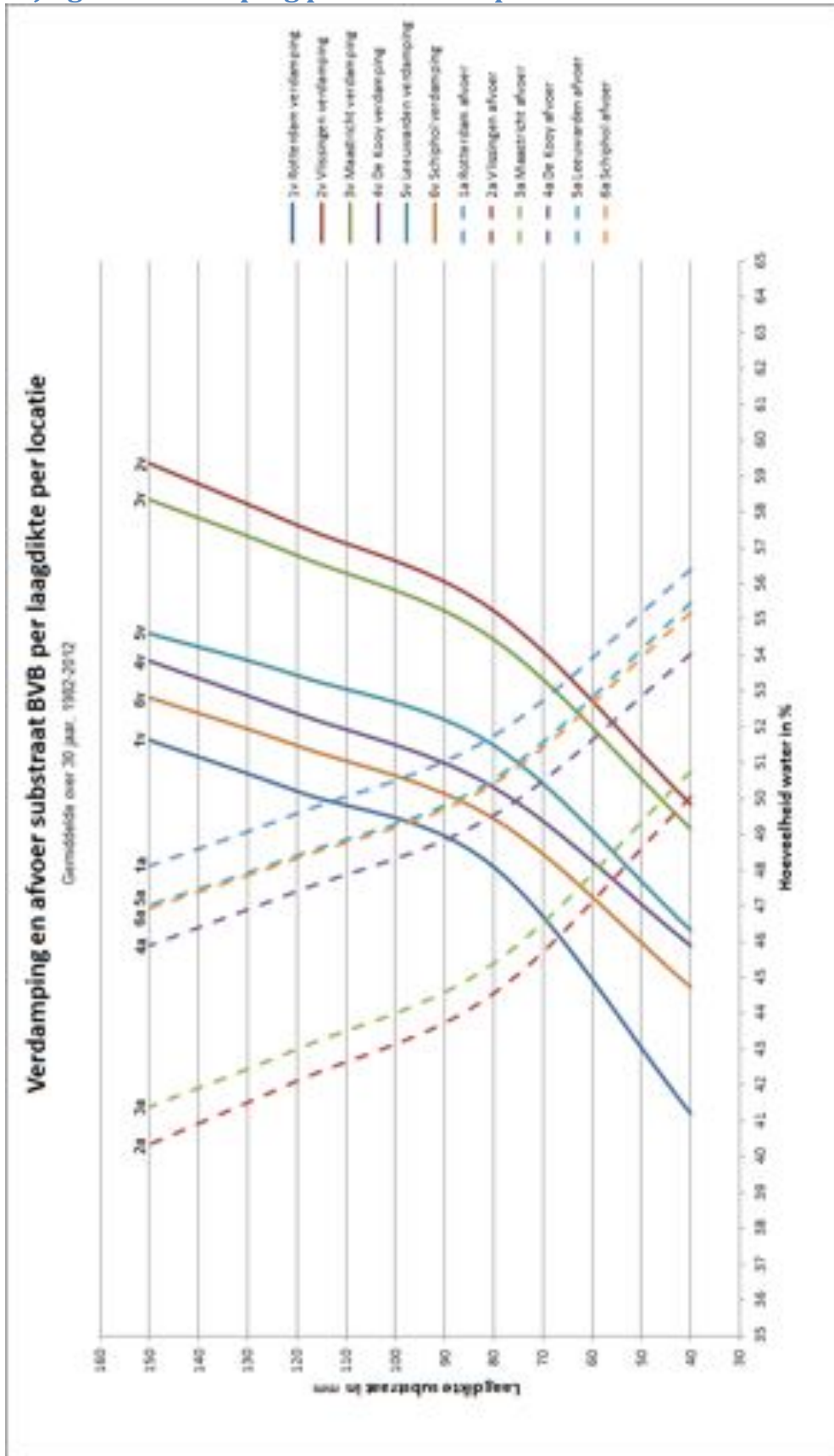
## 10. Bijlagen

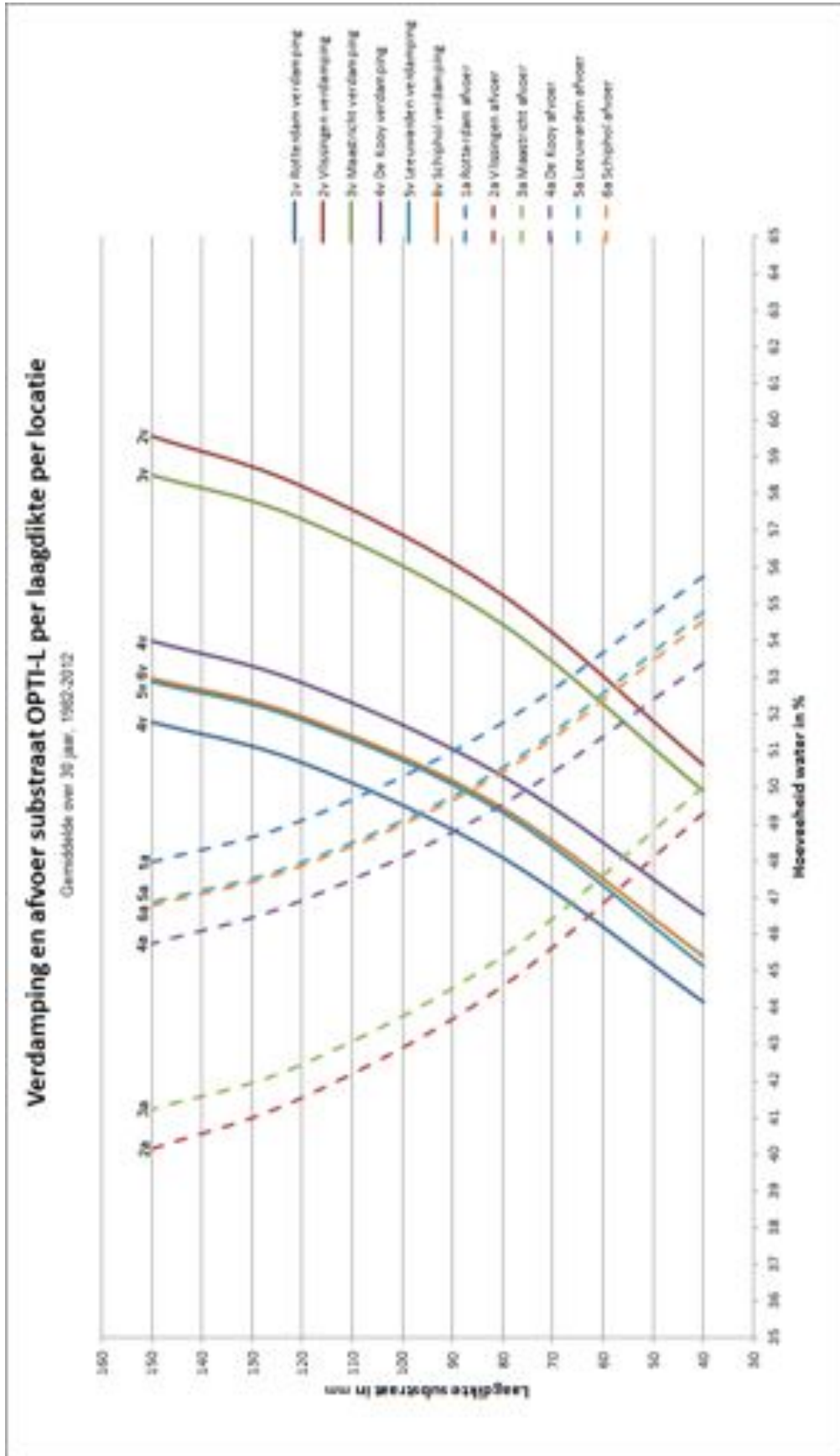
### Bijlage a. onderzoek lijst lectoraat

Naam	Afstudeerrichting	Detacherings bij	Rapporttitel	Overlap
Sander Versluis	Watermanagement	Gemeente Rotterdam	MKBA Begroeide daken	X
Jorte Weij	Watermanagement	Gemeente Rotterdam	MKBA Begroeide daken	X
Jason Koppelle	Constructie	BGA	Windbelasting, vertaling	
Madina Karim	Constructie	BetonRestore	Restpotentie extra	X
Geoffrey Quak	Constructie	Ingenieursbureau	Restpotentie extra	X
Raimon de Jong	Constructie	Ingenieursbureau	Restpotentie extra	X
Mitchel Klaasman	Bouwkunde	Ingenieursbureau	Thermische R-waarde	
Diyako Shatmanfar	Bouwkunde	Van der Pol, Zinco	Invloed begroeide daken met PV panelen	
Stephen Abraham Reynolds	Bouwkunde	Van der Pol, Zinco	Invloed begroeide daken met PV panelen	

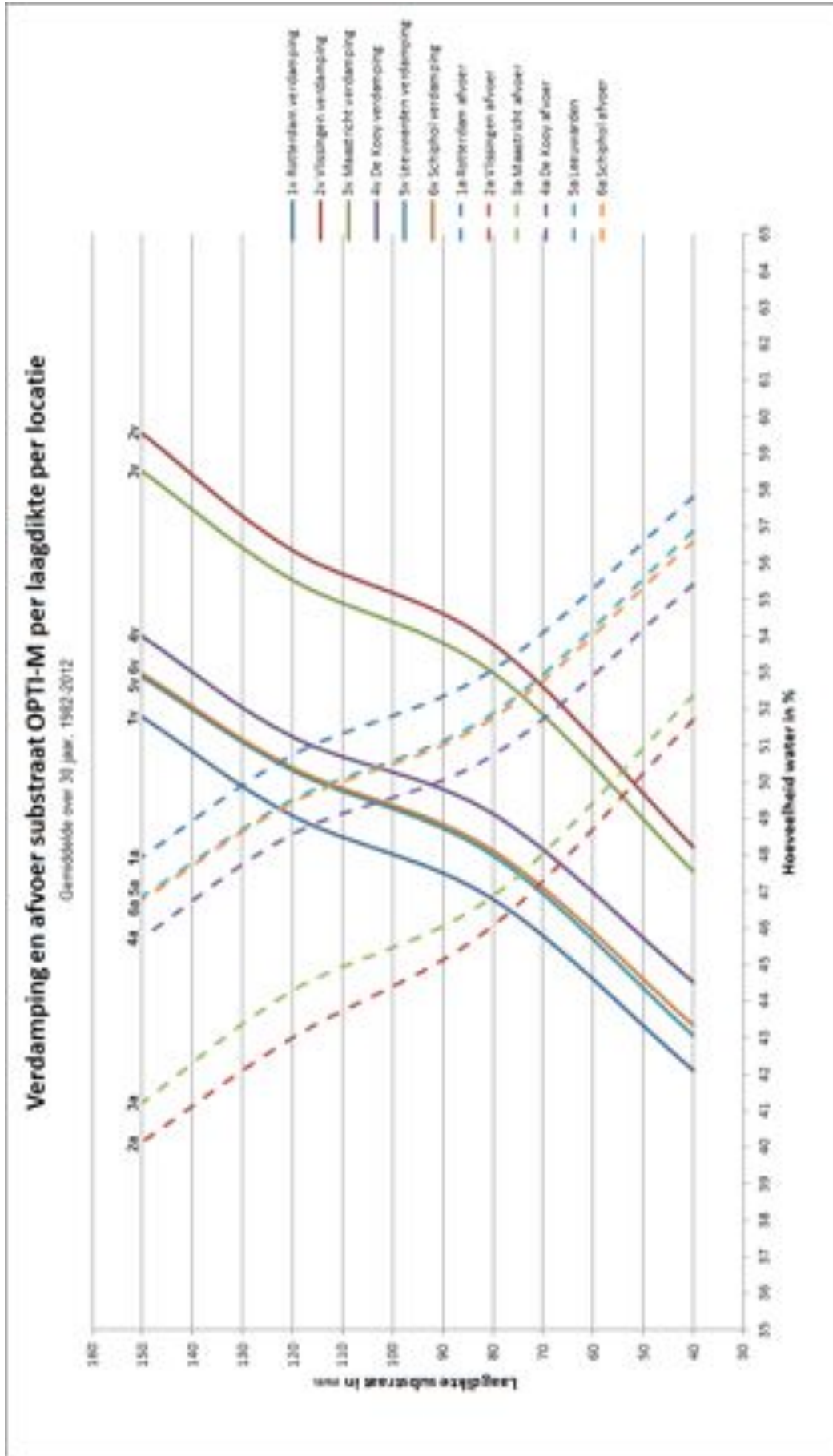


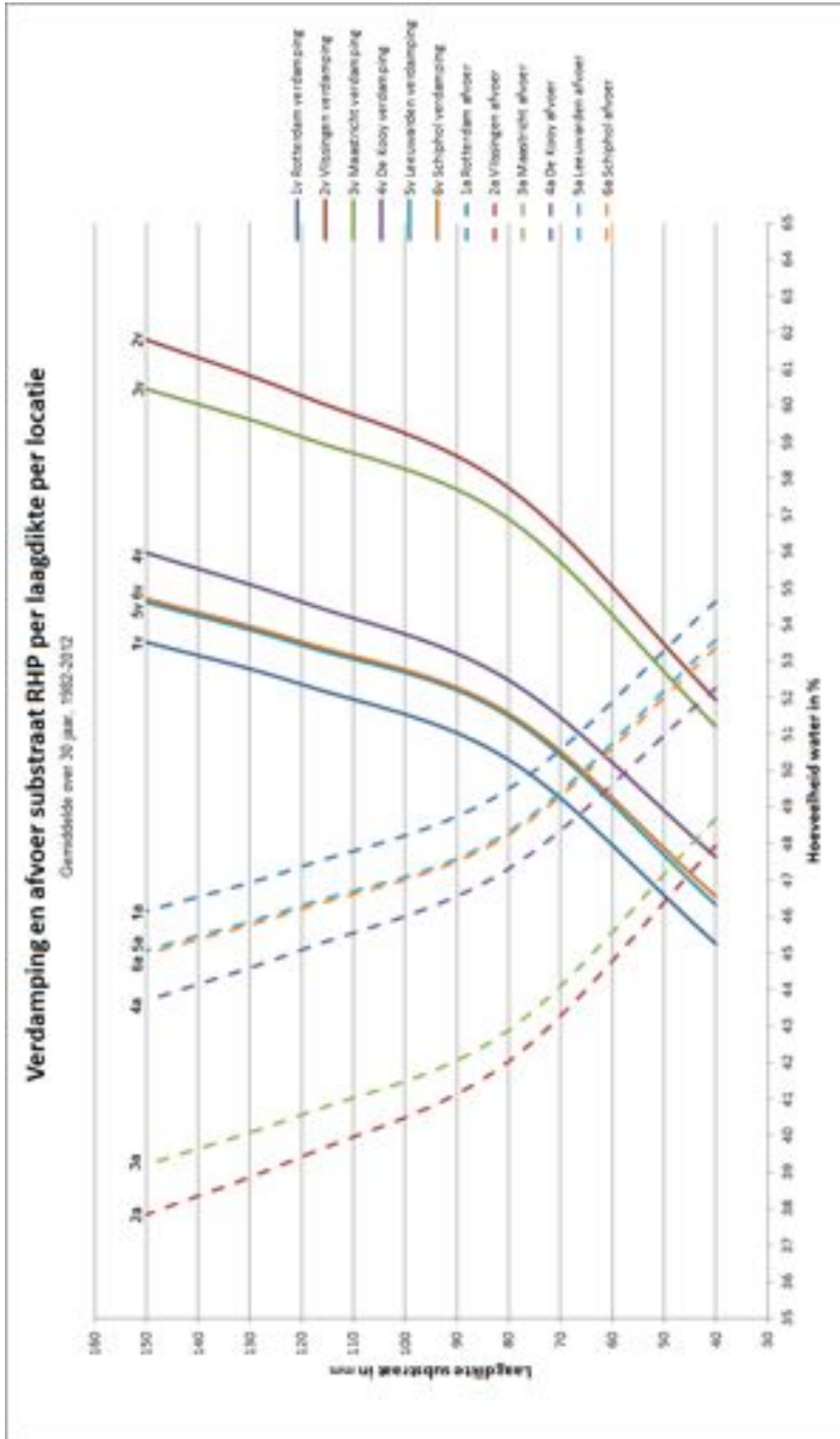
## Bijlage b. verdamping per substraat per locatie



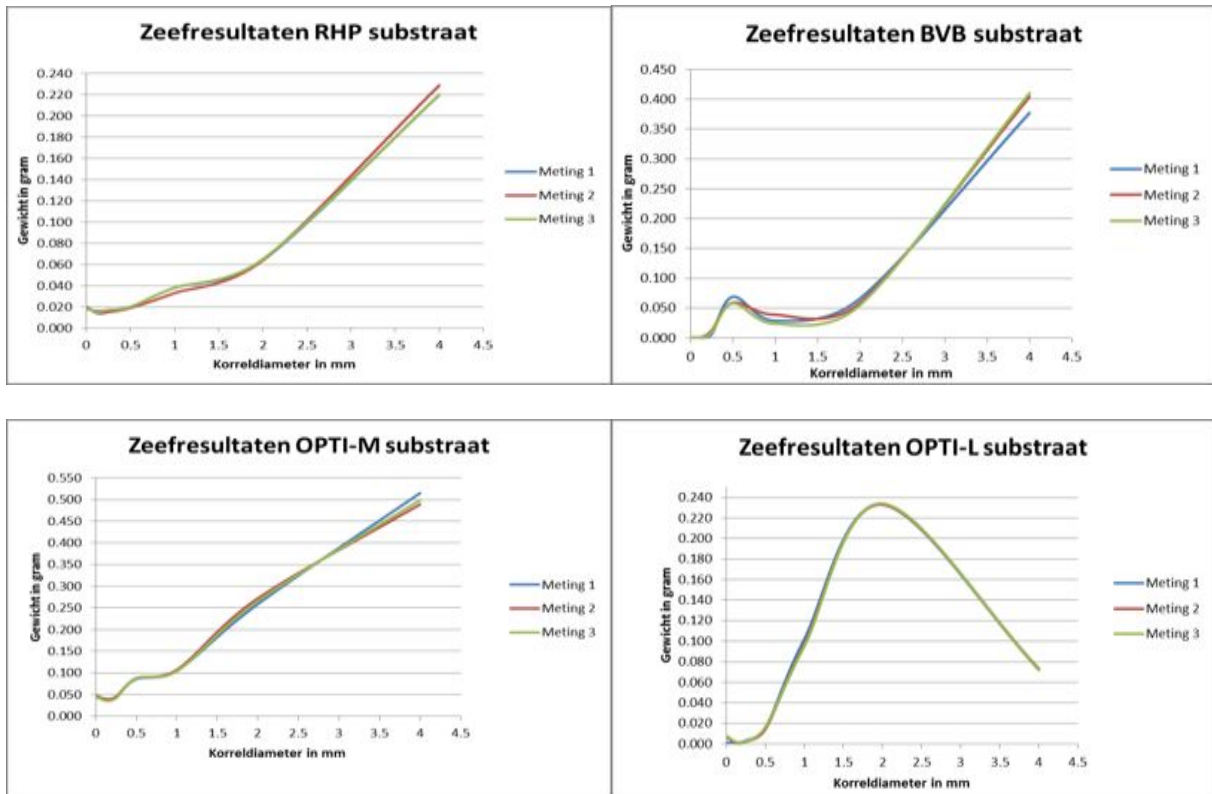








## Bijlage c. zeef resultaten substraat soorten



## Bijlage d. resultaten substraat metingen proefopstelling

Substraat type: RHP	06/05/13		Dag 1		Proef 1											
Beschrijving onderdelen per stap	Per cm dikte															
Stappen	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm			
Tarra cilinder	301	306	306	286	301	306	286	302	307	288	301	309	gr			
Gewicht cilinder + droog substraat	619	704	783	843	937	1022	1082	1177	1262	1322	1415	1502	gr			
Netto gewicht cilinder met droog substraat	318	398	477	557	636	716	796	875	955	1034	1114	1193	gr			
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken	758	892	967	1053	1188	1271	1321	1438	1535	1579	1692	1714	gr			
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken	457	586	661	767	887	965	1035	1136	1228	1291	1391	1405	gr			
Vershil droog en nat substraat (FC)	139	188	184	210	251	249	239	261	273	257	277	212	gr			
Gewicht opvangbak leeg	132	233	231	233	130	232	132	233	131	232	128	232	gr			
Gewicht opvangbak na uitschenken	129	232	232	232	129	232	129	232	129	232	129	232	gr			
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken	3	1	-1	1	1	0	3	1	2	0	-1	0	gr			
Periode uitlekken substraat in minuten	15	7	8	10	9	8	9	7	9	8	9	9	min			
Gewicht maatcilinder leeg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr			
Gewicht maatcilinder met 500ml water	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr			
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr			
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak	486	437	437	416	373	377	388	363	354	367	348	311	gr			
Netto gewicht maatcilinder water opvang.	356	307	307	286	243	247	258	233	224	237	218	181	gr			
Vershil water in en uit	139	188	188	209	252	248	237	262	271	258	277	314	gr			
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml			
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken	361	312	312	290	250	251	266	240	229	241	222	187	ml			
Vershil water in ml uitschenken - opvangen	139	188	188	210	250	249	234	260	271	259	278	313	ml			
Field capacity in % bij laagdikte	32.32	34.97	29.14	27.90	29.07	25.73	21.76	21.98	21.01	18.53	18.47	19.41	% / cm			

Substraat type: RHP	06/05/13		Dag 1		Proef 2											
Beschrijving onderdelen per stap	Per cm dikte															
Stappen	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm			
Tarra cilinder	287	302	306	287	302	306	287	303	308	288	302	308	gr			
Gewicht cilinder + droog substraat	605	700	783	844	938	1022	1083	1178	1263	1322	1416	1501	gr			
Netto gewicht cilinder met droog substraat	318	398	477	557	636	716	796	875	955	1034	1114	1193	gr			
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken	764	892	982	1055	1157	1253	1303	1417	1515	1582	1699	1791	gr			
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken	477	590	676	768	855	947	1016	1114	1207	1294	1397	1483	gr			
Vershil droog en nat substraat (FC)	159	192	199	211	219	231	220	239	252	260	283	290	gr			
Gewicht opvangbak leeg	131	233	129	233	132	232	132	233	129	232	129	232	gr			
Gewicht opvangbak na uitschenken	129	232	129	231	129	233	129	232	129	232	129	232	gr			
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken	-2	1	0	2	3	-1	3	1	0	0	0	0	gr			
Periode uitlekken substraat in minuten	30	12	10	10	10	9	10	9	10	10	10	11	min			
Gewicht maatcilinder leeg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr			
Gewicht maatcilinder met 500ml water	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr			
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr			
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak	467	433	424	414	407	394	405	384	372	364	338	334	gr			
Netto gewicht maatcilinder water opvang.	337	303	294	284	277	264	275	254	242	234	208	204	gr			
Vershil water in en uit	158	192	201	211	218	231	220	241	253	261	287	291	gr			
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml			
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken	340	309	299	290	280	268	278	255	244	236	211	210	ml			
Vershil water in ml uitschenken - opvangen	160	191	201	210	220	232	222	245	256	264	289	290	ml			
Field capacity in % bij laagdikte	37.20	35.53	31.16	27.90	25.58	23.98	20.65	20.72	19.84	18.89	19.20	17.98	% / cm			



Substraat type: RHP		06/05/13		Dag 1		Proef 3								
Beschrijving onderdelen per stap		Per cm dikte												
Stappen		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm
Tarra cilinder		288	308	309	302	308	288	288	309	288	303	309	288	gr
Gewicht cilinder + droog substraat		606	706	786	859	944	1004	1084	1184	1243	1337	1423	1481	gr
Netto gewicht cilinder met droog substraat		318	398	477	557	636	716	796	875	955	1034	1114	1193	gr
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken		761	885	1000	1113	1201	1227	1331	1446	1498	1619	1720	1775	gr
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken		473	577	691	811	893	939	1043	1137	1210	1316	1411	1487	gr
Vershil droog en nat substraat (FC)		155	179	214	254	257	223	247	262	255	282	297	294	gr
Gewicht opvangbak leeg		130	233	129	232	129	129	232	130	231	129	232	128	gr
Gewicht opvangbak na uitschenken		129	232	129	232	129	129	232	129	232	129	232	128	gr
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken		-1	1	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	gr
Periode uitlekken substraat in minuten		12	10	10	9	10	9	10	10	10	10	9	10	min
Gewicht maatcilinder leeg		130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr
Gewicht maatcilinder met 500ml water		625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water		495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak		471	445	409	451	365	400	379	360	367	342	324	328	gr
Netto gewicht maatcilinder water opvang.		341	315	279	368	235	270	249	230	237	212	194	198	gr
Vershil water in en uit		154	180	216	127	260	225	246	265	258	283	301	297	gr
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken		349	320	281	241	240	276	258	233	240	212	199	203	ml
Vershil water in ml uitschenken - opvangen		151	180	219	259	260	224	242	267	260	288	301	297	ml
Field capacity in % bij laagdikte		35.11	33.48	33.95	34.41	30.23	23.15	22.51	22.58	20.15	20.61	20.00	18.42	% / cm

Substraat type: BVB		14/05/13		Dag 1		Proef 1								
Beschrijving onderdelen per stap		Per cm dikte												
Stappen		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm
Tarra cilinder		303				302		310		305	305		308	gr
Gewicht cilinder + droog substraat		797				1291		1546		1788	1912		2161	gr
Netto gewicht cilinder met droog substraat		494	0	0	0	989	0	1236	0	1483	1607	0	1853	gr
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken		917				1518		1754		1988	2122		2388	gr
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken		614	0	0	0	1216	0	1444	0	1683	1817	0	2080	gr
Vershil droog en nat substraat (FC)		120	0	0	0	227	0	208	0	200	210	0	227	gr
Gewicht opvangbak leeg		130				230		230		130			232	gr
Gewicht opvangbak na uitschenken		129				230		231		130			232	gr
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken		-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	gr
Periode uitlekken substraat in minuten		5	5	4	7	6	6	4	11	11	7	8	12	min
Gewicht maatcilinder leeg		130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr
Gewicht maatcilinder met 500ml water		625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water		495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak		503				398		413		425	414		398	gr
Netto gewicht maatcilinder water opvang.		373	-130	-130	-130	268	-130	283	-130	295	284	-130	268	gr
Vershil water in en uit		122	625	625	625	227	625	212	625	200	211	625	227	gr
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken		500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken		380	500	500	500	274	500	290	500	300	290	500	272	ml
Vershil water in ml uitschenken - opvangen		120	0	0	0	226	0	210	0	200	210	0	228	ml
Field capacity in % bij laagdikte		27.90	0.00	0.00	0.00	26.28	0.00	19.53	0.00	15.50	15.02	0.00	14.14	% / cm



Substraat type: Optigroen M	25/04/13	Dag 1		Proef 1									
Beschrijving onderdelen per stap	Per cm dikte												
Stappen	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm
Tarra cilinder	301	300	306	301	306	306	307	301	306	306	306	300	gr
Gewicht cilinder + droog substraat	791	913	1041	1159	1287	1409	1533	1649	1777	1899	2022	2138	gr
Netto gewicht cilinder met droog substraat	490	613	735	858	981	1103	1226	1348	1471	1593	1716	1838	gr
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken	927	1078	1227	1391	1509	1627	1772	1912	2029	2139	2260	2418	gr
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken	626	778	921	1090	1203	1321	1465	1611	1723	1833	1954	2118	gr
Vershil droog en nat substraat (FC)	136	165	186	232	222	218	239	263	252	240	238	280	gr
Gewicht opvangbak leeg	232	232	130	232	130	131	131	231	128	131	129	234	gr
Gewicht opvangbak na uitschenken	232	232	129	232	130	129	130	231	129	129	129	232	gr
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken	0	0	1	0	0	2	1	0	-1	2	0	2	gr
Periode uitlekken substraat in minuten	20	20	18	15	15	17	13	18	20	15	11	>60	min
Gewicht maatcilinder leeg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr
Gewicht maatcilinder met 500ml water	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak	487	455	437	418	406	408	386	360	362	388	390	345	gr
Netto gewicht maatcilinder water opvang.	357	325	307	288	276	278	256	230	232	258	260	215	gr
Vershil water in en uit	138	170	188	207	219	217	239	265	263	237	235	280	gr
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken	364	331	311	294	281	285	260	239	247	263	269	220	ml
Vershil water in ml uitschenken - opvangen	136	169	189	206	219	215	240	261	253	237	231	280	ml
Field capacity in % bij laagdikte	31.62	31.44	29.30	27.37	25.46	22.22	22.32	22.07	19.61	16.96	15.35	17.36	% / cm

Substraat type: Optigroen M	25/04/13	Dag 1		Proef 1									
Beschrijving onderdelen per stap	Per cm dikte												
Stappen	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm
Tarra cilinder	301	300	306	301	306	306	307	301	306	306	306	300	gr
Gewicht cilinder + droog substraat	791	913	1041	1159	1287	1409	1533	1649	1777	1899	2022	2138	gr
Netto gewicht cilinder met droog substraat	490	613	735	858	981	1103	1226	1348	1471	1593	1716	1838	gr
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken	927	1078	1227	1391	1509	1627	1772	1912	2029	2139	2260	2418	gr
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken	626	778	921	1090	1203	1321	1465	1611	1723	1833	1954	2118	gr
Vershil droog en nat substraat (FC)	136	165	186	232	222	218	239	263	252	240	238	280	gr
Gewicht opvangbak leeg	232	232	130	232	130	131	131	231	128	131	129	234	gr
Gewicht opvangbak na uitschenken	232	232	129	232	130	129	130	231	129	129	129	232	gr
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken	0	0	1	0	0	2	1	0	-1	2	0	2	gr
Periode uitlekken substraat in minuten	20	20	18	15	15	17	13	18	20	15	11	>60	min
Gewicht maatcilinder leeg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr
Gewicht maatcilinder met 500ml water	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak	487	455	437	418	406	408	386	360	362	388	390	345	gr
Netto gewicht maatcilinder water opvang.	357	325	307	288	276	278	256	230	232	258	260	215	gr
Vershil water in en uit	138	170	188	207	219	217	239	265	263	237	235	280	gr
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken	364	331	311	294	281	285	260	239	247	263	269	220	ml
Vershil water in ml uitschenken - opvangen	136	169	189	206	219	215	240	261	253	237	231	280	ml
Field capacity in % bij laagdikte	31.62	31.44	29.30	27.37	25.46	22.22	22.32	22.07	19.61	16.96	15.35	17.36	% / cm





Substraat type: Optigroen M	07/05/13	Dag 2	Proef 3												
Beschrijving onderdelen per stap	Per cm dikte														
Stappen	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm		
Tarra cilinder	288	308	289	290	311	290	309	289	309	289	309	290	gr		
Gewicht cilinder + droog substraat	804	953	1063	1193	1343	1451	1599	1708	1857	1966	2115	2225	gr		
Netto gewicht cilinder met droog substraat	516	645	774	903	1032	1161	1290	1419	1548	1677	1806	1935	gr		
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken	924	1110	1240	1483	1579	1691	1849	1950	2126	2227	2389	2481	gr		
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken	636	802	951	1193	1268	1401	1540	1661	1817	1938	2080	2191	gr		
Vershil droog en nat substraat (FC)	120	157	177	290	236	240	250	242	269	261	274	256	gr		
Gewicht opvangbak leeg	232	232	232	233	233	233	232	233	232	232	232	232	gr		
Gewicht opvangbak na uitschenken	233	233	232	232	233	233	232	232	232	232	232	233	gr		
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken	1	-1	0	1	0	0	-1	1	1	0	0	-1	gr		
Periode uitlekken substraat in minuten	6	8	5	7	8	8	9	10	8	9	8	9	min		
Gewicht maatcilinder leeg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr		
Gewicht maatcilinder met 500ml water	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr		
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr		
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak	504	495	441	368	388	385	373	382	357	363	351	369	gr		
Netto gewicht maatcilinder water opvang.	374	365	311	238	258	255	243	252	227	233	221	239	gr		
Vershil water in en uit	121	130	184	257	237	240	252	243	268	262	274	256	gr		
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml		
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken	380	345	318	241	261	260	250	260	231	239	225	241	ml		
Vershil water in ml uitschenken - opvangen	120	155	182	259	239	240	250	240	269	261	275	259	ml		
Field capacity in % bij laagdikte	27.90	28.83	28.21	34.41	27.79	24.80	23.25	20.29	20.85	18.67	18.27	16.06	% / cm		

Substraat type: Optigroen L	23/04/13	dag 1	Proef 1												
Beschrijving onderdelen per stap	Per cm dikte														
Stappen	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm		
Tarra cilinder	306	300	300	307	300	301	300	311	301	306	300	306	gr		
Gewicht cilinder + droog substraat	620	692	771	856	927	1008	1085	1174	1243	1326	1399	1483	gr		
Netto gewicht cilinder met droog substraat	314	392	471	549	627	707	785	863	942	1020	1099	1177	gr		
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken	1040	1111	1178	1274	1042	1124	1207	1276	1365	1443	1533	1612	gr		
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken	734	811	878	967	742	823	907	965	1064	1137	1233	1306	gr		
Vershil droog en nat substraat (FC)	420	419	407	418	115	116	122	102	122	117	134	129	gr		
Gewicht opvangbak leeg	232	233	232	132	232	233	232	132	232	132	232	132	gr		
Gewicht opvangbak na uitschenken	236	235	236	136	236	235	236	136	238	136	237	138	gr		
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken	4	-2	-4	-4	-4	-2	-4	-4	-6	-4	-5	-6	gr		
Periode uitlekken substraat in minuten	5	10	8	10	12	11	12	10	10	10	10	9	min		
Gewicht maatcilinder leeg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr		
Gewicht maatcilinder met 500ml water	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr		
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr		
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak	497	498	513	497	495	510	499	509	497	497	484	488	gr		
Netto gewicht maatcilinder water opvang.	367	368	383	367	365	380	369	379	367	367	354	358	gr		
Vershil water in en uit	128	127	112	128	130	115	126	116	128	128	141	137	gr		
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml		
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken	372	373	389	370	370	374	371	381	371	371	360	362	ml		
Vershil water in ml uitschenken - opvangen	128	127	111	130	130	126	129	119	129	129	140	138	ml		
Field capacity in % bij laagdikte	29.76	23.63	17.21	17.27	15.11	13.02	12.00	10.06	10.00	9.23	9.30	8.56	% / cm		

X



Substraat type: Optigroen L	24/04/13	Dag 2		Proef 2									
Beschrijving onderdelen per stap	Per cm dikte												
Stappen	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm
Tarra cilinder	300	306	300	306	301	306	300	306	306	300	306	302	gr
Gewicht cilinder + droog substraat	618	704	777	883	937	1022	1096	1181	1261	1334	1420	1495	gr
Netto gewicht cilinder met droog substraat	318	398	477	577	636	716	796	875	955	1034	1114	1193	gr
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken	725	824	902	996	1077	1153	1242	1310	1430	1490	1553	1642	gr
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken	425	518	602	690	776	847	942	1004	1124	1190	1247	1340	gr
Vershil droog en nat substraat (FC)	107	120	125	113	140	131	146	129	169	156	133	147	gr
Gewicht opvangbak leeg	132	232	131	231	131	234	132	232	233	131	235	131	gr
Gewicht opvangbak na uitschenken	130	232	131	233	133	237	131	237	235	131	233	133	gr
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken	-2	0	0	-2	-2	-3	1	-5	-2	0	2	-2	gr
Periode uitlekken substraat in minuten	10	10	10	8	8	7	7	7	10	9	10	9	min
Gewicht maatcilinder leeg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr
Gewicht maatcilinder met 500ml water	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak	513	504	488	486	480	488	480	490	452	466	490	474	gr
Netto gewicht maatcilinder water opvang.	383	374	358	356	350	358	350	360	322	336	360	344	gr
Vershil water in en uit	112	121	137	139	145	137	145	135	173	159	135	151	gr
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken	389	379	362	360	356	362	353	363	329	340	361	350	ml
Vershil water in ml uitschenken - opvangen	111	121	138	140	144	138	147	137	171	160	139	150	ml
Field capacity in % bij laagdikte	25.81	22.51	21.39	18.60	16.74	14.26	13.67	11.58	13.25	11.45	9.23	9.30	% / cm

Substraat type: Optigroen L	24/04/13	Dag 2		Proef 3									
Beschrijving onderdelen per stap	Per cm dikte												
Stappen	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	cm
Tarra cilinder	306	301	306	300	306	301	306	306	306	301	306	301	gr
Gewicht cilinder + droog substraat	624	699	783	857	942	1017	1102	1181	1261	1335	1420	1494	gr
Netto gewicht cilinder met droog substraat	318	398	477	557	636	716	796	875	955	1034	1114	1193	gr
Gewicht cilinder + substraat na uitlekken	755	823	889	974	1064	1144	1237	1320	1392	1475	1545	1621	gr
Netto gewicht cilinder + substraat na uitlekken	449	522	583	674	758	843	931	1014	1086	1174	1239	1320	gr
Vershil droog en nat substraat (FC)	131	124	106	117	122	127	135	139	131	140	125	127	gr
Gewicht opvangbak leeg	232	129	234	133	232	132	235	233	234	131	234	131	gr
Gewicht opvangbak na uitschenken	232	129	233	133	235	131	234	238	238	133	239	135	gr
Vershil gewicht opvangbak leeg - uitschenken	0	0	1	0	-3	1	1	-5	-4	-2	-5	-4	gr
Periode uitlekken substraat in minuten	10	15	10	10	10	12	12	8	10	13	10	11	min
Gewicht maatcilinder leeg	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	gr
Gewicht maatcilinder met 500ml water	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	625	gr
Netto gewicht maatcilinder met 500ml water	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	495	gr
Gewicht maatcilinder met water uit opvangbak	489	469	501	508	499	492	486	481	488	481	493	492	gr
Netto gewicht maatcilinder water opvang.	359	339	371	378	369	362	356	351	358	351	363	362	gr
Vershil water in en uit	136	156	124	117	126	133	139	144	137	144	132	133	gr
Hoeveelheid water in ml bij uitschenken	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	ml
Hoeveelheid water in ml opgevangen na uitlekken	365	370	378	385	370	368	360	357	361	353	369	368	ml
Vershil water in ml uitschenken - opvangen	135	130	122	115	130	132	140	143	139	147	131	132	ml
Field capacity in % bij laagdikte	31.39	24.18	18.91	15.28	15.11	13.64	13.02	12.09	10.77	10.52	8.70	8.19	% / cm



## Bijlage e. field capacity verrekend met oven droog resultaten

OPTI-M 1	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm3	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 1094 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	438	626	188	430	43.81%	
5	547	778	231	538	42.97%	
6	656	921	265	645	41.02%	
7	766	1090	324	753	43.08%	
8	875	1203	328	860	38.11%	
9	985	1321	336	968	34.77%	
10	1094	1465	371	1075	34.51%	
11	1203	1611	408	1183	34.47%	
12	1313	1723	410	1290	31.79%	
13	1422	1833	411	1398	29.39%	
14	1532	1954	422	1505	28.06%	
15	1641	2118	477	1613	29.58%	

OPTI-M 2	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm3	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 1090 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	436	660	224	430	52.09%	
5	545	793	248	538	46.13%	
6	654	947	293	645	45.42%	
7	763	1117	354	753	47.04%	
8	872	1240	368	860	42.79%	
9	981	1401	420	968	43.41%	
10	1090	1525	435	1075	40.46%	
11	1199	1670	471	1183	39.83%	
12	1308	1837	529	1290	41.00%	
13	1417	1952	535	1398	38.28%	
14	1526	2066	540	1505	35.88%	
15	1635	2226	591	1613	36.65%	

OPTI-M 3.	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm3	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 1086 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	434	636	202	430	46.88%	
5	543	802	259	538	48.18%	
6	652	951	299	645	46.41%	
7	760	1193	433	753	57.51%	
8	869	1268	399	860	46.41%	
9	977	1401	424	968	43.78%	
10	1086	1540	454	1075	42.23%	
11	1195	1661	466	1183	39.44%	
12	1303	1817	514	1290	39.82%	
13	1412	1938	526	1398	37.65%	
14	1520	2080	560	1505	37.18%	
15	1629	2191	562	1613	34.85%	



OPTI-L 1.	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm3	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 424 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	170	425	255	430	59.39%	
5	212	518	306	538	56.92%	
6	254	602	348	645	53.88%	
7	297	690	393	753	52.25%	
8	339	776	437	860	50.78%	
9	382	847	465	968	48.10%	
10	424	942	518	1075	48.18%	
11	466	1004	538	1183	45.46%	
12	509	1124	615	1290	47.68%	
13	551	1190	639	1398	45.70%	
14	594	1247	653	1505	43.41%	
15	636	1340	704	1613	43.65%	

OPTI-L 2.	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm3	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 429 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	172	425	253	430	58.9%	
5	215	518	304	538	56.5%	
6	257	602	345	645	53.4%	
7	300	690	390	753	51.8%	
8	343	776	433	860	50.3%	
9	386	847	461	968	47.6%	
10	429	942	513	1075	47.7%	
11	472	1004	532	1183	45.0%	
12	515	1124	609	1290	47.2%	
13	558	1190	632	1398	45.2%	
14	601	1247	646	1505	42.9%	
15	644	1340	697	1613	43.2%	

OPTI-L 3.	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm3	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 428 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	171	449	278	430	64.6%	
5	214	522	308	538	57.3%	
6	257	583	326	645	50.6%	
7	300	674	374	753	49.7%	
8	342	758	416	860	48.3%	
9	385	843	458	968	47.3%	
10	428	931	503	1075	46.8%	
11	471	1014	543	1183	45.9%	
12	514	1086	572	1290	44.4%	
13	556	1174	618	1398	44.2%	
14	599	1239	640	1505	42.5%	
15	642	1320	678	1613	42.0%	



BVB 1.	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm <sup>3</sup>	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 930 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	372	614	242	430.05	56.3%	
5	465		-465	537.57	53.5%	
6	558		-558	645.08	53.0%	
7	651		-651	752.59	52.8%	
8	744	1216	472	860.11	54.9%	
9	837		-837	967.62	48.0%	
10	930	1444	514	1075.13	47.8%	
11	1023		-1023	1182.64	43.0%	
12	1116	1683	567	1290.16	43.9%	
13	1209	1817	608	1397.67	43.5%	
14	1302		-1302	1505.18	40.5%	
15	1395	2080	685	1612.70	42.5%	

RHP 1.	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm <sup>3</sup>	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 379 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	152	457	305	430	71.0%	
5	190	586	397	538	73.8%	
6	227	661	434	645	67.2%	
7	265	767	502	753	66.7%	
8	303	887	584	860	67.9%	
9	341	965	624	968	64.5%	
10	379	1035	656	1075	61.0%	
11	417	1136	719	1183	60.8%	
12	455	1228	773	1290	59.9%	
13	493	1291	798	1398	57.1%	
14	531	1391	860	1505	57.2%	
15	569	1405	837	1613	51.9%	

RHP 2.	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm <sup>3</sup>	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 379 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	152	477	325	430	75.7%	
5	190	590	401	538	74.5%	
6	227	676	449	645	69.5%	
7	265	768	503	753	66.8%	
8	303	855	552	860	64.2%	
9	341	947	606	968	62.6%	
10	379	1016	637	1075	59.2%	
11	417	1114	697	1183	58.9%	
12	455	1207	752	1290	58.3%	
13	493	1294	801	1398	57.3%	
14	531	1397	866	1505	57.6%	
15	569	1483	915	1613	56.7%	



RHP 3.	Gewicht in gram			Volume cilinder bij laagdikte in cm <sup>3</sup>	Capaciteit Ø field capacity	Soortelijk gewicht 379 kg/10cm
	ovendroog	na uitlekken	verschil			
4	152	473	321	430	74.7%	
5	190	577	388	538	72.1%	
6	227	691	464	645	71.9%	
7	265	811	546	753	72.5%	
8	303	893	590	860	68.6%	
9	341	939	598	968	61.8%	
10	379	1043	664	1075	61.8%	
11	417	1137	720	1183	60.9%	
12	455	1210	755	1290	58.5%	
13	493	1316	823	1398	58.9%	
14	531	1411	880	1505	58.5%	
15	569	1487	919	1613	57.0%	





## Bijlage f. Takenverdeling

Onderdeel Rapport	1 <sup>e</sup> Auteur	2 <sup>e</sup> auteur
Voorwoord	Gezamenlijk	
Samenvatting	Bastiaan	Thomas
Inleiding	Gezamenlijk	
<b>2. Onderzoeksmethode</b>		
2.1 Randvoorwaarden	Bastiaan	Thomas
2.2 Informatieverzameling en verspreiding	Bastiaan	Thomas
2.3 Onderzoeksmodel	Thomas	Bastiaan
<b>3. Begroeiende daken algemeen</b>		
3.1 Keuzebepaling Begroeid dak	Bastiaan	Thomas
3.2 Opbouw begroeid dak	Thomas	Bastiaan
3.3 Waterbergend vermogen begroeid dak	Thomas	Bastiaan
3.4 Samenvattend begroeiende daken algemeen	Thomas	Bastiaan
<b>4. Dataverzameling</b>		
4.1 Is dikker wel beter?	Bastiaan	Thomas
4.2 Substraat en Richtlijnen	Bastiaan	Thomas
4.3 Proefopstelling	Gezamenlijk	
4.4 KNMI Neerslag- en verdampingdata	Thomas	Bastiaan
4.5 Samenvattend dataverzameling	Thomas	Bastiaan
<b>5. SOBEK Modellerings</b>		
5.1 Toelichting SOBEK	Bastiaan	Thomas
5.2 Invoerdata SOBEK	Thomas	Bastiaan
5.3 Gevoeligheidsanalyse SOBEK	Bastiaan	Thomas
5.4 Uitkomsten SOBEK	Gezamenlijk	
5.5 Samenvattend SOBEK modellerings	Thomas	Bastiaan
<b>6. Toetsing Gevalstudielocatie</b>		
6.1 Afrikaanderwijk, Rotterdam	Thomas	Bastiaan
6.2 Samenvattend Toetsing Gevalstudielocatie	Thomas	Bastiaan
<b>7. Discussie</b>		
7.1 Referentiegewas	Bastiaan	Thomas
7.2 Tijdsduur metingen	Thomas	Bastiaan
7.3 Werking Substraat praktijk, proefopstelling en modellerings	Bastiaan	Thomas
7.4 Referentiedak; Praktijk vs. SOBEK	Bastiaan	Thomas
<b>8. Conclusie en Aanbevelingen</b>	Gezamenlijk	
<b>9. Bibliografie</b>	Bastiaan	Thomas
<b>10. Bijlagen</b>	Gezamenlijk	

