

Blauwe daken nader beschouwd

In breed perspectief wat een blauw dak is en de effecten van een blauw dak met nadruk op het watersysteem



Timo Hoekstra

15 juli, 2016



Gemeente Rotterdam

Voorwoord

‘Smart City’ is tegenwoordig een modieuze term. Maar is toch meer dan de zoveelste trend of hype. Stedelijke gebieden zullen volgens experts een belangrijke rol spelen in de ‘derde industriële golf’ of ‘the next economy’. Maar steden leefbaar houden stelt de stadsbeheerder voor diverse opgaven. Economisch, infrastructureel, financieel, maar ook op het gebied van duurzaamheid. Rotterdam heeft bijvoorbeeld opgaven op het gebied van waterberging, verkoeling en vergroening van de stad en het duurzaam opwekken van energie.

Deze voorliggende leidraad is tot stand gekomen in het kader van mijn afstuderen aan de HBO-opleiding Watermanagement aan de Hogeschool Rotterdam. De leidraad is gebaseerd op het afstudeeronderzoek in opdracht van de gemeente Rotterdam en heeft als doel een inventarisatie te geven van blauwe daken met de effecten ervan op het watersysteem. Van februari 2016 tot en met juni 2016 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van een eindrapport waarop deze leidraad gebaseerd is. Deze leidraad is geïnspireerd door de publicatie “Groene daken nader beschouwd” van STOWA stichting RIONED.

Smart omgaan met de schaarse stedelijke ruimte vormt ook voor mij – als watermanager – een interessante uitdaging. Als Watermanagementstudent houd ik mij graag bezig met duurzame oplossingen voor waterproblemen. Dit zijn vaak onderwerpen waar nog veel ontwikkeling en groei in zit, hier wil ik graag een bijdrage aan leveren. Hierdoor sprak het onderwerp “blauwe daken om wateroverlast te voorkomen” bij de gemeente Rotterdam mij erg aan. Voor dit onderzoek was veel rekenwerk noodzakelijk. Op technische gebied vind ik mijzelf minder sterk en wil ik mij graag in verbeteren. Dit onderzoek vormde daarom een uitdaging voor mij. Ik heb van dit onderzoek veel geleerd en interessante mensen mogen ontmoeten.

Voor deze kansen en leerervaringen wil ik dan ook mijn dank betuigen aan mijn opdrachtgever Paul van Roosmalen, en mijn begeleider vanuit school Kaj van de Sandt. Paul van Roosmalen wil ik bedanken voor de begeleiding binnen in de organisatie, zijn frisse kijk op problemen en het altijd verhelderende advies heeft mij goed geholpen. Kaj van de Sandt wil ik bedanken voor zijn hulp bij het op orde krijgen van dit onderzoek in de beginfase en de begeleiding gedurende de rest van het traject. In combinatie met een goede begeleiding vanuit de Gemeente Rotterdam en vanuit school, is het afstudeertraject een fijne ervaring voor mij geweest met een afstudeerrapport en de voorliggende leidraad als resultaat.

Hiernaast wil ik ook de professionals van de gemeente Rotterdam bedanken voor hun bruikbare adviezen en het helpen verkrijgen van informatie. Harry van Luijtelaar van Stichting RIONED wil ik speciaal bedanken voor zijn adviezen en technisch inzicht. Ik kon altijd met vragen bij hem terecht.

Afsluitend wens ik u veel leesplezier toe met het doornemen van het afstudeerrapport. Een meer gedetailleerde uitvoering van dit onderzoek is te vinden in de onderstaande link. Dit is het afstudeerrapport met het volledige onderzoek.

<https://1drv.ms/f/s!AgXZze3SLLY6pANTMyNZ1AOYBUDI>

Mochten er nog vragen of onduidelijkheden zijn, dan kunt u vanzelfsprekend contact opnemen via timohoeckstra123@gmail.com

Rotterdam, 15 juli 2016

Blauwe daken nader beschouwd

In breed perspectief wat een blauw dak is en de effecten van een blauw dak met nadruk op het watersysteem

Aanleiding

In dichtbebouwde gebieden zoals Rotterdam is er weinig ruimte over voor watercompensatie (Riool.net, z.d.). Gebiedsontwikkelaars gebruiken deze ruimte liever voor gebouwen. Door klimaatveranderingen zullen de buien steeds heviger worden in Nederland (Wageningen Universiteit, 2015). Het watersysteem zal het dan steeds zwaarder krijgen om al dit water te verwerken. Hiernaast heeft Rotterdam ook opgaven op het gebied van verkoeling.

Rotterdam heeft veel platte daken, 76% van het totale dakoppervlak is plat (Rotterdamsedakendagen, 2015). Dit komt neer op 14,5 km² aan platte daken (Rotterdamsedakendagen, 2015). Om deze ruimte niet te benutten zou zonde zijn. Platte daken bieden mooie kansen voor multifunctioneel en duurzaam gebruik. Door met daken water op te vangen en tijdelijk vast te houden wordt het watersysteem ontlast. Dit zal ook het aantal overstorten op oppervlaktewater verminderen met een positief gevolg voor de waterkwaliteit. Wanneer het rioolsysteem overbelast raakt wordt er namelijk overgestort op oppervlaktewater (RIONED, z.d.). Dus hoe minder wateroverlast, hoe minder overstorten er zullen plaatsvinden.

Tegelijkertijd groeit de belangstelling van het stedelijk waterbeheer voor het gebruik van daken als waterberging (Hugo Gastkemper, 2015). Dit komt vooral door de recente ervaringen met extreme neerslag en de groeiende aandacht voor klimaatadaptatie (Hugo Gastkemper, 2015). Er is al bekend dat (blauw)groene daken in dit kader voordelen hebben vergeleken met gewone platte daken of

pannendaken (Hugo Gastkemper, 2015). Maar geldt dit ook voor blauwe daken? En wat zijn de voordelen van blauwe daken ten opzichte van groene daken of blauwgroene daken?

Om vast te stellen of blauwe daken werkelijk een significante bijdrage kunnen leveren aan het verwezenlijken van doelstellingen van de wateropgaven van Rotterdam is meer onderzoek gewenst.

Deze publicatie zal bijdragen om daar een duidelijk beeld van te geven om te zien wat de potentie van blauwe daken is op het watersysteem.

Leeswijzer

Achtereenvolgens gaat de publicatie in op:

1. Type blauwe daken

Er bestaan vele varianten op blauwe daken. Om beter te begrijpen wat blauwe daken zijn worden ze onderverdeeld in verschillende types.

2. Definitie blauwe daken

Hierin wordt exact toegelicht wat een blauw dak is en waar de grenzen liggen tussen andere multifunctionele daken die erg op blauwe daken lijken.

3. Opbouw en onderhoud blauw dak

Hierin wordt een beschrijving gegeven van functionele en technische onderdelen waaruit een blauw dak is opgebouwd. Hier wordt de focus gelegd op de standaardelementen van een blauw dak. Dit zijn de onderdelen/elementen die in elk blauw dak zitten ongeacht het type. Ook wordt hier beantwoord wat voor onderhoud er nodig is om een blauw dak in stand te houden.

4. Belasting op dakconstructies

Vele gebouwen verschillen in dakconstructies, vooral in het gebruik van het type materiaal. Dit hoofdstuk zal beantwoorden welke dakconstructies een grotere kans hebben op problemen met de belasting van een blauw dak.

5. Hydrologische werking

Hierin worden alle hydrologische aspecten van een blauw dak besproken en aan welke eisen het moet voldoen.

6. Effecten van blauwe daken op de waterhuishouding van een wijk

In dit hoofdstuk zijn er doormiddel van een modelstudie op een casegebied simulaties gemaakt. Met de resultaten van deze simulaties wordt er bepaald wat het effect van een blauw dak is op wijkniveau.

7. Overzicht van andere voordelen en aandachtspunten van blauwe daken op de omgeving
een toelichting van 'niet-hydrologische' effecten van groene daken onderverdeeld in voordelen en aandachtspunten.

8. Conclusie

Hierin wordt geconcludeerd wat de potentie is van blauwe daken in het watersysteem van een wijk en wat hier invloed op heeft.

9. Aanbeveling

Dit hoofdstuk geeft een aanbeveling over het gebruik van blauwe daken en vervolgonderzoeken die worden geadviseerd.

1. Type blauwe daken

1.1 Blauw retentiedak

Bij een retentiedak is de primaire functie het bergen van regenwater. Het regenwater wordt dan tijdelijk geborgen op het dak en wordt na de bui vertraagd afgevoerd. Er zijn twee type retentiedaken te onderscheiden, met een statische afvoer of met een dynamische afvoer. Deze varianten worden onderstaand nader toegelicht.

Statische afvoer

Wanneer een blauw retentiedak een statische afvoer heeft betekent dit dat er met een kleine afvoer wordt gewerkt dat constant afvoert. Deze afvoersnelheid is zodanig vertraagd dat bij een bui de invoer een stuk groter is dan de uitvoer van het dak. Het resultaat hiervan is dat het dak zich langzaam vult met water en deze hoeveelheid bergt tijdens een bui.

De eenvoudigste manier van statisch afvoeren is door een klein gaatje te maken aan de onderkant van een rechtopstaande pijp zodat het langzaam leeg kan stromen. Om te zorgen dat het dak niet kan overstromen is de pijp aan de bovenkant open zodat het water erin weg kan stromen. Deze opening is een stuk groter dan het gaatje en moet te allen tijde het water weg kunnen laten stromen.

De hoogte van de pijp bepaald de hoeveelheid water dat geborgen kan worden op het dak. Hoe groot het gaatje moet worden is situatie afhankelijk. Belangrijke factoren zijn de maximale belasting van het dak, het rioolsysteem en wateropgaven van het gebied.

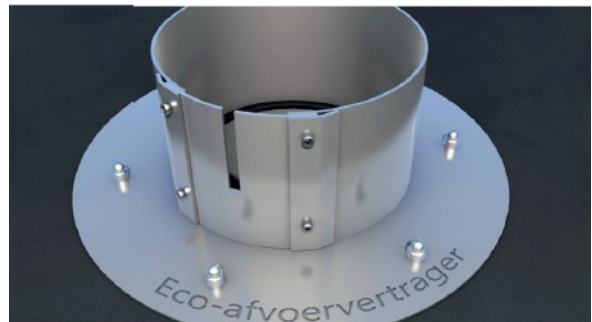
Twee voorbeelden van een statische afvoer uit de praktijk worden hiernaast besproken.



Figuur 1 De Meander (foto Optigroen)

De Meander is een product van Optigroen (Optigroen, 2015). Het water gaat hier door een gepatenteerde bufferlaag met een vertragende werking. De Meander vertraagt het water met ongeveer 90%. Dit product wordt door Optigroen op blauwgroene daken gebruikt, er komt dan nog een substraat -en vegetatielaag op.

Dit zou ook toepasbaar zijn op blauwe daken. Blauwe daken hebben echter geen vegetatielaag dus moet er een andere laag opkomen om te zorgen dat de bufferlaag niet weg waait. Een voorbeeld zou grind kunnen zijn (Optigroen, 2015).



Figuur 2 De Eco-afvoervertrager (foto Betonrestore)

Een ander voorbeeld is de Eco-afvoervertrager van Betonrestore (Betonrestore, 2015). Dit systeem heeft een smal sleufje met een opening dat afvoert.

Er kan zelf bepaald worden op welke hoogte of

vorm het sleufje gemaakt moet worden. Alles wat beneden het sleufje zit wordt dus niet afgevoerd maar zal verdampen. Water dat door het sleufje heen stroomt wordt vertraagd tot 0,8-1,5 l/s/ha afhankelijk van de waterbeheerder. De waterbeheerder kan dus sturen op wenselijke afvoeren vanaf de daken. Als het water stijgt boven de rand van de eco-afvoervertrager dient het als een noodafvoer (Betonrestore, 2015).

Dynamische afvoer

Blauwe retentiedaken met een dynamische afvoer houden het water vast gedurende de bui en laten het weer weg stromen als de bui voorbij is. Systemen met een dynamische afvoer hebben vaak mechanische onderdelen die het water controleren. Deze zijn weer- en sensorgestuurd zodat het systeem weet wanneer er een piekbui verwacht wordt en wanneer het zijn water moet lozen.

Figuur 3 is een systeem ontwikkeld door Optigroen (Optigroen, 2016). Het systeem heet Smart Flow Control en is weer- en sensorgestuurd. Op deze foto is de Smart Flow Control toegepast op een blauwgroen dak. Onder de grind en vegetatie laag zit een ruimte voor waterberging. De cylinder van de Smart Flow Control kan omhoog en omlaag gaan gestuurd door de sensors. Direct onder de cylinder zit een afvoer buis die het water van het dak af laat stromen.

Afhankelijk van de situatie kan er bepaald worden hoe ver de cylinder omhoog gaat. De Smart Flow Control kan het water dus vertraagd afvoeren tot 0 l/s door dicht te gaan (Optigroen, 2016).

Het Polderdak, ontwikkeld door Dakdokters, heeft een soortgelijk systeem als de Smart Flow Control (Dakdokters, 2016). Dit systeem heeft in plaats van een cylinder een klep die open en dicht kan. Ook dit systeem is weer- en sensor gestuurd om het waterniveau en de

afvoersnelheid te meten en te regelen. Het Polderdak communiceert met een centrale server en kan anticiperen op hevige regenbuien, storm en sneeuw, zodat er altijd maximale waterberging wordt gegarandeerd (Dakdokters, 2016).



Figuur 3 De Smart Flow Control (foto Optigroen)



Figuur 4 Het Polderdak Amsterdam (foto Dakdokters)

1.2 Koelingsdak

Bij een koelingsdak, ook wel een permanente waterdak genoemd, staat er permanent water op het dak (Groenblauwenetwerken, s.d.). Dit water wordt verdampt en zorgt voor verkoeling van de omgeving. Een koelingsdak heeft dan ook als voornaamste functie de omgeving te verkoelen. Ook kan het water van een regenbui bergen, dit zal echter minder zijn dan bij een retentiedak. Het kan namelijk voor komen dat vlak voor een piekbui het dak nog vol staat met water van een vorige bui. In dit geval kan het niks bergen en zal het dus niet bijdragen aan het ontlasten van het watersysteem. Dit is een groot nadeel van een koelingsdak. Wanneer er waterberging in een gebied nodig is worden eerder retentiedaken geadviseerd.

In het dak zit een overstort dat ervoor zorgt dat het dak niet kan overstromen tijdens een regenbui. De overstort zit vaak aangesloten op het HWA-systeem maar kan ook worden aangesloten op groen of oppervlaktewater mits er voldoende berging is in de bodem en het oppervlaktewater voldoet aan de maximale peilstijging. Op een koelingsdak zit ook een “noodplug” dat ervoor kan zorgen dat het dak leegloopt voor wanneer er bijvoorbeeld onderhoud moet worden uitgevoerd. Onderstaand is een voorbeeld gegeven van een koelingsdak.



Figuur 5 Koelingsdak Apeldoorn (foto Maarten van Reiling)

1.3 Aanpassingen blauwe daken

Blauwe daken worden zoals eerder vermeld onderverdeeld in retentiedaken en koelingsdaken, deze worden gezien als de standaardversies van blauwe daken. Er zijn echter vele mogelijkheden om deze twee type daken aan te passen zodat er andere functies worden benut. In dit hoofdstuk wordt er globaal besproken wat deze aanpassingen kunnen zijn.

Gesloten waterdak

Een standaard blauw dak is over het algemeen open omdat dit gewenst is uit esthetisch oogpunt en omdat er meer verdamping kan plaatsvinden (vanvenrooy, s.d.). Hoe meer water er verdampt, hoe meer verkoeling en hoe meer ruimte er beschikbaar is voor berging. Bij een gesloten waterdak is het water afgedekt zodat het dak ook voor andere doeleinden gebruikt kan worden. Hiervoor zijn meerdere systemen ontwikkeld die het mogelijk maken water te bergen en hierboven een afwerking in de vorm van bestrating of beplanting toe te passen. Een voorbeeld is waterberging met Watershells of infiltratiekratten (vanvenrooy, s.d.). Een blauwgroen dak is ook een soort gesloten waterdak, omdat het ruimte heeft voor waterberging en daarboven nog lagen zitten die het afdekken.

Watershell

Watershells zijn koepelvormige cassettes van kunststof die maar op één manier in elkaar passen. Samen vormen de Watershells een verloren bekisting met tussenruimtes (Waterblock BV, 2010). In de kolommen die ontslaan wordt beton gestort, zodat er als ware



Figuur 7 Watershells (foto Waterblock BV)

een vloer op paaltjes ontstaat. Het regenwater wordt tijdelijk geborgen in de Watershells en wordt daarna vertraagd afgevoerd naar het riool of oppervlaktewater (Waterblock BV, 2010)

Permavoid (infiltratiekratten)

Permavoid zijn infiltratiekratten die op een waterdichte laag geplaatst kunnen worden. In deze kratten is ruimte voor waterberging (Aquaflow, s.d.).



Figuur 6 Permavoid (foto Aquaflow)

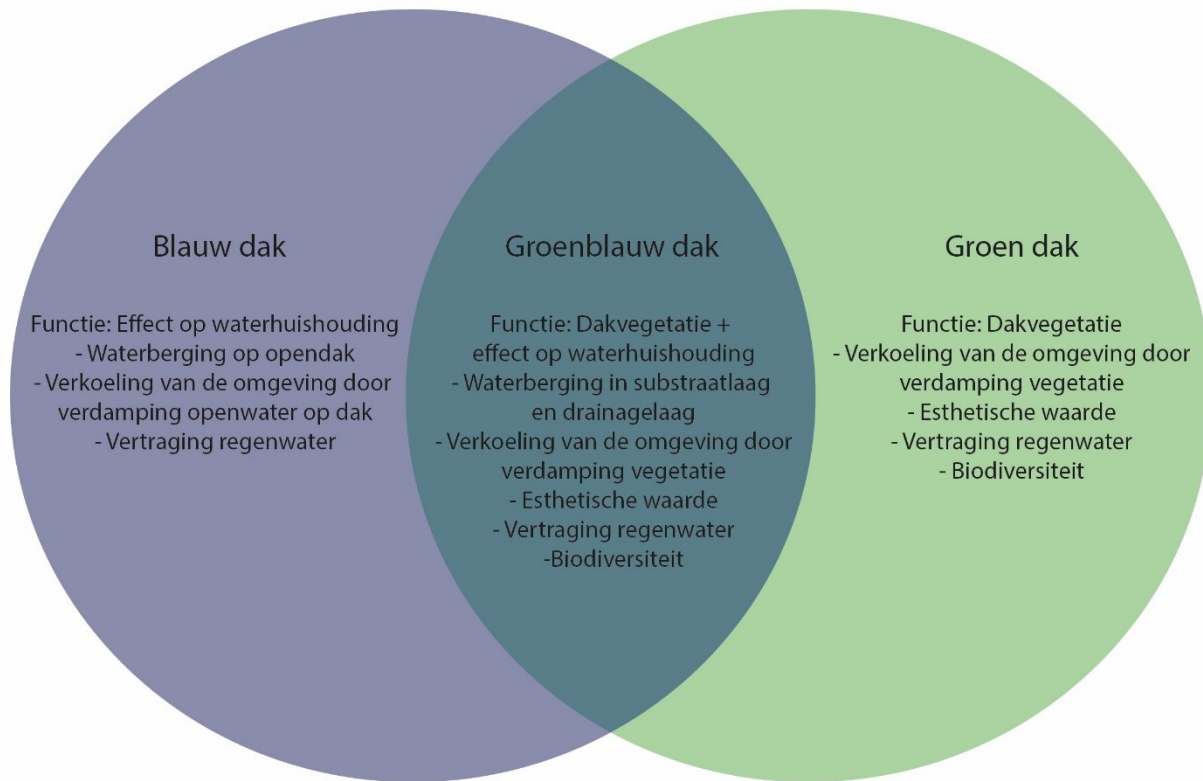
Hergebruik water

Een blauw dak kan zodanig worden ontworpen dat het geborgen regenwater gebruikt wordt voor andere functies. Een voorbeeld hiervan is spoelwater (Elshot, 2007). Het water dat wordt vastgehouden wordt dan gebruikt voor het spoelen van het toilet. In tijde van grote droogte met als gevolg een droogstaand dak moet dan wel overgeschakeld worden op het gebruik van grondwater of drinkwater. Hetzelfde principe kan worden toegepast voor tuinwater. Een ander voorbeeld is bluswater (Elshot, 2007). De brandweer kan water pompen uit een blauw dak op laag niveau, een blauw dak kan ook worden aangesloten op een sprinklersysteem. Ook hier geldt dat in geval van droogte moet kunnen worden teruggevallen op leidingwater.

Koeling in gebouw

Het is mogelijk om het geborgen regenwater te gebruiken in een circulatiesysteem. Dit circulatiesysteem zorgt voor koeling in het gebouw (Foamglas T4, 2004).

2. Definitie blauw dak



Figuur 8 Definitie blauw dak grenzen

Omdat er veel verschillende varianten bestaan van blauwe daken is het lastig om te zeggen wat precies een blauw dak is. Daarom zijn de blauwe daken eerst onderverdeeld in types zoals in het vorige hoofdstuk. Deze staan onderstaand nog eens aangegeven.

- Retentiedaken
 - Retentiedak met dynamische afvoer
 - Retentiedak met statische afvoer
- Koelingsdaken

Naast deze types is het ook nog mogelijk om een aantal aanpassingen te maken aan de bovenstaande types:

- Gesloten waterdak
- Hergebruik water

- Watercirculatie in gebouw

Met behulp van deze categorieën en het overige onderzoek kan er worden geconcludeerd wanneer een multifunctioneel dak valt onder de categorie blauw dak. In figuur 8 is aangegeven wanneer een blauw dak wordt beschouwd als een groen dak en andersom.

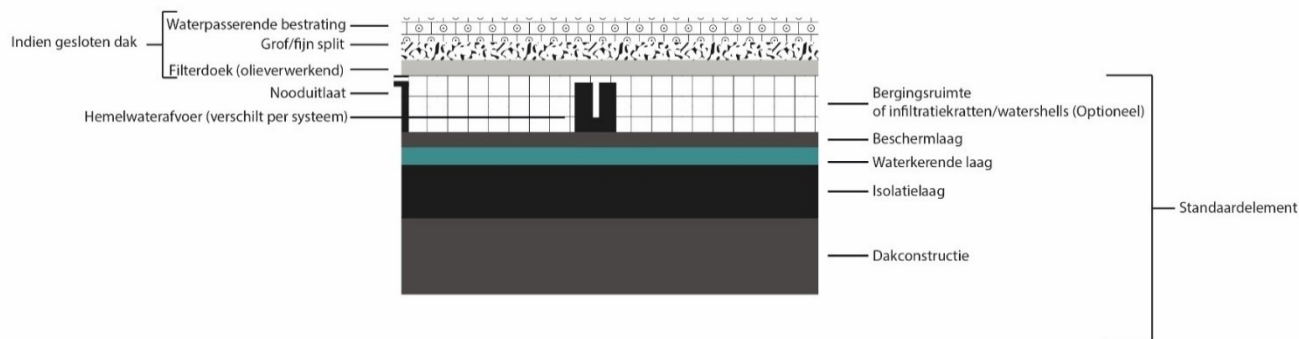
Een blauw dak heeft de primaire functie om significant effect te hebben op de waterhuishouding. Dit effect is het vermogen om een grote hoeveelheid regenwater te kunnen bergen. Het water dat geborgen wordt kan worden afgevoerd doormiddel van verdamping of/en een afvoer.

Over het algemeen is een blauw dak een open dak zodat de verdamping optimaal is. Bij een gesloten dak is het afhankelijk van de functie die erop komt. Wanneer er vegetatie met een

substraat laag op komt gaat het al snel de kant op van een groenblauw dak. Wanneer er bijvoorbeeld doorlatende verharding op komt wordt het nog steeds beschouwd als een blauw dak.

Een groen dak is vooral gericht op de functie van de dakvegetatie en niet op de effecten voor de waterhuishouding. Functies van de dakvegetatie zijn voornamelijk het verbeteren van de biodiversiteit, esthetische waarde en verkoeling. Een groenblauw dak combineert de functies van een groen en een blauw dak. Een groenblauw dak heeft dus de functie van dakvegetatie en heeft als functie om effect te hebben op de waterhuishouding. Dit wordt mogelijk gemaakt door naast een substraat laag ook ruime waterberging te maken in de drainagelaag. In het wetenschappelijke rapport “Groene daken nader beschouwd” van Rioned staat beschreven wat de functionele eisen van groenblauwe daken zijn vanuit het waterbeheer.

3. Opbouw en onderhoud blauw dak



Figuur 9 Blauw dak standardelementen en optionele elementen

In dit hoofdstuk wordt besproken wat de standardelementen zijn van een blauw dak en wat het benodigde onderhoud voor een blauw dak is. Het benodigde onderhoud is vastgesteld op basis van interviews met Optigroen, Dakdokters en Betonrestore.

3.1 Opbouw blauw dak

In figuur 9 zijn de lagen van een blauw dak aangegeven. Er is aangegeven welke lagen standardelementen zijn en welke lagen optioneel zijn. De standardelementen zijn lagen die altijd in een blauw dak zitten ongeacht het type. Optioneel zijn de lagen die in een blauw dak zitten wanneer het een gesloten is. Onderstaand wordt er een toelichting per laag gegeven.

Dakconstructie (standaardelement)

De dakconstructie onder de waterkerende laag draagt het gewicht van het dak zelf en zorgt voor warmte-isolatie. Het dak moet ook extra belastingen kunnen dragen, zoals sneeuwlast en windbelasting.

Wat exact deze belastingen zijn voor een blauw dak wordt besproken in hoofdstuk 6.

Een dakconstructie bestaat vaak uit materialen als hout, staal, beton, steen of kunststof-gerelateerde materialen. De dakconstructie voor een blauw dak verschilt niet veel met dat van een groen dak. Dit komt doordat beide

daken het gewicht van water moeten dragen. Een groen dak moet rekening houden met het gewicht van een waterlaag tot aan het niveau van de noodafvoer. Het gewicht van een groen dak varieert van circa 50 kg/m² tot meer dan 100 kg/m² (Hugo Gastkemper, 2015).

Blauwe daken hebben een gebruiksfunctie, dit is namelijk het bergen van water. De waterberging van een blauw dak kan variëren tussen de 50-150 mm waterberging. Dus de belasting is afhankelijk van hoe het dak wordt ingericht. In alle gevallen moet de dakconstructie sterk genoeg zijn om het totale gewicht te kunnen houden.

Tenslotte moet een dak voldoen aan de regels in het Bouwbesluit en de daarin genoemde NEN-normen voor (wind)belasting en vervormingen. Het kan noodzakelijk zijn om de draagkracht te vergroten door de constructie aan te passen.

Isolatielaag (standaardelement)

De isolatielaag zorgt voor thermische isolatie van het gebouw. De isolatielaag kan bestaan uit bijvoorbeeld Foamglas isolatieplaten (Dakwater, 2008).

Beschermlaag (standaardelement)

De beschermlaag beschermt het dak tegen beschadigingen die veroorzaakt kunnen worden door bijvoorbeeld het belopen van het dak,

onderhoudsactiviteiten en ijsvorming. Deze beschermende laag kan bijvoorbeeld gietasfalt of bitumen zijn.

Waterkerende laag (standaardelement)

De waterkerende laag voorkomt dat er lekkage ontstaat naar de onderliggende dakconstructie. Deze laag bestaat vaak uit bitumineuze of kunststof materialen. Door temperatuurveranderingen is er kans op scheuren in de waterkerende laag. Hiervoor zijn hechtbrug isolatoren ontwikkeld die dit voorkomen. Betonrestore is een organisatie die hier bijvoorbeeld gebruik van maakt en dit adviseert.

Bergingsruimte (standaardelement)

De bergingsruimte staat centraal bij een blauw dak. Dit is de ruimte waarin het regenwater geborgen wordt. Wanneer het een open blauw dak is wordt het water tegenhouden door de dakranden en is het een openruimte met niks erboven.

Gesloten dak (optioneel)

Wanneer er gekozen wordt voor een gesloten blauw dak, kan er gekozen worden uit het gebruik van bijvoorbeeld watershells of infiltratiekratten zoals beschreven in hoofdstuk 4.3. Hierin wordt dan het water geborgen zodat bovenop deze materialen het dak voor andere doeleinden gebruikt kan worden.

Hemelwaterafvoer (standaardelement)

Elk blauw dak ongeacht het type heeft een afvoer op het dak die het regenwater op een bepaald niveau vertraagd laat afstromen. Het niveau waarop het water wordt afgevoerd is afhankelijk van het dak, de wateropgaven van het gebied en het rioolsysteem. De

hemelwaterafvoer kan verschillen, er zijn al meerdere types besproken. Er kan gekozen worden tussen een statische afvoer of een dynamische afvoer.

Noodafvoer (standaardelement)

Naast de hemelwaterafvoer moet een dak ook noodafvoeren hebben volgende de NEN6703. Deze eis is gesteld voor als de dakuitlaten verstopt raken. Dit is voor het geval de normale hemelwaterafvoer verstopt raakt met bijvoorbeeld blaadjes en takjes.

Filterdoek (indien gesloten dak)

Dit filterdoek kan olieresten afvangen. Het doek voorkomt dat er veel vuil van het dak in de infiltratiekratten terecht komt. Het filterdoek is vaak van geotextiel of kunststof.

Grof/fijn split (indien gesloten dak)

Het split dient onder andere als ballast tegen opwaaien van de dakbedekking en tevens tegen bescherming door UV-invloeden van de zon. Het split voorkomt ook verstoppingen van de waterafvoer.

Waterpasserende bestrating (indien gesloten dak)

Door waterpasserende bestrating is het dak goed begaanbaar en kan het voor andere doeleinden gebruikt worden naast waterberging. De bestrating moet waterpasserend zijn zodat het water richting de waterberging kan stromen. Het is ook mogelijk om andere soort materialen te gebruiken. Wanneer er groen wordt toegepast valt het niet meer onder de categorie blauwe daken, het wordt dan als een blauwgroen dak beschouwd.

3.2 Onderhoud

Voor een blauw dak is het meeste onderhoud hetzelfde als bij traditionele daken (Colijn, 2016). Toch zijn er een aantal onderdelen die extra onderhoud vereisen. Deze worden onderstaand besproken.

Algengroei

Bij blauwe daken wordt het water blootgesteld aan zonlicht. Met een laag water ontstaat er gegarandeerd algengroei (Colijn, 2016). Algen vreten in op de dakbedekking wat verkleuring veroorzaakt. Ook vormen ze een voedingsbodem voor mossen wat kan leiden tot meer vervuiling. Veel vervuiling verkleint de bergingscapaciteit en kan afvoeren verstopen. Om deze reden moeten algen verwijderd worden.

Koelingsdaken ondervinden hier het meeste last van doordat er bijna permanent water op het dak staat. Bij retentiedaken zal dit minder zijn doordat het water wordt afgevoerd. Het maakt hier niet veel uit of het een statische of dynamische afvoer heeft. In beide gevallen wordt het water vertraagd afgevoerd wat de kans op algengroei verminderd.

Bij een gesloten blauw dak komt er geen tot weinig zonlicht bij het water waardoor er geen algengroei zal ontstaan. Onderstaand is per type blauw dak aangegeven wat de kans is op algengroei.

Tabel 1 Algengroei per type blauw dak

Blauwe daken varianten	Kans op algengroei
Koelingsdak	Erg veel kans op algengroei
Open retentiedak met statische afvoer	Weinig kans op algengroei
Open retentiedak met dynamische afvoer	Weinig kans op algengroei
Gesloten retentiedak met dynamische afvoer	Vrijwel geen kans op algengroei
Gesloten retentiedak met statische afvoer	Vrijwel geen kans op algengroei

Software storingen

Bij retentiedaken met een dynamische afvoer is er kans op software storingen. Een voordeel van het systeem is dat alles digitaal kan worden bekeken om te zien waar het probleem precies zit. Een supportcontract is nodig om software storingen te verhelpen. Bij bijvoorbeeld het Polderdak zijn al een aantal storingen voorgekomen (Klapwijk, 2016). Deze systemen doen wel vaak één keer per week een systeem test om problemen snel te ontdekken. Ten opzichte van een koelingsdak of een retentiedak met een statische afvoer is het een nadeel.

Tabel 2 Software storingen per type blauw dak

Blauwe daken varianten	Software storingen
Open retentiedak met dynamische afvoer	Ja
Gesloten retentiedak met dynamische afvoer	Ja
Koelingsdak	Nee
Open retentiedak met statische afvoer	Nee
Gesloten retentiedak met statische afvoer	Nee

Inspecties

Vergeleken met traditionele daken zijn onderhoud en inspectie ongeveer twee keer zo duur bij een blauw dak (Colijn, 2016). Inspecties worden in ieder geval vlak voor de winter gedaan want dan is de kans het grootst dat er blaadjes en takjes op het dak zijn gevallen. Op basis van gesprekken met leveranciers van (groen)blauwe daken is er per blauw dak het aantal benodigde inspecties per jaar aangegeven. Bij retentiedaken met een dynamische afvoer worden er meer inspecties gedaan per jaar in verband met de mechanische onderdelen. Mechanische onderdelen bewegen, alles wat beweegt zal sneller slijten.

Tabel 3 Inspecties per type blauw dak

Blauwe daken varianten	Inspecties
Open retentiedak met dynamische afvoer	6 keer per jaar
Gesloten retentiedak met dynamische afvoer	6 keer per jaar
Koelingsdak	2-4 keer per jaar
Open retentiedak met statische afvoer	2-4 keer per jaar
Gesloten retentiedak met statische afvoer	2-4 keer per jaar

Vorst

Vorst kan grote gevolgen hebben voor een blauw dak. Als er water op het dak ligt kan dit bevriezen. Wanneer water bevriest zet dit uit. Hierdoor kunnen onderdelen beschadigd raken. Optigroen heeft onderzoek gedaan naar de effecten van vorst bij blauwgroene daken. Doordat het water onder een aantal lagen zat werd het water goed geïsoleerd. Het water bevroor niet bij temperaturen tot ver onder het vriespunt (Vlijm, 2016). Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij gesloten

retentiedaken ongeveer hetzelfde resultaat zal uitkomen. Een gesloten retentiedak is namelijk ook afgesloten met een aantal lagen boven het water.

Retentiedaken die open zijn maar voorzien zijn van een dynamische afvoer ondervinden ook weinig last van vorst. Dit komt doordat deze systemen communiceren met een centrale server en kan anticiperen op vorst (Klapwijk, 2016). Wanneer het dreigt te vriezen zal het systeem zorgen dat al het water van het dak wegstroomt zodat het niet kan bevriezen. Er zal dan wel minder berging zijn op het dak, dit is echter geen erg probleem aangezien de zwaarste buien vooral in de zomer plaatsvinden. Het dak kan nog steeds vertraagd afvoeren door de klep niet te ver open te doen. Stromend water bevriest minder snel dan stilstaand water. Onderstaand is per type blauw dak aangegeven hoe groot de kans is op bevriezing van het water.

Tabel 4 Kans op bevriezing per type blauw dak

Blauwe daken varianten	Kans op bevriezing van water
Koelingsdak	Groot
Open retentiedak met statische afvoer	Klein
Open retentiedak met dynamische afvoer	Erg klein
Gesloten retentiedak met dynamische afvoer	Erg klein
Gesloten retentiedak met statische afvoer	Erg klein

Levensduur

De levensduur is sterk afhankelijk van de kwaliteit van het gebruikte materiaal en de dakbedekking. Lage kwaliteit materiaal zal eerder vervangen of onderhouden moeten worden. Bij het gebruik van goede kwaliteit materialen en bij normaal onderhoud zal een blauw dak makkelijk een levensduur moeten

behalen van 30 jaar (Colijn, 2016). Dit geldt echter alleen voor gesloten daken.

UV-straling is slecht voor de daken, bij open blauwe daken zal het dak dus meer blootgesteld worden aan UV-straling. UV-straling gaat ongeveer 70-80 cm diep (Colijn, 2016). Open daken zullen dus een minder grote levensduur hebben.

Traditionele daken bestaan vaak uit dakpannen of bitumineuze dakbedekking, de bitumineuze dakbedekking wordt voornamelijk gebruikt voor platte daken. Dakpannen gaan circa 50 jaar mee, bitumineuze dakbedekking gaat 15 tot 30 jaar mee (Hugo Gastkemper, 2015). Blauwe daken hebben dus een iets grotere levensduur dan bitumineuze daken. Vergeleken met groene daken, hebben blauwe daken een kortere levensduur.

Onderhoud

Het onderhoud dat aan blauwe daken gedaan moet worden naast het onderhoud van een traditioneel dak staan hieronder nog eens opgesomd.

- Verwijderen van ongewenst vuil, zoals blaadjes, takjes en plastic;
- Het verwijderen van algen;
- Onderhoud aan systemen (indien retentiedak met dynamische afvoer);
- Verhelpen van storingen (indien retentiedak met dynamische afvoer);
- Het verwijderen van ijs als gevolg van vorst (Indien koelingsdak of retentiedak met statische afvoer).

Het onderhoud is dus afhankelijk van het type blauwe dak dat wordt toegepast.

Blauwgroene en groene daken hebben over het algemeen meer onderhoud dan een blauw dak. Dit komt doordat die daken vaak meer lagen hebben die in goede staat gehouden moet worden en er is vegetatie aanwezig. De vegetatie moet ook gecontroleerd worden en onderhouden wanneer nodig.

Beheer

In dit onderzoek wordt er geen focus gelegd op wie de beheerder is en wie waar verantwoordelijk voor is. Toch wordt er in dit hoofdstuk kort een toelichting gegeven over punten waar rekening mee gehouden moet worden en vragen die beantwoordt dienen te worden.

Het beheer van blauwe daken bestaat uit het uitvoeren van visuele inspecties en het onderhouden van de blauwe daken zelf. Dit onderhoud is zoals eerder aangegeven afhankelijk van het type blauwe dak. Doordat er op juridisch vlak nog niet veel onderzoek is gedaan m.b.t. blauwe daken, valt er nog veel over te discussiëren wie dit onderhoud moet gaan uitvoeren.

Of het gebouw waar het blauwe dak op staat privaat is of publiek heeft hier veel invloed hierop.

Volgens Optigroen zullen daken met een dynamische afvoer niet onderhouden worden door de bewoners. De systemen op de daken moeten onderhouden worden door mensen die daar in gespecialiseerd zijn.

Er staan dan nog en aantal vragen open. Als de bewoner zelf het dak moet onderhouden, krijgt hij/zij dan een boete wanneer zijn/haar dak niet voldoende wordt onderhouden, en hoe hoog is deze boete dan? Het is namelijk belangrijk dat het blauwe dak blijft functioneren omdat het deel uitmaakt van het watersysteem in het desbetreffende gebied. Wanneer blauwe daken niet functioneren bestaat er een kans dat er wateroverlast ontstaat doordat er bergend vermogen ontbreekt. Hier is dus nog verder onderzoek naar gewenst.

4. Belasting op dakconstructies

Een blauw dak heeft een aantal belastingen. Dit is zijn eigen gewicht (oftewel de bestaande permanente belasting), standaardbelasting waar op elk dak rekening mee moet worden gehouden en belasting van de onderdelen van een blauw dak. Deze belastingen zijn onderstaand aangegeven (Rovers, 2015):

- Bestaande permanente belasting
Varieert per woning
- Sneeuwbelasting (standaard)
 $0,56 \text{ kN/m}^2$ (= 57 kg/m²)
- Onderhoud (standaard)
 1 kN/m^2 (= 102 kg/m²)
- Regenwater (veranderlijke belasting)
 $0-1,5 \text{ kN/m}^2$ (= 153 kg/m²)
- Infiltratiekratten (optioneel)
 $0,14 \text{ kN/m}^2$ (= 14 kg/m²)
- Met intensief gebruik (optioneel)
 $1,75 \text{ kN/m}^2$ (= 178 kg/m²)

Er zijn ook nog andere onderdelen die zich op een blauw dak bevinden zoals een waterkerende laag of folie of een afvoertrager. Deze onderdelen zijn echter dusdanig licht dat ze te verwaarlozen zijn. De belasting van het regenwater is afhankelijk van de hoeveelheid water dat een blauw dak kan bergen. Hier is een maximum aangegeven van 150 mm. Deze maximum is gekozen op basis van bestaande blauwgroene daken, deze bergen vaak nooit meer dan 150 mm. Ook zal het niet vaak nodig zijn om veel meer te bergen aangezien deze buien zelden voorkomen. Het maximum van 150 mm is om vast te stellen of daken deze belasting aankunnen in een maximale situatie.

Daken die gemaakt zijn van beton moeten altijd gecheckt worden op de maximale belasting van de dakconstructie. Daken met een stalen dakconstructie hebben vrijwel nooit reserves en zullen dus altijd verstevigd moeten worden bij het implementeren van een blauw dak. De meeste woningen in Rotterdam bestaan echter uit betonnen en houten daken. Stalen dakconstructies zullen vaker voorkomen bij bijvoorbeeld kantoorgebouwen.

Een groot deel van de woningen in Rotterdam zijn gemaakt met een houten dakconstructie. Intensieve blauwe daken zijn te zwaar voor houten dakconstructies. Of een houten dakconstructie de belasting aan kan is ook sterk afhankelijk van de hoeveelheid water die geborgen wordt op het dak. Het bergen van 150 mm zonder intensief gebruik is vaak te zwaar.

Parkeergaragedaken kunnen vaak ook de belasting van intensief gebruik en maximale berging niet aan zonder versterking. Met plakbewapening is het echter wel mogelijk om 150 mm te bergen zonder intensief gebruik.

Het wordt altijd geadviseerd om een analyse uit te voeren naar de dakconstructie. Dit geldt zeker voor overige publieke gebouwen, deze kunnen namelijk erg verschillen t.o.v. parkeergarage daken of woningen. Wanneer er geen rekening wordt gehouden met kleine verschillen in sterkte kan dit leiden tot ernstige gevolgen.

Bij nieuwbouw zou de belasting van blauw daken minder een probleem zijn omdat hier dan tijdens de bouw rekening mee kan worden gehouden

5. Hydrologische werking

5.1 Watercyclus

In deze paragraaf wordt toegelicht hoe de watercyclus loopt bij blauwe daken. Ten eerste zijn er 3 situaties te onderscheiden:

- Een blauw dak dat afvoert op oppervlaktewater
- Een blauw dak dat afvoert op het riool
- Een blauw dak dat afvoert en infiltreert in de bodem

Deze situaties zijn gevisualiseerd in de afbeeldingen rechts. Dit zijn de drie meest gebruikelijke situaties voor blauwe daken. Het is ook mogelijk om het water alleen te laten verdampen zoals op een koelingsdak, of het water te gebruiken als koeling binnen het gebouw of als spoelwater. Onderstaand worden de drie voornaamste nader toegelicht.

Afvoer oppervlaktewater

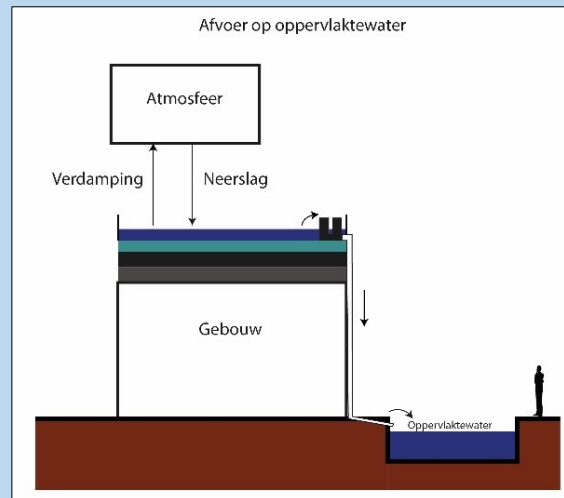
Hemelwater wordt in deze situatie op het oppervlaktewater afgekoppeld (figuur 16). In deze situatie is het belangrijk om te bepalen of het waterlichaam deze capaciteit aankan om extra te bergen.

Afvoer op riolering

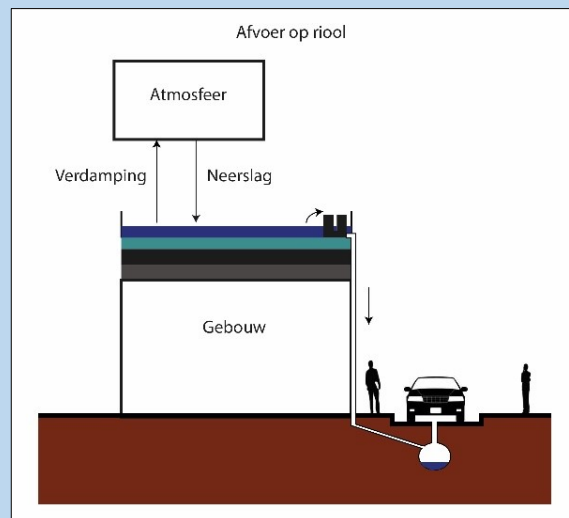
In deze situatie is het blauwe dak gekoppeld aan het rioleringsysteem. Hierbij is bepalend of het rioolsysteem gescheiden of gemengd is. Een gemengd stelsel heeft vaak 7-9 mm interne berging en een poc van 0,7. Een verbeterd gescheiden stelsel heeft vaak een interne berging van 3 mm en een poc van 0,3. Bij een gescheiden stelsel wordt een groot deel van het regenwater geloosd op het oppervlaktewater, dit is in feite vergelijkbaar met de eerste situatie. Bij een gemengd stelsel wordt het regenwater samen met het afvalwater naar de zuiveringsinstallatie afgevoerd.

Afvoer op bodem (infiltratie)

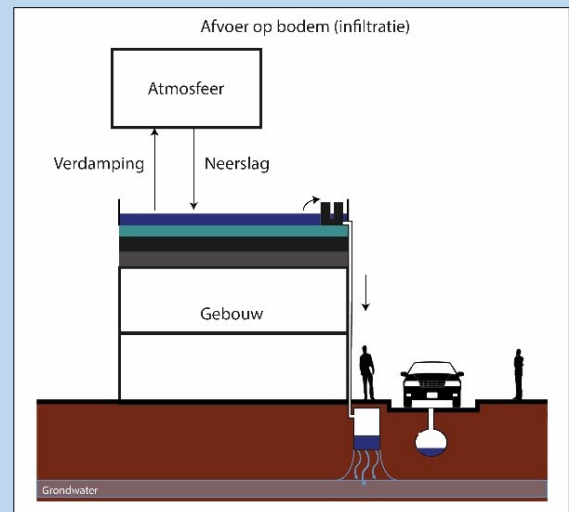
In deze situatie wordt het water de bodem in geïnfiltreerd en wordt het opgenomen door grondwaterstromingen. In deze situatie is bepalend wat voor type grondsoort er ligt, wat de infiltratiesnelheid is en wat het bergingsvermogen is.



Figuur 11 Afvoer op oppervlaktewater



Figuur 10 Afvoer op riool



Figuur 12 Afvoer op bodem

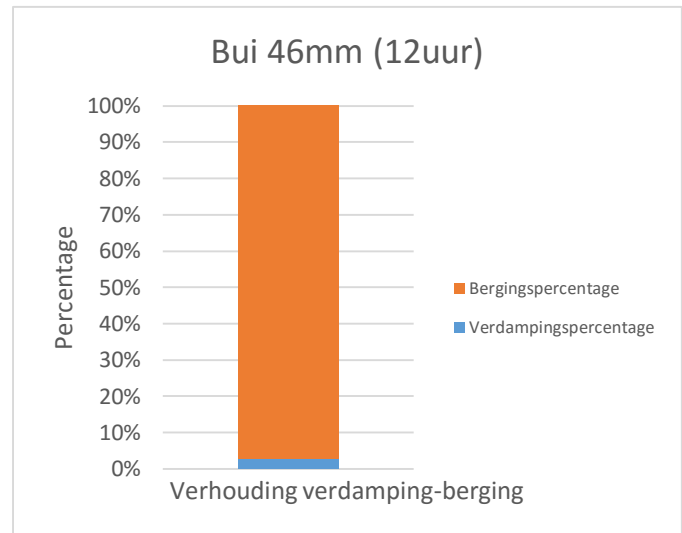
5.2 Verdamping

De verdamping is een belangrijk proces in de werking van een blauw dak. Door verdamping ontstaat er verkoeling van de omgeving en ontstaat er meer ruimte voor waterberging. Er is berekend wat de verdamping is van een blauw dak tijdens een bui, omdat dit invloed zou kunnen hebben op het benodigde bergingsvermogen van een gebied. Wat er na een bui gebeurd is hierbij minder belangrijk. Met het berekenen van verdamping is er gebruik gemaakt van de Penman maandverdampingstabel volgens de Leidraad riolering (Stichting RIONED, 2004). De verdamping is hier per maand aangegeven, hier is een gemiddelde van genomen om mee te rekenen. Uit resultaten van berekeningen bleek dat de verdamping echter alleen bij langdurige buien en kleine buien relevant is. Bij hevige buien is het verdampte deel zo klein dat het te verwaarlozen is, dit geldt ook voor korte buien. Dit is weergegeven in de onderstaande kolommen. Meerdere resultaten zijn weergegeven in tabel 5.

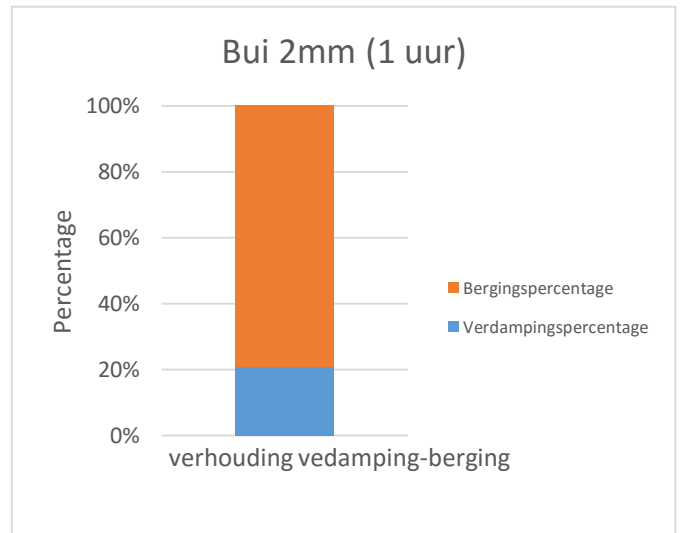
Uit de tabel valt af te lezen dat verdamping op een blauw dak tijdens een bui alleen relevant is bij kleine lange buien zoals de 2mm bui van 6 uur. Hier verdampt 21% van de totale neerslag dat op een blauw dak valt van 100 m². Doordat er met extreme buien wordt gerekend in dit onderzoek is er daarom voor gekozen om de verdamping niet mee te nemen omdat het effect nihil is.

Tabel 5 Hoeveelheid verdamping per bui

Type bui	Duur	Percentage verdamping
Bui 2 mm	1 uur	4%
Bui 2 mm	6 uur	21%
Bui 46 mm	1 uur	0,3%
Bui 46 mm	12 uur	4%



Figuur 13 Percentage verdamping met bui 2mm (1uur)



Figuur 14 Percentage verdamping met bui 46 mm (12uur)

5.3 Hemelwater- en noodafvoer

De afvoercapaciteit van het leidingsysteem voor hemelwaterafvoer van blauwe daken moet tenminste gelijk zijn aan de belasting van het systeem. Bij de berekening van de belasting moeten de dakuitlaat en standleidingen bij onbelemmerde afvoer gedimensioneerd worden op een neerslagintensiteit van 0,03 l/s/m² of 300 l/s/ha volgens de NEN3215 (NEN, 2014).

Voor blauwe daken zullen net als voor groene daken reductiefactoren gelden bij de berekening van de belasting van een leiding, zoals aangegeven in de figuur onderstaand. Wanneer er neerslag valt op het dak duurt het even voordat het werkelijk in de leiding terecht komt. Hoe platter het dak hoe langer het duurt, hoe lager de factor.

Waar blauwe daken onder vallen is nog niet bekend. Voor een blauw dak die het water vasthoudt tijdens een bui zou de reductiefactor 0 zijn omdat het water op het dak blijft. Het water wordt uiteindelijk wel vertraagd afgevoerd vergelijkbaar met een groen dak. Om deze reden is er gerekend met een

De leiding moet dan gedimensioneerd worden op een belasting van 0,9 l/s. Naast de hemelwaterafvoer moet een dak ook noodafvoeren hebben. Deze eis is gesteld voor als de dakuitlaten verstopt raken. Deze moeten gedimensioneerd worden op een neerslagintensiteit van 0,047 l/s/m² (470 l/s/ha) volgens de NEN6703 (NEN, 2006).

De afvoercapaciteit van de hemelwaterstandleiding moet gelijk zijn aan de belasting van de leiding. De belasting van de leiding is zoals eerder vermeld 2,25 l/s. De hemelwaterstandleiding is de leiding die verticaal tegen het gebouw aan staat.

Toepassing	Reductiefactor α
Platte groendaken met een aardlaag > 25 cm	0,30
Platte daken met een ballastlaag van grind Platte groendaken met een aardlaag van ≤ 25 cm	0,60
Overige platte daken Schuine groendaken > 3° en $\leq 45^\circ$	0,75
Overige gevallen	1

Figuur 15 Reductiefactoren bij berekening belasting per dak (NEN)

reductiefactor van 0,30.

5.4 Bergingsvermogen

Er is voor een blauw dak geen vaste waarde voor hoeveel het dak kan bergen. In principe kan je zoveel bergen als je wilt, het is een kwestie van het versterken van de dakconstructie. Maar hoe wordt er nu bepaald hoeveel een dak moet kunnen bergen wanneer het wordt toegepast in een specifiek gebied? Door het uitvoeren van een aantal interviews met leveranciers van retentiedaken en professionals zijn er een aantal factoren bepaald waarvan het afhankelijk is.

Belasting dakconstructie

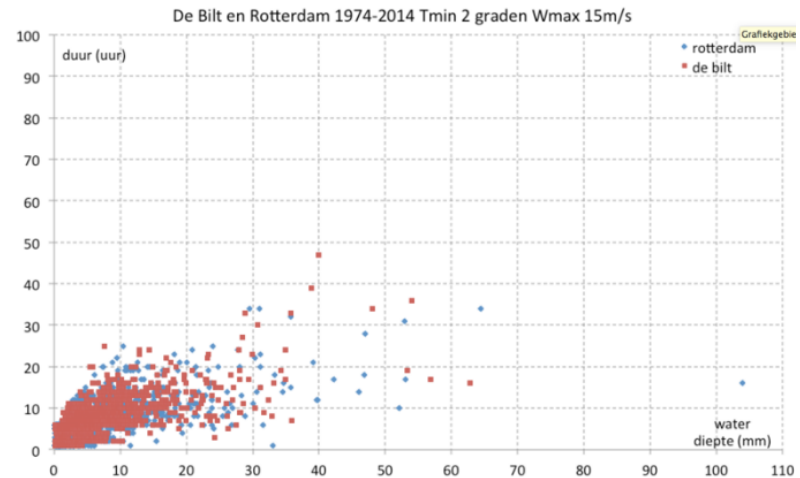
Het is belangrijk om te weten hoeveel belasting de dakconstructie aankan. Het dak kan niet meer bergen dan de dakconstructie aan kan. Als er wel meer berging gewenst is, kan de dakconstructie altijd nog versterkt worden. Dit brengt wel extra kosten met zich mee.

Wateropgaven van het gebied

Het is belangrijk om de wateropgaven van het gebied te weten. Het is zonde om onnodig te veel bergingsvermogen te creëren, of te weinig.

Rioolstelsel

Hoe het rioolstelsel van het gebied eruit ziet is ook belangrijk. Is het gemengd of gescheiden? Wat is de bergingscapaciteit van het riool? Wat is de afvoer van het riool? Dit zijn onderwerpen die onderzocht moeten worden zodat het duidelijk wordt hoeveel regenwater het riool aankan en hoe lang het duurt voordat het een bui verwerkt heeft. De tijd dat het riool nodig heeft om een bui te verwerken is onder andere bepalend voor de tijd dat een dak zijn water moet vasthouden. Het mag niet voorkomen dat daken hun water lozen terwijl het riool de bui nog niet verwerkt heeft. Het gevolg hiervan is dat het riool nog extra belast wordt en is er dus een kans dat er meer wateroverlast ontstaat.



Figuur 16 Bui metingen De Bilt en Rotterdam (Dakdokters & TuDelft)

Bepalende bui

Het bergingsvermogen van een blauw dak wordt grotendeels bepaald door het type bui dat geborgen moet kunnen worden. Door TU Delft en de Dakdokters is er onderzocht wat voor buien er tussen 1974-2014 plaatsvonden in De Bilt en Rotterdam. Deze gegevens staan in de bovenstaande grafiek.

Hierin is te zien dat de meeste buien in deze periode tussen de 0-30 mm zijn. Er zijn er ook een aantal die tussen de 30-60 mm komen. Er is maar een enkele uitschieter die meer dan 100 mm neerslag gaf in Rotterdam. Het is mogelijk om blauwe daken te maken met bijvoorbeeld 150 mm berging, deze hoeveelheid wordt dan bijna nooit volledig benut. Een blauw dak met een bergingsvermogen van 70 mm kan bijna alle buien al bergen met klimaattoeslag. De 70 mm berging is ook een standaard instelling van het Polderdak. De meeste blauwgroene daken van Optigroen worden ook ontworpen op een berging van 75-85 mm.

Het is dus belangrijk om te weten met welk doel de blauwe daken worden ingezet. Als het doel is om buien zoals Kopenhagen te kunnen bergen (155 mm, 180 minuten) kan het dak hierop

aangepast worden.

Om te zien hoe blauwe daken met bijvoorbeeld 70 mm berging wateroverlast verminderen tijdens een bui zoals Kopenhagen, zijn er simulaties gemaakt in hoofdstuk 8.3. Hierin wordt bepaald of deze hoeveelheid overlast als acceptabel wordt beschouwd of niet.

5.5 Afvoersystemen van blauwe daken

Zoals vermeld in hoofdstuk 4 zijn er twee verschillende afvoersystemen waar blauwe daken gebruik van kunnen maken. In dit hoofdstuk wordt er toegelicht wat op hydrologisch gebied verschillen zijn tussen de dynamische- en statische afvoer.

5.5.1 Bepaling van de afvoercapaciteit

Voor een blauw dak is er niet één standaard afvoercapaciteit. Dit is erg afhankelijk van een aantal factoren:

- Hoeveelheid berging op het dak
- Ledigingstijd
- Het rioolsysteem
- Dynamische afvoer of statische afvoer

De ledigingstijd is de tijd dat een berging weer ter beschikking moet zijn. Deze tijd kan verschillen per waterschap. Over het algemeen is het 24, 48 of 72 uur (Vlijm, 2016).

Als er bepaald moet worden voor een blauw dak

met welke afvoercapaciteit het binnen 24 uur leeg is, is de hoeveelheid berging op het dak erg bepalend.

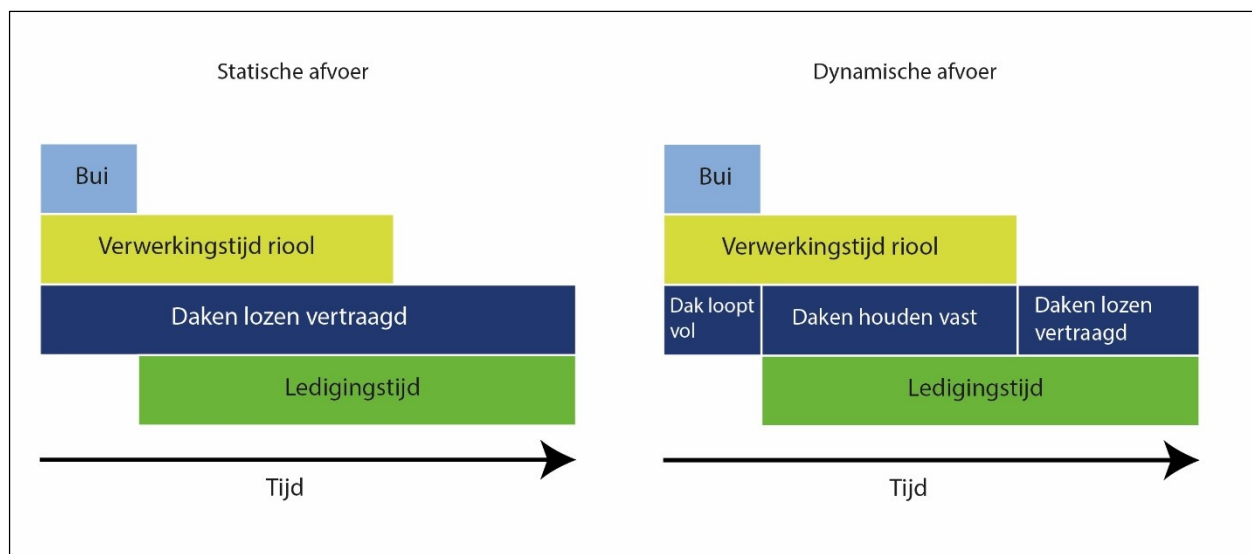
Een inventarisatie van het rioolsysteem in het gebied is belangrijk om te voorkomen dat een blauw dak zijn water loost terwijl het riool nog vol zit. Gegevens zoals de p.o.c. en de berging van het systeem moeten hiervoor achterhaald worden.

In figuur 17 is gevisualiseerd waarom een dynamische afvoer een hogere afvoercapaciteit zal hebben dan een dak met een statische afvoer. Dit wordt ook onderstaand toegelicht.

Statische afvoer

Bij een statische afvoer zal het dak vertragend afvoeren tijdens de bui en tijdens de verwerkingstijd van het riool. Het is belangrijk dat de statische afvoer hoog genoeg is zodat het dak leeg is binnen de ledigingstijd. Wanneer er meerdere blauwe daken worden toegepast in een wijk, mag het nooit voorkomen dat de statische afvoer van alle blauwe daken samen groter zijn dan de afvoer van het rioolsysteem in het gebied (dit is erg onwaarschijnlijk). Anders zal het riool langzaam voller raken en is er meer kans op wateroverlast.

Bij een statische afvoer is het risico dus groter dat als het te veel afvoert, het riool overbelast raakt doordat het nog niet de bui heeft



Figuur 17 Schematisatie lozingstijd bij statische- en dynamische afvoer

verwerkt. Als de afvoer te laag is, bestaat er weer het risico dat het niet binnen de ledigingstijd is. Dit kan als gevolg hebben dat het dak niet op tijd leeg is en dus potentieel minder kan bergen.

Dynamische afvoer

Bij een dynamische afvoer wordt het water vastgehouden totdat het riool in ieder geval ontlast is. De ledigingstijd start vanaf het moment dat de bui voorbij is. Als de ledigingstijd 24 uur is en de verwerkingstijd 10 uur, heeft het dak dus nog maar 14 uur de tijd om leeg te stromen. De afvoercapaciteit bij een dynamische afvoer zal dus hoger zijn dan bij een statische afvoer om binnen de ledigingstijd al het water van het dak te lozen.

Een retentiedak met dynamische afvoer kan ook voorzien zijn van geavanceerde systemen die de weersverwachtingen bijhouden. Hierdoor kan het dak zelf anticiperen hoe lang die het water kan vasthouden. Het dak hoeft dan niet precies binnen de ledigingstijd leeg te zijn.

Wat de invloed is van het type afvoersysteem op het watersysteem van een wijk wordt gevisualiseerd in hoofdstuk 8.3. Dit wordt gedaan doormiddel van simulaties in het casegebied.

5.5.2 Anticipatie op de situatie

Een dynamische afvoer is vaak voorzien van slimme regeltechniek dat kan anticiperen op regenbuien, sneeuw en storm.

Bij te hoge windsnelheden zal het dak zichzelf laten leeglopen. Bij een open blauw retentiedak kan het water door hoge windsnelheden opgestuwd worden. Ook kan dit leiden tot stabiliteitsproblemen doordat het water één kant op wordt gedrukt (Klapwijk, 2016). Dit is vooral bij hoge gebouwen een risico.

Gesloten retentiedaken hebben hier geen last van omdat het water onder een laag zit.

Bij vorst kan het water bevriezen en uitzetten wat kan leiden tot schade aan het dak. Een

retentiedak met statische afvoer kan niet anticiperen op deze situaties en loopt dus een groter risico.

6. Effecten van blauwe daken op de waterhuishouding van een wijk

Om te bepalen wat het effect is van het toevoegen van blauwe daken op het watersysteem van een wijk, zijn er simulaties voor de Agniesebuurt uitgevoerd. Deze simulaties worden uitgevoerd door een model dat is ontwikkeld in Excel.

Voor het model zijn een aantal parameters nodig als invoergegevens. Doormiddel van analyses zijn de parameters van de Agniesebuurt gevonden en ingevoerd in het model. In de onderstaande tabel staat een overzicht van deze parameters.

De wijk heeft een aantal binnentuinen die voor ongeveer 50%/50% uit groen en verharding bestaan. Daarom is ervoor gekozen om deze 50% groen bij het groene oppervlak op te tellen en de 50% verharding als trottoir oppervlakte te tellen.

Oppervlakteverdeling	
Wijk	389265 m ²
Straat	92840 m ²
Trottoir	86916 m ²
Totaal woning oppervlak	125535 m ²
Groen	33764 m ²
Oppervlaktewater waarop overgestort wordt	12272 m ²
Traditionele daken	
Afstromingsvertraging schuine daken	0,5 min ⁻¹
Afstromingsvertraging platte daken	0,2 min ⁻¹
Percentage schuin dak	25%
Percentage plat dak	75%
Gemengd rioolstelsel	
Berging stelsel	9 mm
p.o.c.	0,7 mm/uur/ha
Overstort afvoer	20 mm/h
Maximale berging tot overstort	7 mm
Straat	
Berging op straat	35 mm
Stoeprand hoogte	100 mm
Vertragingfactor	0,1 min ⁻¹
Groen	
Dikte onverzadigde zone	2 m
Grondsoort	Klei/veen
Poriënvolume	35%
Bergingsvermogen	19950 m ³
Infiltratiesnelheid	0,5 m/dag
Oppervlaktewater	
Bergingsvermogen	11730 m ³
Aanvoer water	25 m ³ /uur
Gemaal pompcapaciteit (uitvoer)	125,4 m ³ /uur
Buien	
Bui Kopenhagen	155 mm in 180 minuten
T=10 bui	35,7 mm in 45 min
Bui Herwijnen	94 mm in 70 minuten

Scenario 1. Dynamische afvoer bij bui Kopenhagen (150mm berging)

Percentage blauwe daken	Waterniveau vanaf bodem straat (mm)	Waterniveau op maaiveld (mm)	Berging op daken (m³)	Percentage van de bui geborgen	Begin van wateroverlast (minuten)
Blauwe daken 0%	214,85	114,85	0	0%	60
Blauwe daken 10%	206,87	106,87	1883	3%	60
Blauwe daken 20%	199,78	99,78	3766	7%	75
Blauwe daken 50%	170,57	70,57	9415	17%	75
Blauwe daken 75%	152,16	52,16	13958	26%	105
Blauwe daken 100%	131,64	31,64	18830	34%	150

In de bovenstaande tabel zijn de resultaten weergegeven van scenario 1. In dit scenario is er gebruik gemaakt van een dak met 150 mm berging. Dit scenario is gemaakt om aan te tonen hoeveel invloed het toevoegen van blauwe daken heeft op het verminderen van wateroverlast. De waarden van de waterniveaus zijn de maximale waarden van de simulatie. Dit betekent dat deze hoeveelheid overlast maar voor één tijdstap aanwezig is, in de volgende tijdstap wordt dit langzaam minder. Dit geldt voor alle simulaties.

In dit scenario is er gekozen voor 150 mm bergingscapaciteit zodat er bepaald kan worden of het überhaupt mogelijk is om wateroverlast te voorkomen in de Kopenhagen bui met blauwe daken.

Uit de resultaten blijkt dat het niet mogelijk is om met blauwe daken deze specifieke bui te bergen zonder wateroverlast in de Agniese buurt. Als alle bestaande daken in de Agniese buurt vervangen zouden worden met blauwe daken, dan zou er nog steeds 32 mm water op het maaiveld staan. Het toevoegen van 100% blauwe daken is vrijwel altijd onmogelijk doordat niet elk dak plat is. De 100% blauwe daken is puur het idee om de invloed van die factor te zien.

De wateroverlast wordt verminderd tot maximaal 83 mm. Per 10% toevoeging van blauwe daken met 150 mm berging ontstaat er ongeveer 7 mm minder wateroverlast in dit plangebied. Dit effect is echter locatie specifiek. In dit geval bestaat de Agniese buurt voor ongeveer 33% uit dakoppervlak. Een gebied dat minder of meer dakoppervlak heeft zal andere resultaten krijgen.

De tijd van wateroverlast is gemeten vanaf het moment dat de bui begint. Dus als de bui begint duurt het met 0% daken, 60 minuten voordat er wateroverlast optreedt. Er treedt wateroverlast op wanneer er boven de 35 mm water op straat staat. Deze tijd wordt berekend in dezelfde tijdstappen als de bui is gemeten. De bui Kopenhagen is in tijdstappen van 15 minuten, als het begin van de wateroverlast 60 minuten is, klopt dit niet exact. Het kan dan ergens tussen de 45-60 minuten hebben plaatsgevonden.

Scenario 2. Statische afvoer (1,5 l/s/ha) bij bui Kopenhagen (150 mm berging)

Percentage blauwe daken	Waterniveau vanaf bodem straat (mm)	Waterniveau op maaiveld (mm)
Blauwe daken 0%	214,85	114,85
Blauwe daken 10%	206,93	106,93
Blauwe daken 20%	199,89	99,89
Blauwe daken 50%	170,84	70,84
Blauwe daken 75%	152,73	52,73
Blauwe daken 100%	132,32	32,32

In dit scenario is er gekozen voor 150 mm bergingscapaciteit zodat er bepaald kan worden of het überhaupt mogelijk is om wateroverlast te voorkomen in de Kopenhagen bui met blauwe daken.

Uit de resultaten blijkt dat het niet mogelijk is om met blauwe daken deze specifieke bui te bergen zonder wateroverlast in de Agniesebuurt. Als alle bestaande daken in de Agniesebuurt vervangen zouden worden door blauwe daken, dan zou er nog steeds 32 mm water op het maaiveld staan. Het toevoegen van 100% blauwe daken is vrijwel altijd onmogelijk doordat niet elk dak plat is. De 100% blauwe daken is puur het idee om de invloed van die factor te zien.

De wateroverlast wordt verminderd tot maximaal 83 mm. Per 10% toevoeging van blauwe daken met 150 mm berging ontstaat er ongeveer 7 mm minder wateroverlast in dit plangebied.

Er komt pas een significant verschil tussen de afvoersystemen wanneer de afvoersnelheid van het vertraagd afvoeren wordt verhoogd. Dit moet meer dan 10x zo groot worden voordat er een merkbaar verschil in komt. Er ontstaat dan meer overlast doordat de daken meer afvoeren en het riool nog meer overbelast raakt.

Scenario 3. Dynamische afvoer bij bui Kopenhagen (variërende bergingscapaciteiten)

Bij 50% blauwe daken in het plangebied

Bergingscapaciteit	Waterniveau vanaf bodem straat (mm)	Waterniveau op maaiveld (mm)	Berging op daken (m³)	Percentage van de bui geborgen	Begin van wateroverlast (minuten)
50 mm	197	97	3138	6%	60
70 mm	193	93	4394	8%	60
100 mm	184	84	6277	11%	75
150 mm	171	71	9415	17%	75

Bij 20% blauwe daken in het plangebied

Bergingscapaciteit	Waterniveau vanaf bodem straat (mm)	Waterniveau op maaiveld (mm)	Berging op daken (m³)	Percentage van de bui geborgen	Begin van wateroverlast (minuten)
50 mm	210	110	1255	2%	60
70 mm	209	109	1757	3%	60
100 mm	205	105	2511	5%	75
150 mm	200	100	3766	7%	75

Bij 10% blauwe daken in het plangebied

Bergingscapaciteit	Waterniveau vanaf bodem straat (mm)	Waterniveau op maaiveld (mm)	Berging op daken (m³)	Percentage van de bui geborgen	Begin van wateroverlast (minuten)
50 mm	212	112	678	1%	60
70 mm	211	111	879	2%	60
100 mm	210	110	1256	3%	60
150 mm	207	107	1883	4%	60

Dit scenario dient om te bepalen hoeveel wateroverlast er wordt verminderd in verhouding met het vergroten van de bergingscapaciteit.

Wanneer er 50% blauwe daken wordt toegepast in het casegebied, wordt er per 50 mm berging ongeveer 13 mm wateroverlast verminderd.

Wanneer er 20% blauwe daken wordt toegepast, wordt er per 50 mm berging ongeveer 5 mm wateroverlast verminderd.

Wanneer er 10% blauwe daken wordt toegepast, wordt er per 50 mm berging ongeveer 2 mm wateroverlast verminderd.

Op basis van deze resultaten kunnen er een aantal belangrijk conclusie worden getrokken die belangrijk kunnen zijn voor het plangebied.

Zo geeft een toevoeging van 20% blauwe daken met een berging van 50 mm bijna hetzelfde effect als er 10% blauwe daken worden toegepast met 100 mm berging. In beide situaties ontstaat er ongeveer een laag water van 110 mm op het maaiveld.

Het kan voorkomen dat het niet mogelijk is om 50% blauwe daken toe te voegen in het plangebied doordat maar 20% van het dakoppervlak plat is bijvoorbeeld. Wanneer wel hetzelfde bergend effect gewenst is als bij 50% blauwe daken met 50 mm berging, kan er dus ook worden gekozen om 20% blauw dakoppervlak toe te passen met een bergingsvermogen van 150 mm.

De resultaten van dit scenario zullen anders zijn bij buien die kleiner zijn dan 50 mm omdat de extra bergingscapaciteit van bijvoorbeeld 150 mm dan niet wordt benut.

Een vervolgstudie zou nodig zijn om te bepalen welke combinatie het meest kost-efficiënt zou zijn. Met combinatie wordt bedoeld 20% blauwe daken met 50 mm berging of 10% blauwe daken met 100 mm berging.

Scenario 4. Dynamische afvoer bij bui T=10 (variërende hoeveelheid blauwe daken, berging 50mm)

Percentage blauwe daken	Waterniveau vanaf bodem straat (mm)	Waterniveau op maaiveld (mm)	Berging op daken (m ³)	Percentage van de bui	Overstort hoeveelheid
Blauwe daken 0%	16	0	0	0%	8203
Blauwe daken 10%	14	0	448	3%	7895
Blauwe daken 20%	11	0	896	7%	7585
Blauwe daken 50%	3	0	2241	17%	6725
Blauwe daken 75%	0	0	3323	26%	4126
Blauwe daken 100%	0	0	4482	35%	3065

In dit scenario wordt er alleen gesimuleerd met een dynamische afvoer omdat bij scenario 2 al geconcludeerd was dat er geen merkbaar verschil zat tussen het type afvoersysteem.

In deze bui valt er in totaal 35,7 mm aan neerslag. Het heeft dus geen zin om te simuleren met daken die veel meer kunnen bergen dan dit. Daarom wordt er alleen gesimuleerd met daken die 50 mm kunnen bergen. Er is niet aangegeven vanaf wel tijdstip wateroverlast begint omdat er geen overlast wordt veroorzaakt door deze bui.

Uit de tabel blijkt dat met een T=10 bui er geen wateroverlast in de Agniese buurt ontstaat. Pas vanaf 35 mm water op straat wordt het als overlast beschouwd. De simulatie laat zien dan met 0% blauwe daken er maximaal 16 mm water op straat zal staan.

Met 100% blauwe daken in het gebied ontstaat er geen water op straat. Aangezien het vrijwel nooit mogelijk is om 100% blauwe daken toe te voegen in verband met schuine daken en dakconstructiesterke kan dit effect nooit gerealiseerd worden. Het is er puur om het effect ervan weer te geven. In werkelijkheid zal het gebied hoogteverschillen hebben en zal het water zich ophopen op het laagste punt. Het water wordt dan niet gelijkmatig verdeeld over het gebied waar het model nu wel vanuit gaat. Omdat de hoogteverschillen in deze wijk niet extreem zijn wordt er niet verwacht dat het water boven de 35mm op straat uit zou komen.

Omdat de wateroverlast bijna niet merkbaar minder wordt, hoeft dit nog niet te betekenen dat blauwe daken nooit gedimensioneerd moeten worden op T=10 buien. Het water dat wordt overgestort op het oppervlaktewater wordt wel sterk verminderd, namelijk tot maximaal 3872 m³. Rotterdam zet zich sterk in het minimaliseren van het aantal overstorten op oppervlaktewater. In een gemengd stelsel komt er tijdens een overstort namelijk veel vervuild water vrij in het oppervlaktewater waardoor de waterkwaliteit achteruit gaat. Onderstaand is aangegeven hoeveel er minder wordt overgestort.

Scenario 5. Dynamische afvoer bij bui Herwijnen (variërende hoeveelheid blauwe daken, berging 100mm)

Percentage blauwe daken	Waterniveau vanaf bodem straat (mm)	Waterniveau op maaiveld (mm)	Berging op daken (m³)	Percentage van de bui	Tijdstip van wateroverlast (minuten)
Blauwe daken 0%	128	28	0	0%	50
Blauwe daken 10%	119	19	1174	3%	50
Blauwe daken 20%	115	15	2348	7%	60
Blauwe daken 50%	101	1	5870	17%	70
Blauwe daken 75%	70	0	8744	26%	170
Blauwe daken 100%	33	0	11740	34%	300

In dit scenario wordt er gesimuleerd met de bui Herwijnen (96 mm in 70 minuten). Er wordt gesimuleerd met een dak dat 100 mm kan bergen. Hier is voor gekozen zodat het dak de hele bui kan bergen om de maximale potentie van blauwe daken te zien.

In eerste instantie ontstaat er 28 mm water op het maaiveld zonder blauwe daken in het gebied. Met 100% blauwe daken is er nog boven de 33 mm water op straat. In werkelijkheid zal door de hoogteverschillen in het maaiveld, in laaggelegen gebied meer water staan. Het realiseren van 100% daken is ook niet mogelijk. Er wordt dan verwacht dat het water wel boven de 100 mm uit komt en dus op het maaiveld komt te staan in de Agniesebuurt. Om de wateroverlast binnen de straten te houden kunnen blauwe daken hier wel een oplossing voor zijn, maar wateroverlast blijft aanwezig omdat het boven de 35 mm water op straat uitkomt.

7. Overige effecten blauwe daken

7.1 Voordelen

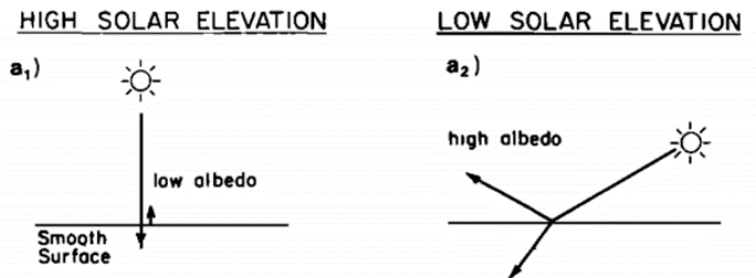
Koeling

Een blauw dak draagt bij aan verkoeling van de omgeving (Marlies van der Linden, 2009). Dit komt doordat het regenwater dat op de daken een deel van de inkomende zonnestraling absorbeert, deze energie wordt via verdamping afgevoerd en zorgt voor afkoeling.

Bij een retentiedak is de opzet dat het dak leeg is voor de volgende bui om weer water te kunnen bergen, bij een koelingsdak wordt het water juist vastgehouden en verdampt het langzaam. Bij een retentiedak zal er ook water verdampen in de tijd dat het water nog niet weggespoeld is, dit is echter significant minder dan bij een koelingsdak. Afkoeling van de omgeving is echter alleen merkbaar wanneer blauwe daken op grote schaal worden toegepast.

Een blauw dak zorgt ook voor koeling in het gebouw zelf. Dit komt doordat het water op het dak zonnestralen reflecteert. Het weerkaatsingsvermogen (de albedo) van bitumen is 5%, van asfalt 5-20% en dat van rode keramische dakpannen is 10-30%. De albedo van water is afhankelijk van de stand van de zon. In Nederland is deze in de zomermaanden circa 5-10%. De warmteweerstand van een blauw dak is dus niet constant, maar is afhankelijk van of er water op het dak ligt of niet. Ook is de albedo afhankelijk van de stand van de zon (B. Katsaros, A. McMurdie, J. Lind, & E. DeVaukt, 1985). Wanneer de zon recht boven het dak staat is de albedo laag en zal het dus weinig zonnestralen weerkaatsen en meer warmte opnemen. Wanneer de zon in een hoek boven het dak staat is er meer albedo en dus meer weerkaatsing en koeling. Dit is ook aangegeven in de onderstaande afbeelding.

Met een blauw dak blijft het gebouw eronder koeler en door de verdamping blijft ook de



Figuur 18 Het albedo effect

directe omgeving koeler. Een nadeel hieraan kan zijn dat er niet altijd water op ligt om te verdampen in droge periodes.

Een blauw dak zal meer bijdragen aan de verkoeling van de omgeving doordat de verdampingsfactor van oppervlaktewater groter is dan die van gewassen. Wel zal een groen dak beter isoleren dan een blauw dak doordat een groen dak uit meer lagen bestaat. De meerdere lagen zorgen voor een betere isolatie in het gebouw.

Geluidsisolatie

Er is in 2009 een onderzoek gedaan naar het reduceren van geluid door middel van water. Dit onderzoek is gedaan voor het vliegveld Schiphol (R.H.C Wenmaekers, 2009). Hiervoor is er een houten raster met membranen gebruikt. Tussen de membranen bevindt zich water. Het water tussen de membranen verzamelt de hitte of koelte, of straalt het af (R.H.C Wenmaekers, 2009). In dit onderzoek is dus een constructie gebruikt, deze constructie is niet van toepassing op blauwe daken. Voor blauwe daken is het alleen belangrijk om te weten hoeveel het water zelf aan geluid reduceert. In het onderzoek is vastgesteld hoeveel invloed de constructie zelf op de geluidsisolatie heeft zonder het water. Hier is geconcludeerd dat de geluidsisolatie van

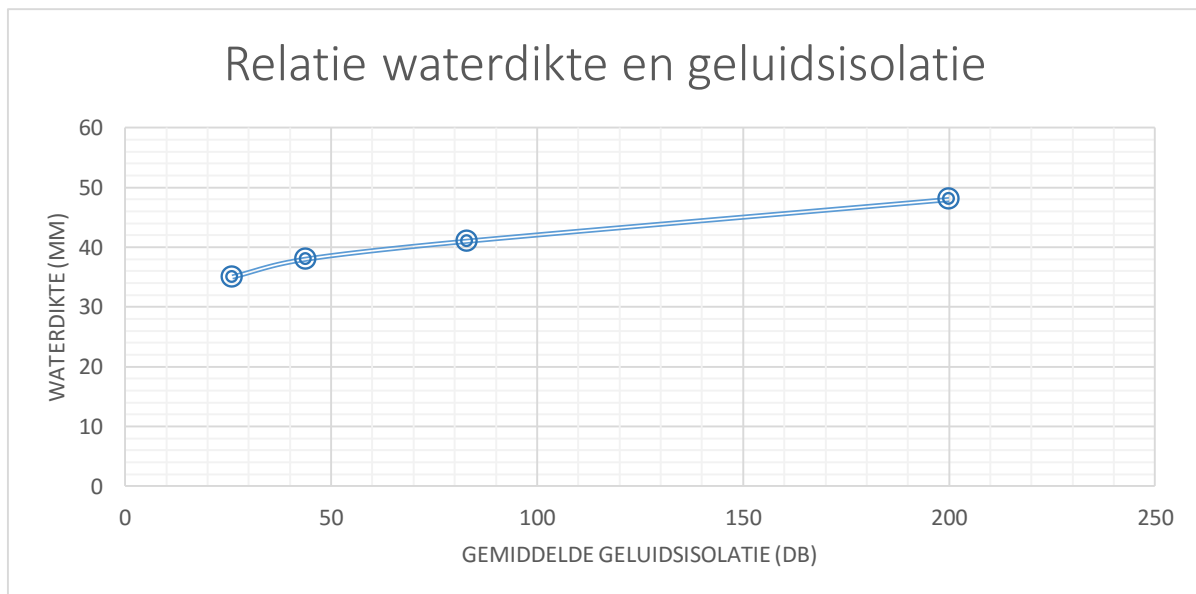
de constructie zodoende weinig is dat het te verwaarlozen is (R.H.C Wenmaekers, 2009). De geluidsisolatie wordt dus voornamelijk veroorzaakt door de werkelijke waterlaag. Om deze reden wordt ervan uit gegaan dat de gemeten waarden gebruikt voor figuur 19, ook van toepassing zijn op blauwe daken, al zal dit een voor een klein deel afwijken.

Er zijn gegevens gebruikt van verschillende frequenties en waterdiktes (R.H.C Wenmaekers, 2009).

Dit onderzoek heeft echter alleen metingen gedaan tot een waterdikte van 83 mm, een blauw dak kan een dikkere laag water bergen dan 83 mm. Om deze reden is er ook nog naar een ander onderzoek gekeken die met een waterlaag van 200 mm heeft gemeten (Arno Pronk, 2009). De resultaten hiervan zijn ook meegenomen en vergeleken met de andere resultaten.

Uit onderzoek blijkt dat een waterlaag van 200 mm net zo veel geluid isoleert als een 100 mm betonnen wand (Arno Pronk, 2009).

Onderstaand is zijn de gegevens van het onderzoek verwerkt in een grafiek om de relatie tussen de waterdikte en de geluidsisolatie beter weer te geven. Hieruit kan er ongeveer geschat worden hoeveel geluid er ongeveer geïsoleerd wordt bij een bepaalde waterdikte.



Figuur 19 Relatie waterdikte en geluidsisolatie

Belevingswaarde

Blauwe daken dragen minder bij aan het versterken van de ruimtelijke kwaliteit dan groene daken. Groene daken kunnen namelijk ook op schuine daken toegepast worden zodat ze zichtbaar zijn vanaf het maaiveld. Voor blauwe daken worden voornamelijk platte daken gebruikt en zijn niet toegankelijk omdat er water op geborgen wordt. Vanuit hogere gebouwen die neerkijken op lagere gebouwen kan dit wel een toegevoegde waarde hebben.

Onderstaand is een impressiebeeld weergegeven dat een idee geeft hoe het eruit zou kunnen zien wanneer meerdere daken waterbergen op het dak. Dit is vergeleken met de werkelijke situatie. Wanneer een blauw dak gesloten wordt en andere functies erbij krijgt kan het eventueel aantrekkelijker gemaakt worden. Als er vegetatie wordt toegevoegd wordt het beschouwd als een blauwgroen dak.



Figuur 20 Situatie zonder blauwe daken



Figuur 21 Impressiebeeld met blauwe daken

7.2 Aandachtspunten

Algengroei

Wanneer er een lange tijd water op het dak staat is er een grote kans op algengroei. Net als planten groeien algen door voedingsstoffen met behulp van zonlicht om te zetten in bladgroen. Algen staan aan het begin van de voedselketen, heel veel kleine waterdiertjes leven van algen. Op een blauw dak behoren geen waterdiertjes voor te komen, er is dus niets dat deze algen zal consumeren. In combinatie met blootstelling aan zonlicht kan er veel algengroei ontstaan op het dak.

Koelingsdaken zullen dus de meeste last ondervinden van algengroei. Op een koelingsdak is een open dak en er staat vrijwel altijd een laag water (tenzij het compleet verdampt is). Bij een gesloten dak of een dak dat regelmatig zijn water wegspoelt zal er minder tot geen algengroei aanwezig zijn.

Muggen

Een nadelig effect van blauwe daken is het aantrekken van muggen. Muggen leggen hun eitjes in stilstaand water, het water op daken zal ook stilstaan en kan dus muggen aantrekken. Dit probleem zal alleen voorkomen bij blauwe daken die langdurig water op het dak hebben staan. Blauwe daken die gesloten zijn of het water na een bui laten wegspoelen hebben hier geen last van. Ook is de aanwezigheid van muggen sterk afhankelijk van de hoogte en windsnelheid. Muggen zijn zwakke vliegers, bij een windsnelheid van 20-28 km/h is er geen last van muggen meer (Meteo Tuitjenhorn, 2013). Vanwege de wind kunnen muggen niet heel hoog vliegen, de meeste soorten komen niet boven de 15 meter. Dus een blauw dak met een hoogte van 15 meter langs bijvoorbeeld de Maas zal minder last hebben van muggen door de wind.

De larven van de muggen zijn sterk afhankelijk van de voeding in het water. Zij voeden zich met micro-organismen, afgestorven plantenresten of

algen, in het algemeen is het vervuild water (Spoelstra & Truijten, 2010). Door het water op het dak vrij te houden van algen wordt de kans dus verkleind op een broedplaats voor muggen. Het wordt niet aangeraden om muggen op blauwe daken te bestrijden met gif. Dit gif wordt dan afgevoerd via het riool en kan terecht komen in oppervlaktewater.

Combineren functies

Met een blauw dak is het lastiger om nog extra functies te combineren vergeleken met een groen dak. Dit komt doordat op een blauw dak vaak een laag water zal staan. Om een blauw dak voor andere functies te gebruiken is het wel mogelijk door er een gesloten dak van te maken zoals besproken in hoofdstuk 4.3. Dit brengt wel een aantal nadelen met zich mee. Het dak zal dan duurder zijn, lastiger te onderhouden en er zal minder verdamping plaatsvinden doordat de laag boven het water de zon blokkeert.

Een andere mogelijkheid is om slechts een deel van het dak te gebruiken voor berging en het overige deel voor andere functies. Het nadeel hiervan is dat er minder water geborgen kan worden op een dak.

Lekkage

Doordat er water geborgen wordt op het dak is er een kans aanwezig dat er lekkage ontstaat. Wanneer dit voorkomt zullen de gevolgen ook groter zijn vergeleken met een traditioneel dak vanwege de grote hoeveelheid water. De kans dat dit zal voorkomen is sterk afhankelijk van de kwaliteit van het materiaal dat gebruikt is voor het blauwe dak. Bij goede kwaliteit zal de kans op lekkage erg nihil zijn en niet groter dan bij een traditioneel dak.

8. Conclusie

Een blauw dak is een dak dat wordt gebruikt om effect te hebben op de waterhuishouding. Dit effect is het vermogen om een grote hoeveelheid water te bergen en af te voeren door middel van verdamping en/of een afvoer. Hoe een blauw dak omgaat met het water bepaalt het type blauw dak. Blauwe daken zijn onder te verdelen in retentiedaken met een dynamische/statische afvoer en koelingsdaken. Wanneer een blauw dak een andere primaire functie krijgt dan het bergen van water en verkoeling van de omgeving dan wordt het niet meer gezien als een blauw dak. Een voorbeeld hiervan is een blauwgroen dak. Een dergelijk dak heeft als primaire functie waterbergen **en** het hebben van dakvegetatie.

De potentie van een blauw dak wordt gelimiteerd door het niet kunnen gebruiken van schuine daken. In Rotterdam is dit geen groot probleem omdat het overgrote deel van het dakoppervlak plat is. Dit geldt echter niet voor steden zoals Amsterdam.

Ook is een belangrijke factor de bereidheid van het aanbrengen van versterkingen aan dakconstructies. Voor veel gebouwen is dit noodzakelijk om de extra belasting van een blauw dak aan te kunnen. Voor nieuwbouw ligt de potentie voor blauwe daken hoger omdat de woningen van tevoren hierop gedimensioneerd kunnen worden.

Wanneer een wijk gebrek aan ruimte heeft verhoogd dit ook de potentie voor blauwe daken. Er is dan namelijk minder of geen ruimte voor andere bergingsvoorzieningen.

Tenslotte is de potentie ook afhankelijk van de eigenaar van het dak. In dit onderzoek wordt er echter niet ingegaan op juridische aspecten.

Blauwe daken hebben zeker potentie voor het *verminderen* van wateroverlast maar niet zozeer voor het *voorkomen* van wateroverlast. De simulaties tonen aan dat het wateroverlast niet

voorkomen kan worden door blauwe daken bij verschillende hevige buien in de Agniesebuurt (Bui Kopenhagen en Herwijnen).

Blauwe daken hebben meer potentie bij het voorkomen van wateroverlast in gebieden die een gunstiger oppervlakteverdeling hebben (meer groen/oppervlaktewater, minder verhard) dan de Agniesebuurt. Het wordt daarom aangeraden om voor zulke gebieden een eigen analyse te maken met simulaties. In deze gebieden kan de wateroverlast in de oorspronkelijke situatie minder zijn, waardoor er een minder grote hoeveelheid water geborgen hoeft te worden.

Blauwe daken kunnen dus vaak niet zelfstandig wateroverlast volledig voorkomen in wijken bij extreme buien. Wel kan het dit verminderen zodat er minder schade en overlast ontstaat. Om deze reden wordt het geadviseerd om blauwe daken niet als enige maatregel in te zetten voor het voorkomen van wateroverlast in extreme scenario's. Het zou een oplossing kunnen zijn in combinatie met andere maatregelen. Voorbeelden van deze maatregelen zijn kratten onder parkeervakken, waterbergende wegfundering, ondergrondse infiltratievoorzieningen en vervanging van riolering.

De wateropgaven in deelgemeente Noord waar Agniesebuurt deel van uitmaakt is circa 13.000 m³. Met 150 mm berging en 75% blauwe daken wordt er bij de Kopenhagen bui 13.958 m³ geborgen. Hierbij ontstond er nog steeds veel wateroverlast. Dit betekent dus dat de huidige wateropgave onvoldoende is om een Kopenhagen bui te kunnen bergen. Dit is geen verrassing aangezien de bui een herhalingstijd heeft van 500 jaar. Er zijn weinig wijken die hier bestand tegen zijn.

Hoeveel de blauwe daken precies bijdragen aan de wateropgaven is lastig te zeggen. Dit komt

doordat blauwe daken alleen bergen wat er op het dakoppervlak valt. Dit betekent dat de hoeveelheid waterberging afhankelijk is van de neerslag die erop valt. In andere woorden, het kan nooit meer bergen dan erin valt. Bij een ondergrondse bergingsvoorziening kan het gehele gebied hierop afgekoppeld worden. Dan bergt het water dat op het gehele gebied valt. In deze situatie kan er wel gezegd worden hoeveel een beringsvoorziening bijdraagt aan de wateropgaven. Het is dus niet mogelijk om te zeggen dat blauwe daken de wateropgaven verminderen met 13.958 m^3 als dit geborgen wordt bij een Kopenhagen bui (scenario 1). Er kan wel een vergelijking gemaakt worden met andere maatregelen. Er zou bijvoorbeeld een ondergrondse bergingsvoorziening van $60 \times 20 \times 11$ meter nodig zijn om de 13.958 m^3 te kunnen bergen. In stedelijk gebied is het vaak niet mogelijk om deze ruimte tot zijn beschikking te hebben.

Het toevoegen van blauwe daken in een wijk zal altijd voordelen hebben. Ook al is de vermindering in wateroverlast niet altijd goed zichtbaar, er wordt wel minder water overgestort naar het oppervlaktewater. Dit zal ten goede komen aan de kwaliteit van het oppervlaktewater. De ruimte die nodig is om dezelfde hoeveelheid te bergen als blauwe daken is vaak niet beschikbaar in een stad. Daarom is het een verspilling als de ruimte niet wordt benut op daken.

9. Aanbeveling

Wanneer er overwogen wordt om waterberging te creëren in een wijk, zijn blauwe daken altijd een goede maatregel. Om dezelfde hoeveelheid te kunnen bergen als de blauwe daken bij elkaar, is vaak lastig te realiseren in stedelijk gebied.

Het wordt aanbevolen om te onderzoeken wat de potentie is van blauwe daken in de desbetreffende wijk. Dit kan namelijk erg verschillen per gebied.

De potentie wordt bepaald door de volgende factoren:

- Wateropgaven in het gebied
- Hoeveelheid ruimte voor bergingsvoorzieningen
- Verdeling platte/schuine daken
- Belasting van de dakconstructies
- Eigenaar van de gebouwen

Vooraf op grote schaal kunnen blauwe daken een significant effect hebben. Het wordt niet aanbevolen om blauwe daken als enige maatregel te gebruiken om wateroverlast te voorkomen bij extreme buien, al kan dit verschillen per gebied. De simulaties tonen aan dat bij hevige buien er nog steeds wateroverlast op straat blijft in de wijk. De gebruikte wijk (Agniesebuurt) voor de simulaties is een typerende stedelijke wijk met veel verharding en weinig groen.

De overlast wordt wel verminderd en zou dus in combinatie met andere maatregelen wateroverlast kunnen voorkomen bij de extreme scenario's. Ook al is de vermindering in wateroverlast niet altijd merkbaar, de overstort hoeveelheid wordt verminderd wat positief is voor de kwaliteit van het oppervlaktewater.

Nu er meer bekend is over een blauw dak wekt het de vraag op of er gekozen moet worden voor het toepassen van een blauw dak. Dit is een lastige vraag omdat ook blauwgroene of groene daken een bijdrage kunnen leveren aan

het watersysteem. Hiernaast zijn er zelfs nog meer combinatie daken mogelijk. Omdat dit onderzoek niet als doel heeft een afwegingsmodel te ontwikkelen, kan hier moeilijk antwoord op gegeven worden. Dit onderzoek heeft vooral de focus gelegd op het in kaart brengen van het waterbergende effect van blauwe daken. Er zal meer onderzoek moeten worden gedaan naar financiële, juridische en eigendomsaspecten van blauwe daken. Deze onderwerpen kunnen veel invloed hebben op de haalbaarheid van toepassing van blauwe daken.

Uit de analyses bleek dat de Agniesebuurt zettingsgevoelig is. Hoe blauwe daken hierop invloed kunnen hebben is nog niet bekend, meer onderzoek naar dit onderwerp is gewenst. Dit onderzoek is gericht geweest op het waterbergende effect van blauwe daken. De beschikbare tijd was onvoldoende om ook de andere aspecten uit te werken.

Tenslotte wordt het geadviseerd een afwegingsmodel te ontwikkelen om te kunnen bepalen welk type multifunctioneel dak wordt geadviseerd voor een specifiek gebied.

De simulaties kunnen aantonen welke 'bergingsvermogen/percentage blauwe daken' verhoudingen hetzelfde effect kunnen hebben op het watersysteem. Zo blijkt dat voor de Agniesebuurt geldt dat 50% blauwe daken met een berging van 50 mm hetzelfde resultaat heeft als 20% blauwe daken met 150 mm berging. Deze simulatie is gebaseerd op de bui Kopenhagen (155 mm in 180 minuten).

Om te bepalen voor een gebied welke combinatie het meest verantwoord is kan momenteel nog niet bepaald worden. Een studie naar welke combinatie het meest kost-efficiënt zou eerst geadviseerd worden. Factoren die hier invloed op zullen hebben zijn de sterkte van de dakconstructie en de hoeveelheid platte daken in het gebied.

Wanneer een gebied wordt gebruikt in het model wordt het altijd aangeraden om de eigen parameters in te voeren. Al is de Agniesebuurt redelijk representatief voor vele buurten in Rotterdam bestaat er een kans dat het kan afwijken.