

Van waterbergingsmaatregelen tot rekentool

*Een methodeontwikkeling om te kunnen bepalen of een kavel in het
poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland afwentelt, nu en in de toekomst*

AUTEUR:
Cynthia Schepers
Land- en Watermanagement
Toegepaste Hydrologie

DATUM:
28 mei 2018, Velp (Gld)

OPDRACHTGEVER:
Waterschap Zuiderzeeland

Marijke Visser
Beleidsadviseur
Waterkwantiteit
m.visser@zuiderzeeland.nl

ONDERWIJSINSTELLING:
Hogeschool Van Hall Larenstein

Ad Bot
Docent Land- en
Watermanagement
Ad.bot@hvhl.nl



Van waterbergingsmaatregelen tot rekentool

Een methodeontwikkeling om te kunnen bepalen of een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland afwentelt, nu en in de toekomst

AUTEUR:

Cynthia Schepers
Land- en Watermanagement
Toegepaste Hydrologie

DATUM:

28 mei 2018, Velp (Gld)

OPDRACHTGEVER:

Waterschap Zuiderzeeland

Marijke Visser
Beleidsadviseur Waterkwantiteit
m.visser@zuiderzeeland.nl

ONDERWIJSINSTELLING:

Hogeschool Van Hall Larenstein

Ad Bot
Docent Land- en Watermanagement
Ad.bot@hvhl.nl

Voorwoord

Onderhavig rapport betreft een studie waarbij een methode is ontwikkeld waarmee indicatief kan worden bepaald of sprake is van afwenteling vanuit een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland. Dit rapport is geschreven in opdracht van Waterschap Zuiderzeeland in het kader van mijn afstudeerstage aan de opleiding Land- en Watermanagement aan de Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp. Vanaf begin februari 2018 tot begin juni 2018 heb ik me gericht op het voltooien van mijn afstudeeronderzoek.

Samen met mijn begeleider van het waterschap en van school ben ik tot de onderzoeksvraag van deze studie gekomen. Het soort onderzoek dat ik heb uitgevoerd was nieuw voor mij. Normaliter was het doel van de onderzoeken die ik tot nu toe heb uitgevoerd het oplossen van een probleem. In dit geval was het de taak om een methode te ontwikkelen. In het begin vond ik het lastig om te bepalen welke stappen hiervoor genomen moesten worden, maar door het schrijven van het projectplan werd dit steeds duidelijker. Ook het schrijven van de conclusie vond ik aanvankelijk wat moeilijk, omdat er geen overduidelijk antwoord op mijn onderzoeksvraag was. Het doen van dit soort onderzoek is voor mij erg leerzaam geweest. Door zelf verschillende waterbergingsmaatregelen in Excel te modelleren, heb ik inzicht gekregen in modelleren. Duidelijk is dat dit veel tijd vergt en een kleine fout in het model grote gevolgen kan hebben. Verder heb ik door het zelf modelleren een beter besef gekregen van de achterliggende werking van de waterbergingsmaatregelen. Andere belangrijke zaken met betrekking tot het stageproces zijn in bijlage 0 gereflecteerd.

Bij dezen wil ik graag mijn begeleidster vanuit Waterschap Zuiderzeeland, Marijke Visser, bedanken voor de fijne begeleiding en de goede feedback die ik tijdens mijn afstudeerstage heb ontvangen. Ook wil ik mijn begeleider van school, Ad Bot, danken voor de nuttige tips en opmerkingen die ik tijdens de werkoverleggen heb gekregen. Zonder hun begeleiding had ik dit onderzoek niet af kunnen ronden. Ten slotte wil ik de werknemers van Waterschap Zuiderzeeland bedanken voor de prettige tijd die ik tijdens mijn stageperiode heb gehad.

Cynthia Schepers

Lelystad, 15 mei 2018

Samenvatting

Waterschap Zuiderzeeland had behoefte aan een methode waarmee indicatief kan worden bepaald of een kavel in haar beheersgebied afwentelt. Dat betekent dat de afstroming vanuit de kavel meer dan twee dagen per jaar de maatgevende afvoer bereikt of overschrijdt. Voor het onderzoek is de volgende vraag opgesteld: *'Hoe kan beoordeeld worden of een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland afwentelt bij een functieverandering van landelijk naar stedelijk gebied?'*

Door klimaatverandering zullen in de zomer regenbuien intensiever zijn, komen minder regendagen voor en ontstaat droogte- en hittestress door meer verdamping. In de winter zal het vaker en heviger regenen. Hierdoor neemt de kans op wateroverlast toe. In het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland vindt momenteel een ontwikkeling plaats waarbij een groot gebied, Oosterwold, transformeert van een landelijk naar stedelijk gebied. Hierdoor neemt het verhard oppervlak toe, waardoor hemelwater versneld tot afstroming komt. Vanwege klimaatverandering en de toename van verhard oppervlak is het van belang om waterberging te creëren. Waterschap Zuiderzeeland hanteert daarom een beleidsregel compensatie verharding. Doordat initiatiefnemers van Oosterwold zelf een vrije inrichtingskeuze voor hun kavel hebben, is de kans groter dat verschillende vormen van waterberging op een kavel toegepast worden.

Om te onderzoeken welke waterbergingsmaatregelen toepasbaar zijn in het poldergebied van het waterschap is kwalitatief onderzoek gedaan in de vorm van literatuurstudie. Vervolgens is het effect van de maatregelen die toepasbaar zijn in het gebied op de afvoer bepaald door middel van kwantitatief onderzoek. Hierbij is gebruik gemaakt van drie neerslag- en verdampingsreeksen (huidig en toekomstig klimaat). Om te komen tot de methode is de werking van de maatregelen in Excel gemodelleerd. Na analyses, welke meteen als tests van de Excel-sheets dienden, zijn de gebouwde maatregelen in Excel verder uitgewerkt tot vier rekentools. Met deze rekentools kan over een periode van tien jaar worden bepaald hoe vaak per jaar de afstroming vanuit een kavel de maatgevende afvoer bereikt of overschrijdt. Voor elke rekentool is een voorbeeldsituatie uitgewerkt en geanalyseerd. Tevens is een casestudie verricht, waarbij een kavel in Oosterwold is genomen.

Op basis van de literatuurstudie blijkt dat de volgende waterbergingsmaatregelen toepasbaar zijn in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland: intensieve en extensieve daken, polder-, retentie- en waterdaken, regenton/-schutting, infiltratiekratten, bergingsvijver en hergebruik in huis en in kas. Een wadi bleek niet toepasbaar te zijn. Uit de analyses in Excel blijkt dat het aantal keren dat de maatgevende afvoer wordt bereikt of overschreden nauwelijks varieert ten gevolge van klimaatverandering. Piekbuien leiden in het huidige klimaat vaak al tot overschrijding. In het toekomstige klimaat zorgen deze buien doorgaans voor meer afstroming. Dat betekent meer peilstijging in de polder en dus ook meer wateroverlast.

Door het uitvoeren van de analyses en de casestudie is de conclusie getrokken dat de Excel-bestanden naar behoren werken. Zodoende zijn de rekentools bruikbaar voor Waterschap Zuiderzeeland om een plan te kunnen toetsen. Wanneer een plan nog niet voldoet aan de eisen, kunnen de rekentools ook als hulpmiddel dienen om te bepalen hoe een plan moet worden aangepast om wel te kunnen voldoen. Daarnaast kunnen door het gebruik van de rekentools kavels worden ontworpen met verschillende waterbergingsmaatregelen. Aan de methode zit echter wel een aantal kanttekeningen. Vanwege beperkte tijd voor het onderzoek is voor een aantal hydrologische aspecten aannames gedaan. Deze zouden in de toekomst in het model verder uitgewerkt kunnen worden.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

1.	Inleiding	5
1.1	Relevantie	5
1.2	Kader en aanleiding	5
1.3	Probleemanalyse en -stelling	7
1.4	Doelstelling	8
1.5	Werkwijze	8
1.6	Afbakening	8
1.7	Leeswijzer	9
2.	Waterbergingsmaatregelen	10
2.1	Berging op dak	10
2.1.1	Intensieve en extensieve groene daken	10
2.1.2	Retentie-, polder- en waterdak	12
2.1.3	Overzicht berging op dak	12
2.2	Regenton en -schutting	12
2.3	Infiltratiekratten	13
2.4	Bergingsvijver	14
2.5	Wadi	14
2.6	Hergebruik in huis	15
2.7	Hergebruik in kas	16
2.8	Toepassen waterbergingsmaatregelen	17
3	Waterbergingsmaatregelen in huidig en toekomstig klimaat	19
3.1	Berging op dak	19
3.1.1	Extensief groen dak	20
3.1.2	Intensief groen dak	21
3.1.3	Retentiedak	22
3.1.4	Waterdak	23
3.2	Regenton/ -schutting	25
3.2.1	Regenton/-schutting bij plat dak	25
3.2.2	Regenton/-schutting bij zadeldak	27
3.3	Infiltratiekratten	28
3.4	Bergingsvijver	30
3.4.1	Droge bergingsvijver	30

3.4.2 Natte bergingsvijver	32
3.5 Hergebruik in huis	34
3.6 Hergebruik in kas.....	35
3.7 Constateringen	37
4 Waterbergingsmaatregelen op een kavel	39
4.1 Waterbergingsmaatregelen	39
4.2 Combinatie waterbergingsmaatregelen.....	40
4.3 Dakberging.....	41
4.4 Berging – Bodem en tuin	43
4.5 Casestudie Oosterwold	44
4.5.1 Plan aanvraag watervergunning.....	44
4.5.2 Ontwikkelingsplan	45
5. Conclusie, discussie en suggesties.....	47
5.1 Conclusie	47
5.2 Discussie	48
5.3 Suggesties	48
Literatuurlijst	49
Bijlage 0 Reflectie	52
Bijlage 1 Onderbouwing keuze ontwikkelen nieuwe tool	54
Bijlage 2 Achtergrondinformatie en uitgangspunten	57
Bijlage 3 Gegevenstabellen voorbeeldsituaties	61
Bijlage 4 Gegevens plan aanvraag watervergunning	65
Bijlage 5 Gegevenstabellen casestudie Oosterwold	68
Bijlage 6 Grafieken casestudie Oosterwold	72
Bijlage 7 Gegevens ontwikkelingsplan	74
Bijlage 8 Watertekort hergebruik casestudie Oosterwold	80

1. Inleiding

1.1 Relevantie

Klimaatverandering is sinds een aantal jaren een veel besproken onderwerp, zowel onder wetenschappers, politici, boeren en burgers. De wereldwijde temperatuur stijgt en neerslagpatronen veranderen. Nederland zal in de zomer te maken krijgen met intensievere regenbuien. Naar verwachting zullen er in dit jaargetij minder regendagen voorkomen. 's Zomers verdampt meer water, waardoor droogte- en hittestress ontstaat. In de winter neemt de kans op wateroverlast juist toe, doordat het vaker en heviger regent. De verwachting is dat in de toekomst de weersextremen vaker zullen gaan plaatsvinden.¹ Daarnaast neemt het verhard oppervlak toe. De ruimte die gereserveerd is voor tuinen in nieuwbouwwijken is afgenomen en bewoners kiezen er vaak voor om hun tuin te betegelen. Zo is uit onderzoek naar het verhard oppervlak in tuinen in drie Groningse wijken gebleken dat in 15 jaar tijd sprake was van een procentuele toename van 3 tot 14%. Een toename van verhard oppervlak betekent dat meer hemelwater versneld tot afstroming komt.² In combinatie met intensievere buien is het van belang om ruimte voor water te creëren om zo water te kunnen bergen en vast te houden. Waterschap Zuiderzeeland hanteert daarom ook een beleidsregel compensatie verharding: een toename van verharding dient gecompenseerd te worden door aanleg van extra open water. Op deze manier kan wateroverlast en afwenteling voorkomen worden. Afwenteling vindt plaats wanneer de maatgevende afvoer vaker dan twee dagen per jaar wordt bereikt of overschreden. Deze afvoer bedraagt 13 mm/dag.³ In het beheersgebied van het waterschap is de gemaalcapaciteit afgestemd op de maatgevende afvoer.

1.2 Kader en aanleiding

Tussen Almere en Zeewolde ligt een gebied van circa 4.360 hectare dat grotendeels in gebruik is voor de functie landbouw. Dit gebied, Oosterwold genaamd, maakt plaats voor ruim 15.000 woningen (figuur 1.1).⁴



Figuur 1.1: Oosterwold (Gebiedsteam Oosterwold, <http://maakoosterwold.nl/kaart-van-het-gebied/>)

¹ Wageningen University & Research. (z.d.). *Gevolgen van klimaatverandering*. Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <https://www.wur.nl/nl/artikel/Gevolgen-van-klimaatverandering.htm>

² Atlas Natuurlijk Kapitaal. (z.d.). *Tuin vol leven*. Geraadpleegd op 8 februari 2018, van <http://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/tuin-vol-leven>

³ Waterschap Zuiderzeeland. (2005, 6 september). *Peilbesluit Lage Vaart* (Toelichting op het peilbesluit). Lelystad: Waterschap Zuiderzeeland.

⁴ Gebiedsteam Oosterwold. (z.d.). *Het gebied Oosterwold*. Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <http://maakoosterwold.nl/kaart-van-het-gebied/>

Oosterwold is een unieke ontwikkeling, omdat voor deze wijk geen gedetailleerd uitbreidingsplan is uitgewerkt. Initiatiefnemers mogen zelf de inrichting bepalen aan de hand van een set van spelregels en een raamwerk. Dit betekent dat de initiatiefnemers van Oosterwold ook de openbare ruimte inrichten. De overheid komt hier dus nauwelijks aan te pas. Hierdoor ontstaat een wijk die organisch groeit en waarvan op voorhand geen duidelijk ontwerp is. Dit brengt uiteraard wel uitdagingen met zich mee. Er wordt gestreefd naar afwisseling van woon- en werkmilieus en voorzieningen in lage concentraties.⁵

Een van de principes van Oosterwold is dat de wijk groen is. Dit wordt onder andere in de vorm van landbouw en tuinen gerealiseerd. Daarnaast moet een kavel in Oosterwold voldoen aan een bepaald percentage publiek groen; dit is groen dat verplicht toegankelijk dient te zijn voor publiek. Het groen is eigendom en de verantwoordelijkheid van de initiatiefnemer. In Oosterwold zal het publiek groen dan ook vaak gekoppeld aan de openbare weg zijn. Het percentage publiek groen is afhankelijk van de soort kavel. Er wordt onderscheid gemaakt tussen standaard-, landschaps- en landbouwkavels, waarbij de kavelvorm- en grootte niet is vastgelegd. De verhoudingen van deze kavels zijn als volgt:

- Standaardkavel: 25% bebouwing, 8% verharding, 7% publiek groen, 2% water en 58% stadsland- of tuinbouw.
- Landschapskavel: 6% bebouwing, 2% verharding, 89,5% publiek groen en 2,5% water.
- Landbouwkavel: 7% bebouwing, 2% verharding, 1,5% publiek groen, 1,5% water en 88% stadsland- of tuinbouw.

Uiteindelijk komt het gezamenlijke ruimtegebruik overeen met het ruimtegebruik van de generieke kavel. De verhoudingen hiervan zijn: 20% bebouwing, 6,5% verharding, 20,5% publiek groen, 2% water en 51% stadsland- of tuinbouw.⁶

Aangezien de gebiedsinrichting volledig in handen is van de initiatiefnemers van Oosterwold, brengt dit eigen verantwoordelijkheden voor de kaveleigenaren met zich mee. Een van die verantwoordelijkheden is de waterhuishouding op eigen terrein en het voorkomen van afwenteling. Kaveleigenaren van Oosterwold dienen elk een ontwikkelplan, het waterplan, op te stellen met daarin omschreven hoe het watersysteem wordt aangelegd en hoe het huishoudelijk afvalwater wordt gezuiverd.⁷ In het gebied wordt geen riolering aangelegd en afvalwaterzuivering vindt via helofytenfilters of een dergelijk zuiveringssysteem op de kavel zelf plaats. Om bewoners te kunnen ondersteunen bij het opstellen van het waterplan heeft Waterschap Zuiderzeeland de informatiegids 'Water op uw kavel in Oosterwold' opgesteld. Hierin staan onder meer de volgende voorwaarden ten aanzien van waterberging beschreven:

- Nieuw verhard oppervlak dient gecompenseerd te worden door waterberging. Hierbij telt bestaande waterberging niet mee; een vergroting hiervan telt wel mee.
- Indien bestaande waterberging wordt gedempt, dient dit met nieuwe waterberging gecompenseerd te worden.

Voor de berekening van de ruimte voor waterberging, gelden de regels in figuur 1.2. Bij een sloot/vijver wordt de waterberging vanaf de gemiddelde waterstand in de sloot/vijver tot het maaiveld berekend. Bij een droge berging is dit vanaf de bodem.⁸

⁵ Gemeente Almere. (z.d.). *Oosterwold*. Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <https://almere20.almere.nl/gebiedsontwikkeling/oosterwold/>

⁶ Gemeente Almere & Gemeente Zeewolde. (2013, 4 juli). *Intergemeentelijke Structuurvisie Oosterwold*. Den Haag: OBT bv.

⁷ Waterschap Zuiderzeeland. (z.d.). *Oosterwold*. Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <https://www.zuiderzeeland.nl/werk/projecten-buurt/oosterwold/>

⁸ Waterschap Zuiderzeeland. (2017, mei). *Water op uw kavel in Oosterwold* (informatiegids). Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <https://www.zuiderzeeland.nl/werk/projecten-buurt/oosterwold/>

Berekening ruimte waterberging

Typen waterberging	Hoeveel ruimte moet ik voor berging reserveren?
1. Solitaire waterberging (niet in verbinding met een kavelsloot, vaart of tocht)	11,5 m ³ berging per 100 m ² verharding
2. Waterpartij in verbinding met een bestaande sloot	- 11,5 m³ berging per 100 m² verharding - Geen beperkte afvoer naar sloot, een open verbinding met de sloot is toegestaan. Voorwaarde is dat de bodem van de waterpartij op dezelfde diepte ligt als de bodem van de waterpartij die u erop aansluit.
3. Waterpartij in open verbinding met een tocht of vaart	5% (peilgebied Lage Vaart) of 6% (peilgebied Hoge Vaart) open water van het oppervlak verharding - Percentage is afhankelijk van de maximale toelaatbare peilstijging in het betreffende peilgebied - De compensatie realiseren op streefpeil van het betreffende peilgebied
4. Alternatieve waterberging	Maatwerk, in overleg met het waterschap.

Figuur 1.2: Berekening ruimte waterberging (Waterschap Zuiderzeeland, 2017)

1.3 Probleemanalyse en -stelling

De inrichting van Oosterwold wordt dus grotendeels losgelaten aan de initiatiefnemers en zij zijn zelf verantwoordelijk voor hun eigen kavel. Voor Waterschap Zuiderzeeland is het van groot belang dat een kavel niet afwentelt. In het poldergebied wordt waterberging vaak gerealiseerd in de vorm van een kavelsloot. Echter zijn er ook andere manieren om met hemelwater om te gaan en afwenteling te voorkomen. Aangezien initiatiefnemers van Oosterwold de vrije inrichtingskeuze voor een kavel hebben, bestaat de mogelijkheid dat andere vormen van waterberging eerder toegepast worden. Maar wanneer is zo'n waterbergingsmaatregel effectief genoeg om afwenteling te voorkomen?

Vanuit Waterschap Zuiderzeeland is er behoefte om een indicatiebepaling te kunnen doen van de waterrobustheid van een kavel. Daarom is de volgende hoofdvraag opgesteld:

Hoe kan beoordeeld worden of een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland afwentelt bij een functieverandering van landelijk naar stedelijk gebied?

De volgende deelvragen dienen als leidraad om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden:

1. Welke waterbergingsmaatregelen kunnen op een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland getroffen worden?
2. Wat is het effect van de waterbergingsmaatregelen op de waterafvoer van een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland?
3. In welke mate verandert het effect van de waterbergingsmaatregelen op de waterafvoer van een kavel ten gevolge van klimaatverandering in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland?
4. Wat is het totale effect op de waterafvoer van verschillende waterbergingsmaatregelen bij elkaar die op een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland toegepast kunnen worden?

1.4 Doelstelling

Doel van het onderzoek is om te komen tot een methode waarmee indicatief kan worden bepaald of een kavel door middel van waterbergingsmaatregelen waterrobuust genoeg is. Dit houdt in dat de kavel niet afwentelt. Het gaat hierbij specifiek om een kavel, zodat de methode toepasbaar is op Oosterwold: kaveleigenaren zijn zelf verantwoordelijk voor hun eigen kavel. De methode dient echter niet alleen toepasbaar te zijn op Oosterwold, maar ook op andere gebieden in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland. Voor vergunningverleners van het waterschap is een bruikbare methode zinvol bij het toetsen van een waterplan.

1.5 Werkwijze

Voor dit project is kwalitatief en kwantitatief onderzoek gedaan. Allereerst is een literatuurstudie verricht. Hierbij zijn de websites www.huisjeboompjebeter.nl en www.rainproof.nl geraadpleegd, evenals andere betrouwbare websites die via de zoekmachine Google gevonden zijn. Vervolgens is in Excel de werking van verschillende waterbergingsmaatregelen gemodelleerd. De manier waarop dit is gedaan, staat in het rapport 'Toelichting opbouw maatregelen en rekentools' beschreven. Gekozen is dus om de tool zelf te bouwen en niet gebruik te maken van bestaande tools. De onderbouwing hiervan staat in bijlage 1. Aan de hand van neerslag- en verdampingsreeksen en de maatgevende afvoer is het effect van deze maatregelen op de waterafvoer in het huidige en het toekomstig klimaat geanalyseerd. Daarna zijn de maatregelen in Excel zo gecombineerd dat het totale effect op de afvoer van verschillende waterbergingsmaatregelen bij elkaar bepaald kan worden. Dit resulteert in vier rekentools waarmee een indicatiebepaling van de waterrobuustheid van een kavel kan worden gedaan. Om aan te tonen dat de rekentools daadwerkelijk bruikbaar zijn voor toetsing van een waterplan, zijn in een casestudie de rekentools behorende bij de desbetreffende situatie toegepast. De rekentools, het rapport 'Toelichting opbouw maatregelen en rekentools' en deze rapportage vormen samen de eindproducten van deze studie.

1.6 Afbakening

Het onderzoek heeft een beperkte tijdsduur. Om te voorkomen dat het project niet is afgerond op de deadline, is het onderzoek afgebakend. Het onderzoek is toegespitst op kavelniveau en de volgende bergingsvormen worden in het onderzoek meegenomen als waterberging:

- Berging op dak
- Regenton en –schutting
- Infiltratiekratten
- Bergingsvijver
- Wadi
- Hergebruik in huis
- Hergebruik in kas

Uit deze lijst zijn de maatregelen geselecteerd die toepasbaar zijn in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland. Deze maatregelen zijn vervolgens verwerkt in de rekentools. Ten aanzien van de berekeningen van effectiviteit is het volgende meegenomen: neerslag en verdamping, infiltratie, afvoer/afstroming (waaronder lozingen op het watersysteem en drainage) en hergebruik/aanvoer, opslag. Vanwege de beperkte tijdsduur zijn complexere, hydrologische aspecten (k-waarde, kwel, percentage afstroming van (on)verharde oppervlakken) niet of niet gedetailleerd verwerkt in het model. Hiervoor zijn aannames gedaan. Acties waarmee het watersysteem minder wordt belast, zoals het vervangen van tegels door groen of het toepassen van waterpasserende of –doorlatende verhardingen, zijn wel toepasbaar in de rekentools (door verandering in (on)verhard oppervlak). Dit is echter niet beschreven, omdat het geen waterbergingsmaatregel betreft waarmee verhard oppervlak wordt gecompenseerd. Het zorgt immers voor een vermindering van de benodigde compenserende waterberging. De berekeningen kunnen uitgevoerd worden voor het

huidig klimaat en het klimaat rond 2050, waarbij twee klimaatscenario's zijn toegepast. Verder is in het onderzoek waterkwaliteit niet meegenomen.

1.7 Leeswijzer

Het volgende hoofdstuk gaat in op de verschillende waterbergingsmaatregelen beschreven in paragraaf 1.6. Op basis van de informatie is bepaald welke maatregelen toepasbaar zijn in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland. De werking van deze maatregelen zijn vervolgens in Excel gemodelleerd. Met behulp van het betreffende Excel-bestand is in hoofdstuk 3 het effect van elke waterbergingsmaatregel op de afvoer in het huidig en toekomstig klimaat (twee klimaatscenario's) geanalyseerd. Vervolgens zijn vanuit het Excel-bestand rekentools gebouwd, waarmee een indicatiebepaling van de waterrobuustheid van een kavel met waterbergingsmaatregelen kan worden gedaan. Welke rekentool gebruikt dient te worden, is afhankelijk van de situatie. In hoofdstuk 4 is voor elke rekentool een voorbeeldsituatie geschetst. De afvoer vanuit de kavel in de drie neerslag- en verdampingsreeksen is voor elke situatie geanalyseerd. Daarnaast is in dit hoofdstuk ook een analyse uitgevoerd op een kavel in Oosterwold (de casestudie). In hoofdstuk 5 komt de conclusie en discussie aan bod en worden enkele suggesties gedaan.

2. Waterbergingsmaatregelen

Dit hoofdstuk geeft antwoord op de eerste deelvraag: *‘Welke waterbergingsmaatregelen kunnen op een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland getroffen worden?’* Hiervoor is via literatuuronderzoek de benodigde informatie verkregen. Het resultaat is een overzicht van de volgende waterbergingsmaatregelen: berging op dak, regenton- en schutting, infiltratiekratten, bergingsvijver, wadi en hergebruik in huis en kas. In de laatste paragraaf is bepaald of deze maatregelen toepasbaar zijn in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland.

2.1 Berging op dak

Berging op het dak is een manier om water te bergen en vertraagd af te voeren. Er zijn verschillende typen dakberging. Voor dit onderzoek is onderscheid gemaakt tussen intensieve en extensieve groene daken en retentie-, polder- en waterdaken.

2.1.1 Intensieve en extensieve groene daken

Door middel van groene daken wordt waterberging gecreëerd op het dak. Naast dit voordeel voor het watersysteem heeft een groen dak nog meer voordelen: het heeft een koelend effect op de ruimte eronder, de levensduur van de dakbedekking wordt verlengd, het verhoogt de biodiversiteit en het zorgt tevens voor binding van fijnstof. Er kan gekozen worden voor een extensief groen dak met sedumbepplanting dat weinig onderhoud nodig heeft of voor een intensief groen dak dat juist veel onderhoud vereist, maar geschikt is voor vrijwel alle tuinbeplantingen. Groene daken kunnen niet gecombineerd worden met hergebruik van water, omdat het hemelwater merendeels opgenomen wordt.⁹

Extensieve groene daken

De volgende informatie over extensieve groene daken is gebaseerd op de website van Amsterdam Rainproof.¹⁰

Constructie

Een extensief dak is licht in gewicht en kan daardoor gemakkelijk worden toegepast op al bestaande bebouwing. De opbouw van een extensief dak is als volgt (van bovenaf naar beneden):

- Sedumbegroeiing, eventueel aangevuld met kruiden en grassen;
- Dunne substraatlaag;
- Drainagelaag of –systeem met filter;
- Beschermingslaag (wortelkerende en waterkerende laag);
- Dakconstructie en isolatie.

De beplanting van het extensieve dak bestaat uit sedumbepplanting en is eventueel aangevuld met speciale grassen en kruiden. Sedumplanten kunnen veel water vasthouden en daardoor lange periodes van droogte doorstaan. De grassen en kruiden drogen echter in en kleuren daardoor geel, maar herstellen zich na regen. Doordat de beplanting uitgedroogd is, is de koelcapaciteit van het dak minder. Een voordeel is dat deze beplanting een hogere verdampingsfactor heeft waardoor de waterbergende functie sneller beschikbaar is. De substraatlaag kan bestaan uit verschillende soorten materialen, zoals gerecycled materiaal of minerale gesteenten. Het soort materiaal en de opbouw van het substraat is bepalend voor de keuze van de beplanting en bepaalt tevens de waterdoorlatendheid van deze substraatlaag. Onder de substraatlaag ligt een drainagelaag of -systeem met filter en een wortel- en waterkerende laag. Door de drainagelaag wordt het overtollige

⁹ Atelier Groenblauw. (z.d.). *Groen dak (huis)*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.huisjeboompjebeter.nl/acties/groen-dak-huis/?regenbestendig>

¹⁰ Amsterdam Rainproof. (z.d.). *Extensieve groene daken*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/extensieve-groene-daken>

water uit de substraatlaag opvangen en vertraagd afgevoerd naar de dakgoot of regenpijp. Daarnaast wordt voorkomen dat de wortels te nat worden.

Eisen en onderhoud

Extensieve groene daken zijn geschikt op daken met een hellingspercentage van 0 tot 9% (dakhelling = 0-5°). Verder moet het dak de belasting kunnen dragen.

Extensieve groene daken hebben weinig onderhoud nodig. Sedumplanten kunnen immers lange droogteperiodes doorstaan, waardoor besproeien in droge tijd niet nodig is. Wel dienen de groene daken ieder jaar gecontroleerd te worden op zaden van grotere planten. Deze zouden de waterdichte folie en het worteldoek in de beschermingslaag beschadigen.

Water

Het retentievermogen van het extensief groen dak is afhankelijk van de dikte van de substraatlaag en het type drainagelaag. De waterretentie varieert van 50 tot 60%, waarbij het dak een wateropslag van circa 25 l/m² (25 mm) heeft. Indien een bui van 30 mm valt en de waterretentie van het dak 50% bedraagt dan wordt 15 mm opvangen en komt tevens 15 mm tot afstroming. Bij een bui van 60 mm wordt 25 mm geborgen (maximum bergingscapaciteit is bereikt) en komt 35 mm tot afstroming. Voor een extensief groen dak bedraagt de afvoercoëfficiënt 0,4 - 0,5. Dit is de verhouding tussen de hoeveelheid neerslag en het deel van de neerslag dat niet wordt vastgehouden door het dak. De som van de afvoercoëfficiënt en de waterretentie in decimalen bedraagt 1.

Bij kleine tot gemiddelde regenbuien is het bufferend effect van het dak het grootst. Bij extremere en langdurige buien wordt de eerste piek opvangen, maar is de bijdrage vervolgens kleiner door de verzadiging van de substraatlaag. Het effect van de verdamping is bij een zomerse piekbui en in koude wintermaanden relatief klein.

Hellend dak

Een extensief groen dak is ook realiseerbaar op schuine daken met een hellingspercentage van 9 tot 100% (5 - 45°). De waterretentie bedraagt dan 40 tot 60% en het dak heeft een wateropslag van rond de 35 l/m² (35 mm). De afvoercoëfficiënt is 0,4 – 0,6.¹¹

Intensieve groene daken

Een intensief groen dak is vrijwel gelijk aan het extensief dak, maar kent een aantal belangrijke verschillen ten opzichte van het extensief groen dak.¹²

Constructie

De opbouw van een intensief groen dak is vrijwel gelijk aan die van een extensief dak. De substraatlaag van een intensief groen dak varieert echter in hoogte om zo ook grotere beplanting zoals struiken te kunnen laten groeien.

Eisen en onderhoud

De bebouwing moet de belasting van het groen dak kunnen dragen. Intensieve groene daken zijn in principe zwaarder dan extensieve groene daken en hebben dus een grotere belasting. De kans dat constructieve maatregelen getroffen moeten worden, is hierdoor groter. Daarnaast hebben intensieve groene daken meer onderhoud nodig. Dit is mede afhankelijk van de soort beplanting op het dak. Bewatering, snoeien, bemesten en onkruid wieden behoort tot het onderhoud.

¹¹ Optigroen international AG. (2018). *Dakbegroeiing "Hellend dak"*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <http://www.optigroen.nl/systemen/hellend-dak/5-15/>

¹² Amsterdam Rainproof. (z.d.). *Intensieve groene daken*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/intensieve-groene-daken>

Water

Door de gevarieerde beplanting kan een intensief groen dak meer hemelwater vasthouden dan een extensief groen dak. Ook stroomt er minder hemelwater van het dak af door (in)directe verdamping en de grotere waterberging in de substraatlaag (tabel 2a).

2.1.2 Retentie-, polder- en waterdak

Een retentiedak is een groen dak met een extra laag om hemelwater te bergen. Hierdoor heeft een retentiedak een waterretentiepercentage van minimaal 80%. Het retentiedak is vanaf boven opgebouwd uit: vegetatie, substraat, filtermat, drainagelaag en beschermingslaag. In de drainage- en beschermingslaag vindt stroomregulatie plaats. Het opvangen hemelwater wordt vastgehouden en door een geknepen afvoer langzaam geleid. Op deze manier wordt de piekafvoer van dakwater verminderd. Het retentiedak is voorzien van een overstort voor extreme buien.¹³

Een retentiedak dat voorzien is van een besturingssysteem dat is gekoppeld aan de weersverwachting, wordt een polderdak genoemd. Op een polderdak blijft het dakwater zo lang mogelijk staan, zodat het water gebruikt kan worden voor bevoeiing, infiltratie en koeling. Pas vlak voordat een bui verwacht is, wordt het dakwater afgevoerd. Ook bij verwachte vorst wordt het water op het dak geloosd.¹³

Een retentie- of polderdak zonder groen, wordt een waterdak genoemd. Een waterdak is mogelijk bij een volledig plat dak. Om hemelwater op het dak te kunnen bergen, dient de afvoer gereduceerd te worden. De afvoer bedraagt in het geval van een standaard dakontwerp 300 l/s/ha (108 mm/uur). Voor een waterdak kan de afvoer worden teruggebracht naar 1,5 l/s/ha (0,54 mm/uur). Tijdens een bui wordt het dakwater direct vertraagd afgevoerd. Het dak wordt uitgevoerd met een openstaande rand met daarboven een overloopzone in de dakrand. Zo kan het dakwater bij hevige buien geloosd worden en blijft het gewicht van het dakwater binnen de variabele ontwerpbelasting.¹⁴

2.1.3 Overzicht berging op dak

In tabel 2a staat een overzicht van gegevens van de verschillende typen waterbergingen voor op het dak.

Tabel 2a: Overzicht gegevens berging op dak

	Extensief groen dak	Intensief groen dak	Hellend groen dak	Retentiedak	Waterdak
Dakhelling	0-5°	0-5°	5-45°	0-5°	0°
Waterretentie (%)	50-60	60-90	40-60	≥80	±100
Wateropslag (l/m ²)	Ca. 25	Ca. 30-80	Ca. 35	Ca. 25	60 (h=60 mm)
Afvoer(coëfficiënt)	0,4-0,5	0,1-0,4	0,4-0,6	≤0,2	≥1,5 l/s/ha

2.2 Regenton en -schutting

Een simpele manier van waterbergen is het toepassen van een regenton. Vervolgens kan het opvangen water gebruikt worden voor het bewateren van planten. Regentonnen zijn beschikbaar in allerlei vormen en maten tot circa 200 liter. De beperkte opslagcapaciteit is dan ook een nadeel van deze maatregel. De regenton moet daarom voorzien zijn van een overstort om zo bij volledige vulling het overtollige hemelwater alsnog kwijt te kunnen raken.¹⁵

¹³ Amsterdam Rainproof (z.d.). *Retentiedak/Polderdak*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/retentiedakpolderdak>

¹⁴ Aquaflow B.V. (z.d.). *Waterberging op platte daken* (Brochure). Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <http://aquaflow.nl/wp-content/uploads/2017/11/Dakwater-2015-09.pdf>

¹⁵ Rainproof Amsterdam. (z.d.). *Regenton*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/regenton>

Een regenschutting ('Rainwinner') wordt per stuk met een inhoud van 100 liter verkocht. De Rainwinner is boven- en ondergronds toepasbaar en is gebruiksvriendelijk.¹⁶ De schutting kan gemonteerd worden op de bestaande regenwaterafvoer. Via buizen wordt het gevangen regenwater naar de regenwaterschutting geleid die vanuit de onderzijde wordt gevuld. Net als bij de regenton kan het opgevangen water worden gebruikt voor de tuin.¹⁷

2.3 Infiltratiekratten

Via infiltratiekratten wordt hemelwater afkomstig van verhard oppervlak ondergronds vastgehouden en geïnfiltreerd in de bodem. Op deze manier wordt het afstromend hemelwater niet afgevoerd naar oppervlaktewater of het riool. Doordat een infiltratiekrat een ondergrondse infiltratievoorziening is, neemt de voorziening zeer weinig ruimte bovengronds in. Een ander voordeel is dat minder droogteschade, bodemdaling en verzilting optreedt door de infiltratie. Een nadeel is dat infiltratiekratten niet overal toepasbaar zijn.¹⁸ Eisen gesteld aan de bodem zijn:

- De onderkant van de infiltratiekratten dienen boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) gelegen te zijn.¹⁸
- De infiltratiecapaciteit (doorlatendheid) van de bodem dient minimaal een k-waarde te hebben van 1 m/d.¹⁹

De werking van de infiltratievoorziening gaat als volgt:

- hemelwater afkomstig van verhard oppervlak wordt opgevangen en wordt richting de infiltratiekratten geleid;
- grof vuil wordt eerst door middel van een bladscheider verwijderd;
- fijne deeltjes worden door een zandvangput afgevangen;
- vervolgens komt het hemelwater in de infiltratievoorziening terecht.²⁰

De infiltratievoorziening dient een overstort te hebben. Het overstorten kan gebeuren via de bladscheider, de zandvangput met open rooster of het riool. Daarnaast is het belangrijk dat olieachtige stoffen en benzine niet in de voorziening terechtkomen.²⁰

Er zijn verschillende soorten infiltratiekratten op de markt beschikbaar. In tabel 2b staan enkele kenmerken van vier Wavin-infiltratiekratten gespecificeerd. AquaCell Eco is alleen van toepassing bij huis, terras en tuin; verkeersbelasting is niet mogelijk.²¹

¹⁶ Broos Water. (z.d.). *Rainwinner; Sunny side of rain* (Brochure Rainwinner). Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.energienulshop.nl/nl/rainwinner-/291-rainwinner-regenwaterschutting.html>

¹⁷ Brooswater. (2013, 11 december). *Rainwinner* [Videobestand]. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.youtube.com/watch?v=rGIVmr1hM4M>

¹⁸ Amsterdam Rainproof. (z.d.). *Infiltratiekratten*. Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/infiltratiekratten>

¹⁹ Mijn Waterfabriek B.V. (z.d.). *Ontwerp berging/ infiltratiesysteem* (Datablad). Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.mijnwaterfabriek.nl/downloads>

²⁰ Mijn Waterfabriek B.V. (z.d.). *Werking van een regenwaterinfiltratiesysteem* (Datablad). Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.mijnwaterfabriek.nl/downloads>

²¹ Wavin Nederland B.V. (2017). *Duurzaam waterbeheer; berging en infiltratie* (Brochure). Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.wavin.com/nl-nl/Catalogus/Regenwater/Berging-en-infiltratie/Inspecteerbare-en-reinigbare-Q-Bic-units>

Tabel 2b: Kenmerken van vier verschillende Wavin-infiltratiekragen

	Q-Bic Plus	Q-Bic	Q-BB	AquaCell Eco
Maatvoering l·b·h (m)	1,20·0,60·0,60	1,20·0,60·0,60	1,20·0,60·0,60	1,00·0,50·0,39
Netto volume (l)	417-432	410	413	190
Min/max. gronddek onbelast (m)	0,3-4,5	0,3-5,2	0,3-5,2	0,3-2,0
Min/max. gronddek belast (m)	0,7 – 4,4	0,8 – 5,0	0,7 – 5,0	Niet mogelijk
Inspecteerbaar/reinigbaar	Ja	Ja	Nee	Nee

2.4 Bergingsvijver

Een bergingsvijver vangt tijdelijk hemelwater op en laat dit vervolgens langzaam wegzakken in de bodem. Hierdoor treden wisselende waterstanden in de bergingsvijver op. Na een regenbui zal de bergingsvijver vol zijn en in periodes van droogte vrijwel leeg. Zo'n dergelijke bergingsvijver is een droge waterbergingsmaatregel. Een bergingsvijver kan ook als natte waterbergingsmaatregel worden toegepast, waarbij de bodem van de vijver dieper ligt dan de gemiddelde grondwaterstand. Dan zit er in principe altijd water in de vijver. De wateropslagcapaciteit van een bergingsvijver is afhankelijk van de grootte en diepte van de vijver. Indien hemelwater afkomstig van het dak aangesloten wordt op de bergingsvijver, dient hiermee rekening te worden gehouden.²²

Een bergingsvijver met begroeiing heeft een zuiverende werking, omdat planten verontreinigingen afbreken en opnemen. Door middel van een circulatiesysteem kan de zuiverende functie van de bergingsvijver verhoogd worden, doordat water langs de groene oeverzones geleid wordt. Daarnaast kan in de oeverzone een zandfilter worden geplaatst, waardoor het water voorgezuiverd wordt.²³

2.5 Wadi

De informatie over wadi's is verkregen van de website www.huisjeboompjebeter.nl.²⁴

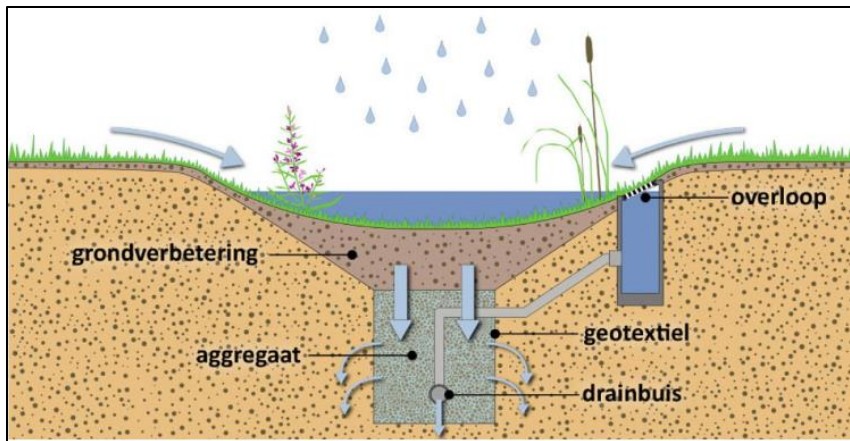
In Nederland worden wadi's steeds vaker toegepast als waterbergingsmaatregel. Het is een greppel welke is begroeid met grassen en gevuld met grind. Bij neerslag vult de wadi zich met hemelwater afkomstig van verhard oppervlak. Het hemelwater wordt vastgehouden en infiltreert in de bodem. Een groene wadi met gras en hogere beplanting aan de randen zorgt voor een diversiteit aan flora en fauna. Tevens gaat dit hittestress tegen door de verdamping via planten.

In figuur 2.1 is een verticale doorsnede van een wadi te zien. Onder de uitgraving is grondverbetering met een open structuur toegepast waardoor het water door deze laag goed kan zakken naar de opvangbak (infiltratiekoffer). Deze bak is gevuld met materiaal (aggregaat) met veel tussenruimte, zoals grind of lavasteen. Het hemelwater wordt hierin vastgehouden en wordt door de infiltratiekoffer langzamerhand gecapituleerd in de bodem. Doorgaans ligt de wadi binnen een dag na een normale regenbui weer droog. In het geval van een grote regenbui zorgt de drainbuis onderin de infiltratiekoffer voor extra hemelwaterafvoer. Wanneer de drainbuis volledig is gevuld, dient het water via een overstort op een ander oppervlaktewater of eventueel het riool geloosd te worden. Veel wadi's zijn zo ontworpen dat dit gemiddeld eens in de 25 jaar voorkomt.

²² Atelier Groenblauw. (z.d.). *Regenwaterbuffervijver*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.huisjeboompjebeter.nl/acties/regenwaterbuffer/?regenbestendig>

²³ Rainproof Amsterdam (z.d.). *Regenwatervijvers*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/regenwatervijvers>

²⁴ Atelier Groenblauw. (z.d.). *Wadi*. Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.huisjeboompjebeter.nl/acties/wadi/?regenbestendig>



Figuur 2.1: Verticale dwarsdoorsnede wadi (Atelier Groenblauw, wadi)

De wadi dient meerdere keren per jaar onderhouden te worden. De wadi dient gemaaid te worden zodat het water snel genoeg weg kan. Een wadi begroeid met gras dient net zo vaak gemaaid te worden als het gazon. Een wadi met beplanting hoeft echter maar twee keer per jaar gemaaid te worden. Daarnaast dienen bladeren en dergelijke verwijderd te worden om verstopping van de overstort tegen te gaan. Ook dient de overstort en de drainbuis jaarlijks schoongespoten te worden.

Vanwege de infiltrerende functie van een wadi is deze voorziening niet overal toepasbaar. De toepasbaarheid wordt bepaald door grondwaterstand en de doorlatendheid van de bodem. Bij gronden met een slechte doorlatendheid ($k < 1 \text{ m/d}$) of bij een te hoge grondwaterstand (GHG ligt hoger dan 1,5 m beneden maaiveld) werkt het systeem niet, omdat de wadi het water niet kan kwijtraken.

2.6 Hergebruik in huis

De informatie in deze paragraaf is verkregen van de website www.groenblauwenetwerken.com van Atelier Groenblauw.²⁵

Door middel van een hemelwaterinstallatie kan hemelwater gebruikt worden voor laagwaardige doeleinden waaronder het doorspoelen van het toilet, de wasmachine en het besproeien van de tuin. Vanwege gezondheidsrisico's is het niet mogelijk om het hemelwater te gebruiken voor het douchen of als drinkwater. Een installatie voor waterhergebruik bestaat uit de volgende onderdelen:

- Een reservoir;
- Een pomp;
- Aansluiting op gebruikspunten;
- Een overstort;
- Een suppletievoorziening.

Filtersysteem

Om een zo hoog mogelijke waterkwaliteit te verkrijgen, kan een filtersysteem in de installatie worden geplaatst. Door buisfilters worden vaste delen uit het water gefilterd en separaat afgevoerd. Voor het filteren van grote waterhoeveelheden zijn ondergrondse filters toepasbaar. Samen met een gedeelte van het water worden de gefilterde vaste delen apart opgeslagen en/of geloosd op het oppervlaktewater, infiltratievoorziening of het hemelwaterriool. Ondanks het toepassen van een

²⁵ Atelier Groenblauw. (z.d.). *Installatie voor het gebruik van hemelwater in woningen*. Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <http://www.groenblauwenetwerken.com/measures/rainwater/system-for-using-precipitation-in-homes/>

filtersysteem komt slib in het reservoir terecht. Om te voorkomen dat slibdeeltjes in beweging komen, dient het hemelwater langzaam in het reservoir te stromen.

Reservoir

Veelal bepalen de gewenste grootte en beschikbare ruimte het materiaal, beton of kunststof, van het reservoir. In het geval van hoge grondwaterstanden dient het eigengewicht van het reservoir groter te zijn dan de opwaartse kracht, zodat opdrijven wordt tegengegaan. De opwaartse kracht wordt veroorzaakt door het gedeelte van het reservoir dat zich onder de hoogste grondwaterstand bevindt.

Suppletievoorziening

Een suppletievoorziening wordt toegepast om te voorkomen dat het reservoir leeg komt te staan in lange periodes van droogte. Dit dient te worden voorkomen omwille van twee redenen. Ten eerste dient altijd water beschikbaar te zijn voor de werking van de functies. Ten tweede zal het aanwezige slib in het reservoir indrogen waardoor waterverontreiniging kunnen ontstaan wanneer de tank weer vol loopt.

Overstort

Het reservoir kan in het geval van extreme neerslag vol raken. Daarom dient een overstort op een infiltratievoorziening of op oppervlaktewater te worden aangesloten.

Grootte hemelwaterinstallatie

De reservoirinhoud van het systeem kan op de beschikbare hoeveelheid neerslag gedimensioneerd worden en/of op het verwachte gebruik. Bij optimale dimensionering is de afname van het drinkwatergebruik geoptimaliseerd en worden neerslagpieken grotendeels afgevangen.

Voor de dimensionering dienen het verwacht gebruik, de lokale neerslaggegevens, het beschikbare dakoppervlak en de afvoercoëfficiënt bekend te zijn. Het verwacht gebruik hangt af van de grootte van het huishouden en het watergebruik van de installaties. De afvoercoëfficiënten van dakoppervlak staan in tabel 2c weergegeven. Een vuistregel voor het dimensioneren van een hemelwaterreservoir is: 5 m³ voor elke 100 m² dakoppervlak. Bij een groot dakoppervlak dient het reservoir gedimensioneerd te worden op de vraag, omdat deze gemakkelijk kan worden overtroffen door het aanbod.

Tabel 2c: Afvoercoëfficiënten bij verschillend dakoppervlak

Daken	Afvoercoëfficiënt
Pannen, ongeglazuurd	0,9
Pannen, geglazuurd	0,95
Kunststof (hellend dak)	0,95
Kunststof (plat dak)	0,8

2.7 Hergebruik in kas

Het telen of kweken van gewassen in een kas valt onder het Activiteitenbesluit milieubeheer (geldend vanaf 1 januari 2018). In Artikel 3.60 en 3.61 van paragraaf 3.5.1 staan de regels ten aanzien van het lozen uit het hemelwaterafvoersysteem van een kas en het lozen van condenswater.

Het lozen uit het hemelwaterafvoersysteem in een vuilwaterriool is niet toegestaan. Indien condenswater, biociden of gewasbeschermingsmiddelen niet in het hemelwaterafvoersysteem terecht kunnen komen of wanneer sprake is van biologische productiewijze is het lozen op andere voorzieningen is wel toegestaan. Ook bij een voorziening voor hemelwateropvang met een minimale inhoud van 3.500 m³/ha kasteeltoppervlak is het lozen toegestaan. Bij een hemelwateropvangvoorziening met een kleinere capaciteit dient het water via een

overstortvoorziening geloosd te kunnen worden. Door het water uit deze opvangvoorziening te hergebruiken als gietwater, worden onnodige lozingen voorkomen.²⁶

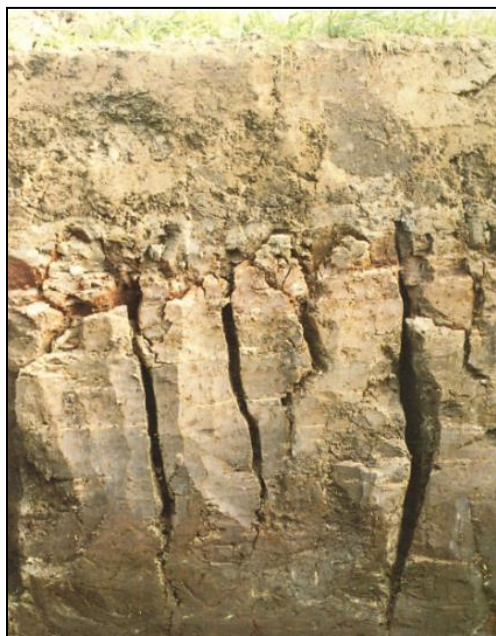
Bij het telen in een kas ontstaat door condensvorming water aan de binnenzijde. Dit condenswater mag bij het gebruik van biociden of gewasbeschermingsmiddelen niet geloosd worden op een vuilwaterriool. Het condenswater dient te worden opgevangen en kan worden gebruikt als gietwater. Hergebruik van dit water kan via een hemelwateropvang die is aangesloten op het gietwatersysteem lopen. Zo worden onnodige lozingen van beschermingsmiddelen voorkomen. Wanneer biologische wordt geteeld of biociden of gewasbeschermingsmiddelen niet worden gebruikt, is het lozen van dit condenswater op andere voorzieningen toegestaan. Echter is het niet verplicht om een hemelwatervoorziening aan te leggen.²⁷

2.8 Toepassen waterbergingsmaatregelen

In deze paragraaf wordt toegelicht of de beschreven waterbergingsmaatregelen wel of niet toepasbaar zijn op een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland.

Berging op het dak staat op zichzelf; de toepassing is niet afhankelijk van gebiedsfactoren zoals de bodemdoorlatendheid of grondwaterstand. Dit geldt ook voor een regenton- of schutting. Beide waterbergingsmaatregelen zijn daarom toepasbaar in het poldergebied van het waterschap.

Zoals in paragraaf 2.3 is beschreven, hangt de werking van infiltratiekratten sterk af van de GHG en de bodemdoorlatendheid. De onderkant van de infiltratiekratten dient boven de GHG te liggen en de doorlatendheid van de bodem dient minimaal 1 m/d te bedragen. In delen van het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland, waaronder in Oosterwold, bestaat de bodem uit zeer goed doorlatende kleigronden. Onder de bewerkte grond, op 40-110 cm onder maaiveld, bevinden zich kleischeuren (figuur 2.2) waardoor het hemelwater direct kan wegstromen.



Figuur 2.2: Rijpingsscheuren in een kleigrond in Oostelijk Flevoland (Groen, 1997)

²⁶ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *Lozen hemelwater buitenkant kas*. Geraadpleegd op 16 februari 2018, van <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/activiteitenbesluit/activiteiten/gewassen-telen/telen-kas-0/lozingsvoorschriften-4/>

²⁷ Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *Lozen condenswater binnenkant kas*. Geraadpleegd op 16 februari 2018, van <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/activiteitenbesluit/activiteiten/gewassen-telen/telen-kas-0/lozingsvoorschriften/>

De aanwezigheid en ontstaan van kleischeuren is een natuurlijk proces in bepaalde gebieden in de polder, waar de juiste verhouding tussen klei en organisch materiaal aanwezig is. Door graafwerkzaamheden kunnen de kleischeuren worden verwoest waardoor water niet meer zo snel kan draineren. Vanuit Waterschap Zuiderzeeland wordt het toepassen van infiltratiekratten dan ook mogelijk geacht onder de voorwaarde dat onder de kratten een goed doorlatend cunet aanwezig is. In tabel 2d staan de k-waarden voor verschillende bodemtype.²⁸

Tabel 2d: Bodemtypen en k-waarden

Bodemtype: klei	K-waarde (m/d)	Bodemtype: zand	K-waarde (m/d)	Bodemtype: Overige	K-waarde (m/d)
Sterk gescheurd (Zuiderzeepolders)	10-100	(Zeer) grof	>10	Grind	>1.000
Enige poriën/scheuren	0,5-2	Middelfijn	1-5	Zandige leem	0,3
Zeer dicht	<0,05	Uiterst fijn	0,2-0,5	Kleiige veen	0,005
Ongerijpte klei	10^{-4} - 10^{-6}			Teelaarde	5
Lichte zavel, gerijpt	0,02-0,2			Schelpen	30

Een bergingsvijver kan zowel als droge als natte waterbergingsmaatregel toegepast worden. Deze maatregel is prima toepasbaar in het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland en komt dan ook regelmatig in het gebied voor.

Voor de juiste werking van een wadi dient de GHG minimaal 1,5 m beneden maaiveld te liggen, zodat het hemelwater het systeem kan verlaten. In het poldergebied zal de GHG echter vaak hoger gelegen zijn, waardoor deze maatregel voor het poldergebied niet geschikt wordt geacht. Wel kan een greppel, dus zonder de opvangbak, worden aangelegd met daaronder een goed doorlatend pakket. De werking hiervan is gelijk aan de werking van een bergingsvijver.

Hergebruik in huis of in kas zijn eveneens twee toepasbare maatregelen. Beide zijn vrijwel onafhankelijk van gebiedsfactoren. Alleen bij het aanleggen van het reservoir van een hemelwaterinstallatie voor hergebruik in huis dient rekening te worden gehouden met de hoogste grondwaterstand. Het eigengewicht moet groter zijn dan de opwaartse kracht die ontstaat door het gedeelte van het reservoir dat zich onder de hoogste grondwaterstand bevindt.

Rekentools

De volgende waterbergingsmaatregelen worden in de rekentools gebouwd:

- Intensieve en extensieve groene daken
- Retentiedaken
- Waterdaken
- Regenton/-schutting
- Infiltratiekratten
- Natte bergingsvijver/greppel
- Droge bergingsvijver/greppel
- Hergebruik in huis
- Hergebruik in kas (voor paprika's)

De waterbergingsmaatregelen wadi en polderdak worden niet in de rekentools gebouwd. Een wadi, omdat deze voorziening niet toepasbaar is in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland. Het polderdak, omdat deze maatregel is voorzien van een realtimebesturingssysteem waardoor het niet mogelijk is om dit in de beschikbare tijd in de rekentools juist te modelleren.

²⁸ K-waarde. (z.d.) Geraadpleegd op 7 maart 2018, van <http://www.joostdevree.nl/shtmls/k-waarde.shtml>

3 Waterbergingsmaatregelen in huidig en toekomstig klimaat

In hoofdstuk 2 is duidelijk geworden welke waterbergingsmaatregelen toepasbaar zijn in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland. De werking van deze maatregelen is elk afzonderlijk in Excel ("Opbouw werking maatregelen") gemodelleerd om antwoord te kunnen geven op deelvraag 2. Deze vraag luidt: *'Wat is het effect van de waterbergingsmaatregelen op de waterafvoer van een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland?'* Hierbij is gebruik gemaakt van de neerslag- en verdampingsreeks voor de periode vanaf 2005 tot en met 2014 van De Bilt afkomstig van Meteobase ('huidig klimaat'). De opbouw van de Excel-sheets is in het rapport 'Toelichting opbouw maatregelen en rekentools' uitgebreid uitgelegd. Daarnaast zijn eventuele aannames en uitgangspunten onderbouwd. Deze zijn ook in bijlage 2 beschreven. Om de effectiviteit van de maatregelen op de afvoer ten aanzien van klimaatverandering ('toekomstig klimaat') te berekenen, is gekozen voor het toepassen van de KNMI'14-klimaatsscenario's W_H en W_L met subscenario 'upper', zichtjaar 2050 in neerslagregime G. Aan de hand van de analyses van effectiviteit op de afvoer voor het huidig klimaat en toekomstig klimaat is deelvraag 3 beantwoord: *'In welke mate verandert het effect van de waterbergingsmaatregelen op de waterafvoer van een kavel ten gevolge van klimaatverandering in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland?'* Hieruit blijkt of bepaalde maatregelen in de toekomst robuuster zullen zijn.

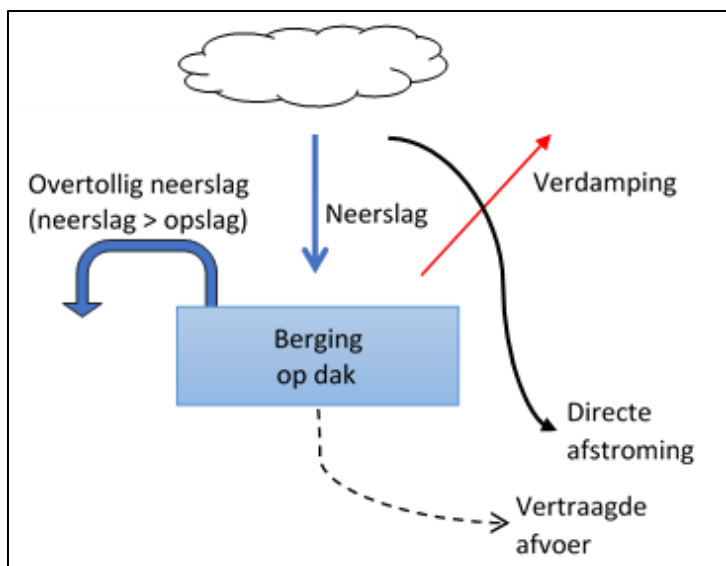
Als maatstaf is de maatgevende afvoer van 13 mm/d gebruikt. In het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland is de gemaalcapaciteit hierop afgestemd. Bij extreme neerslag mag deze maatgevende afvoer echter worden overschreden. Dit betekent in principe een peilstijging in de polder, waarbij het gewenste peil (streefpeil) overschreden wordt. De maatgevende afvoer mag 1 à 2 dagen per jaar worden bereikt of overschreden.²⁹ Als deze afvoer vaker dan twee keer per jaar wordt overschreden, wordt dit aangemerkt als afwenteling.

In dit hoofdstuk is met behulp van een schematische weergave het neerslag-afvoerproces van iedere waterbergingsmaatregel beschreven. Vervolgens zijn de (invoer)gegevens per analyse vermeld. De gebruikte variabelen betreffen representatieve waarden. Aan de hand van de uitkomsten van de berekeningen is voor iedere maatregel een staafdiagram geproduceerd. Deze grafieken geven het aantal keren per jaar aan dat de maatgevende afvoer wordt bereikt of overschreden in de tienjarige periode. Het gemiddelde aantal keren bereikt/overschreden is voor de drie neerslag- en verdampingsreeksen berekend. Op basis hiervan is het toekomstig klimaat vergeleken met het huidig klimaat. Er is bewust gekozen om te kijken naar het gemiddelde over tien jaar en niet per jaar of een specifiek jaar, omdat klimaat een gemiddeld weer betreft. Uitzondering hierop is de laatste paragraaf waarin waarnemingen zijn beschreven.

3.1 Berging op dak

Voor berging op dak is de effectiviteit van de volgende type dakberging geanalyseerd: extensief groen dak, intensief groen dak, retentiedak en waterdak. In figuur 3.1 is een schematische weergave van het proces van berging op dak afgebeeld. Bij neerslag wordt een deel van het hemelwater opgevangen op het dak; het ander deel (afhankelijk van factor opvang dak) wordt niet opgevangen en komt direct tot afstroming. Het opgevangen hemelwater komt vertraagd tot afvoer en mogelijk verdampt een klein deel hiervan. Wanneer meer neerslag valt dan wat de opslag nog kan bergen, stort de overtollige neerslag over.

²⁹ Waterschap Zuiderzeeland. (2005, 6 september). *Peilbesluit Lage Vaart* (Toelichting op het peilbesluit). Lelystad: Waterschap Zuiderzeeland.



Figuur 3.1: Schematische weergave berging op dak

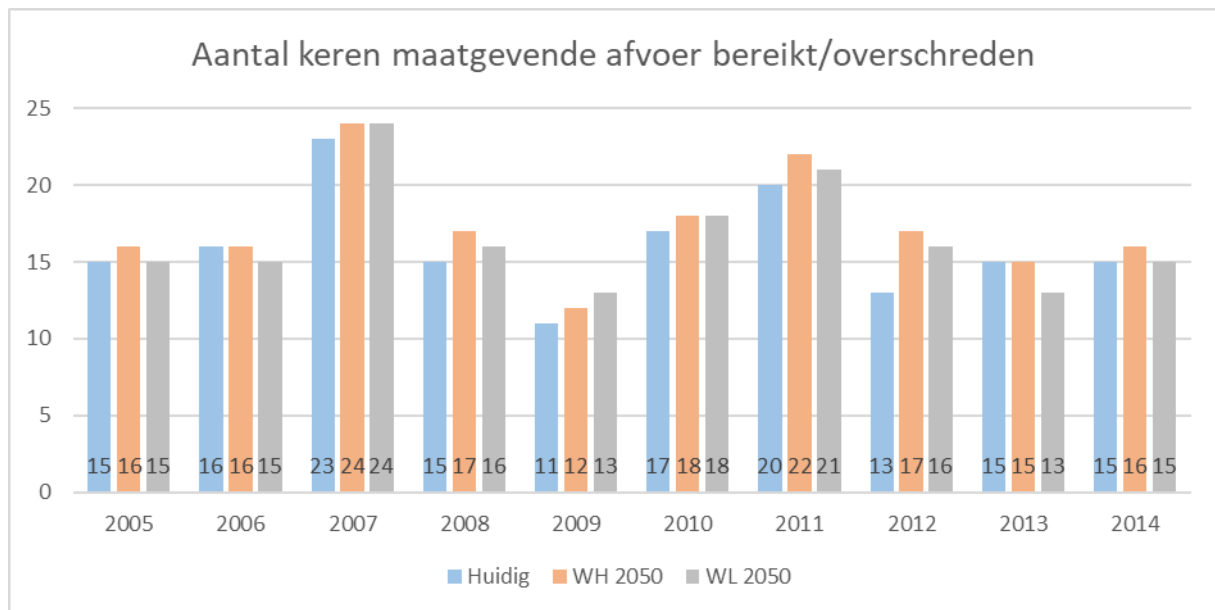
3.1.1 Extensief groen dak

De invoergegevens (groen) zijn samen met de andere benodigde gegevens in tabel 3a weergegeven. Met deze gegevens zijn de berekeningen doorgevoerd om zo de effectiviteit van de maatregel op de hemelwaterafvoer te bepalen. Daarnaast is een gewasfactor toegepast om te kunnen rekenen met de potentiële verdamping (bijlage 2). In deze situatie is als gewasfactor 'gras' gekozen, omdat een extensief groen dak bedekt is met sedumplanten aangevuld met grassen en kruiden.

Tabel 3a: Gegevens extensief groen dak

Dakoppervlak (m²)	80
Waterretentie (%)	60
Waterretentie	0,6
Wateropslag (l/m²)	25
Wateropslag (m³)	2
Afvoercoëfficiënt	0,4
Maatgevende afvoer (m³/d)	1,04

In figuur 3.2 is per jaar voor het huidige klimaat en de twee klimaatscenario's weergegeven hoe vaak de maatgevende afvoer wordt bereikt of overschreden met bovenstaande gegevens. Voor het huidige klimaat bedraagt het gemiddelde aantal keren bereikt/overschreden 16,0. Voor scenario W_H betreft dit 17,3 en voor W_L 16,6.



Figuur 3.2: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer extensief groen dak

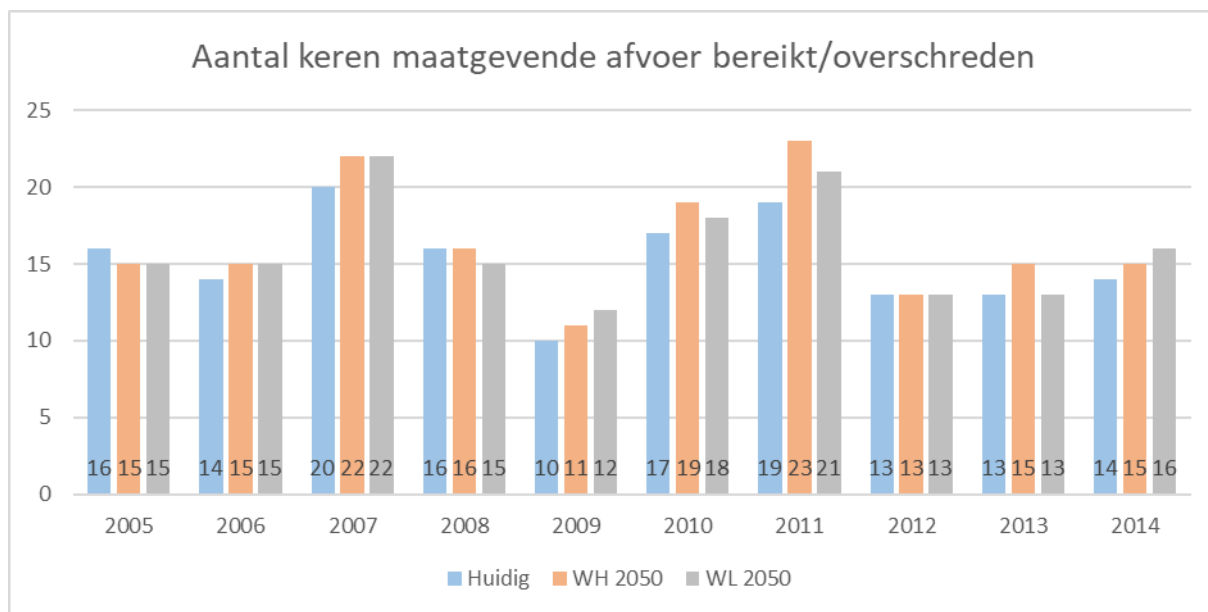
3.1.2 Intensief groen dak

In tabel 3b zijn de gebruikte (invoer)gegevens ten behoeve van de berekeningen weergegeven. Voor de gewasfactoren is gekozen voor 'loofbomen', omdat op intensieve daken hogere beplanting kan staan en de gewasfactor hiervan in de meeste decades wat hoger ligt dan die van gras.

Tabel 3b: Gegevens intensief groen dak

Dakoppervlak (m²)	80
Waterretentie (%)	75
Waterretentie	0,75
Wateropslag (l/m²)	55
Wateropslag (m³)	4,4
Afvoercoëfficiënt	0,25
Maatgevende afvoer (m³/d)	1,04

Figuur 3.3 betreft de staafdiagram voor een intensief groen dak. Het gemiddelde aantal keren bereikt/overschreden voor het huidig klimaat is met 15,2 het laagste van de drie. Scenario W_H heeft een gemiddelde van 16,3 en heeft daardoor het hoogste gemiddelde. Het gemiddelde van W_L bedraagt 16,0.



Figuur 3.3: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer intensief groen dak

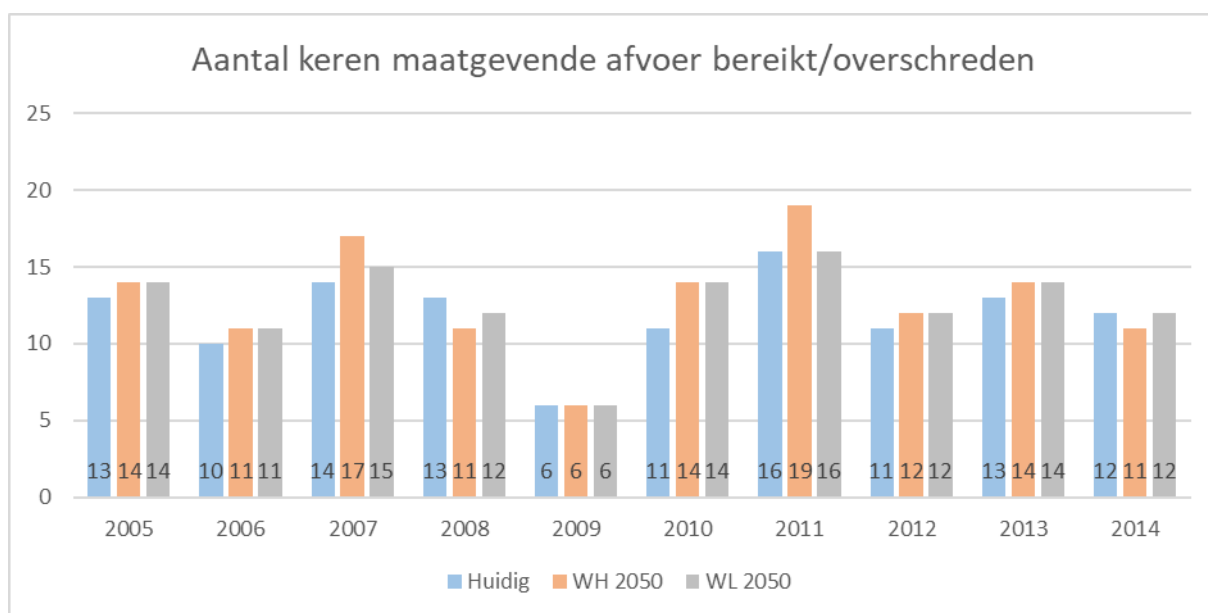
3.1.3 Retentiedak

Zoals in tabel 3c is af te lezen, zijn voor een retentiedak gelijke gegevens benodigd als voor een groen dak. De gegevens in deze tabel zijn gebruikt voor de berekeningen en analyse. Voor de gewasfactoren is gebruik gemaakt van de gewasfactoren behorende bij 'gras'.

Tabel 3c: Gegevens retentiedak

Dakoppervlak (m²)	80
Waterretentie (%)	90
Waterretentie	0,9
Wateropslag (l/m²)	25
Wateropslag (m³)	2
Afvoercoëfficiënt	0,1
Maatgevende afvoer (m³/d)	1,04

Het aantal keren dat de maatgevende afvoer wordt bereikt of overschreden voor deze maatregel is in figuur 3.4 af te lezen. Het gemiddelde voor het huidig klimaat betreft 11,9. De afstroming bereikt/overschrijdt de maatgevende afvoer in scenario W_H gemiddeld één keer per jaar vaker (12,9). Voor scenario W_L bedraagt het gemiddelde 12,6.



Figuur 3.4: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer retentiedak

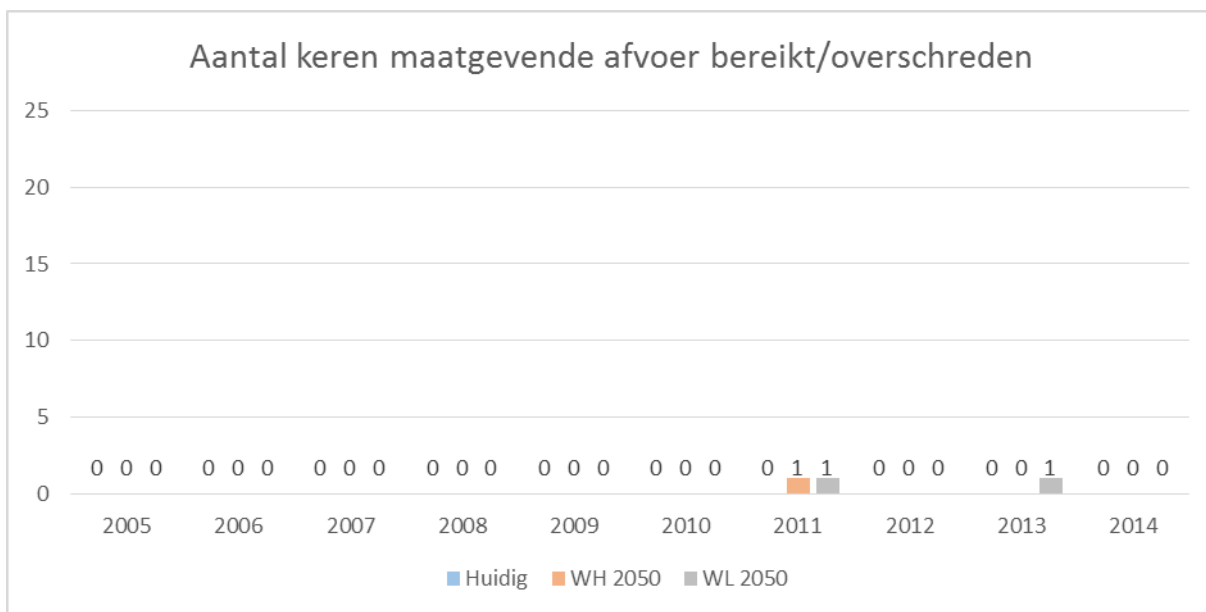
3.1.4 Waterdak

In tabel 3d zijn de invoergegevens (groen) samen met de andere benodigde gegevens weergegeven. Zoals is af te lezen, is uitgegaan van 1 voor de factor opvang dak; 100% van de neerslag wordt dus opgevangen door het platte dak. Verder is de afvoer gesteld op 1,5 l/s/ha (0,54 mm/uur). De maximale afstroming door vertraagde afvoer bedraagt hierdoor 1,037 m³ per dag. Dit ligt net onder de maatgevende afvoer van 1,04 m³/d. Door deze twee variabelen zo in te stellen, zal de afstroming alleen de maatgevende afvoer bereiken/overschrijden wanneer sprake is van overtollig neerslag. Dat gebeurt wanneer meer neerslag valt dan wat (nog) geborgen kan worden in de dakberging. Voor alle drie neerslag- en verdampingsreeksen gebeurt dit één keer in 2011 en 2013. Het gemiddelde over tien jaar ligt hierdoor op 0,2.

Wanneer het waterdak een waterhoogte van 100 mm (wateropslag = 8 m³) heeft, is het aantal keren dat de maatgevende afvoer wordt overschreden/bereikt in het huidige en het toekomstige klimaat anders. Zoals uit figuur 3.5 is op te maken, komt overschrijding/bereiken van de maatgevende afvoer geen enkele keer voor in het huidige klimaat. In het toekomstige klimaat (W_H- en W_L-scenario's) gebeurt dit één keer in 2011 en in het W_L-scenario komt dit ook één keer voor in 2013.

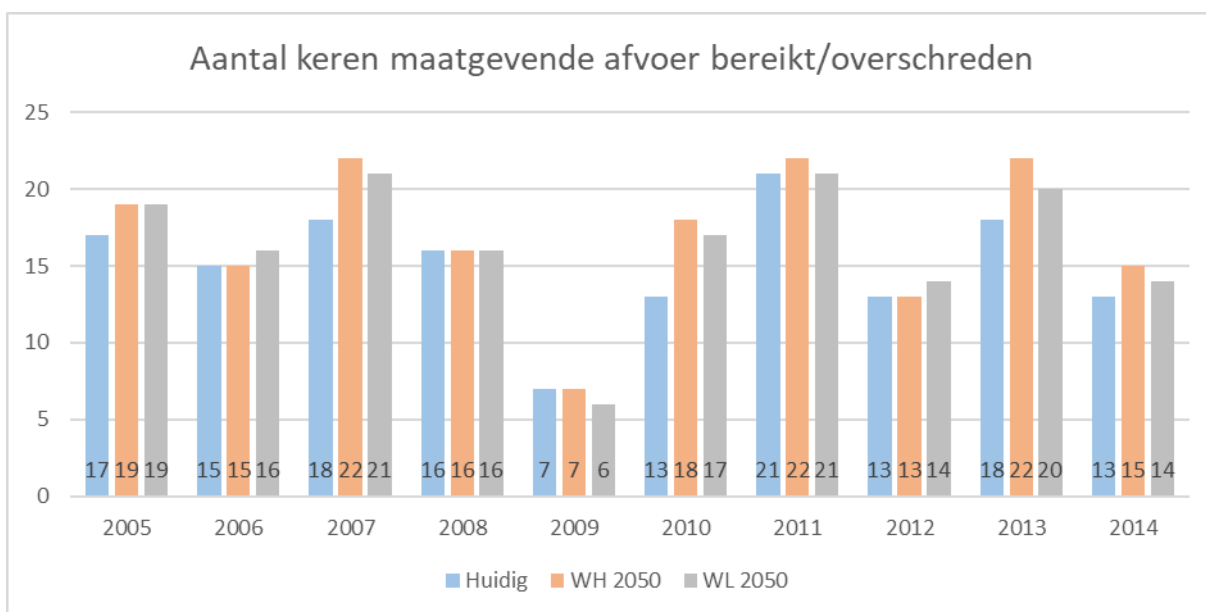
Tabel 3d: Gegevens waterdak

Dakoppervlak (m²)	80
Factor opvang dak	1
Waterhoogte (mm)	70
Wateropslag (m³)	5,6
Afvoer (l/s/ha)	1,5
Afvoer (m³/uur)	0,0432
Maatgevende afvoer (m³/d)	1,04



Figuur 3.5: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer waterdak (h=100 mm; afvoer=1,5 l/s/ha)

Wanneer de dakafvoer hoger ligt, bijvoorbeeld op 2,0 l/s/ha (0,72 mm/uur), dan wordt de maatgevende afvoer vele malen vaker bereikt/overschreden. Dit komt doordat de mogelijke hoeveelheid vertraagde afvoer per dag (1,38 m³/d) hoger ligt dan de maatgevende afvoer (1,04 m³/d). Het waterdak (h=70 mm) kan de hoeveelheid neerslag in de meeste gevallen volledig bergen, maar voert dit dusdanig snel af waardoor alsnog sprake is van afwenteling. In figuur 3.6 is af te lezen hoeveel dagen per jaar dit plaatsvindt voor de neerslag- en verdampingsreeksen. Het gemiddelde aantal keren bereikt/overschreden bedraagt voor het huidig klimaat 15,1. Voor klimaatscenario W_H is dit 16,9 en voor W_L 16,4.



Figuur 3.6: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer waterdak (h=70 mm; afvoer=2,0 l/s/ha)

Opvallend is dat wanneer de waterhoogte 100 mm (wateropslag = 8 m³) is, de maatgevende afvoer vaker wordt bereikt/overschreden dan bij een waterhoogte van 70 mm (wateropslag = 5,6 m³). In 2011 gebeurt dit één keer vaker voor alle neerslag- en verdampingsreeksen. In 2013 is dit ook één keer vaker voor het huidig klimaat en voor het toekomstig klimaat twee keer vaker. De situaties in 2011 en 2013 waarbij het waterdak met meer opslag meer dagen de maatgevende afvoer

bereikt/overschrijdt dan het waterdak met minder opslag, zijn op gelijke wijze te verklaren. De situatie in 2013 is in de volgende alinea toegelicht.

Op 10 oktober 2013 valt vanaf 8.00 uur neerslag met neerslaghoeveelheden tot circa 3,1-3,5 mm/uur. Op 12 oktober valt vanaf 18.00 uur neerslag met pieken tot ongeveer 8,3-9,7 mm/uur. De volgende dag valt tot en met 21.00 uur neerslag. Over deze drie dagen valt dus verdeeld over de uren aardig wat neerslag. Het waterdak met een waterhoogte van 70 mm zit op een gegeven moment (13-okt) vol en stort over. In de dagen daarna wordt het dakwater afgevoerd met een afvoersnelheid die voor een hogere afstroming per dag ($1,38 \text{ m}^3/\text{d}$) zorgt dan de maatgevende afvoer ($1,04 \text{ m}^3/\text{d}$). Na vier dagen is de afstroming vanuit het dak dusdanig klein dat de maatgevende afvoer niet meer wordt bereikt/overschreden. Het waterdak met een waterhoogte van 100 mm kan alle neerslag bergen en dus vindt er geen overstort plaats. Doordat de opslag op het dak hoger is, duurt het ook langer voordat deze hoeveelheid is afgevoerd. Overschrijding van de maatgevende afvoer door de afstroming vanuit het dak vindt hierdoor vaker (meer dagen) plaats dan bij het waterdak met een waterhoogte van 70 mm.

Uit deze analyse blijkt dat de vullingsgraad van de berging van cruciaal belang is. Bij grote neerslaghoeveelheden in een korte tijd veroorzaakt een kleinere dakberging weliswaar minder dagen overlast, maar de overlast is groter doordat de peilstijging hoger zal zijn op het moment van overstorten.

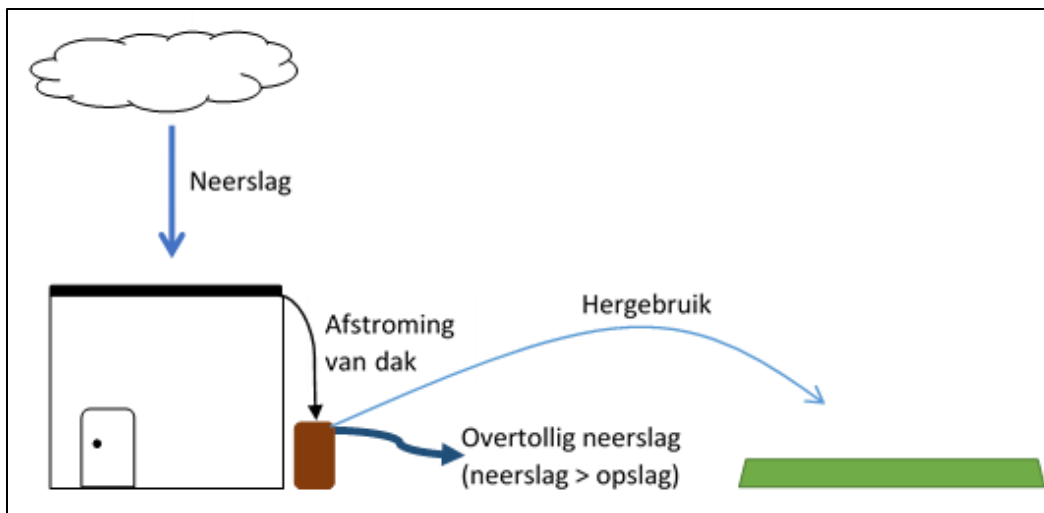
3.2 Regenton/-schutting

De werking van een regenton of -schutting is afhankelijk van het soort dak en de aansluiting. Onderscheid is gemaakt tussen een plat dak en een zadeldak (zoals in figuur 3.9 afgebeeld) waarbij één dakvlak is aangesloten op de regenton/-schutting. Wanneer beide dakvlakken van een zadeldak zijn aangesloten, is de werking gelijk aan die van een plat dak: het gehele dakoppervlak is aangesloten op de voorzieningen. Wel dient het dakvlak in verhouding tot de bergingscapaciteit van de regenton/-schutting te staan. Ook dient rekening te worden gehouden met twee variabelen: afvoercoëfficiënt en factor opvang dak. Deze zijn bij een zadeldak anders dan bij een plat dak.

Bij een regenton/-schutting kan het opgevangen hemelwater gebruikt worden voor het besproeien van de tuin. Hiervoor zijn enkele aannames gemaakt. Het waterhergebruik zal immers sterk afhankelijk zijn van seizoen en weer, de grootte en indeling van de tuin en de soort beplanting. Naar verwachting zal alleen gesproeid worden in de lente- en zomermaanden, van maart tot en met augustus. Gekozen is om in de berekeningen van het besproeien 5 mm toe te passen als er na een periode van 72 uur niet meer dan 5 mm neerslag is gevallen. Daarnaast is de aanname gedaan dat alleen vanaf 10 uur tot en met 22 uur gesproeid wordt. Wanneer de droogteperiode van 72 uur zich voordoet en deze midden in de nacht eindigt dan wordt er dus op dat moment niet gesproeid.

3.2.1 Regenton/-schutting bij plat dak

In figuur 3.7 is het proces van neerslag-afvoer voor een regenton schematisch weergegeven. Bij neerslag wordt het hemelwater naar de regenton geleid. Indien meer neerslag valt dan dat de regenton nog kan opvangen, stroomt het overtollige deel af. Daarnaast vindt waterhergebruik voor het besproeien van de tuin plaats.



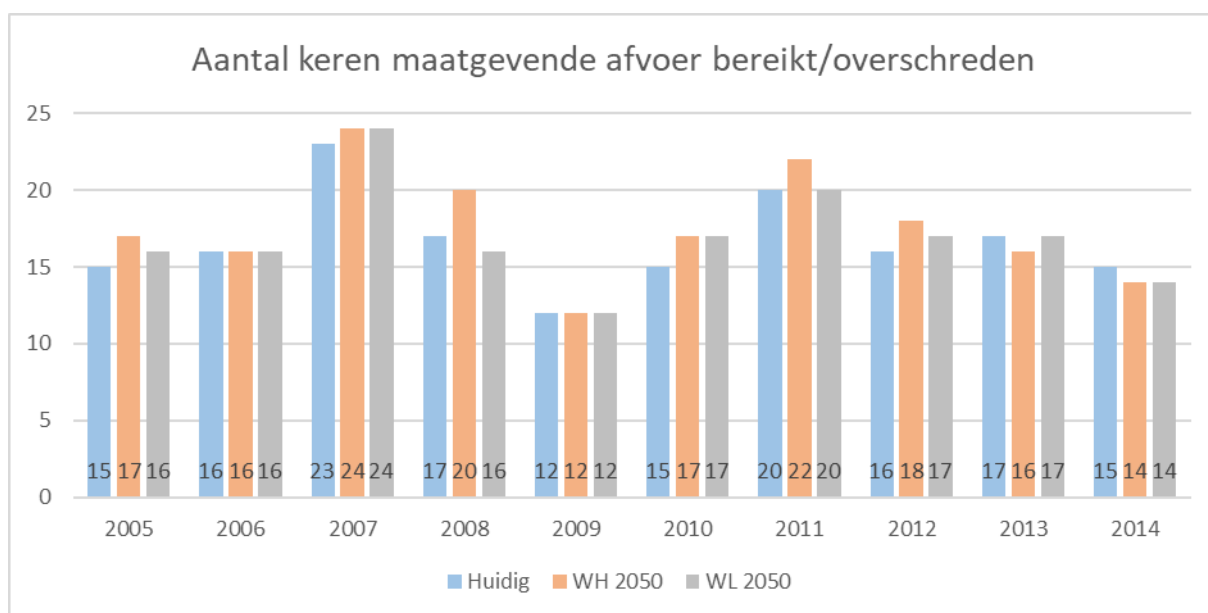
Figuur 3.7: Schematische weergave regenton/-schutting bij plat dak

De gegevens gebruikt voor de berekeningen van de effectiviteit van deze waterbergingsmaatregel staan in tabel 3e weergegeven.

Tabel 3e: Gegevens regenton/-schutting plat dak

Dakoppervlak (m²)	80
Afvoercoëfficiënt	0,8
Factor opvang dak	1
Wateropslag (l)	100
Aantal stuks	2
Wateropslag (m³)	0,2
Groenoppervlak (m²)	40
Maatgevende afvoer (m³/d)	1,04
Gewasfactor verhard opp.	0

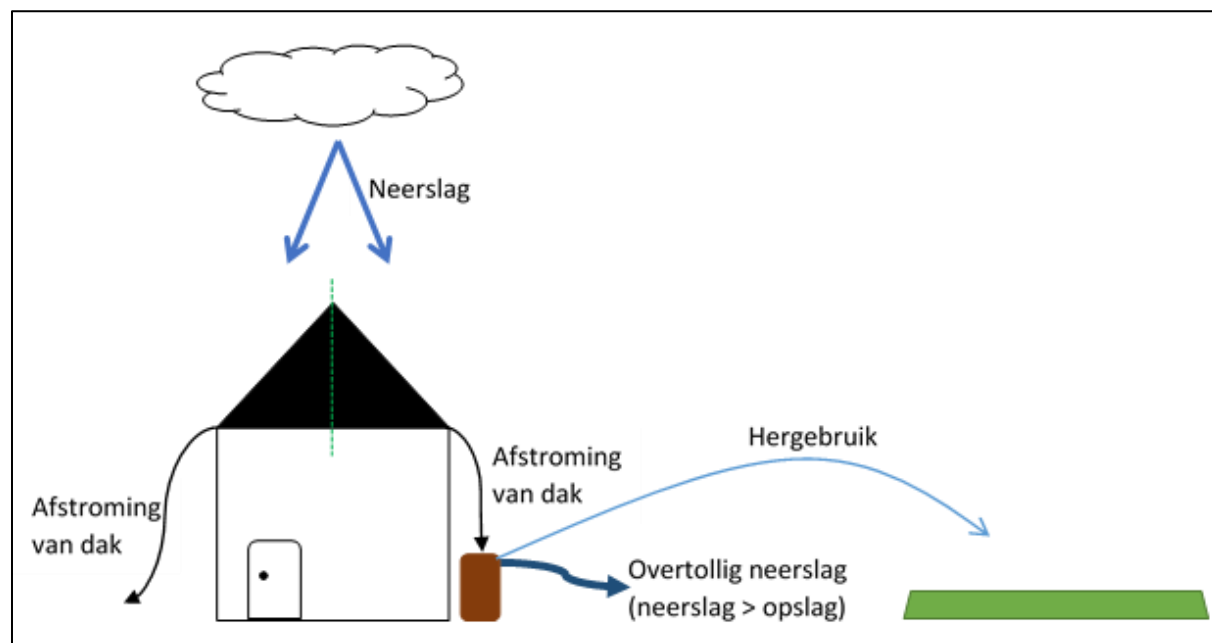
Figuur 3.8 betreft het staafdiagram van de uitkomsten met bovenstaande gegevens. Het gemiddelde van het aantal keren bereikt/overschreden voor het huidig klimaat is 16,6. Voor scenario W_H is dit gemiddeld één keer vaker (17,6) en voor W_L betreft het gemiddelde 16,9.



Figuur 3.8: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer regenton/-schutting plat dak

3.2.2 Regenton/-schutting bij zadeldak

Figuur 3.9 toont de schematische weergave bij een zadeldak. Bij neerslag komt het hemelwater vanuit één dakvlak direct tot afstroming, terwijl het andere dakvlak aangesloten zit op de regenton/-schutting en hiernaartoe wordt geleid. Net zoals bij een plat dak kan overstort plaatsvinden en vindt hergebruik van hemelwater plaats.



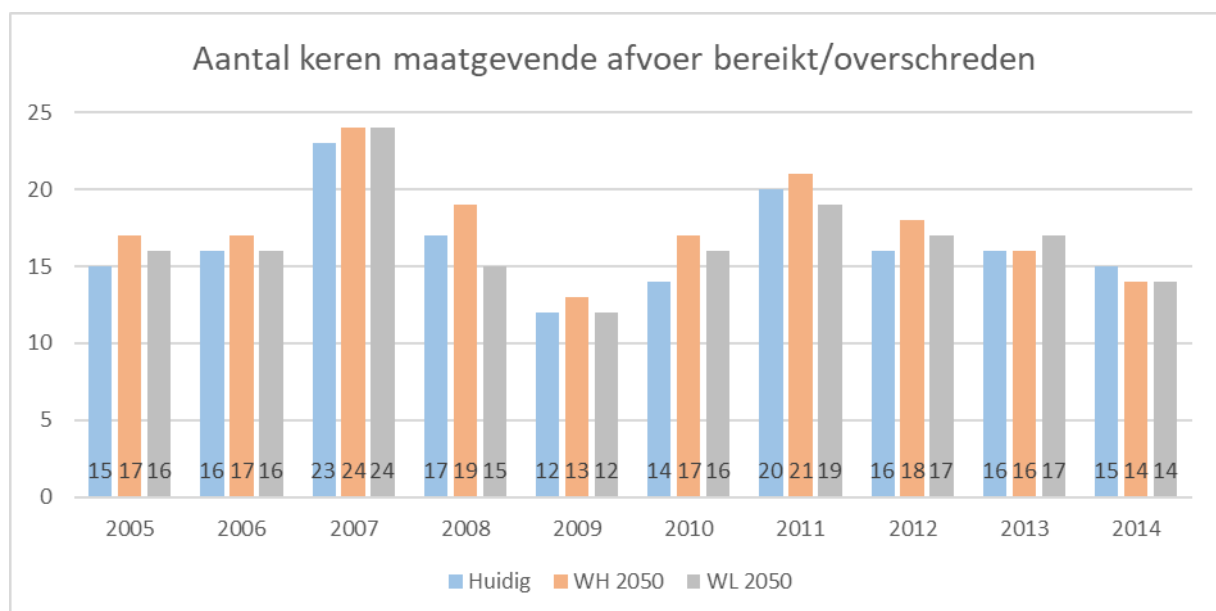
Figuur 3.9: Schematische weergave regenton/-schutting bij zadeldak

De gegevens gebruikt voor de berekeningen van deze maatregel staan in tabel 3f. De afvoercoëfficiënt en factor opvang dak verschillen ten opzichte van een plat dak (tabel 3e).

Tabel 3f: Gegevens regenton/-schutting zadeldak

Dakoppervlak (m ²)	80
Afvoercoëfficiënt	0,95
Factor opvang dak	0,9
Wateropslag (l)	100
Aantal stuks	2
Wateropslag (m ³)	0,2
Groenoppervlak (m ²)	40
Maatgevende afvoer (m ³ /d)	1,04
Gewasfactor verhard opp.	0

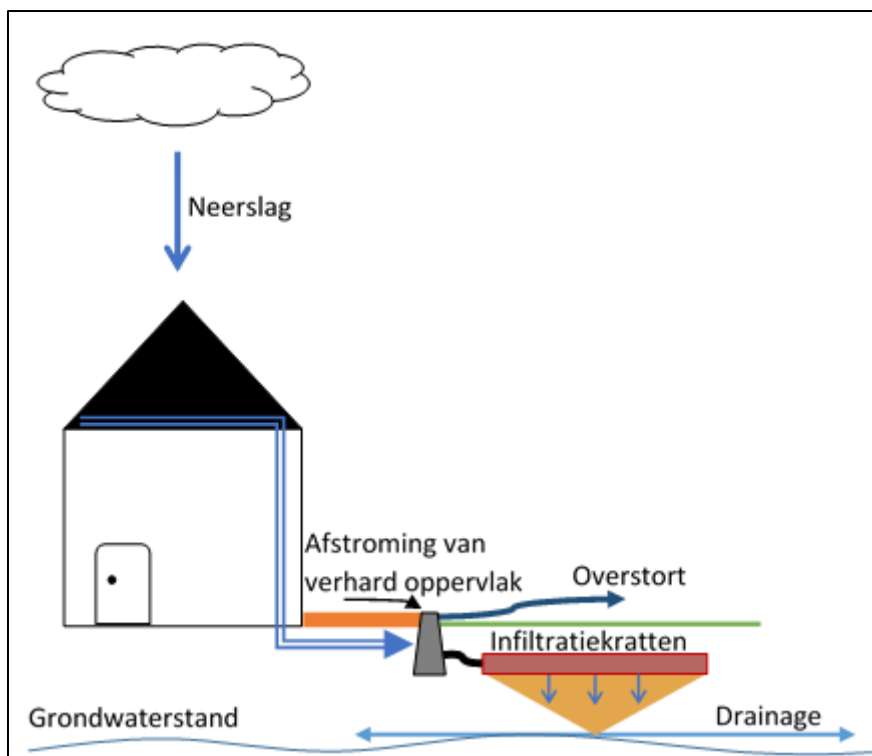
Figuur 3.10 toont het aantal keren dat de afstroming de maatgevende afvoer bereikt/overschrijdt. Voor het huidige klimaat is dit gemiddeld 16,4; voor W_H 17,6 en voor W_L 16,6. Het gemiddelde van W_H ligt dus ruim boven het gemiddelde van het huidige klimaat, terwijl het gemiddelde van W_L maar een fractie hoger ligt.



Figuur 3.10: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer regenton/-schutting zadeldak

3.3 Infiltratiekratten

In figuur 3.11 is een schematische weergave van infiltratiekratten afgebeeld. Daken en verhard terrein kunnen worden aangesloten op de infiltratiekratten. Vanuit het afstromend verhard oppervlak wordt neerslag naar de infiltratiekratten geleid, waardoor de voorziening zich vult. Vervolgens infiltreert het opgevangen hemelwater in de bodem. Een voorwaarde is dat de bodem onder de infiltratiekratten goed doorlatend is. In de figuur is het bodembergingsgebied waarin het hemelwater kan infiltreren weergegeven als een driehoek. De bodembergingscapaciteit wordt bepaald door het percentage onverzadigde poriën in de bodem. Hoe dichterbij de grondwaterstand, hoe meer poriën gevuld zijn met water. De bergingscapaciteit neemt daardoor lineair af met de diepte van de bodem tot aan de grondwaterstand. Via drainage wordt de bodem geledigd. Wanneer de bodem onder de infiltratiekratten volledig is verzadigd met water en de infiltratiekratten eveneens vol zijn, stort het te veel aan neerslag over.



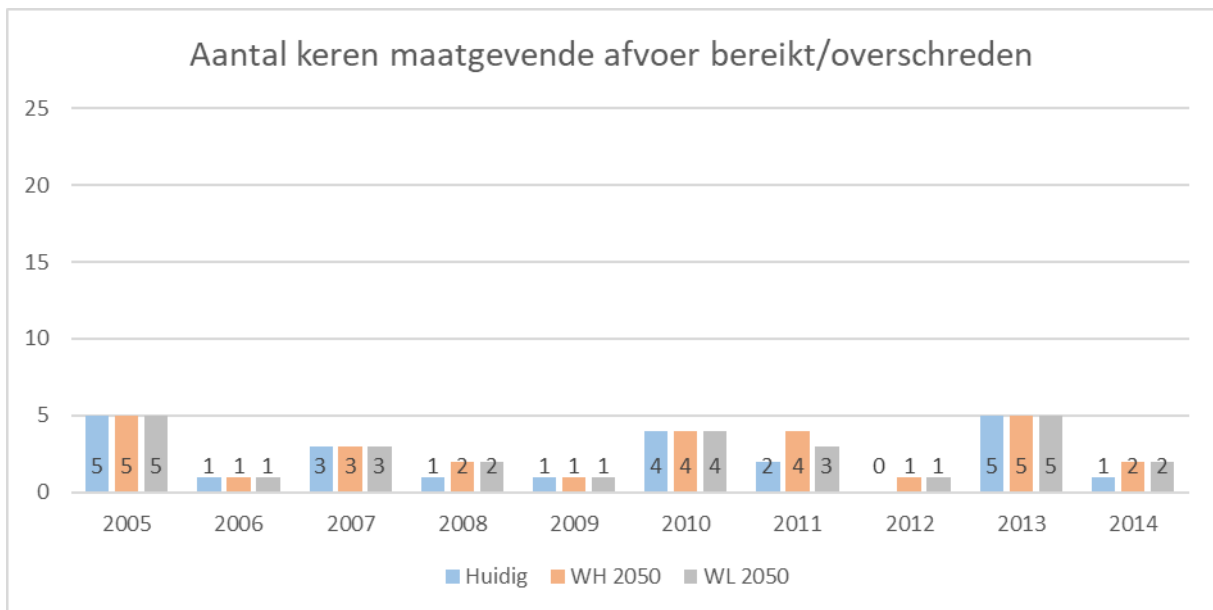
Figuur 3.11: Schematische weergave infiltratiekratten

In de tabel 3g zijn de invoergegevens (groen) en overige gegevens weergegeven die zijn gebruikt voor de analyse.

Tabel 3g: Gegevens infiltratiekratten

<u>Gegevens afstromend oppervlak</u>		<u>Gegevens bodem</u>	
Afstromend oppervlak dak (m ²)	80	Grondwaterstandspeil (m-mv)	1
Afvoercoëfficiënt dak	0,95	Percentage poriën bodem (%)	50
Factor opvang dak	0,9	Bodemberging door infiltratie (m ³)	0,938
Afstromend oppervlak terrein (m ²)	40		
Afvoercoëfficiënt terrein	0,75	<u>Afvoer</u>	
Factor opvang terrein	0,8	Drainageafvoer (mm/d)	10
Gewasfactor verhard opp.	0	Drainageafvoer (m ³ /uur)	0,050
		Maatgevende afvoer (m ³ /d)	1,56
<u>Gegevens infiltratiekratten</u>			
Netto volume krat (l)	190		
Aantal kratten (stuks)	25		
Netto bergingsvolume (m ³)	4,75		
Oppervlak onderste laag kratten (m ²)	12,5		
Diepte onderkant kratten (m-mv)	0,7		

In figuur 3.12 is de staafdiagram weergegeven die toont hoe vaak de maatgevende afvoer wordt bereikt/overschreden door de afstroming voor alle neerslag- en verdampingsreeksen. Het gemiddelde over tien jaar bedraagt voor het huidig klimaat 2,3. De scenario's W_H en W_L hebben een gemiddelde van respectievelijk 2,8 en 2,7.



Figuur 3.12: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer infiltratiekratten

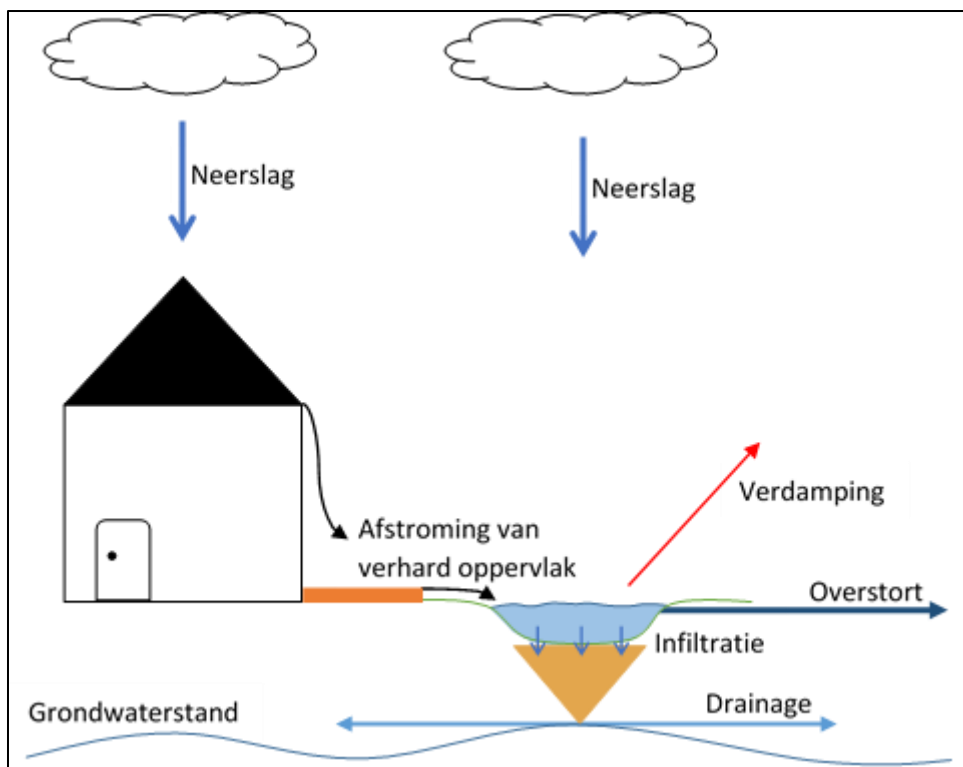
3.4 Bergingsvijver

Voor de bergingsvijver is onderscheid gemaakt tussen droge en natte waterberging.

3.4.1 Droge bergingsvijver

Figuur 3.13 toont de schematische weergave van een droge bergingsvijver in geval van neerslag. Hemelwater afkomstig van het aangesloten verhard oppervlak komt tot afstroming in de vijver. Daarnaast vult de bergingsvijver zich ook met de neerslag die op bovenvlak van de vijver valt. Vervolgens kan hemelwater verdampen en/of infiltreren in de goed doorlatende bodem. Net zoals in figuur 3.11, paragraaf 3.3 is ook in deze figuur het bodembergingsgebied als een driehoek afgebeeld. Het percentage onverzadigde poriën in de bodem bepaalt de bodembergingscapaciteit. Hoe dichterbij de grondwaterstand, hoe meer poriën gevuld zijn met water. Daardoor neemt de bergingscapaciteit lineair af met de diepte van de bodem tot aan de grondwaterstand. De bodem wordt geledigd door drainage. Wanneer de bodem en bergingsvijver volledig gevuld zijn met hemelwater en meer neerslag valt, stort het overtollig hemelwater over. In droogteperioden is de bergingsvijver niet gevuld met hemelwater waardoor geen sprake kan zijn van verdamping of infiltratie.

Naast infiltratie zou kwel ook plaats kunnen vinden. Dit is echter niet verwerkt in de berekeningen. De achterliggende reden hiervoor staat in bijlage 2.



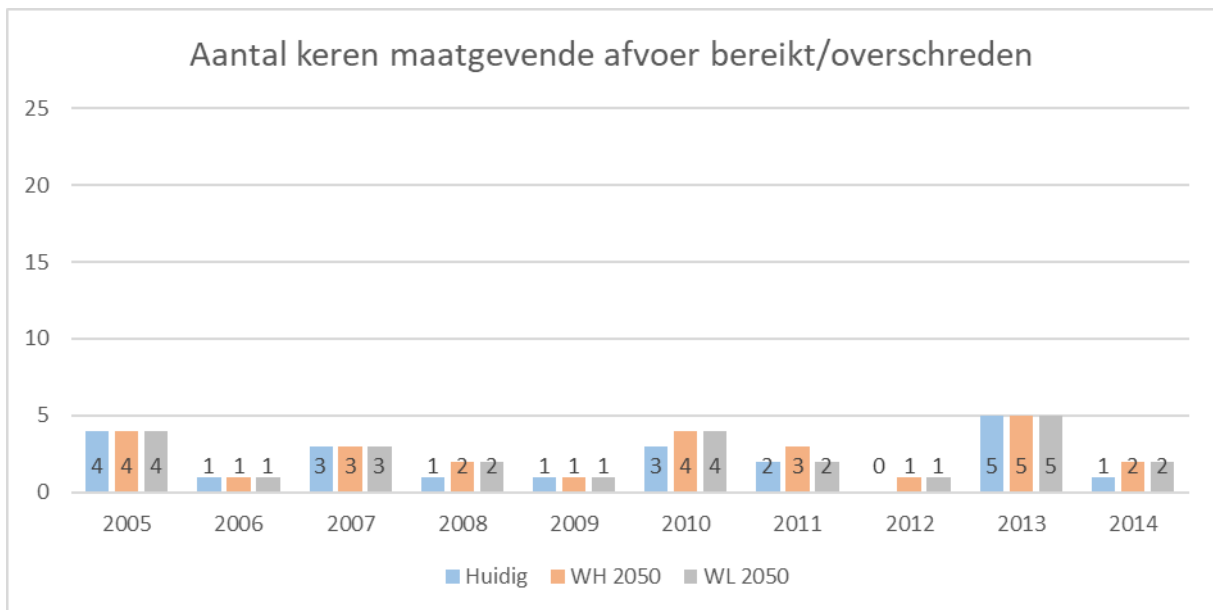
Figuur 3.13: Schematische weergave droge bergingsvijver

In tabel 3h staan de toegepaste variabelen en overige gegevens die gebruikt zijn voor de berekeningen.

Tabel 3h: Gegevens droge bergingsvijver

<u>Gegevens afstromend oppervlak</u>		<u>Gegevens bodem</u>	
Afstromend oppervlak dak (m ²)	80	Grondwaterstandspeil (m-mv)	1
Afvoercoëfficiënt dak	0,95	Percentage poriën bodem (%)	50
Factor opvang dak	0,9	Bodemberging door infiltratie (m ³)	0,45
Afstromend oppervlak terrein (m ²)	40		
Afvoercoëfficiënt terrein	0,75	<u>Afvoer</u>	
Factor opvang terrein	0,8	Drainageafvoer (mm/d)	10
Gewasfactor verhard opp.	0	Drainageafvoer (m ³ /uur)	0,050
		Maatgevende afvoer (m ³ /d)	1,56
<u>Gegevens bergingsvijver</u>			
Bodembreedte bergingsvijver (m)	1		
Diepte bergingsvijver (m-mv)	0,7		
Lengte bergingsvijver (m)	6		
Verhouding talud (1:X)	3		
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	5,20		
Netto bergingsvolume (m ³)	13,02		
Bodemoppervlak bergingsvijver (m ²)	6,00		

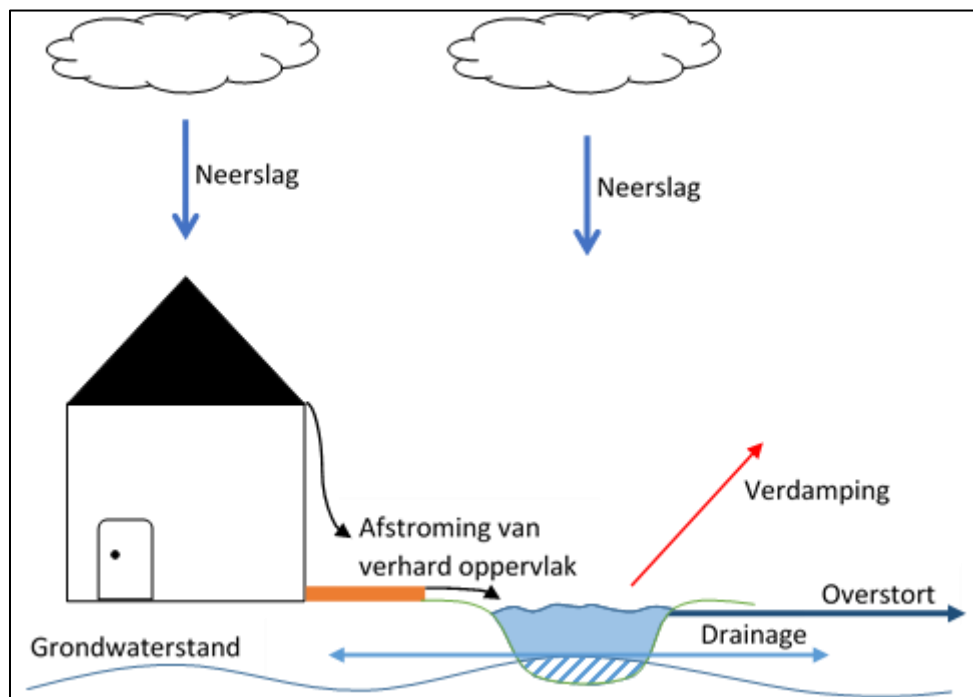
Hoe vaak de maatgevende afvoer wordt bereikt/overschreden door de afstroming wordt getoond in figuur 3.14. Het gemiddelde hiervan over de periode van tien jaar bedraagt voor het huidige klimaat 2,1. Voor klimaatscenario W_H is dit 2,6 en voor W_L 2,5.



Figuur 3.14: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer droge bergingsvijver

3.4.2 Natte bergingsvijver

In figuur 3.15 is de schematische weergave van een natte bergingsvijver afgebeeld. Het proces neerslag-afvoer is vrijwel gelijk aan het proces van een droge bergingsvijver. Het verschil is dat een natte bergingsvijver tot onder het gemiddelde grondwaterniveau reikt, waardoor in principe altijd water in de vijver staat (wit-blauwe gestreepte deel in de figuur). Het hemelwater in de bergingsvijver wordt alleen afgevoerd via drainage; infiltratie vindt dus niet plaats. Bij een droge bergingsvijver is dit niet het geval. In drogere tijden kan verdamping daarentegen wel blijven plaatsvinden doordat in principe altijd water in de vijver aanwezig is. Deze 'extra berging' kan ervoor zorgen dat bijvoorbeeld een piekbui in de zomer beter kan worden afgevangen.



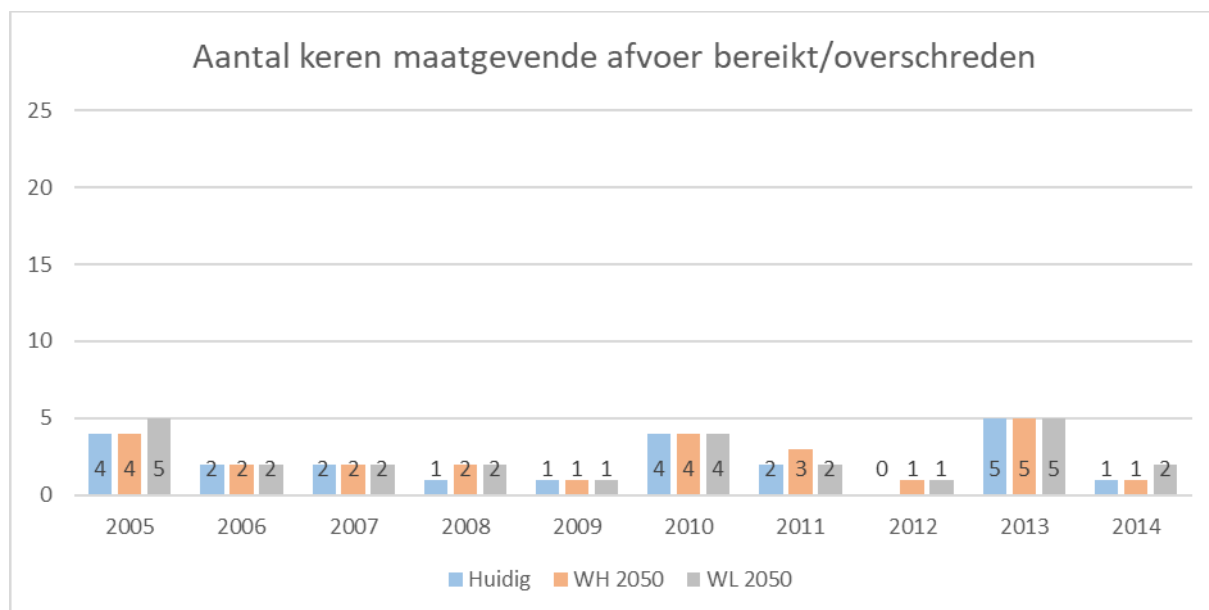
Figuur 3.15: Schematische weergave natte bergingsvijver

De gegevens gebruikt voor de berekeningen ten behoeve van de effectiviteit van een natte bergingsvijver op de waterafvoer zijn uitgezet in tabel 3i.

Tabel 3i: Gegevens natte bergingsvijver

<u>Gegevens afstromend oppervlak</u>		<u>Gegevens bodem</u>	
Afstromend oppervlak dak (m ²)	80	Grondwaterstandspeil (m-mv)	1
Afvoercoëfficiënt dak	0,95		
Factor opvang dak	0,9	<u>Afvoer</u>	
Afstromend oppervlak terrein (m ²)	40	Drainageafvoer (mm/d)	10
Afvoercoëfficiënt terrein	0,75	Drainageafvoer (m ³ /uur)	0,050
Factor opvang terrein	0,8	Maatgevende afvoer (m ³ /d)	1,56
Gewasfactor verhard opp.	0		
<u>Gegevens bergingsvijver</u>			
Bodembreedte bergingsvijver (m)	0,7		
Diepte bergingsvijver (m-mv)	1,3		
Lengte bergingsvijver (m)	4		
Verhouding talud (1:X)	3		
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	8,50		
Bruto bergingsvolume (m ³)	23,92		
Bodembreedte netto bergingsvolume (m)	2,50		
Netto bergingsvolume (m ³)	22,00		
Bodemoppervlak bergingsvijver (m ²)	2,80		

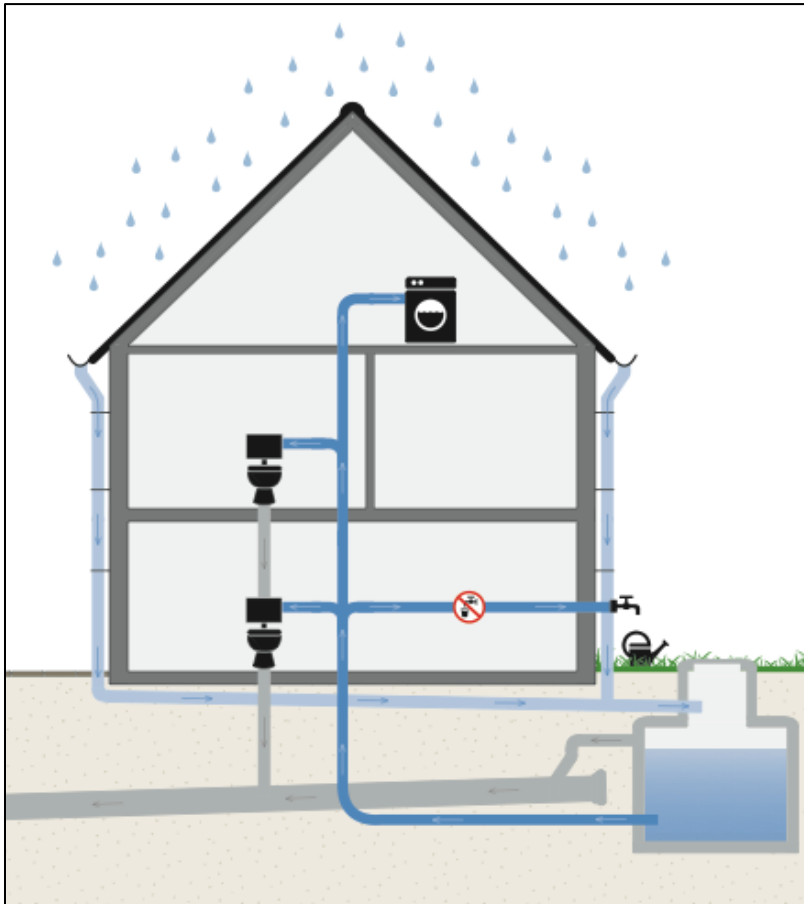
In figuur 3.16 is de staafdiagram voor deze waterbergingsmaatregel afgebeeld. Het aantal keren dat de afstroming de maatgevende afvoer bereikt/overschrijdt, is hiervan af te lezen. Het gemiddelde aantal bedraagt voor het huidig klimaat 2,2. Voor scenario's W_H en W_L ligt dit iets hoger: respectievelijk 2,5 en 2,6.



Figuur 3.16: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer natte bergingsvijver

3.5 Hergebruik in huis

In figuur 3.17 is een schematische weergave van hergebruik in huis afgebeeld. Hemelwater afkomstig van het dak wordt geleid naar het reservoir en wordt daar opgeslagen. Vervolgens kan het opgeslagen hemelwater worden hergebruikt voor het besproeien van de tuin, toiletdoorspoeling en wasmachinegebruik. Voor het besproeien van de tuin zijn dezelfde aannames gemaakt als in paragraaf 3.2. Voor het gebruik van het toilet is uitgegaan van 35,5 l/d per persoon en voor het gebruik van de wasmachine 12,3 l/d per persoon.³⁰ Het waterhergebruik ten behoeve van toilet en wasmachine is in de berekeningen verdeeld over zeven uren, waarbij is uitgegaan van een werkdag met standaard kantooruren.



Figuur 3.17: Schematische weergave hergebruik in huis (Atelier Groenblauw)

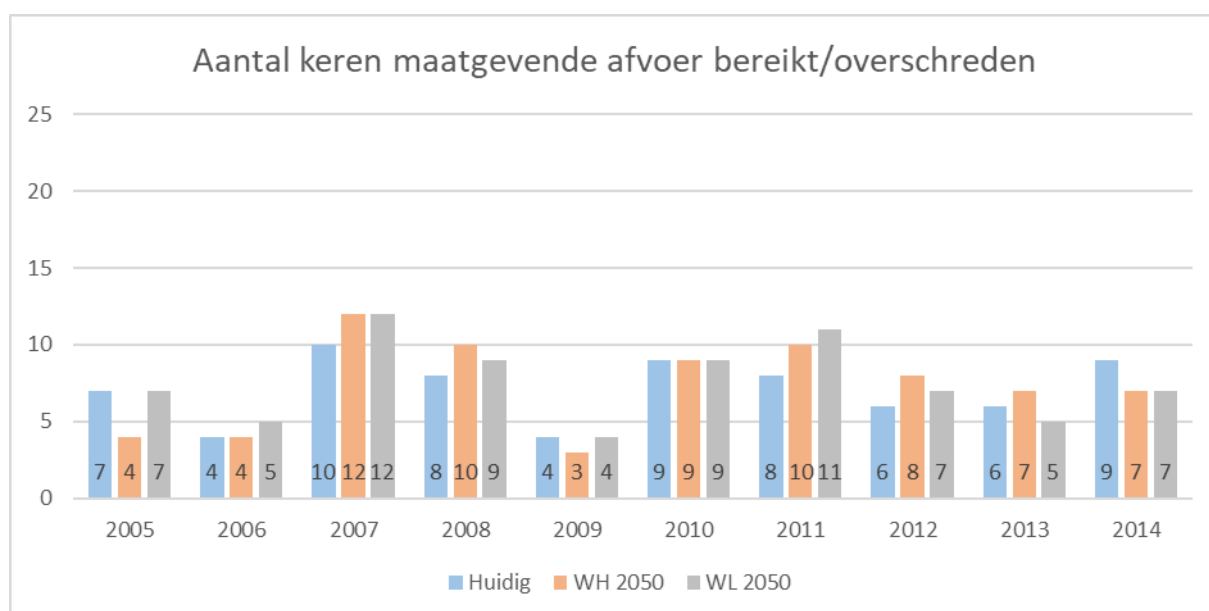
De gegevens die zijn gebruikt om mee te rekenen, staan in tabel 3j.

³⁰ Waternet. (z.d.). *Gemiddeld waterverbruik*. Geraadpleegd op 9 februari 2018, van <https://www.waternet.nl/ons-water/drinkwater/gemiddeld-waterverbruik/>

Tabel 3j: Gegevens hergebruik in huis

Dakoppervlak (m ²)	80
Afvoercoëfficiënt	0,95
Factor opvang dak	0,9
Netto berging reservoir (m ³)	5
Gewasfactor verhard opp.	0
Groenoppervlak (m ²)	40
Grootte huishouden (personen)	2
Maatgevende afvoer (m ³ /d)	1,04

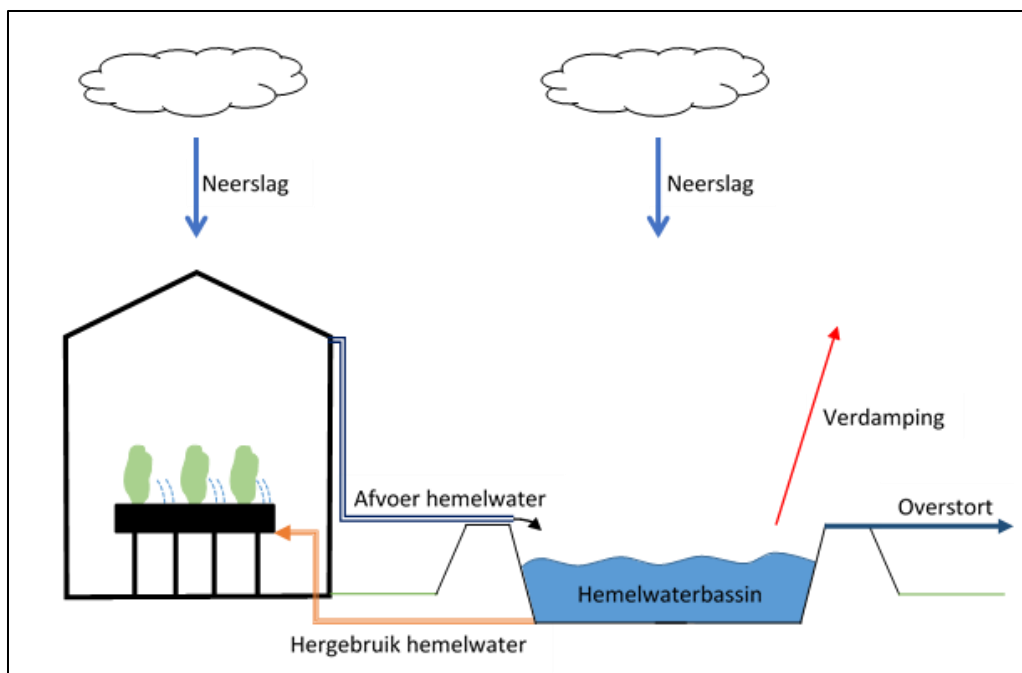
Figuur 3.18 toont de staafdiagram van het aantal keren dat de maatgevende afvoer door de afstroming wordt bereikt of overschreden. Het gemiddelde over de tienjarige periode hiervan ligt het laagste voor het huidig klimaat met een gemiddelde van 7,1; gevolgd door W_H met 7,4 en dan W_L met een gemiddelde van 7,6.



Figuur 3.18: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer hergebruik in huis

3.6 Hergebruik in kas

Figuur 3.19 toont een schematische weergave van hergebruik in kas. Bij neerslag valt hemelwater op het dak van de kas. Dit hemelwater wordt geleid naar het hemelwaterbassin en wordt samen met de neerslag die op het bassin valt, opgeslagen. Vervolgens kan het opgeslagen water hergebruikt worden voor het bewateren van het gewas. Ook kan het opgeslagen water verdampen. Wanneer het bassin volledig is gevuld en er meer neerslag valt, stort de overtollige neerslag over.



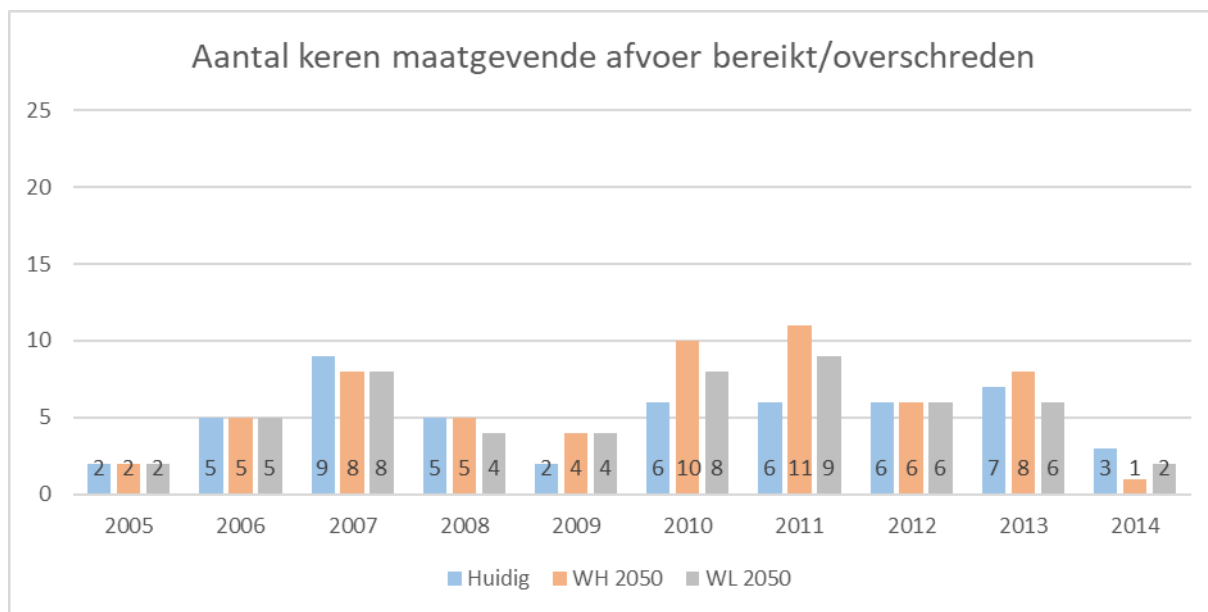
Figuur 3.19: Schematische weergave hergebruik kas

De hoeveelheid water dat voor hergebruik benodigd is, hangt af van het soort gewas. Voor de berekeningen van de effectiviteit op de hemelwaterafvoer is gekozen voor paprika's. Dit is een veelvoorkomende plantensoort die wordt verbouwd in de Noordoostpolder. In bijlage 2 staat de gietwaterbehoefte van paprika's per maand. De overige gebruikte gegevens staan in tabel 3k.

Tabel 3k: Gegevens hergebruik in kas

Dakoppervlak glastuinbouw (m²)	15000
Afvoercoëfficiënt dak	0,95
Factor opvang kas	0,9
Tuinbouwoppervlakte (m²)	12000
Oppervlak bassin (m²)	1500
Bergingsvolume bassin (m³)	3000
Maatgevende afvoer (m³/d)	195,00

In figuur 3.20 zijn de uitkomsten van de berekeningen in de vorm van een staafdiagram getoond. Het gemiddelde van het aantal keren dat de afstroming de maatgevende afvoer bereikt/overschrijdt over de tienjarige periode, bedraagt voor het huidig klimaat 5,1. Voor W_H betreft het gemiddelde 6,0 en het gemiddelde van W_L is 5,4.



Figuur 3.20: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer hergebruik in kas

3.7 Constateringen

Opvallend is dat de afstroming van de waterbergingsmaatregelen beschreven onder de eerste twee paragrafen (berging op dak en regenton/-schutting) de maatgevende afvoer het minst vaak in het jaar 2009 bereikt/overschrijdt. In 2007 of 2011 gebeurt dit het vaakst. Dit komt overeen met de jaarlijkse neerslag- en verdampingssommen: in 2009 is de neerslagsom het laagste en de verdampingssom het hoogste. Over de tienjarige periode heeft 2007 de hoogste neerslagsom en 2012/2013 heeft de laagste verdampingssom. Bij de waterbergingsmaatregelen infiltratiekatten, droge en natte bergingsvijver wordt de maatgevende afvoer het minst vaak bereikt of overschreden in 2012 en het vaakst in 2005 en/of 2013. Het verschil tussen de waterbergingsmaatregelen van berging op dak en regenton/-schutting en de waterbergingsmaatregelen infiltratiekatten en bergingsvijver wordt veroorzaakt door de hoeveelheid directe afstroming en/of een kleine waterbergingscapaciteit. Bij alle waterbergingsmaatregelen van berging op dak en regenton/-schutting is sprake van een relatief hoge factor directe afstroming of stort de voorziening snel over door een lage waterbergingscapaciteit. Zo stroomt 40% van de neerslag bij een extensief groen dak direct af en heeft een regenton een maximale wateropslag van 0,2 m³. Bij infiltratiekatten of een bergingsvijver komt weinig direct tot afstroming en is de wateropslag zodanig groot, waardoor overstort relatief weinig voorkomt. Op het moment dat de factor opvang dak verlaagd wordt (bijvoorbeeld naar 0,5), wordt een situatie nagebootst waarbij sprake is van relatief veel directe afstroming of een voorziening die vaak overstort. Dan blijkt dat 2009 het jaar is waarin de maatgevende afvoer door de afstroming het minst vaak wordt bereikt/overschreden. De maatgevende afvoer wordt voor infiltratiekatten en de natte bergingsvijver het vaakst bereikt/overschreden in 2007 of 2011. Bij de droge bergingsvijver gebeurt dit in het huidige klimaat het vaakst in 2006 en 2007 en voor de twee klimaatscenario's alleen in 2006.

In de analyses spelen vooral de buien een rol waarbij in het huidige klimaat de afstroming per dag rond de grens van de maatgevende afvoer (13 mm/d) zit. Door een toename of afname in neerslag/verdamping zorgt zo'n dergelijke bui in het toekomstig klimaat juist wel of niet voor het overschrijden van de maatgevende afvoer. De toename van extremere buien is niet duidelijk terug te zien in het klimaateffect. Deze piekbuien leiden in het huidige klimaat ook vaak tot overschrijding van de maatgevende afvoer door overstort. Dit heeft echter wel invloed op het watersysteem. Hogere piekbuien zorgen ook voor meer peilstijging in de polder. Hierdoor zal ook meer wateroverlast ervaren worden.

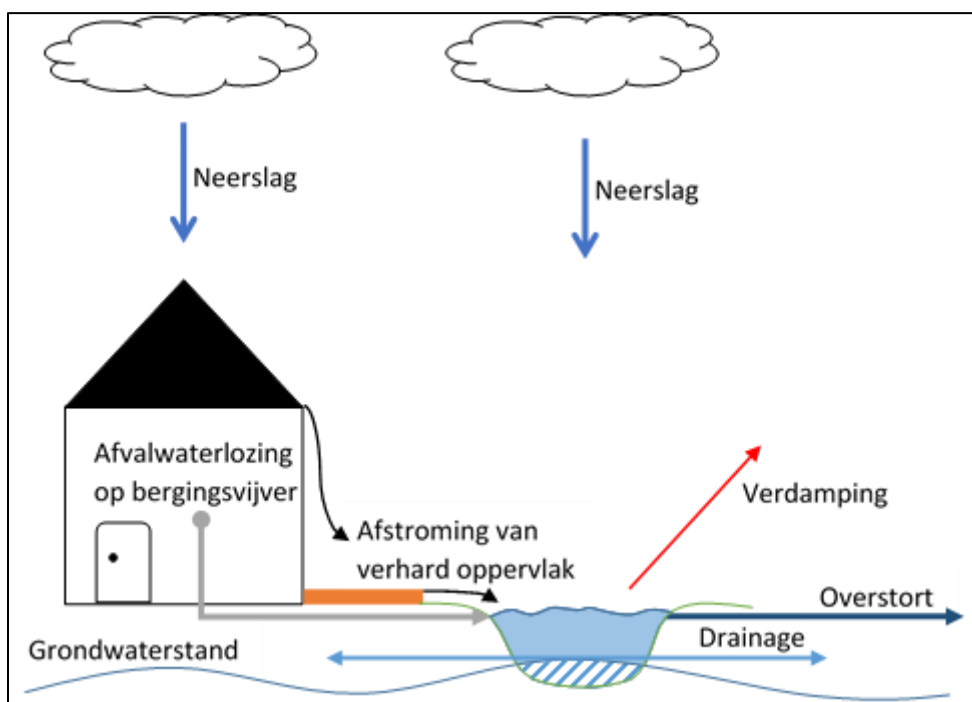
Verder kan geconstateerd worden dat een groen dak of retentiedak alleen niet voldoende is: de voorziening compenseert zichzelf (verharding dak) niet. Een waterdak daarentegen doet dat wel, onder de voorwaarde dat de afvoer minder is dan de maatgevende afvoer. In principe kunnen de maatregelen regenton/-schutting en hergebruik in huis het dakoppervlak ook volledig compenseren. Voorwaarden hierbij zijn dat de bergingscapaciteit voldoende groot is en voldoende water wordt hergebruikt, zodat 'nieuw' neerslag door de voorziening kan worden opgevangen. Dit is echter niet realistisch en in werkelijkheid zal dan ook daarbij een andere bergingsvorm toegepast moeten worden. Daarnaast dient rekening gehouden te worden dat bij bovenbeschreven voorzieningen verhard terreinoppervlak niet gecompenseerd wordt. In al deze gevallen zal ook berging gecreëerd moeten worden om afstromend hemelwater vanuit het verhard terreinoppervlak te kunnen bergen. Daarnaast is op een kavel in Oosterwold ook een andere vorm van waterberging, zoals een bergingsvijver, benodigd vanwege afvalwater. Dit kan namelijk niet geloosd worden op dakberging of in het reservoir ten behoeve van hergebruik in huis. De waterbergingsmaatregelen bergingsvijver en infiltratiekratten kunnen bij voldoende bergingscapaciteit zorgen voor het totaal aan benodigd compenserende berging, zonder dat een andere bergingsmaatregel gerealiseerd hoeft te worden. Daarbij dient voor een bergingsvijver voldoende bovengrondse ruimte beschikbaar te zijn. Voor een droge bergingsvijver en infiltratiekratten dient de grondwaterstand voldoende laag te zijn en dient het cunet onder de voorziening voldoende doorlatend te zijn, zodat de voorziening goed functioneert.

4 Waterbergingsmaatregelen op een kavel

In hoofdstuk 3 zijn de waterbergingsmaatregelen afzonderlijk van elkaar onder de loep genomen. In dit hoofdstuk zijn de maatregelen gecombineerd, zodat een totaal effect op de waterafvoer vanuit een kavel kan worden berekend. Hiervoor is de volgende deelvraag opgesteld: *‘Wat is het totale effect op de waterafvoer van verschillende waterbergingsmaatregelen bij elkaar die op een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland toegepast kunnen worden?’* Om deze vraag te kunnen beantwoorden, zijn verschillende stappen ondernomen welke in het rapport ‘Toelichting opbouw maatregelen en rekentools’ zijn uitgelegd. Het resultaat zijn vier rekentools voor verschillende situaties waarmee de totale afstroming vanuit een kavel met waterbergingsmaatregelen kan worden berekend. De tools geven weer hoe vaak de maatgevende afvoer van 13 mm/d door de afstroming wordt bereikt of overschreden. Aangezien de rekentools toepasbaar dienen te zijn voor de kavels in Oosterwold, is het mogelijk om afvalwaterlozing mee te nemen in de berekeningen. In Oosterwold ligt namelijk geen riolering en wordt het afvalwater op eigen terrein verwerkt. Welke tool wanneer bruikbaar is, is eveneens in het rapport ‘Toelichting opbouw maatregelen en rekentools’ toegelicht. In bijlage 2 staan aannames en uitgangspunten die zijn gebruikt voor de berekeningen. Voor elke tool is in dit hoofdstuk een voorbeeldsituatie gecreëerd, waarbij de titel van de paragraaf terugslaat op het gebruikte Excel-bestand (de rekentool). De afstroming vanuit de kavel en het aantal keren dat deze de maatgevende afvoer bereikt/overschrijdt, is voor elke voorbeeldsituatie berekend. De uitkomsten hiervan zijn in dit hoofdstuk toegelicht. Ten slotte is in de laatste paragraaf een analyse uitgevoerd van de waterafvoer vanuit een kavel in Oosterwold.

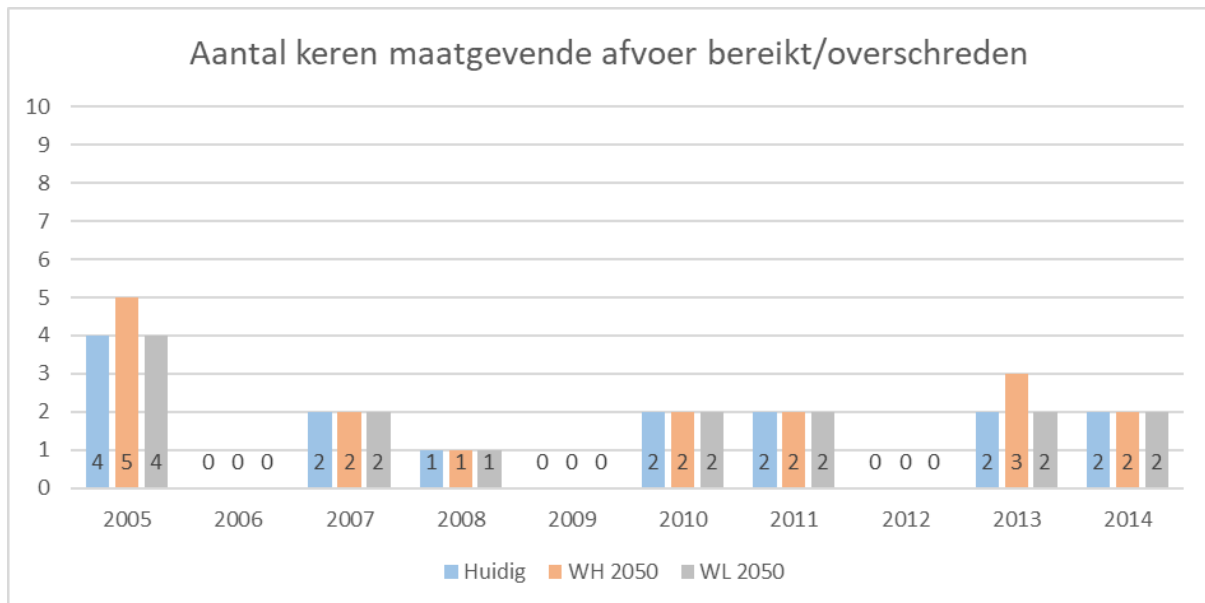
4.1 Waterbergingsmaatregelen

Als voorbeeld is de natte bergingsvijver uitgewerkt. De werking van deze waterbergingsmaatregel is onder paragraaf 3.4 uitgelegd. In dit voorbeeld is afvalwaterlozing op de vijver meegenomen (figuur 4.1). Dit kan ook opgemaakt worden uit gegevenstabel I van bijlage 3 welke is gebruikt voor de berekeningen.



Figuur 4.1: Schematische tekening voorbeeld waterbergingsmaatregelen

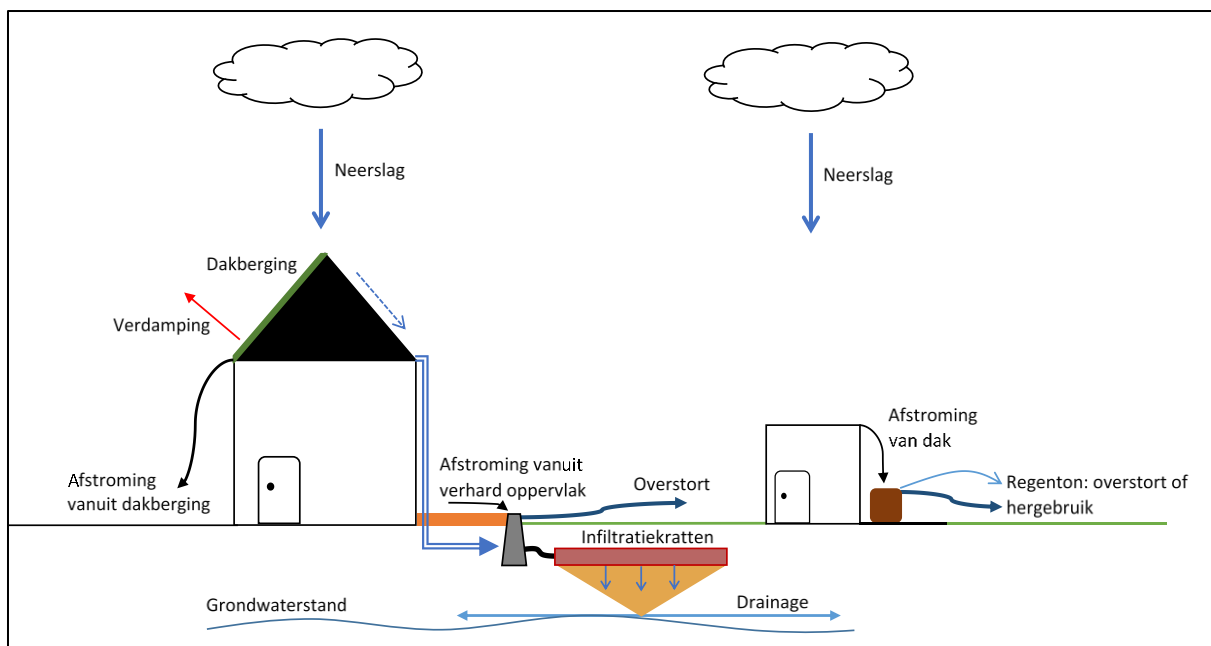
Uit de analyse blijkt dat de afstroming vanuit de kavel gemiddeld 1,5 keer per jaar de maatgevende afvoer bereikt of overschrijdt in het huidige klimaat en klimaatscenario W_L . Zoals in figuur 4.2 is af te lezen, gebeurt dit in elk jaar even vaak. Bij klimaatscenario W_H ligt het gemiddelde iets hoger (1,7).



Figuur 4.2: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer, voorbeeld waterbergingsmaatregelen

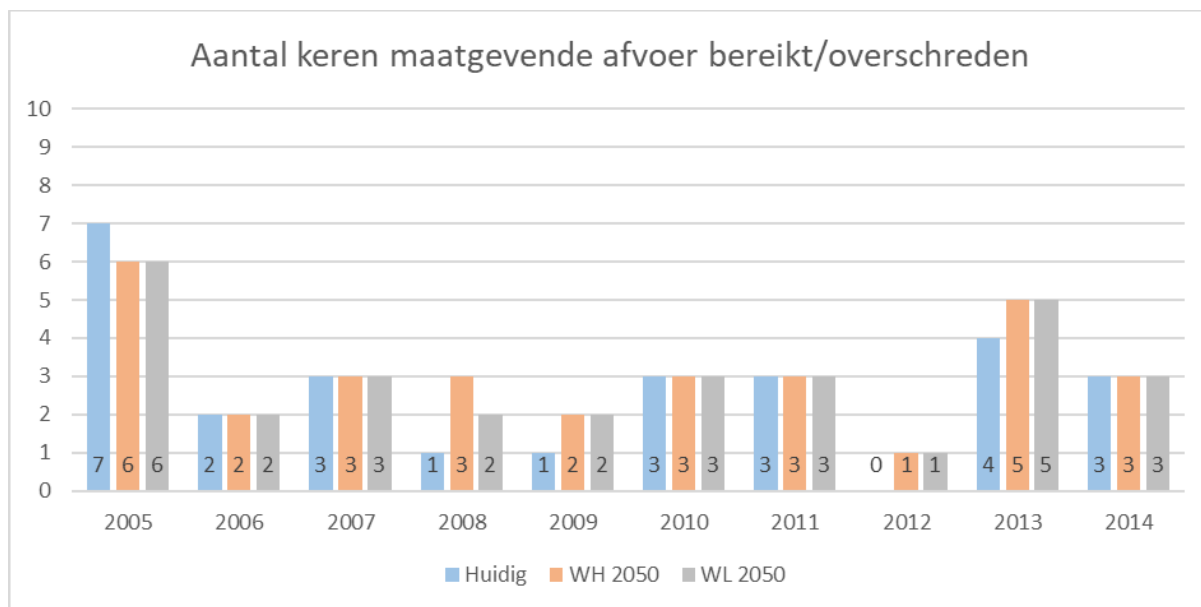
4.2 Combinatie waterbergingsmaatregelen

Als voorbeeld van de combinatie waterbergingsmaatregelen is een combinatie van een hellend groen dak, infiltratiekratten en een regenton op een kavel genomen. Deze waterbergingsmaatregelen functioneren in dit geval apart van elkaar en zijn dus niet gekoppeld aan elkaar. Ter visualisatie is in figuur 4.3 een schematische tekening afgebeeld. In dit geval is gekozen voor een zadeldak van 80 m^2 en een garagedak van 20 m^2 . Het ene dakvlak is bekleed met grassen en functioneert als een hellend groen dak en het andere dakvlak is aangesloten op infiltratiekratten. Daarnaast is een terreinoppervlak van 40 m^2 aangesloten op de infiltratiekratten. Verder stroomt het hemelwater van het garagedak af op de regenton. Het opgeslagen hemelwater in de regenton wordt in dit voorbeeld hergebruikt voor het besproeien van de tuin (40 m^2) ten tijde van droogte. Alle benodigde gegevens zijn in de tabellen II tot en met V van bijlage 3 uitgezet.



Figuur 4.3: Schematische tekening voorbeeld combinatie waterbergingsmaatregelen

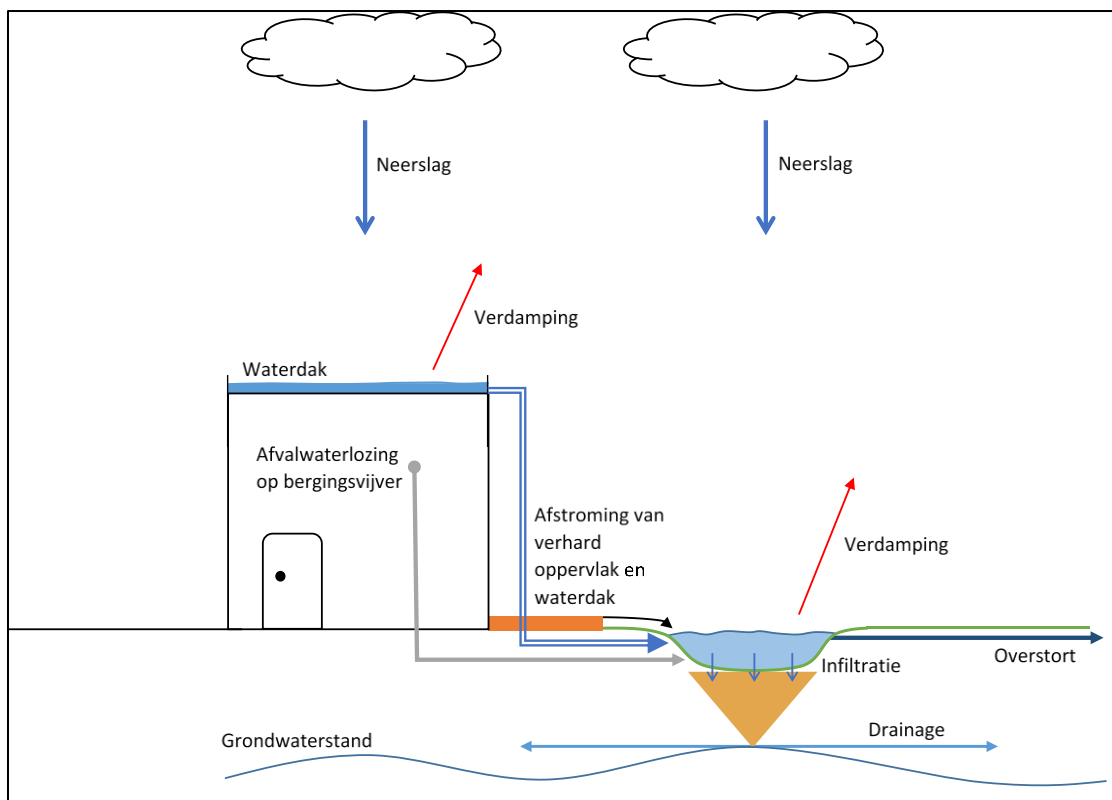
In figuur 4.4 is de staafdiagram weergegeven voor dit voorbeeld. Het huidige klimaat heeft een gemiddeld aantal keren bereiken/overschreden van 2,7 per jaar. Het gemiddelde van klimaatscenario W_H bedraagt 3,1 en van W_L 3,0.



Figuur 4.4: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer, voorbeeld combinatie waterbergingsmaatregelen

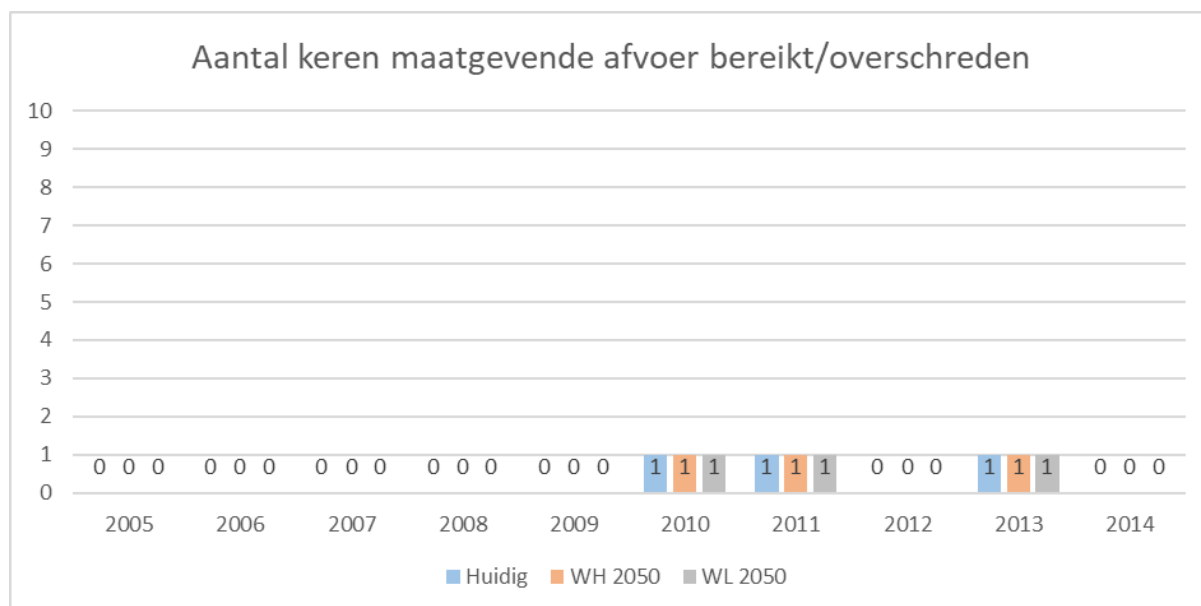
4.3 Dakberging

Als voorbeeld is het waterdak genomen waarbij het opvangen hemelwater vanuit de dakberging naar een droge bergingsvijver wordt geleid. Daarnaast wordt afvalwater op deze vijver geloosd. Figuur 4.5 toont een schematische tekening van deze situatie.



Figuur 4.5: Schematische tekening voorbeeld dakberging

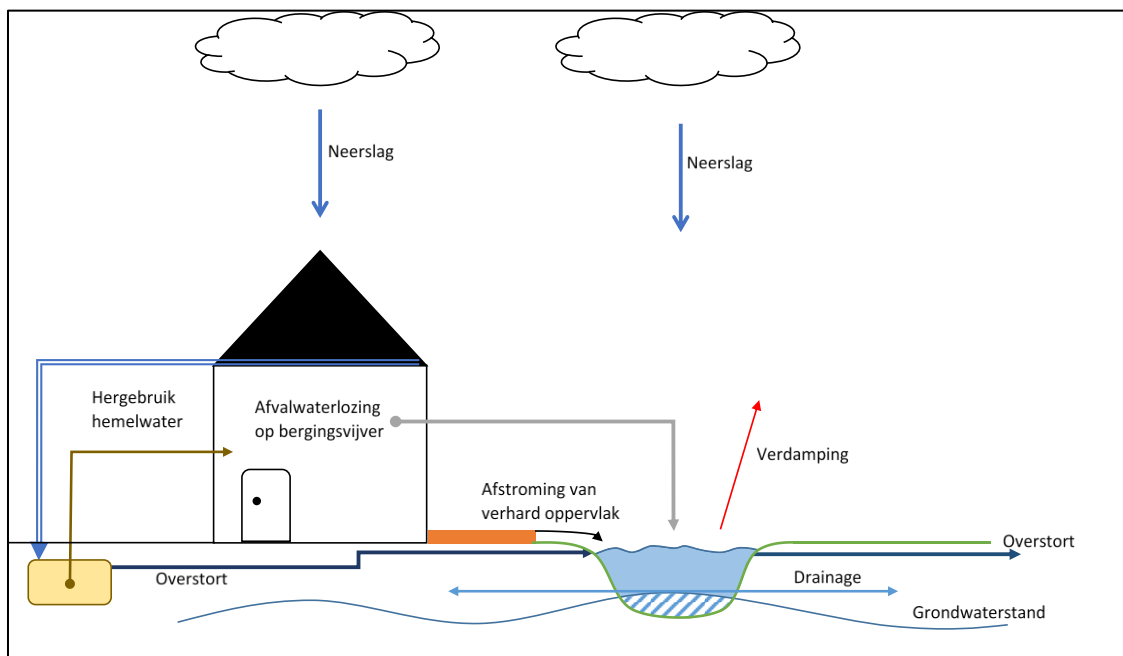
In dit voorbeeld is gebruik gemaakt van een 'factor opvang vanuit dakberging', waardoor 90% van het hemelwater dat naar de bergingsvijver wordt geleid, ook daadwerkelijk wordt opgevangen in de vijver. De overige 10% komt tot afstroming van de kavel. In tabel VI en VII van bijlage 3 staan de gegevens welke zijn gebruikt voor de berekeningen. Uit deze berekeningen blijkt dat de drie neerslag- en verdampingsreeksen wat betreft het aantal keren bereiken of overschrijden van de maatgevende afvoer niet verschillen (figuur 4.6). Elk jaar wordt de maatgevende afvoer even vaak bereikt/overschreden. De gemiddelden zijn daardoor ook gelijk aan elkaar (0,3).



Figuur 4.6: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer, voorbeeld dakberging

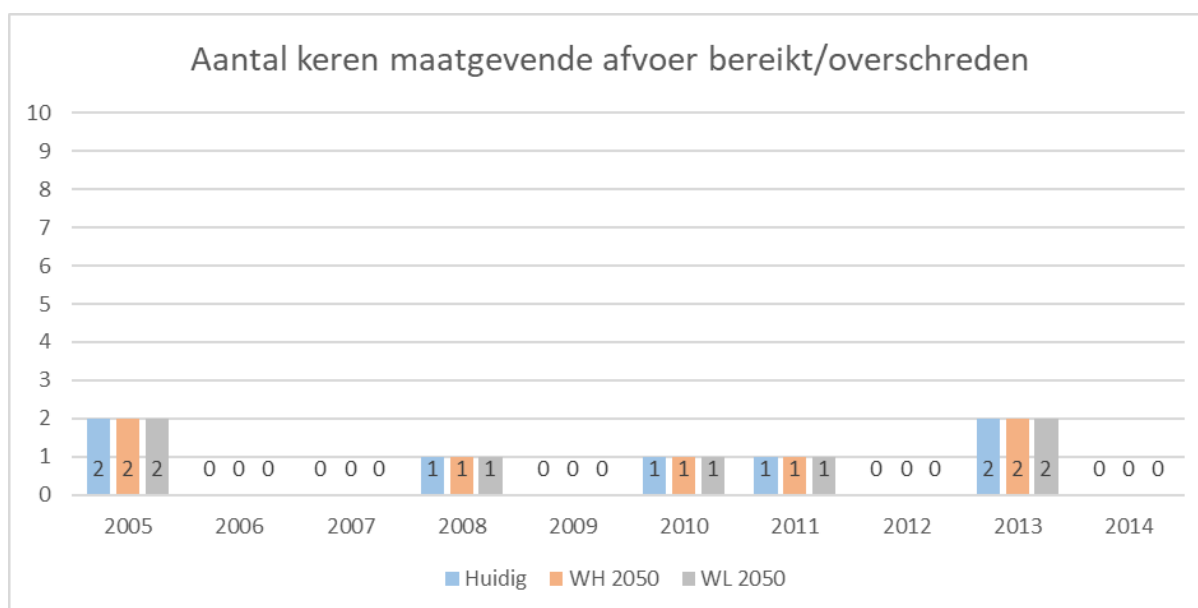
4.4 Berging – Bodem en tuin

Als voorbeeldsituatie is gekozen voor hergebruik in huis, waarbij de overstort van het reservoir uitstroomt op een natte bergingsvijver. Daarnaast wordt wederom afvalwater geloosd op deze vijver. In figuur 4.7 is een schematische tekening weergegeven. Zoals uit de tekening is op te maken, stroomt ook terreinoppervlak af op de natte bergingsvijver. Dit is eveneens uit gegevenstabellen VIII en IX van bijlage 3 op te maken.



Figuur 4.7: Schematische tekening voorbeeld berging – bodem en tuin

Het aantal keren dat de maatgevende afvoer wordt bereikt of overschreden, is net zoals bij het voorbeeld uit paragraaf 4.3 voor alle drie neerslag- en verdampingsreeksen hetzelfde (figuur 4.8). Het aantal keren en daarmee de gemiddelden liggen in deze situatie wel hoger (0,7).



Figuur 4.8: Aantal keren bereiken/overschrijden maatgevende afvoer, voorbeeld berging – bodem en tuin

4.5 Casestudie Oosterwold

Voor de casestudie is een kavel op Oosterwold gekozen. Vanwege privacyredenen is alleen de nodige documentatie in dit rapport beschikbaar gesteld. Het betreft een standaardkavel van 2.000 m² met vier bewoners. Voor de casestudie is onderscheid gemaakt tussen het plan dat er was bij aanvraag van de watervergunning en het ontwikkelingsplan. Beide plannen worden in deze paragraaf behandeld, waarbij een analyse is uitgevoerd om de waterafvoer van de kavel af te onderzoeken. Allereerst komt het meest recente plan aan bod; het plan ten tijde van de aanvraag watervergunning (augustus 2017). Vervolgens is ingegaan op het ontwikkelingsplan (maart 2016).

4.5.1 Plan aanvraag watervergunning

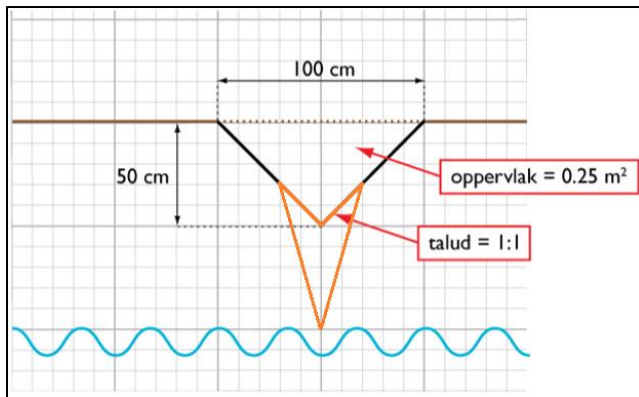
In het plan dat is aangeleverd ten tijde van de aanvraag watervergunning bestaan de verharde oppervlakken uit een woonhuis met werkruimte, veranda, een kas en een schuur. Daarnaast omvat dit plan een inrit en parkeerplaats, waarvan het materiaal waterdoorlatend is. De overige oppervlakken zijn bestempeld als groen, water en stadslandbouw. Op de kavel zijn twee greppels die met elkaar verbonden zijn. Dit betreft greppel 1 (32,25 m³) welke parallel aan de weg loopt en de andere, tweede greppel (7,75 m³). In bijlage 4 staat de informatie over de kavelindeling, oppervlakken en waterberging.

In de berekeningen voor de waterafvoer van de kavel (bereiken/overschrijden maatgevende afvoer) zijn meer oppervlakken meegerekend dan waarmee de initiatiefnemers voor compensatie waterberging hebben gerekend. In de berekeningen is de veranda als verhard dakoppervlak meegenomen en de berm (de strook tussen de greppel en de weg; bijlage 4) als verhard terreinoppervlak. De berm wordt in principe niet verhard, maar wel opengesteld voor herstel- en onderhoudswerkzaamheden. Daarnaast zullen graafwerkzaamheden plaats hebben gevonden om de greppel aan de wegkant te kunnen graven. Hierdoor kan de bodemstructuur verdicht worden, waardoor hemelwater mogelijk niet meer volledig kan infiltreren. In de berekeningen is daarom uitgegaan van een worstcasescenario waarbij dit hemelwater tot afstroming in greppel 1 komt. In tabel 4a staan de oppervlakten en ook op welke greppel deze oppervlakken afstromen. Daarnaast wordt op greppel 1 afvalwater geloosd.

Tabel 4a: Oppervlakken en afstroming

Object	Oppervlak (m ²)	Watert af op
Veranda	42,0	Niet aangesloten
Werkruimte	20,0	Greppel 1
Huis	72,0	Greppel 1
Schuur	28,0	Greppel 2
Kas	28,8	Greppel 1
Weg	140,2	Greppel 1
2 ^e schuur (toekomstig)	25,0	Greppel 2
Berm	76,5	Greppel 1
Totaal verhard oppervlak	432,5	
Totaal onverhard oppervlak	1.567,5	

Voor deze situatie is de rekentool “Combinatie waterbergingsmaatregelen” (Excel-bestand) toepasbaar. Hierbij is voor de greppels gebruik gemaakt van tabblad [BergingsvijverD] om vervolgens in tabblad [Combinatie] de totale afstroming vanuit de kavel te berekenen. De gegevens die zijn ingevoerd in deze tabbladen staan in tabel I-III uit bijlage 5. Door de vorm van greppel 2 (V-vorm) kan infiltratie van hemelwater in de rekentool (welke uitgaat van een trapeziumvorm) nauwelijks plaatsvinden. Dit is zeer onwaarschijnlijk en daarom is de ‘bodemberging door infiltratie’ gewijzigd: vanaf de onderste 20 cm kan infiltratie plaatsvinden. In figuur 4.9 betreft dit het oranjeomkaderde gebied.



Figuur 4.9: Visualisatie bodembergingsgebied greppel 2

Uit de analyse blijkt dat de maatgevende afvoer ($26,0 \text{ m}^3/\text{d}$) geen één keer wordt overschreden door de afstroming vanuit de kavel, ongeacht de neerslag- en verdampingsreeksen. Wel is er duidelijk verschil in de pieken te zien tussen de verschillende reeksen. De piek in afstroming die zich voordoet op 14-07-2011 is in het huidige klimaat relatief laag ($10,3 \text{ m}^3/\text{d}$) ten opzichte van het toekomstig klimaat (W_H -scenario $18,5 \text{ m}^3/\text{d}$; W_L -scenario $17,5 \text{ m}^3/\text{d}$). De pieken zijn te verklaren door de neerslag die gedurende voorgaande dagen valt (vanaf 12-07-2011). Hierdoor zijn de greppels vol geraakt en doordat meer neerslag op 14-07 valt, kunnen ze dit niet meer verwerken. Uiteindelijk storten beide greppels in alle reeksen over. In bijlage 6 staat voor elke neerslag- en verdampingsreeks een grafiek van de afstroming in 2011.

De hoogste piek van afstroming vindt plaats op 13-10-2013 voor zowel het huidige als het toekomstig klimaat. Dit is te wijten aan de grote hoeveelheid neerslag die in een relatief korte tijd valt. Vanaf 18:00 uur op 12-10-2013 tot en met 21:00 uur op 13-10-2013 valt neerslag van vaak rond de 2-6 mm of zelfs meer per uur. Op 13-10-2013 storten beide greppels dan ook over. De afstroming vanuit de kavel bedraagt in het huidige klimaat $11,7 \text{ m}^3/\text{d}$, in het W_H -scenario $20,0 \text{ m}^3/\text{d}$ en in het W_L -scenario $20,3 \text{ m}^3/\text{d}$. De maatgevende afvoer wordt dus bijlange na niet behaald.

Een situatie waarbij het totaal verhard oppervlak 500 m^2 bedraagt, is ook doorberekend. Hierbij is $67,5 \text{ m}^2$, die eigenlijk onverhard is, als verhard terreinoppervlak met een afvoercoëfficiënt van 0,75 genomen. Het totaal onverhard oppervlak bedraagt hierdoor dus 1.500 m^2 . Uit de berekeningen blijkt dat ook in deze situatie geen enkele keer sprake is van het bereiken of overschrijden van de maatgevende afvoer. Kortom kan de conclusie worden getrokken dat volgens de berekeningen de kavel niet afwentelt; ook niet wanneer extra verharding (tot $67,5 \text{ m}^2$) wordt aangelegd.

4.5.2 Ontwikkelingsplan

Gegevens van het ontwikkelingsplan met betrekking tot kavelindeling, oppervlakken en waterhuishouding staan in bijlage 7. In dit plan is de kavelindeling nog zeer globaal. De bebouwing bestaat uit een woonhuis, veranda, kas en schuur. Daarnaast wordt het mogelijk geacht dat in de toekomst meer wordt gebouwd. De oppervlakken zoals deze zijn meegenomen in de berekeningen staan in tabel 4b. Net zoals bij paragraaf 4.5.1 zijn in de berekeningen voor de waterafvoer van de kavel (bereiken/overschrijden maatgevende afvoer) ook extra oppervlakken meegerekend dan waarmee de initiatiefnemers voor compensatie waterberging hebben berekend. De 'extra' verharde oppervlakken betreffen de veranda, de berm en in deze situatie ook de 2^e schuur.

Tabel 4b: Oppervlakken en afstroming

Object	Oppervlak (m ²)	Object	Oppervlak (m ²)
Veranda	42,0	2 ^e schuur (toekomstig)	25,0
Huis	200,0	Weg	140,2
Schuur	25,0	Berm	76,5
Kas	75,0		
Totaal verhard oppervlak	583,7	Totaal onverhard oppervlak	1.416,3

De waterberging wordt gerealiseerd in de vorm van een regenwateropvangbak (tank), een vijver en twee greppels. Het hemelwater dat op het huis valt, wordt geleid naar de tank (14 m³). In droge tijden kan dit opgeslagen water worden hergebruikt om de tuin (1.160 m²) ermee te besproeien. Daarnaast wordt na zuivering het afvalwater in deze tank geloosd. Indien de tank vol raakt, stort de overtollige neerslag over op de vijver (20 m³). In greppel 1 (16 m³) komt het afstromend hemelwater van de weg en berm terecht. Deze waterberging loopt parallel aan de weg. Greppel 2 heeft een bergingscapaciteit van 12 m³. De twee schuren en de kas zijn aangesloten op deze greppel.

In het ontwikkelingsplan zijn lengte, breedte bovenkant, diepte en bergingscapaciteit bekend van de greppels; bij de vijver zijn de bovenkant oppervlak, diepte en bergingscapaciteit bekend. Om berekeningen uit te kunnen voeren, zijn de onbekende invoergegevens zo ingevuld dat deze overeenkomen met de bekende gegevens. Alleen bij greppel 1 is dit niet het geval; de breedte bovenkant en bergingscapaciteit wijken af van wat in het ontwikkelingsplan staat, maar zijn wel zo dicht mogelijk benaderd. De gebruikte (invoer)gegevens voor deze analyse staan in tabellen IV-VIII, bijlage 5.

Voor deze situatie is gebruik gemaakt van twee rekentools. Allereerst is de afvoer vanuit de vijver berekend aan de hand van het Excel-bestand "Berging – Bodem en tuin". Hiervoor is gebruik gemaakt van tabblad [HergebruikHuis >]. Aangezien afvalwater in het reservoir wordt geloosd, is in dit tabblad voor deze analyse 'Afvalwaterlozingen op voorziening?' toegevoegd. Hierdoor wordt in de berekeningen afvalwaterlozing van vier personen ('Grootte huishouden') op het reservoir alsnog meegerekend. Bij grootte huishouden (personen) onder 'Benodigde gegevens voor hergebruik in huis' is 0 ingevoerd, zodat in de berekeningen het opgeslagen water niet gebruikt wordt voor toiletdoorspoeling of wasmachine. Aan de hand van de gegevens in tabel IV, bijlage 5 zijn de afstroming door overstort en de afstroming vanuit het aangesloten dak (factor opvang) berekend. Daarnaast is voor elke neerslag- en verdampingsreeks een tabel met daarin het watertekort voor hergebruik in bijlage 8 weergegeven. In de berekeningen is ervan uitgegaan dat dit tekort aan water aangevuld wordt met drinkwater. De afstroming door overstort zorgt samen met de neerslag op de vijver voor de vulling van de droge bergingsvijver. De afstroming door overstort en drainage vanuit deze voorziening en de afstroming vanuit het aangesloten dak vormen het totaal aan afstroming vanuit 'voorziening 3'. Voor deze situatie is namelijk ook gebruik gemaakt van de rekentool "Combinatie waterbergingsmaatregelen" (Excel-bestand). Wederom zijn de afstromingen vanuit greppel 1 en 2 door middel van tabblad [BergingsvijverD] berekend. In tabblad [Combinatie] is vervolgens de totale afstroming vanuit de kavel berekend door de afstromingen vanuit de drie voorzieningen en vanuit het niet aangesloten verharde oppervlak bij elkaar op te tellen.

Uit de analyse blijkt dat ook in deze situatie de maatgevende afvoer (26,0 m³/d), ongeacht de neerslag- en verdampingsreeks, geen enkele keer wordt bereikt of overschreden. Voor zowel het huidig als toekomstig klimaat bevindt de hoogste piek zich op 13-10-2013. De afstroming vanuit de kavel bedraagt dan 15,0 m³/d bij het huidige klimaat; 16,4 m³/d bij het W_H-scenario en 22,0 m³/d bij het W_L-scenario 20,3 m³/d. De maatgevende afvoer wordt dus in de verste verte niet behaald.

Al met al kan de conclusie worden getrokken dat volgens de berekeningen zowel bij de situatie beschreven in paragraaf 4.5.1 als bij deze situatie de kavel niet afwentelt.

5. Conclusie, discussie en suggesties

In dit hoofdstuk komen de conclusie en discussie aan bod en worden enkele suggesties gedaan.

5.1 Conclusie

In dit onderzoek is gezocht naar een methode waarmee indicatief kan worden bepaald of een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland afwentelt. De bijbehorende onderzoeksvraag luidt: *‘Hoe kan beoordeeld worden of een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland afwentelt bij een functieverandering van landelijk naar stedelijk gebied?’* Afwenteling vindt plaats wanneer de waterafvoer van een kavel de maatgevende afvoer meer dan twee dagen per jaar bereikt of overschrijdt. Door het toepassen van waterbergingsmaatregelen kan afwenteling worden voorkomen.

Op basis van informatie is geconcludeerd dat de volgende waterbergingsmaatregelen toepasbaar zijn in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland: alle typen dakberging, regenton/-schutting, infiltratiekratten, bergingsvijver, hergebruik in huis en in kas. Een wadi wordt daarentegen niet mogelijk geacht vanwege de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) die minimaal 1,5 m beneden maaiveld dient te liggen. In het poldergebied zal de GHG vaak hoger liggen.

In Excel is de werking van de maatregelen, welke toepasbaar zijn in het poldergebied, gemodelleerd (Excel-bestand “Opbouw werking maatregelen”). Uitzondering hierop is het polderdak, omdat deze maatregel door een besturingssysteem optimaal functioneert op het gebied van berging-afvoer van hemelwater. Uit tests is gebleken dat de werking van de maatregelen, gebouwd in Excel, juist zijn: het Excel-bestand werkt dus naar behoren en is bruikbaar voor de analyses van het klimaat. Het effect van de maatregelen op de afvoer is bepaald aan de hand van de maatgevende afvoer (hoe vaak wordt deze bereikt of overschreden). Dit is voor elke gebouwde waterbergingsmaatregel in Excel geanalyseerd in zowel het huidige klimaat als in het toekomstig klimaat. Hieruit blijkt dat het gemiddelde aantal keren dat de maatgevende afvoer bereikt/overschreden wordt nauwelijks varieert ten gevolge van klimaatverandering. In de analyses spelen dan ook vooral de buien een rol die in het huidige klimaat rond de maatgevende afvoer liggen. Door een toename of afname in neerslag/verdamping zorgen deze buien juist wel of niet voor een overschrijding van de maatgevende afvoer. Piekbuien zorgen in het huidige klimaat doorgaans voor overschrijding; in het toekomstig klimaat zijn deze pieken vaak hoger. Hierdoor zal de peilstijging ook hoger zijn, waardoor de wateroverlast groter zal zijn.

Vanuit dit Excel-bestand zijn rekentools gebouwd. Hiermee kan het totale effect op de afvoer van verschillende waterbergingsmaatregelen op een kavel bij elkaar worden bepaald. Voor elke rekentool is een situatie geanalyseerd. Hieruit is afgeleid dat de gemiddelden aantal keren bereikt/overschreden eveneens niet (veel) van elkaar afwijken en dat de rekentools naar behoren werken. Dit laatste is door een casestudie in Oosterwold gewaarborgd.

Al met al, werkt de methode, de set rekentools, die is ontwikkeld om indicatief te kunnen bepalen of een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland wel of niet water afwentelt bij een functieverandering van landelijk naar stedelijk gebied naar behoren. Voor Waterschap Zuiderzeeland dienen deze rekentools ter ondersteuning voor vergunningverleners om een plan te toetsen. Ook kan met de tools bepaald worden hoe een plan aangepast moet worden, indien met het huidige plan nog niet volstaat. Tevens kunnen kavels met behulp van de rekentools worden ontworpen ten aanzien van waterberging.

5.2 Discussie

De methode heeft wel een aantal beperkingen. Vanwege de geringe tijdsduur van het onderzoek zijn voor de hydrologische aspecten k-waarde, kwel en de afstroming van (on)verharde oppervlakken aannames gedaan. Daarnaast is niet ingegaan op waterkwaliteit. Wat betreft de vorm van de doorsnede van een bergingsvijver kan alleen gekozen worden voor een trapeziumvorm. Dit houdt echter wel in dat het uitvoeren van berekeningen van een greppel als waterbergingsmaatregel mogelijk is.

Belangrijk is om bij het gebruik van deze methode in gedachten te houden dat het gaat om een indicatiebepaling. Dit betekent dat de afstroming vanuit de kavel (m^3) die in het model elk uur is berekend, niet accuraat is. Door bepaalde aannames is het niet mogelijk om de afstroming exact te kunnen berekenen. Zo is het uurlijkse watergebruik bij hergebruik in huis of voor de tuin haast onmogelijk te achterhalen voor elk huishouden. In grote lijnen zullen de resultaten die voortkomen uit de berekeningen, dus hoe vaak de maatgevende afvoer wordt bereikt of overschreden, wel kloppen.

Uit de analyses is gebleken dat het aantal dagen dat de maatgevende afvoer wordt bereikt of overschreden vanuit hydrologisch oogpunt niet altijd voldoende informatie geeft. Het aantal keren bereiken/overschrijden is voor de drie neerslag- en verdampingsreeksen vaak vrijwel gelijk aan elkaar, maar de hoeveelheid waarmee de maatgevende afvoer wordt overschreden, verschilt wel duidelijk van elkaar. Hoe meer de maatgevende afvoer wordt overschreden, hoe hoger de peilstijging in de polder zal zijn. Dit betekent in principe ook grotere wateroverlast. Om dit aspect te onderzoeken, dient gebruik gemaakt te worden van grafieken waarin de afstroming wordt weergegeven.

5.3 Suggesties

De beperkingen in het model brengen echter ook suggesties met zich mee om de methode verder te ontwikkelen. De hydrologische aspecten kunnen in het model uitgewerkt worden, zodat de rekentools dichter bij de werkelijkheid komen en nauwkeurigere berekeningen kunnen uitvoeren. Aangezien in Oosterveld afvalwater na zuivering op de kavel wordt geloosd, zou waterkwaliteit ook een onderdeel van het model kunnen worden.

Uit het onderzoek blijkt dat de hoeveelheid dagen dat de maatgevende afvoer in het toekomstige klimaat wordt bereikt/overschreden niet (veel) afwijkt van het huidige klimaat. De hoeveelheid waarmee wordt overschreden is doorgaans meer en zorgt dan ook voor meer peilstijging. Een oplossing om deze pieken in de toekomst beter te kunnen opvangen, is door de gemaalcapaciteit, en daarmee de maatgevende afvoer, te verhogen. Hierdoor neemt de hoeveelheid waarmee wordt overschreden, af. Of dit technisch en financieel mogelijk is, zou uit onderzoek moeten blijken. Daarnaast is dit juridisch gezien een complexe zaak, omdat dan wordt afgewenteld op het IJsselmeer. Dat mag niet zomaar en aanpassing van het Waterakkoord met Rijkswaterstaat is daarvoor noodzakelijk. Een gemakkelijkere oplossing is het realiseren van meer open water en/of tijdelijke waterberging. Hierdoor blijven peilstijgingen in de polder ook beperkt.

Literatuurlijst

Hoofdrapport

Amsterdam Rainproof. (z.d.). *Extensieve groene daken*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/extensieve-groene-daken>

Amsterdam Rainproof. (z.d.). *Intensieve groene daken*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/intensieve-groene-daken>

Amsterdam Rainproof. (z.d.). *Infiltratiekratten*. Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/infiltratiekratten>

Amsterdam Rainproof (z.d.) *Retentiedak/Polderdak*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/retentiedakpolderdak>

Atelier Groenblauw. (z.d.). *Groen dak (huis)*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.huisjeboompjebeter.nl/acties/groen-dak-huis/?regenbestendig>

Atelier Groenblauw. (z.d.). *Installatie voor het gebruik van hemelwater in woningen*. Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <http://www.groenblauwenetwerken.com/measures/rainwater/system-for-using-precipitation-in-homes/>

Atelier Groenblauw. (z.d.). *Regenwaterbuffervijver*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.huisjeboompjebeter.nl/acties/regenwaterbuffer/?regenbestendig>

Atelier Groenblauw. (z.d.). *Wadi*. Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.huisjeboompjebeter.nl/acties/wadi/?regenbestendig>

Atlas Natuurlijk Kapitaal. (z.d.). *Tuin vol leven*. Geraadpleegd op 8 februari 2018, van <http://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/tuin-vol-leven>

Aquaflow B.V. (z.d.). *Waterberging op platte daken* (Brochure). Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <http://aquaflow.nl/wp-content/uploads/2017/11/Dakwater-2015-09.pdf>

Brooswater. (2013, 11 december). *Rainwinner* [Videobestand]. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.youtube.com/watch?v=rGlVmr1hM4M>

Broos Water. (z.d.). *Rainwinner; Sunny side of rain* (Brochure Rainwinner). Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.energienulshop.nl/nl/rainwinner-/291-rainwinner-regenwaterschutting.html>

Gebiedsteam Oosterwold. (z.d.). *Het gebied Oosterwold*. Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <http://maakoosterwold.nl/kaart-van-het-gebied/>

Gemeente Almere. (z.d.). *Oosterwold*. Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <https://almere20.almere.nl/gebiedsontwikkeling/oosterwold/>

Gemeente Almere & Gemeente Zeewolde. (2013, 4 juli). *Intergemeentelijke Structuurvisie Oosterwold*. Den Haag: OBT bv.

K-waarde. (z.d.) Geraadpleegd op 7 maart 2018, van <http://www.joostdevree.nl/shtmls/k-waarde.shtml>

Mijn Waterfabriek B.V. (z.d.). *Ontwerp berging/ infiltratiesysteem* (Datablad). Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.mijnwaterfabriek.nl/downloads>

Mijn Waterfabriek B.V. (z.d.). *Werking van een regenwaterinfiltratiesysteem* (Datablad). Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.mijnwaterfabriek.nl/downloads>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *Lozen condenswater binnenkant kas*. Geraadpleegd op 16 februari 2018, van <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/activiteitenbesluit/activiteiten/gewassen-telen/telen-kas-0/lozingsvoorschriften/>

Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *Lozen hemelwater buitenkant kas*. Geraadpleegd op 16 februari 2018, van <https://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw/activiteitenbesluit/activiteiten/gewassen-telen/telen-kas-0/lozingsvoorschriften-4/>

Optigroen international AG. (2018). *Dakbegroeiing "Hellend dak"*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <http://www.optigroen.nl/systemen/hellend-dak/5-15/>

Rainproof Amsterdam. (z.d.). *Regenton*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/regenton>

Rainproof Amsterdam (z.d.). *Regenwatervijvers*. Geraadpleegd op 14 februari 2018, van <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/regenwatervijvers>

Rijpingsscheuren in een kleigrond in Oostelijk Flevoland (Groen, 1997) [foto]. Overgenomen uit *Berging in kleischeuren in de Flevopolders*. Stromingen 16, nummer 3 van Akker, van den J., Hakvoort, H., Hoogland, T. & Stoppelenburg, F. (2011).

Schepers, C. (2018, 17 mei). *Toelichting opbouw maatregelen en rekentools* (Onderdeel afstudeeropdracht). Land- en Watermanagement, Hogeschool Van Hall Larenstein, Velp.

Wageningen University & Research. (z.d.). *Gevolgen van klimaatverandering*. Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <https://www.wur.nl/nl/artikel/Gevolgen-van-klimaatverandering.htm>

Waternet. (z.d.). *Gemiddeld waterverbruik*. Geraadpleegd op 9 februari 2018, van <https://www.waternet.nl/ons-water/drinkwater/gemiddeld-waterverbruik/>

Waterschap Zuiderzeeland. (z.d.) *Oosterwold*. Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <https://www.zuiderzeeland.nl/werk/projecten-buurt/oosterwold/>

Waterschap Zuiderzeeland. (2005, 6 september). *Peilbesluit Lage Vaart* (Toelichting op het peilbesluit). Lelystad: Waterschap Zuiderzeeland.

Waterschap Zuiderzeeland. (2017, mei). *Water op uw kavel in Oosterwold* (informatiegids). Geraadpleegd op 6 februari 2018, van <https://www.zuiderzeeland.nl/werk/projecten-buurt/oosterwold/>

Wavin Nederland B.V. (2017). *Duurzaam waterbeheer; berging en infiltratie* (Brochure). Geraadpleegd op 15 februari 2018, van <https://www.wavin.com/nl-nl/Catalogus/Regenwater/Berging-en-infiltratie/Inspecteerbare-en-reinigbare-Q-Bic-units>

Bijlage

Beersma, J., Bessembinder, J., Brandsma, T., Hakvoort, H., & Versteeg, R. (2015). *Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015* (ISBN 978.90.5773.706.0). Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

Beersma, J., Bessembinder, J., Van den Hurk, B., Lenderink, G., & Klein Tank, A. (2014). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Buishand, T. A., Jilderda R., & Wijngaard, J. B. (2009). *Regionale verschillen in extreme neerslag* (KNMI-publicatie: WR-2009-01). De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Brauer, C., Teuling, R., Torfs, P., & Uijlenhoet, R. (2016). *De Wageningen Lowland Runoff Simulator (WALRUS): een snel neerslag-afvoermodel speciaal voor laaglandstroomgebieden* (Stromingen 25, nummer 1). Wageningen: Wageningen Universiteit

Gewasfactoren [SOBEK]. (z.d.) Verkregen via e-mail van Visser, M. op 8 maart 2018

Meteobase [Meteobase]. (z.d.) Verkregen via Visser, M. op 20 februari 2018. Downloadbaar via www.meteobase.nl

PerceelTool [Computerprogramma]. Geraadpleegd op 6 maart 2018 van <http://perceeltool.nl/>

Stichting Rioned (versie 0.56 [pre-release]) [Computerprogramma]. Geraadpleegd op 6 maart 2018, van <https://www.riool.net/producten/kennisontwikkeling/raintools>

Visser, M. (2016, 25 januari). *Hemelwateropvang kassen* (Memo). Verkregen via e-mail van Visser, M. op 29 maart 2018

Waternet. (z.d.). *Gemiddeld waterverbruik*. Geraadpleegd op 9 februari 2018, van <https://www.waternet.nl/ons-water/drinkwater/gemiddeld-waterverbruik/>

Bijlage 0 Reflectie

Zoektocht naar het stageadres

De zoektocht naar een geschikte stageplek was een hele gebeurtenis. Ik heb heel wat bedrijven en overheidsinstellingen gecontacteerd, waaronder Waterschap Zuiderzeeland. Aangezien zij geen vacature naar een stageplek in mijn vakgebied had openstaan, heb ik een open sollicitatie gedaan via het algemene e-mailadres van het waterschap. Dat heeft dus zijn vruchten afgeworpen. Na een positief gesprek met werknemers van het waterschap, onder wie met mijn begeleidster, kwamen twee potentiële opdrachten naar voren. Beide kwamen overeen met mijn interesses waterkwantiteit en/of klimaat. Echter moesten deze door school goedgekeurd worden. Dat was bij beide opdrachten niet het geval. Bij mij gaf dit veel stress, omdat ik bang was dat ik, ondanks de vele moeite die ik in het zoeken had gestopt, alsnog geen stageplek zou vinden. Een van de opdrachten kon worden aangepast en gelukkig zag school wel potentie in deze vernieuwde opdracht. Uiteindelijk kon in februari dus gewoon starten met mijn afstudeeronderzoek. De stress was echter nog niet volledig verdwenen, omdat ik genoodzaakt was om een kamer in Lelystad te vinden. Daarbij had ik enorm veel geluk, want in een zeer korte tijd had ik een kamer geregeld waar ik nog voor de start van mijn stage in kon trekken.

Ervaringen binnen het waterschap

Mijn stageplek heb ik ervaren als een zeer prettige plek om te werken. Voor mijn gevoel was het waterschap open, persoonlijk en toegankelijk. Dit vertaalt zich onder andere in het feit dat je gemakkelijk iemand kan e-mailen of bellen als je informatie nodig heb. Doordat ik al snel de indruk kreeg dat collega's me graag wilden helpen, heb ik het contacteren van iemand binnen het waterschap niet als last ervaren. Waterschap Zuiderzeeland hanteert geen vaste kantooruren, bijvoorbeeld van 9 tot 5. De keuze ligt bij de werknemer zelf wanneer hij/zij werkt. Het is ook mogelijk om op doorgaans vrije dagen te werken en zo op werkdagen niet. De flexibele werktijden geven je vrijheid en dat vond ik prettig. Wat me verder is opgevallen, zeker in vergelijking met het adviesbureau van mijn eerste stage, is dat werknemers van het waterschap vaak overleg hebben. Een ander verschil tussen een adviesbureau en deze overheidsinstantie is de wijze van beoordeling. Bij een adviesbureau wordt beoordeeld aan de hand van een bepaald target uitgedrukt in geld: dit haal je of haal je niet. Bij dit waterschap wordt de beoordeling uitgedrukt in A, B, C of D. Vrijwel altijd wordt een C gegeven; een A houdt promotie in en een B krijg je wanneer je wat extra hebt gedaan. D komt niet vaak voor, maar is wel een slecht teken en een verandering is dan noodzakelijk. Bij de beoordeling draait het vooral om goede en duidelijke communicatie. De wijze van beoordeling bij het waterschap spreekt mij dan ook meer aan.

Werkzaamheden en begeleiding bij het waterschap

Tijdens mijn stageperiode heb ik gewerkt aan mijn afstudeeronderzoek. Voor deze studie heb ik een methode ontwikkeld, waarbij verschillende waterbergingsmaatregelen in Excel zijn gemodelleerd. Dit vond ik erg leuk om te doen, omdat het werken in Excel en met veel cijfers me aanstaat. De mindere kant van het modelleren was het wachten terwijl Excel berekeningen deed. Het duurde vaak enige tijd voordat ik weer verder kon werken aan de Excel-sheets.

Bij aanvang van mijn stage hebben mijn begeleidster en ik begeleidingsmomenten ingepland. Met enkele uitzonderingen, hebben we elke week overleg gehad. Ik vond het erg fijn dat we van te voren deze momenten al hadden ingepland en niet elke week daarover een afspraak hoefden te maken. Wanneer een ingepland moment niet goed uitkwam, hebben we de afspraak in overleg gewoon verzet. Na afronding van een deel van het onderzoek heeft mijn begeleidster feedback gegeven. Dit bespraken we vaak ook tijdens de begeleidingsmomenten. De manier waarop ik ben begeleid en feedback ontving, vond ik heel fijn.

Leerdoelen en eigen evaluatie

Voor mijn eerste en tweede stage in het derde jaar heb ik leerdoelen moeten opstellen. Eén van die leerdoelen van stage 1 was het bewaken van de doelstelling/ afkadering: hoofdzaken van bijzaken onderscheiden en niet alles in detail beschrijven. De leerdoelen van stage 2 waren vooral op persoonlijke ontwikkeling gericht.

Op het leerdoel van stage 1 kon nog wel winst worden gehaald. Het was voor mij vooral van belang om niet alles te beschrijven wat met het onderwerp te maken heeft, maar alleen datgene wat er ook daadwerkelijk toe doet. Dat ik hierop nog moest oefenen, werd vooral duidelijk na mijn eerste versie van hoofdstuk 2 (literatuurstudie). Dit had ik dus veel te uitgebreid gedaan. Met behulp van mijn begeleidster heb ik het aantal woorden uiteindelijk met circa 2.000 kunnen verminderen. Bij het schrijven van hoofdstuk 3 heb ik me direct gefocust op datgene wat nodig is. Dat lukte me en dit hoofdstuk is dan ook vrij summier beschreven. Ook het schrijven van de overige stukken ging me goed af. Zo lukte me het om de samenvatting meteen binnen één A4 te houden en wilde ik deze reflectie niet langer dan twee A4's maken.

Bij beide stages in het derde jaar heb ik als feedback meegekregen dat ik eerder met vragen moet komen. Ik vraag niet snel dingen, omdat ik me dan al snel tot last voel en het idee heb dat ik diegene stoort. Daardoor bleef ik vaak vastzitten rond het onderwerp waar ik niet uitkwam, omdat ik het toch graag wilde oplossen. Tijdens deze stage heb ik me er sneller bij neergelegd, wanneer ik ergens niet uitkwam. Dan ging ik verder met iets anders en besprak ik het probleem tijdens een begeleidingsmoment. Buiten deze momenten heb ik ook vragen gesteld, ondanks dat ik dit dus niet snel doe. Op het gebied van 'vragen stellen' ben ik zeker vooruitgegaan.

Mijn stageopdracht was erg goed om mijn perfectionisme tegen te gaan: ik wil graag alles precies weten en/of berekenen. Doordat ik genooddaakt was om bepaalde aannames te doen, ging me dat met deze opdracht nooit lukken. In het begin had ik hier nog wel enigszins moeite mee, maar uiteindelijk kon ik dit loslaten. Het ging immers ook om een indicatiebepaling.

Een ander belangrijk punt is de planning. Bij aanvang van de afstudeerstage heb ik een projectplanning moeten maken. Ik vond het vrij lastig om in te schatten hoeveel tijd iets in beslag zou nemen, maar de opdracht zou haalbaar moeten zijn. Tijdens de stage kwam ik erachter dat de planning niet helemaal klopte: met de literatuurstudie (hoofdstuk 2) was ik vrij snel klaar, terwijl het modelleren erg veel tijd in beslag nam. Mijn begeleider vanuit school had mij hiervoor al gewaarschuwd. Doordat ik achter begon te raken op mijn planning, maakte ik me zorgen of ik mijn stageonderzoek op tijd af zou kunnen ronden. Om dat voor elkaar te krijgen, heb ik op vrije dagen doorgewerkt zodat ik weer volgens de planning goed zat. Vlak voor het inlevermoment van de conceptversie had ik juist ruim de tijd om het rapport af te ronden. Deadlines halen is voor mij ook geen probleem, maar het inschatten van hoeveel tijd een onderdeel in beslag neemt, vind ik moeilijk. Dat is voor mij dan ook een leerpunt.

Conclusie

De feedback die ik van mijn begeleiders tijdens mijn afstudeerstage heb ontvangen, is positief. Ik ben dan ook tevreden over mijn prestatie en het proces dat ik heb doorgemaakt. De tijd bij het waterschap heb ik als zeer prettig ervaren en ik kijk positief terug op mijn stageperiode.

Bijlage 1 Onderbouwing keuze ontwikkelen nieuwe tool

Momenteel zijn drie tools in ontwikkeling die duidelijke raakvlakken met deze studie hebben. Dit betreft RainTools, de PerceelTool en WALRUS (de Wageningen Lowland Runoff Simulator). In deze bijlage is de keuze om het model zelf te bouwen en niet gebruik te maken van een van deze drie tools, onderbouwd.

RainTools (Stichting Rioned, versie 0.56 [pre-release])

RainTools is een computerprogramma dat tot stand is gebracht door Stichting RIONED, waarmee het functioneren van waterbergingsvoorzieningen gesimuleerd kan worden. Dit is onder andere het doel van deze studie, maar er zijn een aantal belangrijke factoren die ervoor zorgen dat de keuze toch op zelf bouwen is gevallen. Ten eerste is RainTools nog in de testfase en zijn niet alle onderdelen operationeel. Het is momenteel niet mogelijk om de rekentools 'infiltratieproeven', 'groen dak' en 'polder' te gebruiken. Daarnaast is het een en ander op te merken, mede doordat het programma nog in de test- en ontwikkelfase zit, over de neerslag- en verdampingsreeksen. De neerslagreeks die standaard in het programma zit, is de neerslagreeks van De Bilt van 1955-1979. Dit is relatief gezien een oude tijdsreeks. Het is de bedoeling om in de toekomst neerslagreeksen online te kunnen downloaden, maar op dit moment is deze functie nog niet operationeel. RainTools bevat tevens een standaard verdampingsreeks. Deze reeks bevat maandwaarden en is bij het simuleren van meerdere jaarreeksen ieder jaar hetzelfde. Het is een mogelijkheid om zelf een verdampingsreeks op te stellen. Echter bevat deze reeks dan ook alleen maandwaarden; dagwaarden zijn niet mogelijk. Ook is het niet mogelijk om voor elk jaar een verschillende verdamping toe te passen. Het rekenen met gedetailleerde verdampingsreeksen zal in een later stadium van de ontwikkelfase wel mogelijk zijn. Een ander belangrijk punt is het aflezen van gegevens. In RainTools wordt het resultaat van de waterbalans aan het einde van de simulatie zowel numeriek als grafisch weergegeven. Er kan ook gekeken worden naar specifieke gevallen. Dit betreft de overloopgebeurtenissen. Deze worden echter niet chronologisch weergegeven, maar in verhouding van groot naar klein. Om een beeld te schetsen van het aflezen van gegevens, wordt een gebeurtenis als voorbeeld gegeven: neerslag = $0,16 \text{ m}^3$ in 300 minuten, overloopvolume = $0,47 \text{ m}^3$ in 1.448 minuten.

Samengevat zijn de volgende factoren doorslaggevend geweest om RainTools niet te gaan gebruiken voor deze studie:

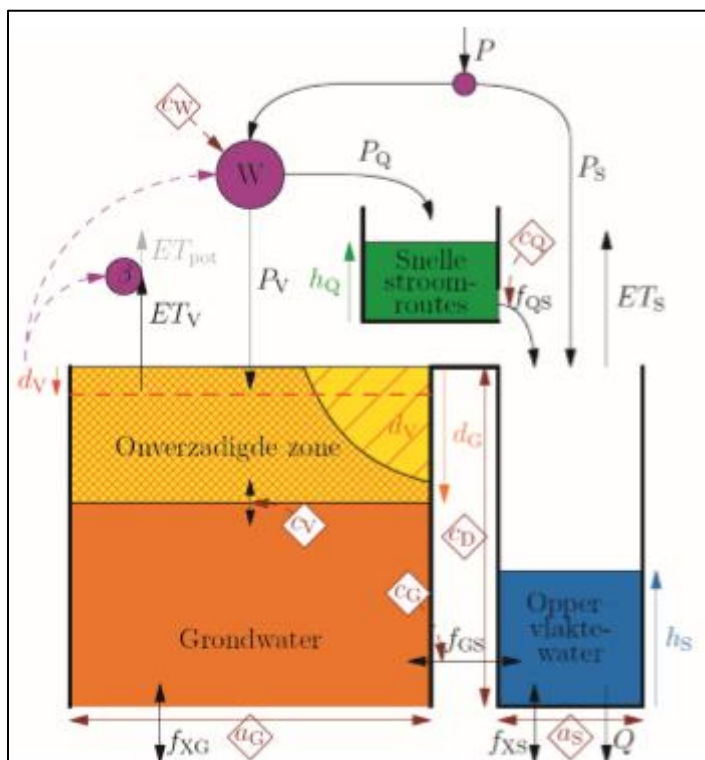
- Niet alle onderdelen zijn operationeel; door het bouwen van een nieuwe tool kan een kavel wel met alle mogelijke waterbergingsmaatregelen indicatief op afwenteling beoordeeld worden.
- Gebruik van oude reeksen; het is vanuit Waterschap Zuiderzeeland wenselijk om met recente reeksen te rekenen.
- Verdampingsreeks; het is tevens vanuit het waterschap wenselijk om te werken met een gedetailleerde verdampingsreeks, waarbij dagwaarden worden gebruikt en de reeks ieder jaar anders is (reëler).
- Geen klimaatreeksen; doordat de functie om neerslag- en verdampingsreeksen online te downloaden nog niet beschikbaar is, is het van belang voor het onderzoek om een nieuwe tool te bouwen, waarin deze reeksen wel toegepast kunnen worden. Alleen op deze manier kan het eventuele verschil in effectiviteit op de afvoer van een kavel tussen het huidige klimaat en het klimaat rond 2050 onderzocht worden.
- Aflezen gegevens; om te kunnen toetsen aan de gemaalcapaciteit (13 mm/d) dienen de uitkomsten op een andere manier uitgelezen te kunnen worden. Er dient op dag- en jaarbasis en in chronologische volgorde gekeken te kunnen worden.

De PerceelTool (geraadpleegd op 6 maart 2018 van <http://perceeltool.nl/>)

De PerceelTool is een rekentool voor het dimensioneren van waterbergingsmaatregelen op een perceel. Deze tool is in opdracht van STOWA samen met Stichting RIONED ontwikkeld. De gebruikersinterface is gekoppeld aan de simulatie-engine van RainTools. De uitkomsten van de PerceelTool zijn dan ook reproduceerbaar en te raadplegen in RainTools. De PerceelTool heeft dus sterke overeenkomsten met RainTools. De keuze om deze tool niet te gaan gebruiken voor dit onderzoek is vanwege vrijwel dezelfde redenen als bij de keuze voor RainTools. Zo bevat de PerceelTool net als RainTools de neerslagreeks van De Bilt (1955-1979). Deze wordt in de tool echter niet met een statistisch doel gebruikt. In de PerceelTool wordt gewerkt met simulaties van korte tijdsduren en extreme buien met een duur van 60 minuten. Aan de hand van de neerslagreeks kan een specifiek jaar gekozen worden om daaruit te kunnen rekenen. In de setting van de PerceelTool heeft het rekenen met een hele reeks weinig toegevoegde waarde. Ook bij het aflezen van gegevens draait het om de extreme buien in een korte tijdsduur en is de manier van aflezen niet praktisch om een kavel te testen aan de gemealcapaciteit van Waterschap Zuiderzeeland.

WALRUS

WALRUS is een nieuw neerslag-afvoermodel specifiek voor laaglandstroomgebieden. De modelstructuur van WALRUS is in figuur A weergegeven. Het model bestaat uit drie reservoirs: een gekoppeld reservoir voor de onverzadigde zone en grondwater, een reservoir voor snelle stroomroutes en een reservoir voor oppervlaktewater. In het artikel 'De Wageningen Lowland Runoff Simulator (WALRUS): een snel neerslag-afvoermodel speciaal voor laaglandstroomgebieden' van Brauer et al., (2016) staan de fluxen en parameter toegelicht. Het model is open source en freeware (geprogrammeerd in R), waardoor het voor iedereen vrij toegankelijk is.³¹



Figuur A: Modelstructuur van WALRUS (Brauer et al., 2016, p, 11)

³¹ Brauer, C., Teuling, R., Torfs, P., & Uijlenhoet, R. (2016). *De Wageningen Lowland Runoff Simulator (WALRUS): een snel neerslag-afvoermodel speciaal voor laaglandstroomgebieden* (Stromingen 25, nummer 1). Wageningen: Wageningen Universiteit

Met betrekking tot dit onderzoek heeft WALRUS een aantal voordelen:

- Geschikt voor polders; dus zeker geschikt voor het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland.
- Heeft vier parameters die gekalibreerd dienen te worden; dit is in principe zeer weinig voor een model en het model is hierdoor gemakkelijk te gebruiken.

Echter voor het onderzoek dient gekeken te worden op kavelniveau. In het geval van WALRUS wordt gekeken naar een stroomgebied. Ook kunnen waterbergingsmaatregelen in dit model niet expliciet verwerkt worden. Het is daarom niet mogelijk om gebruik te kunnen maken van deze tool.

Bijlage 2 Achtergrondinformatie en uitgangspunten

Kavelniveau

Voor deze studie is gekozen voor kavelniveau als ruimtelijke schaal. Daarbij is de volgende aanname gedaan: wanneer alle kavels in een wijk niet afwentelen op omliggende percelen, wordt op wijkniveau eveneens niet afgewenteld.

Neerslag- en verdampingsreeksen

Voor de berekeningen voor het huidig klimaat is gebruik gemaakt van een representatieve neerslag- en verdampingsreeks afkomstig van Meteobase, meetstation De Bilt. Dit betreft de tienjarige reeks welke begint op 1 januari 2005 en eindigt op 31 december 2014. De tijdstep van de neerslagreeks is in uren wat ook als tijdstep in de berekeningen wordt gebruikt. De verdampingsreeks is echter alleen per dag beschikbaar. Om deze toch mee te kunnen nemen in een tijdstep van uren, is de hoeveelheid verdamping per dag verdeeld over de tijdsuren 11, 12, 13, 14 en 15 van diezelfde dag. Dit zijn de uren waarop de verdamping relatief hoog zal zijn.

Voor de berekeningen ten aanzien van klimaatverandering zijn dezelfde reeksen, tijdsspanne en -step gebruikt als die bij het huidig klimaat. Over deze reeksen gaan twee klimaatscenario's met zichtjaar 2050 heen. Deze reeksen komen voort uit de KNMI'14-klimaatscenario's van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). In opdracht van de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) heeft het KNMI en HKV Lijn in water de klimaatscenario's verwerkt in neerslagstatistiek en zo toepasbaar gemaakt voor waterschappen.³²

De KNMI'14-klimaatscenario's bestaan uit vier verschillende scenario's: G_L , W_L , G_H en W_H . Hierbij is rekening gehouden met wereldwijde temperatuurstijging (G , gematigd; W , warm) en verandering in luchtstromingspatroon (L , lage waarde; H , hoge waarde) ten opzichte van de referentieperiode 1981-2010. In de scenario's met een G bedraagt de wereldwijde temperatuurstijging $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en bij een W is dit $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ in 2050. Ten opzichte van de L -scenario's hebben de scenario's met een hoge waarde van verandering in luchtstromingspatroon (H -scenario's) in de winter een natter en zachter weertype. Dit is te wijten aan de wind uit het westen. In de zomer zorgen oostenwinden juist voor warmer en droger weer, waardoor in de H -scenario's sprake is van meer droge zomers.³³ Vanwege deze verschillen is het voor het onderzoek interessant om zowel een H - als een L -scenario te nemen.

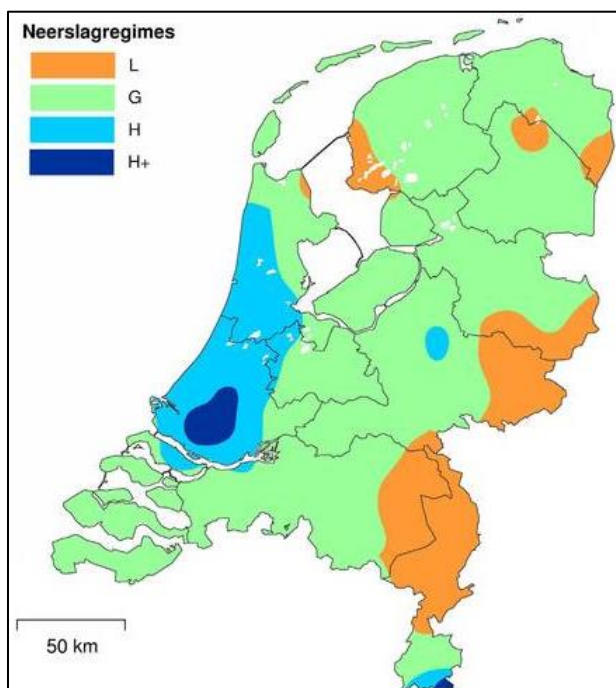
Uit de kerncijfers van de klimaatscenario's van KNMI'14 stijgt de gemiddelde hoeveelheid neerslag per jaar in de W_L -scenario het meest met 5,5%. Het aantal dagen in de winter met minimaal 10 mm neerslag stijgt in de W_H -scenario het meest met 35% ten opzichte van de referentieperiode. Ook de 10-daagse neerslagsom die eens in de 10 jaar overschreden wordt, heeft de hoogste percentuele toename (17%) ten opzichte van de andere scenario's (G_L +6%, W_L +12% en G_H +10%). In de zomer neemt de gemiddelde hoeveelheid neerslag voor de W_H -scenario 2050 echter het sterkst af met -13% ten opzichte van de referentieperiode. De W_L -scenario neemt het meest toe met 1,4%. De toename in potentiële verdamping (Makkink) in de zomer is voor scenario W_H met 11% het hoogst en voor de scenario's G_L en W_L het laagste met 4%.³³ Aangezien de W -scenario's over het algemeen de meest extreme afnamen of toenames hebben op het gebied van neerslag/verdamping en het wenselijk is om zowel een H - als een L -scenario te nemen, is gekozen om voor het onderzoek de scenario's W_L en W_H toe te passen.

³² Beersma, J., Bessembinder, J., Brandsma, T., Hakvoort, H., & Versteeg, R. (2015). *Actualisatie meteogegevens voor waterbeheer 2015* (ISBN 978.90.5773.706.0). Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

³³ Beersma, J., Bessembinder, J., Van den Hurk, B., Lenderink, G., & Klein Tank, A. (2014). *KNMI'14-klimaatscenario's voor Nederland; Leidraad voor professionals in klimaatadaptatie*. De Bilt: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut

Verder kennen de klimaatscenario's de subscenario's 'lower', 'centr' en 'upper'. Deze geven respectievelijk de onder-, midden- en bovenwaarde van de range aan mogelijke veranderingen in extreme neerslag aan.³² In het onderzoek is de effectiviteit van waterbergingsmaatregelen op een kavel in het poldergebied van Waterschap Zuiderzeeland voor het huidige klimaat en het klimaat rond 2050 onderzocht. Aangezien de eventuele verandering in effectiviteit aangetoond dient te worden, is gekozen voor subscenario 'upper'. Immers zal bij meer verschil in neerslag- en verdampingshoeveelheid tussen huidig en 2050 het verschil in effectiviteit ook gemakkelijker aangetoond kunnen worden.

Gekozen is dus voor het toepassen van de scenario's W_L en W_H met subscenario 'upper' met zichtjaar 2050. Daarnaast is gebruik gemaakt van de G-reeksen als neerslagregime, omdat het beheersgebied van Waterschap Zuiderzeeland overwegend in dit regime ligt (figuur A).



Figuur A: Neerslagregimes Nederland (Buishand et al. (2009). *Regionale verschillen in extreme neerslag* (p. 24))

Potentiële verdamping

De potentiële verdamping is afhankelijk van het soort oppervlak en bij groen het soort vegetatie, de tijd en de locatie op aarde. In de verdampingsreeksen is de referentieverdamping volgens Makkink gebruikt. Om de potentiële verdamping te verkrijgen, wordt de referentieverdamping vermenigvuldigd met een gewasfactor. Deze komen voort uit SOBEK en zijn van toepassing op de Nederlandse situatie.

Waterhergebruik

Het watergebruik voor het besproeien van de tuin zal sterk afhankelijk zijn van seizoen en weer, de grootte en indeling van de tuin en de soort beplanting. Naar verwachting zal alleen gesproeid worden in de lente- en zomermaanden, van maart tot en met augustus. Gekozen is om in de berekeningen van het besproeien 5 mm toe te passen als er na een periode van 72 uur niet meer dan 5 mm neerslag is gevallen. Daarnaast is de aanname gedaan dat er alleen vanaf 10 uur tot en met 22 uur gesproeid wordt. Wanneer de droogteperiode van 72 uur zich voordoet en deze midden in de nacht eindigt dan wordt er dus op dat moment niet gesproeid.

Het waterverbruik in huis zal voor ieder huishouden anders zijn, mede vanwege het aantal personen. De volgende gemiddelden zijn gebruikt op het gebied van waterverbruik in huis:

- Gebruik toilet = 35,3 liter per dag per persoon
- Gebruik wasmachine = 12,3 liter per dag per persoon³⁴

Er is gekozen om het waterverbruik van toilet en wasmachine samen te voegen en deze te verdelen over zeven uren: tussen 6 en 10 uur en tussen 17 en 22 uur. Hierbij is ervan uitgegaan dat mensen voor en na het werk met standaard kantooruren thuis zijn en dus water gebruiken.

Bij een tekort aan water ten behoeve van waterhergebruik, is in de berekeningen uitgegaan dat het tekort aan opgeslagen water wordt aangevuld met drinkwater.

Leegloop infiltratievoorziening

Of een infiltratievoorziening (infiltratiekratten en bergingsvijver) kan leeglopen, is afhankelijk van de bergingscapaciteit van de bodem. Wanneer deze vol zit, kan leegloop namelijk niet meer plaatsvinden. In de berekeningen vindt leegloop van een infiltratievoorziening één tijdstap later plaats dan de vulling van de voorziening.

Infiltratie

De snelheid waarmee het opgeslagen water in een infiltratievoorziening in de bodem kan infiltreren en bewegen, is afhankelijk van de k-waarde. Hoelang een waterdruppel erover doet om van de onderkant van de voorziening naar de drainage te gaan, is tevens afhankelijk van het verschil tussen de diepte onderkant infiltratievoorziening en de grondwaterstandspeil. Bij een groter verschil duurt het langer voordat het water de drainage heeft bereikt, omdat de afstand tot aan de drainage groter is. In de polder ligt het grondwaterstandspeil relatief hoog, waardoor het verschil vaak niet groot is. Voor de berekeningen is er dan ook van uitgegaan dat de k-waarde dusdanig hoog is, dat de bodemberging in één tijdstap volledig gevuld kan worden met water. Daarnaast vindt de leegloop door infiltratie in de berekeningen één tijdstap later plaats dan de vulling van de voorziening. Dit terwijl het opvangen hemelwater in de waterbergingsmaatregel in principe direct kan gaan infiltreren. In Oosterwold bevinden zich grove kleischoenen, waardoor hemelwater zeer snel kan wegstromen.

Kwel – droge bergingsvijver

In principe zou bij een droge bergingsvijver het ook mogelijk zijn dat sprake is van kwel in plaats van infiltratie. Daarbij zou de druk vanuit de kwelstroom groter moeten zijn dan de druk vanuit de wateropslag in de vijver. Hoe dichter de bergingsvijver bij een dijk gerealiseerd wordt, hoe groter de kans op kwel is. De hoeveelheid kwel dat in de bergingsvijver terecht zou komen, zal echter dusdanig weinig zijn dat het vrijwel geen invloed heeft op het bergingsvolume en afstroming. In de rekentool is kwel daarom ook niet in de berekeningen meegenomen. In Oosterwold is sprake van weinig kwel.

Vorm bergingsvijvers

De vorm van een bergingsvijver bepaalt mede de variabelen die benodigd zijn om berekeningen uit te kunnen voeren. In dit geval is voor de doorsnede van een bergingsvijver uitgegaan van een trapeziumvorm, zodat de berekeningen ook uitgevoerd kunnen worden als de waterbergingsmaatregel een greppel betreft.

Hergebruik in kas

Hergebruik van hemelwater in kas is meegenomen, omdat in Oosterwold stadslandbouw wordt gerealiseerd. Aangezien elk gewas een andere waterbehoefte en –opname heeft, is gekozen om

³⁴ Waternet. (z.d.). *Gemiddeld waterverbruik*. Geraadpleegd op 9 februari 2018, van <https://www.waternet.nl/ons-water/drinkwater/gemiddeld-waterverbruik/>

paprika's te gebruiken als gewassoort in de kas. Paprika's worden namelijk veel verbouwd in de Noordoostpolder. De gietwaterbehoefte per maand, weergegeven in tabel I, is verkregen via Frank Voorn, een teler uit de Noordoostpolder. In de gietwaterbehoefte zijn opname en verdamping door de paprika's al opgenomen. Vanuit de kas komt dus geen water terug in het hemelwatersysteem.³⁵

Tabel I: Gietwaterbehoefte paprika's

Maand	Gietwaterbehoefte (m ³ /ha)
Januari	99
Februari	148
Maart	739
April	986
Mei	1295
Juni	1663
Juli	1479
Augustus	986
September	493
Oktober	370
November	222
December	148
Totaal	8620

Verder is bij de berekeningen voor hergebruik in kas uitgegaan van een bak voor het bassin. Het verdampingsoppervlak blijft hierdoor dus gelijk, ongeacht de hoeveelheid vulling.

Afvalwaterlozing

De hoeveelheid aan afvalwater dat wordt geloosd, is afhankelijk van het waterverbruik van het huishouden. In de berekeningen is uitgegaan van het gemiddelde waterverbruik van 133,4 liter per persoon.³⁴ Dit is net zoals bij hergebruik in huis verdeeld over zeven uren; welke gebaseerd zijn op standaard kantooruren (tussen 6 en 10 uur en tussen 17 en 22 uur wordt het water verbruikt).

Afstroming (on)verharde oppervlakken

Ten aanzien van (on)verharde oppervlakken is in de rekentools de volgende aanname verwerkt: 0% van het onverhard oppervlak en 100% van het verhard oppervlak komt tot afstroming. Vanuit het onverhard oppervlak zal in werkelijkheid een klein deel van de kavel afstromen. Daarentegen zal een klein deel van het verhard oppervlak afstromen op onverhard oppervlak, waardoor dit deel niet tot oppervlakkige afstroming van de kavel komt, maar infiltreert. Hoeveel procent van de neerslag van (on)verhard oppervlak wel of niet afstroomt, zal afhankelijk zijn van de soort bui en de kavelindeling. Bij een piekbui zal tenslotte relatief meer neerslag vanuit onverhard oppervlak van de kavel afstromen dan bij een langdurige, maar weinig intensieve bui, omdat de bodem de grote hoeveelheid neerslag niet kan verwerken in de korte tijd. Daarnaast speelt de kavelindeling een rol. Wanneer de rand van een kavel wordt omgeven door onverhard oppervlak, stroomt de neerslag op het verhard oppervlak eerst op het onverharde deel af. Hierdoor kan de bodem (een deel van) de neerslag verwerken en komt dit niet tot afstroming van de kavel. Indien verhard oppervlak zich aan de rand van een kavel bevindt, stroomt de neerslag hiervan direct af van de kavel.

³⁵ Visser, M. (2016, 25 januari). *Hemelwateropvang kassen* (Memo). Verkregen via e-mail van Visser, M. op 29 maart 2018

Bijlage 3 Gegevenstabellen voorbeeldsituaties

Gegevenstabel behorende bij paragraaf 4.1 Waterbergingsmaatregelen

Tabel I: Gegevens natte bergingsvijver

<u>Gegevens bergingsvijver</u>		<u>Afvoer voorziening</u>	
Bodembreedte bergingsvijver (m)	0,7	Drainageafvoer (mm/d)	10
Diepte bergingsvijver (m-mv)	1,3	Drainageafvoer (m³/uur)	0,050
Lengte bergingsvijver (m)	4		
Verhouding talud (1:X)	3	<u>Oppervlakken niet aangesloten op voorziening</u>	
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	8,50	Dakoppervlak (m²)	20
Bruto bergingsvolume (m³)	23,92	Afvoercoëfficiënt dak	0,95
Bodembreedte netto bergingsvolume (m)	2,50	Verhard terreinoppervlak (m²)	10
Netto bergingsvolume (m³)	22,00	Afvoercoëfficiënt terrein	0,75
Bodemoppervlak bergingsvijver (m²)	2,80	Onverhard oppervlak (m²)	50
<u>Gegevens bodem</u>		<u>Afvalwaterlozingen op voorziening?</u>	
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1	Nee = 0	
		Grootte huishouden (personen)	2
<u>Gegevens aangesloten op voorziening</u>			
Afstromend oppervlak dak (m²)	80	<u>Afvalwaterlozingen op watersysteem waterschap?</u>	
Afvoercoëfficiënt dak	0,95	Nee = 0	
Factor opvang dak	0,9	Grootte huishouden (personen)	0
Afstromend oppervlak terrein (m²)	40		
Afvoercoëfficiënt terrein	0,75	<u>Oppervlakte en afvoer</u>	
Factor opvang terrein	0,8	Totale kaveloppervlakte (m²)	200
Gewasfactor verhard opp.	0	Maatgevende afvoer (m³/d)	2,60

Gegevenstabellen behorende bij paragraaf 4.2 Combinatie waterbergingsmaatregelen

Tabel II: Gegevens hellend groen dak

<u>Gegevens dakberging</u>	
Oppervlak dakberging (m²)	40
Waterretentie (%)	50
Waterretentie	0,5
Wateropslag (l/m²)	35
Wateropslag (m³)	1,4
Afvoercoëfficiënt	0,5

Tabel III: Gegevens infiltratiekratten

<u>Gegevens infiltratiekratten</u>		<u>Afvoer voorziening</u>	
Netto volume krat (l)	190	Drainageafvoer (mm/d)	10
Aantal kratten (stuks)	15	Drainageafvoer (m³/uur)	0,033
Netto bergingsvolume (m³)	2,85		
Oppervlak onderste laag kratten (m²)	7,5	<u>Afvalwaterlozingen op voorziening?</u>	
Diepte onderkant kratten (m-mv)	0,7	Nee = 0	
		Grootte huishouden (personen)	0
<u>Gegevens bodem</u>			
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1		
Percentage poriën bodem (%)	50		
Bodemberging door infiltratie (m³)	0,563		
<u>Gegevens aangesloten op voorziening</u>			
Afstromend oppervlak dak (m²)	40		
Afvoercoëfficiënt dak	0,95		
Factor opvang dak	0,9		
Afstromend oppervlak terrein (m²)	40		
Afvoercoëfficiënt terrein	0,75		
Factor opvang terrein	0,8		
Gewasfactor verhard opp.	0		

Tabel IV: Gegevens regenton

<u>Gegevens regenton</u>		<u>Oppervlakken aangesloten op regenton</u>	
Wateropslag (l)	100	Dakoppervlak (m ²)	20
Aantal stuks	2	Afvoercoëfficiënt dak	0,8
Wateropslag (m ³)	0,2	Factor opvang dak	1
Groenoppervlak (m ²)	40	Gewasfactor verhard opp.	0

Tabel V: Gegevens oppervlakken kavel

Oppervlakken aangesloten op voorzieningen		Afvalwaterlozingen op watersysteem waterschap?	
Dakoppervlak voorziening 1 (m²)	40	Nee = 0	
Verhard terreinoppervlak voorziening 1 (m²)	0	Grootte huishouden (personen)	0
Dakoppervlak voorziening 2 (m²)	40		
Verhard terreinoppervlak voorziening 2 (m²)	40	Oppervlakte en afvoer	
Dakoppervlak voorziening 3 (m²)	20	Totale kaveloppervlakte (m²)	230
Verhard terreinoppervlak voorziening 3 (m²)	0	Maatgevende afvoer (m³/d)	2,99
Oppervlakken niet aangesloten op voorziening			
Dakoppervlak (m²)	0		
Afvoercoëfficiënt dak	0,95		
Verhard terreinoppervlak (m²)	20		
Afvoercoëfficiënt terrein	0,75		
Onverhard oppervlak (m²)	70		

Gegevenstabellen behorende bij paragraaf 4.3 Dakberging

Tabel VI: Gegevens waterdak

Gegevens dakberging	
Aangesloten dakoppervlak (m ²)	80
Factor opvang dak	1
Waterhoogte (mm)	70
Wateropslag (m ³)	5,6
Afvoer (l/s/ha)	1,5
Afvoer (m ³ /uur)	0,0432

Tabel VII: Gegevens droge bergingsvijver

Gegevens bergingsvijver		Afvalwaterlozingen op voorziening?	
Bodembreedte bergingsvijver (m)	1	Nee = 0	
Diepte bergingsvijver (m-mv)	0,7	Grootte huishouden (personen)	2
Lengte bergingsvijver (m)	6		
Verhouding talud (1:X)	3	Afvoer	
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	5,20	Drainageafvoer (mm/d)	10
Netto bergingsvolume (m ³)	13,02	Drainageafvoer (m ³ /uur)	0,058
Bodemoppervlak bergingsvijver (m ²)	6,00		
		Oppervlakken niet aangesloten op voorziening	
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1	Afvoercoëfficiënt dak	0,95
Percentage poriën bodem (%)	50	Verhard terreinoppervlak (m ²)	10
Bodemberging door infiltratie (m ³)	0,45	Afvoercoëfficiënt terrein	0,75
		Onverhard oppervlak (m ²)	50
Gegevens aangesloten op voorziening			
Oppervlak dakberging (m ²)	80		
Factor opvang vanuit dakberging	0,9	Oppervlakte en afvoer	
Afstromend oppervlak dak (m ²)	20	Totale kaveloppervlakte (m ²)	200
Afvoercoëfficiënt dak	0,95	Maatgevende afvoer (m ³ /d)	2,60
Factor opvang dak	0,9		
Afstromend terreinoppervlak (m ²)	40		
Afvoercoëfficiënt terrein	0,75		
Factor opvang terrein	0,8		

Gegevenstabellen behorende bij paragraaf 4.4 Berging – Bodem en tuin

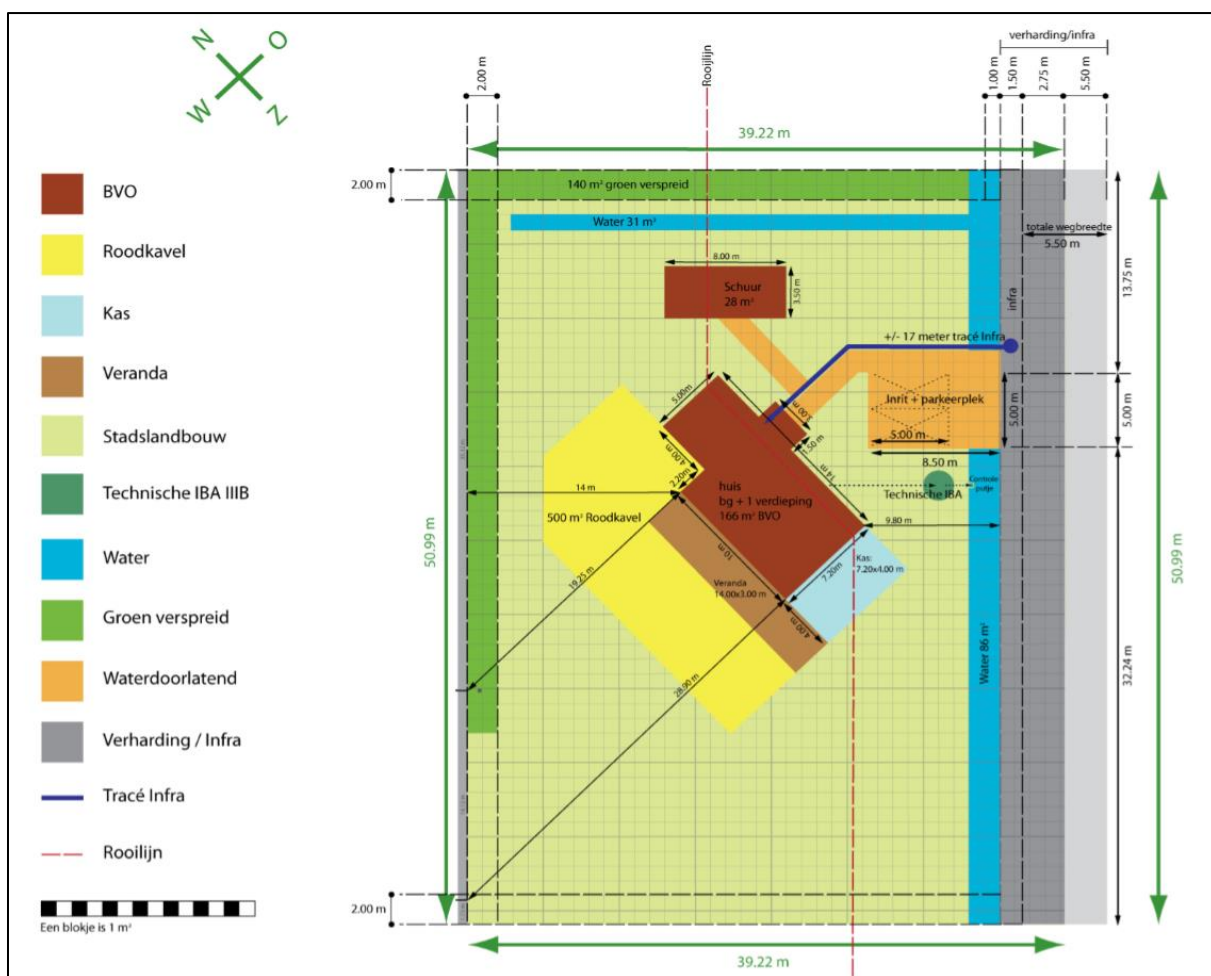
Tabel VIII: Gegevens hergebruik in huis en afvalwaterlozing

<u>Benodigde gegevens voor hergebruik in huis</u>		<u>Afvalwaterlozingen op voorziening?</u> Nee = 0	
Netto berging reservoir (m ³)	5		
Groenoppervlak (m ²)	40	Grootte huishouden (personen)	2
Grootte huishouden (personen)	2		
<u>Oppervlakken aangesloten op voorziening</u>		<u>Afvalwaterlozingen op watersysteem waterschap?</u> Nee = 0	
Dakoppervlak (m ²)	80	Grootte huishouden (personen)	0
Afvoercoëfficiënt dak	0,95		
Factor opvang dak	0,9		
Gewasfactor verhard opp.	0		

Tabel IX: Gegevens natte bergingsvijver

<u>Gegevens bergingsvijver</u>		<u>Afvoer</u>	
Bodembreedte bergingsvijver (m)	0,7	Drainageafvoer (mm/d)	10
Diepte bergingsvijver (m-mv)	1,3	Drainageafvoer (m ³ /uur)	0,063
Lengte bergingsvijver (m)	4		
Verhouding talud (1:X)	3	<u>Oppervlakken niet aangesloten op voorziening</u>	
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	8,50	Dakoppervlak (m ²)	10
Bruto bergingsvolume (m ³)	23,92	Afvoercoëfficiënt dak	0,95
Bodembreedte netto bergingsvolume (m)	2,50	Verhard terreinoppervlak (m ²)	10
Netto bergingsvolume (m ³)	22,00	Afvoercoëfficiënt terrein	0,75
Bodemoppervlak bergingsvijver (m ²)	2,80	Onverhard oppervlak (m ²)	70
<u>Gegevens bodem</u>		<u>Oppervlakte en afvoer</u>	
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1	Totale kaveloppervlakte (m ²)	240
		Maatgevende afvoer (m ³ /d)	3,12
<u>Gegevens aangesloten op voorziening</u>			
Dakoppervlak > reservoir (m ²)	80		
Afstromend oppervlak dak (m ²)	20		
Afvoercoëfficiënt dak	0,95		
Factor opvang dak	0,9		
Afstromend terreinoppervlak (m ²)	50		
Afvoercoëfficiënt terrein	0,75		
Factor opvang terrein	0,8		

Bijlage 4 Gegevens plan aanvraag watervergunning



Figuur A: Kavelindeling

Tabel I: Oppervlakten*

Object	Breed (mm)	Diep (mm)	Oppervlak (m2)
Werkruimte	4000	5000	20
Huis	10000	7200	72
Schuur	3500	8000	28
Kas	4000	7200	28,8
Weg	2750	51000	140,2
2e schuur	5000	5000	25
Totaal			314

*De waterdoorlatende delen (inrit + parkeerplek) zijn niet in de tabel opgenomen, omdat deze delen voor het bepalen van de waterbuffer geen rol spelen.

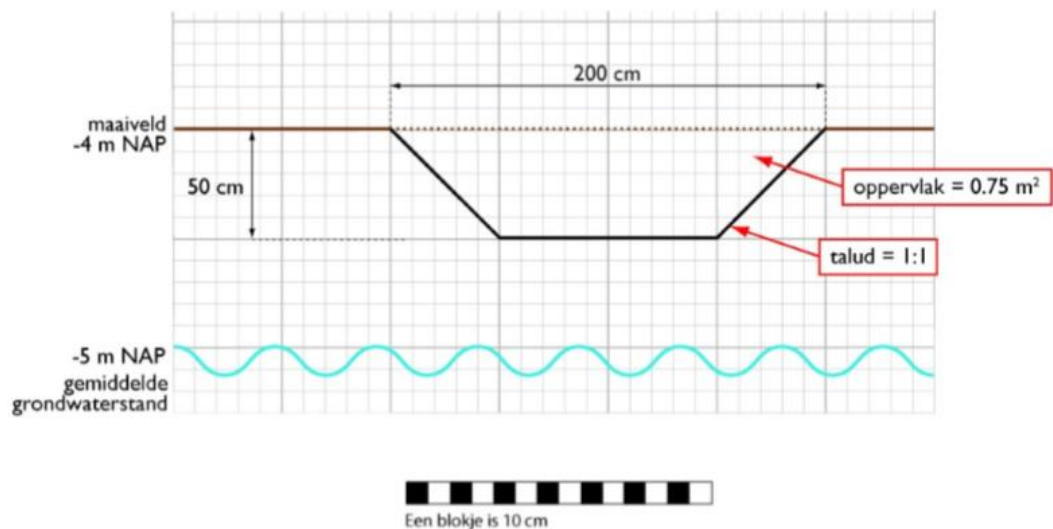
De 2^e schuur staat niet op kavelindeling, omdat niet zeker is dat deze schuur er ooit gaat komen. We hebben de 2^e schuur wel meegenomen in de berekening. De overige verharding – dat wil zeggen, de parkeerplaats en het pad vanaf de parkeerplaats naar het huis en de schuur toe – zal van waterdoorlatend materiaal zijn. We zijn voornemens om hier grasbetonstenen of klinkers met open voegen te gebruiken. De natuurlijke drainage in de kleigrond blijft hierbij intact.

Bij een oppervlakt van 314 m² komt de waterberging uit op

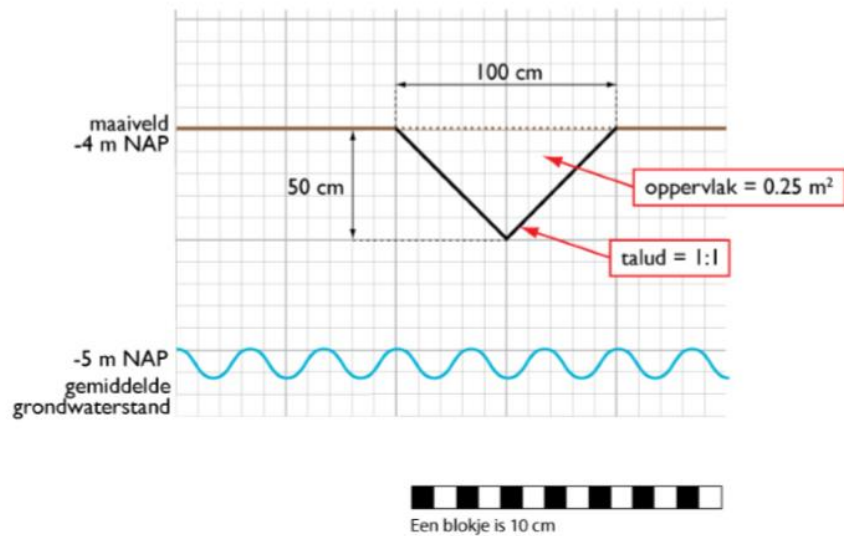
$$314 / 100 * 11,5 = 36 \text{ m}^3$$

Op de kavel indeling is te zien hoe we de greppel op ons land willen laten lopen. Er zijn eigenlijk twee greppels die rechtsboven in de kaart met elkaar in verbinding staan. De greppel langs de weg is 2 meter breed en zal het meeste water opvangen. Dit is greppel 1 en die is 43 meter lang.

De greppel langs de bovenkant van het kavel is 1 meter breed, dit is greppel 2. We zullen zelf drainage in de grond aanleggen om het water van de verharding naar deze greppels te krijgen. Zie de doorsneden van de greppels in figuren 2 en 3.



Figuur 2: Greppel 1



Figuur 3: Greppel 2

Beide greppels zijn 50 cm diep, met een hellinghoek van 45° . Greppel 1 heeft een inhoud van $0,75 \text{ m}^3$ per meter greppel, greppel 2 heeft een inhoud van $0,25 \text{ m}^3$ per meter greppel. Zie onderstaande tabel voor de lengtes van de greppels en het volume aan water wat de greppels met deze lengtes kunnen bergen:

Greppel	Lengte (m)	Oppervlakte (m^2)	Inhoud per m	Totale inhoud (m^3)
1	43	86	0,75	32,25
2	31	31	0,25	7,75
Totaal				40,00

Tabel 2: Inhoud Waterbuffer

Een buffer van 40 m^3 is ruim voldoende voor de hoeveelheid verharding in ons plan.

Bijlage 5 Gegevenstabellen casestudie Oosterwold

Plan aanvraag watervergunning

Tabel I: Gegevenstabel [Greppel 1]

<u>Gegevens bergingsvijver</u>		<u>Gegevens aangesloten op voorziening</u>	
Bodembreedte bergingsvijver (m)	1	Afstromend oppervlak dak (m ²)	120,8
Diepte bergingsvijver (m-mv)	0,5	Afvoercoëfficiënt dak	0,95
Lengte bergingsvijver (m)	43	Factor opvang dak	0,9
Verhouding talud (1:X)	1	Afstromend oppervlak terrein (m ²)	216,7
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	2,00	Afvoercoëfficiënt terrein	0,75
Netto bergingsvolume (m ³)	32,25	Factor opvang terrein	0,9
Bodemoppervlak bergingsvijver (m ²)	43,00	Gewasfactor verhard opp.	0
<u>Gegevens bodem</u>		<u>Afvoer voorziening</u>	
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1	Drainageafvoer (mm/d)	10
Percentage poriën bodem (%)	40	Drainageafvoer (m ³ /uur)	0,141
Bodemberging door infiltratie (m ³)	4,3		
<u>Afvalwaterlozingen op voorziening?</u> Nee = 0			
Grootte huishouden (personen)	4		

Tabel II: Gegevenstabel [Greppel 2]

<u>Gegevens bergingsvijver</u>		<u>Gegevens aangesloten op voorziening</u>	
Bodembreedte bergingsvijver (m)	0,0001	Afstromend oppervlak dak (m²)	53
Diepte bergingsvijver (m-mv)	0,5	Afvoercoëfficiënt dak	0,8
Lengte bergingsvijver (m)	31	Factor opvang dak	1
Verhouding talud (1:X)	1	Afstromend oppervlak terrein (m²)	0
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	1,00	Afvoercoëfficiënt terrein	0
Netto bergingsvolume (m³)	7,75	Factor opvang terrein	0
Bodemoppervlak bergingsvijver (m²)	0,00	Gewasfactor verhard opp.	0
<u>Gegevens bodem</u>		<u>Afvoer voorziening</u>	
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1	Drainageafvoer (mm/d)	10
Percentage poriën bodem (%)	40	Drainageafvoer (m³/uur)	0,022
Bodemberging door infiltratie (m³)	0,58		
<u>Afvalwaterlozingen op voorziening?</u> Nee = 0			
Grootte huishouden (personen)	0		

Tabel III: Gegevenstabel [Combinatie]

<u>Oppervlakken aangesloten op voorzieningen</u>	
Dakoppervlak voorziening 1 (m ²)	120,8
Verhard terreinoppervlak voorziening 1 (m ²)	216,7
Dakoppervlak voorziening 2 (m ²)	53
Verhard terreinoppervlak voorziening 2 (m ²)	0
Dakoppervlak voorziening 3 (m ²)	0
Verhard terreinoppervlak voorziening 3 (m ²)	0
<u>Oppervlakken niet aangesloten op voorziening</u>	
Dakoppervlak (m ²)	42
Afvoercoëfficiënt dak	0,8
Verhard terreinoppervlak (m ²)	0,0
Afvoercoëfficiënt terrein	0
Onverhard oppervlak (m ²)	1567,5
<u>Afvalwaterlozingen op watersysteem waterschap?</u>	
Nee = 0	
Grootte huishouden (personen)	0
<u>Oppervlakte en afvoer</u>	
Totale kaveloppervlakte (m ²)	2000
Maatgevende afvoer (m ³ /d)	26,00

Ontwikkelingsplan

Tabel IV: Gegevenstabel [Hergebruik in huis >]

<u>Benodigde gegevens voor hergebruik in huis</u>	
Netto berging reservoir (m ³)	14
Groenoppervlak (m ²)	1160
Grootte huishouden (personen)	0
<u>Oppervlakken aangesloten op voorziening</u>	
Dakoppervlak (m ²)	200
Afvoercoëfficiënt dak	0,95
Factor opvang dak	0,9
Gewasfactor verhard opp.	0
<u>Afvalwaterlozingen op voorziening?</u>	
Nee = 0	
Grootte huishouden (personen)	4

Tabel V: Gegevenstabel [> Droge bergingsvijver]

<u>Gegevens bergingsvijver</u>		<u>Afvoer</u>	
Bodembreedte bergingsvijver (m)	5	Drainageafvoer (mm/d)	10
Diepte bergingsvijver (m-mv)	0,4	Drainageafvoer (m³/uur)	0,083
Lengte bergingsvijver (m)	10		
Verhouding talud (1:X)	0	<u>Oppervlakken niet aangesloten op voorziening</u>	
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	5,00	Dakoppervlak (m²)	0
Netto bergingsvolume (m³)	20	Afvoercoëfficiënt dak	0
Bodemoppervlak bergingsvijver (m²)	50,00	Verhard terreinoppervlak (m²)	0
		Afvoercoëfficiënt terrein	0
<u>Gegevens bodem</u>		Onverhard oppervlak (m²)	0
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1		
Percentage poriën bodem (%)	40	<u>Oppervlakte en afvoer</u>	
Bodembergings door infiltratie (m³)	6	Totale kaveloppervlakte (m²)	200
		Maatgevende afvoer (m³/d)	2,60
<u>Gegevens aangesloten op voorziening</u>			
Dakoppervlak > reservoir (m²)	200		
Afstromend oppervlak dak (m²)	0		
Afvoercoëfficiënt dak	0		
Factor opvang dak	0		
Afstromend terreinoppervlak (m²)	0		
Afvoercoëfficiënt terrein	0		
Factor opvang terrein	0		

Tabel VI: Gegevenstabel [Greppel 1]

<u>Gegevens bergingsvijver</u>		<u>Gegevens aangesloten op voorziening</u>	
Bodembreedte bergingsvijver (m)	0,74	Afstromend oppervlak dak (m²)	0,0
Diepte bergingsvijver (m-mv)	0,35	Afvoercoëfficiënt dak	0
Lengte bergingsvijver (m)	50,99	Factor opvang dak	0
Verhouding talud (1:X)	0,45	Afstromend oppervlak terrein (m²)	216,7
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	1,06	Afvoercoëfficiënt terrein	0,75
Netto bergingsvolume (m³)	16,02	Factor opvang terrein	0,9
Bodemoppervlak bergingsvijver (m²)	37,73	Gewasfactor verhard opp.	0
<u>Gegevens bodem</u>		<u>Afvoer voorziening</u>	
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1	Drainageafvoer (mm/d)	10
Percentage poriën bodem (%)	40	Drainageafvoer (m³/uur)	0,090
Bodembergings door infiltratie (m³)	4,91		
<u>Afvalwaterlozingen op voorziening?</u> Nee = 0			
Grootte huishouden (personen)	0		

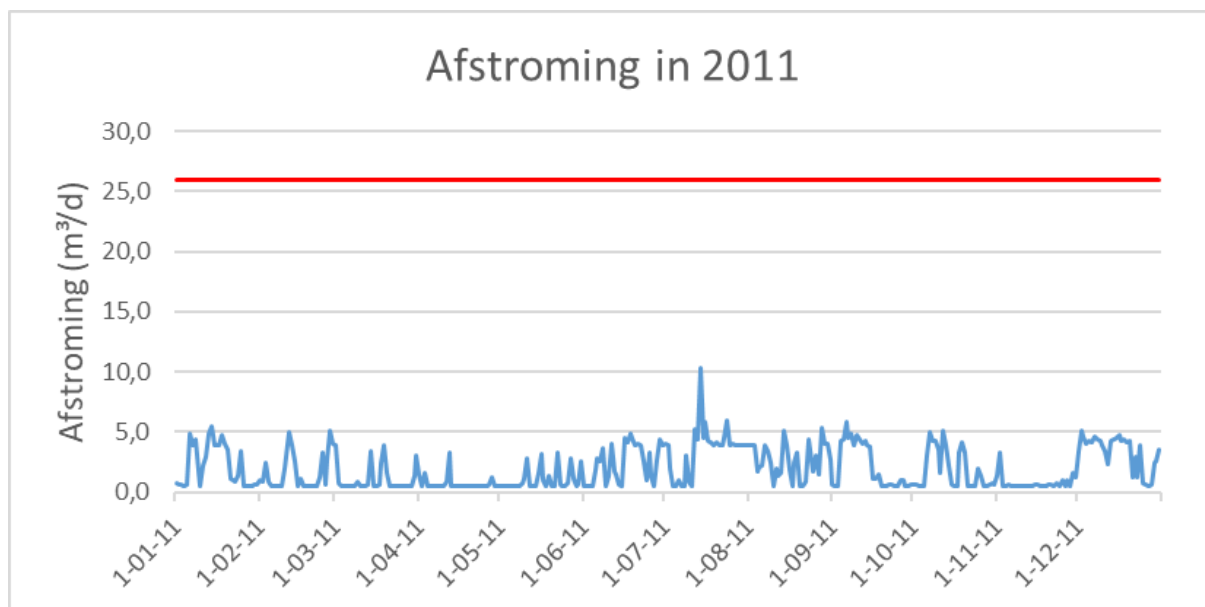
Tabel VII: Gegevenstabel [Greppel 2]

<u>Gegevens bergingsvijver</u>		<u>Gegevens aangesloten op voorziening</u>	
Bodembreedte bergingsvijver (m)	0,5	Afstromend oppervlak dak (m²)	125
Diepte bergingsvijver (m-mv)	0,4	Afvoercoëfficiënt dak	0,9
Lengte bergingsvijver (m)	60	Factor opvang dak	0,9
Verhouding talud (1:X)	0	Afstromend oppervlak terrein (m²)	0
Breedte bovenkant bergingsvijver (m)	0,50	Afvoercoëfficiënt terrein	0
Netto bergingsvolume (m³)	12,00	Factor opvang terrein	0
Bodemoppervlak bergingsvijver (m²)	30,00	Gewasfactor verhard opp.	0
<u>Gegevens bodem</u>		<u>Afvoer voorziening</u>	
Grondwaterstandspeil (m-mv)	1	Drainageafvoer (mm/d)	10
Percentage poriën bodem (%)	40	Drainageafvoer (m³/uur)	0,052
Bodemberging door infiltratie (m³)	3,6		
<u>Afvalwaterlozingen op voorziening?</u> Nee = 0			
Grootte huishouden (personen)	0		

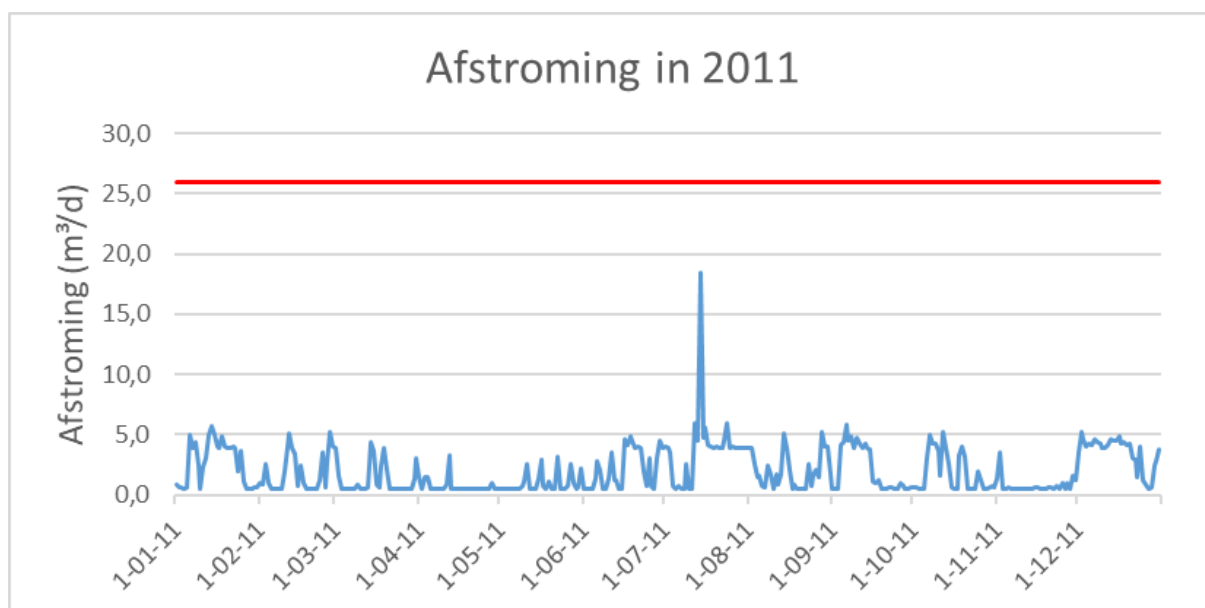
Tabel VIII: Gegevenstabel [Combinatie]

<u>Oppervlakken aangesloten op voorzieningen</u>	
Dakoppervlak voorziening 1 (m ²)	0
Verhard terreinoppervlak voorziening 1 (m ²)	216,7
Dakoppervlak voorziening 2 (m ²)	125
Verhard terreinoppervlak voorziening 2 (m ²)	0
Dakoppervlak voorziening 3 (m ²)	200
Verhard terreinoppervlak voorziening 3 (m ²)	0
<u>Oppervlakken niet aangesloten op voorziening</u>	
Dakoppervlak (m ²)	42
Afvoercoëfficiënt dak	0,8
Verhard terreinoppervlak (m ²)	0,0
Afvoercoëfficiënt terrein	0
Onverhard oppervlak (m ²)	1416,3
<u>Afvalwaterlozingen op watersysteem waterschap?</u> Nee = 0	
Grootte huishouden (personen)	0
<u>Oppervlakte en afvoer</u>	
Totale kaveloppervlakte (m ²)	2000
Maatgevende afvoer (m ³ /d)	26,00

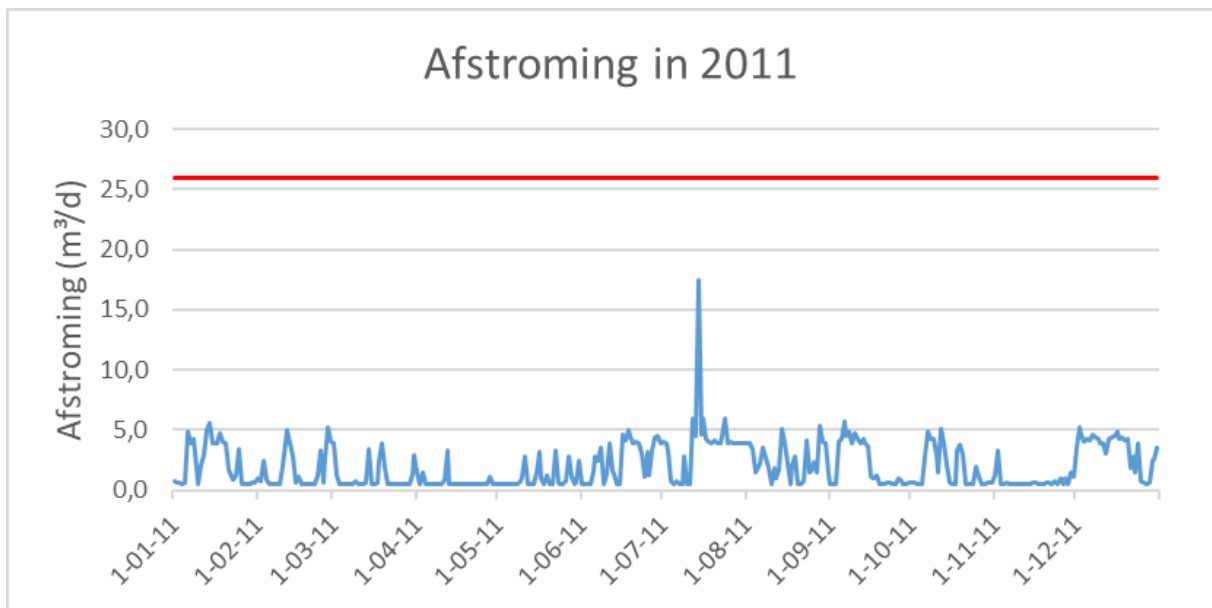
Bijlage 6 Grafieken casestudie Oosterwold



Figuur A: Huidig klimaat; Afstroming in 2011 (blauw), maatgevende afvoer (rood)



Figuur B: Klimaatscenario W_H ; Afstroming in 2011 (blauw), maatgevende afvoer (rood)



Figuur C: Klimaatscenario W_L; Afstroming in 2011 (blauw), maatgevende afvoer (rood)

Bijlage 7 Gegevens ontwikkelingsplan

Verdeling binnen de kavel

De kavel bestaat in zijn geheel uit 'standaardkavel'. Daaruit volgt de volgende verdeling. De eerste verdeling gaat over de verschillende soorten oppervlakten, de tweede verdeling geeft de bruto vloer oppervlakte (BVO) aan.

De roodkavel en de beide bruto vloeroppervlakten (BVO) zijn maxima, water is een minimum oppervlakte.

Verdeling

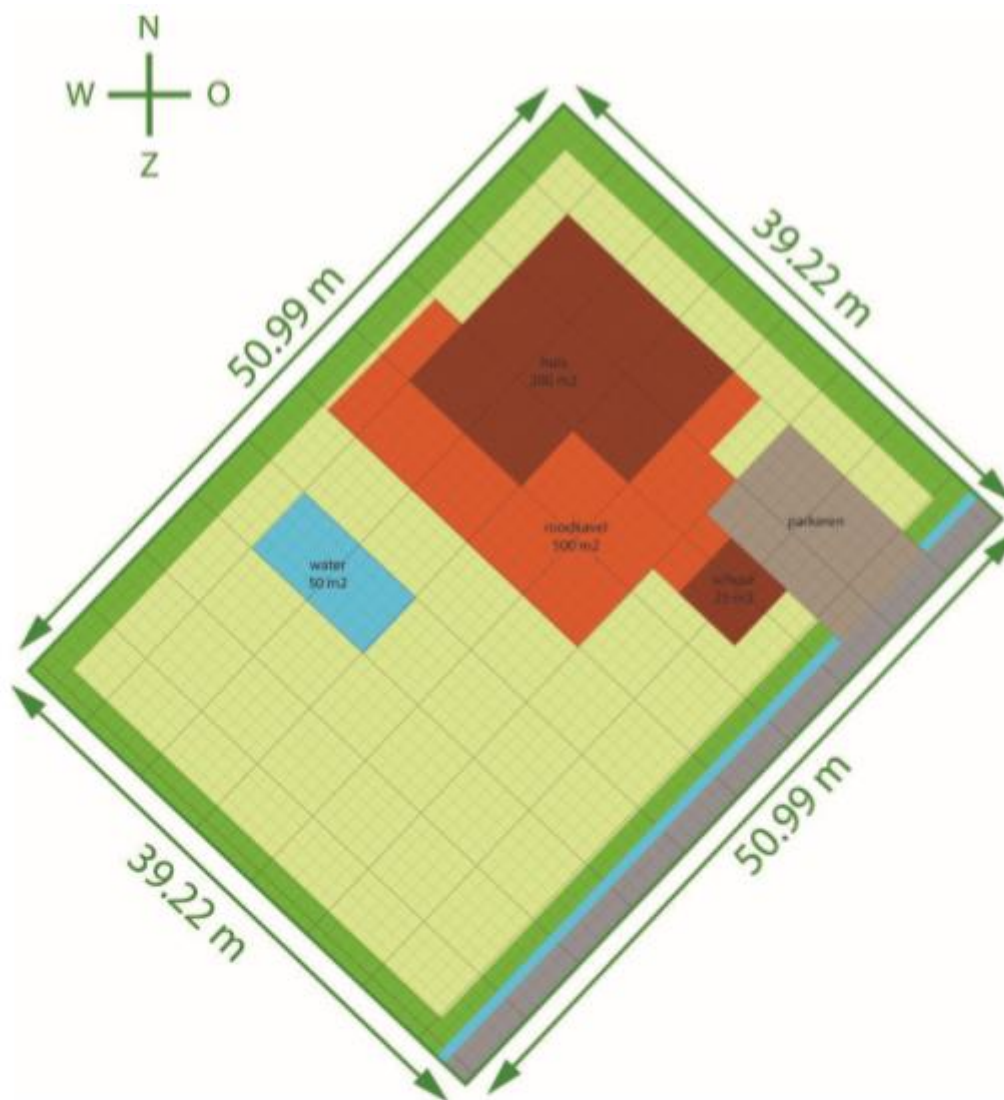
Verdeling	Standaardkavel 2000 m ²	
Rood kavel	25 %	500 m ²
Verharding	8 %	160 m ²
Groen verspreid	7 %	140 m ²
Water	2 %	40 m ²
Stadslandbouw	58 %	1160 m ²

Tabel 1: Verdeling volgens standaardkavel

Bruto Woon Oppervlak

Verdeling	Standaardkavel 2000 m ²	
Rood kavel	25 %	500 m ²
Waarvan Wonen BVO (FAR = 0,5)	12,5 %	250 m ²

Tabel 2: BVO en Roodkavel



	%	m ²
Stadslandbouw	49 %	979 m ²
Groen verspreid	9 %	180 m ²
Verharding	10.5 %	210 m ²
BVO	12.5 %	250 m ²
Roodkavel	25 %	500 m ²
Water	6.5 %	131 m ²

Inrichting kavel

De verschillende functies zoals hierboven weergegeven vormen onderdeel van ons plan. Per functie volgt hieronder een toelichting.

Roodkavel

De roodkavel bedraagt 500 m², en is aaneengesloten. 200 m² is bedoeld voor het woonhuis (en is daarmee BVO). 250 m² is bedoeld voor de veranda, de kas, een stukje tuin en evt. de carport. 25 m² BVO is bedoeld om een schuur op te zetten. Daarmee hebben we nog 25 m² aan BVO niet gebruikt. Wellicht gebruiken we dat in de toekomst.

Verharding / berm / nutsvoorzieningen

Langs één zijde komt een kavelweg, die voor de helft op onze kavel komt en de ander helft op die van de naastgelegen kavel (initiatief nr. 100). We gaan mee met het voorstel van initiatief 100. We houden rekening met de optimale waterdoorlaatbaarheid en belastbaarheid van de weg bij het kiezen van het wegmateriaal, dit is afgestemd. In ons plan houden we een reservering aan voor de weg van maximaal 2,75 meter verhard op onze zijde van de kavel (de totale breedte van het wegdeel zal dus 5,5 meter worden). Naast de weg zal een berm komen van 1,50 meter breed. De weg loopt langs ons hele kavel en is daarmee voor ons 51 meter lang. Daarnaast zal naast de berm nog eens een strook van minimaal 1 meter (of zoveel meer als nodig blijkt) beschikbaar zijn als werkruimte voor nutspartijen. Deze werkstrook zal vrijgehouden worden althans zodanig worden ingericht, dat het relatief eenvoudig vrij te maken is voor herstel- en onderhoudswerkzaamheden. Binnen een afstand van 2 meter vanaf de kabel- en leidingenstrook zullen geen bomen geplaatst worden.

In eerste instantie zal de een puinweg worden van 3,5 meter breed. Later kan deze opgeschaald worden in breedte en materiaal.

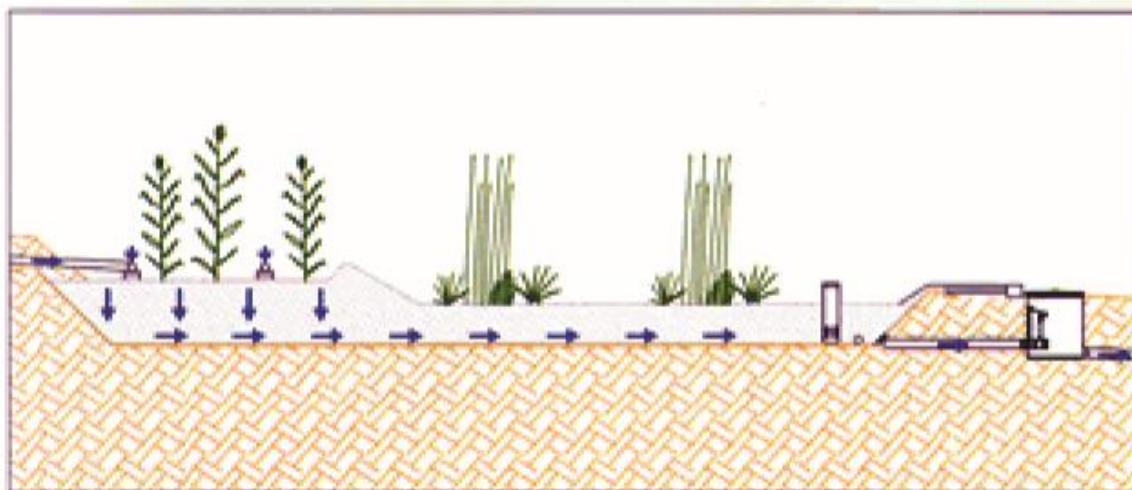
Waterhuishouding

Drinkwater

We zullen gebruik maken van een aansluiting op het distributienet van het drinkwaterbedrijf Vitens.

Huishoudelijk afvalwater

Het huishoudelijk afvalwater, gaan we zuiveren op onze eigen kavel door middel van een helofytenfilter. Of dit een planten-, riet-, of –filter met ijzerkorrels gaat worden hebben we nog niet besloten.



Voorbeeld van plantenzuiveringssysteem

Het water uit het helofytenfilter zal na het zuiveren uitkomen in de regenwateropvangbak (zie volgende punt), zodat dit hergebruikt kan worden.

Waterberging

We gaan het regenwater opvangen in betonnen bakken (berging 1) die in de grond worden geplaatst. Dit regenwater gaan we hergebruiken om de tuin van water te voorzien, hiervoor willen we een bewateringssysteem gebruiken, zodat er bij droogte, water via een waterdruppel systeem wordt afgegeven. Er zal een overloop komen van de regenwateropvangbak naar de vijver en/of greppel/sloot die op onze kavel komen (berging 2).

Totaal overzicht waterberging

- Opvang regenwater in regenwateropvangbak
- Opvang water uit helofytenfilter naar regenwateropvangbak
- Overloop van regenwateropvangbak naar vijver en/of greppel/sloot
- We zijn nog in overleg met burens over het verbinden van onze sloten voor een grotere wateropvang capaciteit
- Alle overige greppels op eigen kavel (onder meer langs de weg).
- Een (zwem)vijver



Voorbeeld van regenwateropvang en hergebruik

Volgens de berekening dient ons plan in minimaal 40 m^3 water te voorzien. Daar komt bij dat Waterschap Zuiderzeeland een norm hanteert voor waterberging van $11,5 \text{ m}^3$ per 100 m^2 .

Norm gemeente:

Ons plan voorziet in 131 m^3 water en voldoet daarmee aan de structuurvisie.

Norm waterschap:

Voor het waterschap is van belang dat het plan voorziet in voldoende waterberging. Waterberging is het tijdelijk opslaan van overtollig water. Waterberging kan plaatsvinden in sloten, waar de ruimte is tussen waterniveau en het maaiveld en/of in droge greppels of vijvers. In ons plan zal waterberging gerealiseerd worden door middel van een regenwateropvangbak, een vijver en greppels/sloten.



Voorbeeld waterberging

Hieronder volgt een globale berekening van de te creëren verharding en een toelichting van waar en hoe die waterberging op de kavel gerealiseerd wordt.

Hieronder volgt een globale berekening van de te creëren verharding en een toelichting van waar en hoe die waterberging op de kavel gerealiseerd wordt.

Ons plan voorziet in de volgende oppervlaktes verharding:

- Dak van woonhuis: 200 m^2
- Dak van de kas: 75 m^2
- Dak van de schuur: 25 m^2
- Weg $51 \times 2,75 \text{ m}$: 140 m^2 (De weg zal wat water doorlaten, maar we weten nog niet hoeveel, dus tellen we de weg voor nu nog mee).
- De parkeerplaats is een waterdoorlatende verharding, dus die tellen we niet mee.

Het totale verharde oppervlak komt daarmee op 440 m^2 , wat neerkomt op een waterberging van 51 m^3 . We gaan uit van een waterbergingshoogte van $0,40 \text{ m}$.

De tank met het regenwater (berging 1) neemt ongeveer 14 m^3 aan water op. De overige 37 m^3 verdelen we over de greppel(s) en de vijver.

Er komt een greppel parallel aan de weg. De oppervlakte van de weg is 140 m^2 (op het kavel), de greppel die er op ons naast ligt neemt 16 m^3 voor haar rekening. Over een lengte van 51 meter en met een breedte van 1 meter is een waterbergingshoogte van $0,35 \text{ m}$ dan voldoende.

De schuur en de kas samen vereisen een waterberging van 12 m^3 . Er komt een greppel om dit water te bergen die langs de schuur en de kas loopt. Bij een breedte van $0,5 \text{ m}$ en een waterberging van $0,4 \text{ m}$ moet de greppel ca. 60 m lang zijn.

Dan is er nog 10 m^3 aan waterberging over. Dit is water wat van het dak van het huis komt, maar wat niet in de watertank kan worden opgenomen. Dit overtollige water zal via een afvoer naar de vijver worden geleid. Die heeft een oppervlakte van 50 m^2 en met een waterbergingsdiepte van $0,4 \text{ meter}$ een bergingscapaciteit van 20 m^3 , dus ruim voldoende.

De greppels en de vijver bij elkaar komen op 131 m^2 aan wateroppervlak.

Samengevat in een tabel:

Regenwateropvang (berging 1)	14 m^3
Greppel naast de weg	16 m^3
Greppel naast de schuur en kas	12 m^3
Overloop van berging 1 naar de vijver	10 m^3 (heeft een cap. van 20 m^3)
Totaal	52 m^3

Tabel 3: Waterberging

Bijlage 8 Watertekort hergebruik casestudie Oosterwold

Tabel I: Huidig klimaat; tekort aan water

Jaar	Tekort aan water ten behoeve van hergebruik (m ³)
2005	-61,6
2006	-97,6
2007	-81,2
2008	-77,3
2009	-86,9
2010	-105,7
2011	-89,6
2012	-61,1
2013	-122,4
2014	-84,6
Totaal =	-868,1

Tabel II: Klimaatscenario W_H; tekort aan water

Jaar	Tekort aan water ten behoeve van hergebruik (m ³)
2005	-77,0
2006	-99,8
2007	-89,9
2008	-67,6
2009	-110,6
2010	-113,8
2011	-121,3
2012	-71,0
2013	-144,0
2014	-82,5
Totaal =	-977,5

Tabel III: Klimaatscenario W_L; tekort aan water

Jaar	Tekort aan water ten behoeve van hergebruik (m ³)
2005	-62,1
2006	-95,8
2007	-88,5
2008	-77,4
2009	-96,1
2010	-111,3
2011	-91,8
2012	-66,0
2013	-125,4
2014	-87,3
Totaal =	-901,7

