

Afkoppelen op een hoger niveau

Onderzoek naar de technische haalbaarheid van een alternatieve bergingsmethode voor hemelwater in opbarstingsgevoelige gebieden

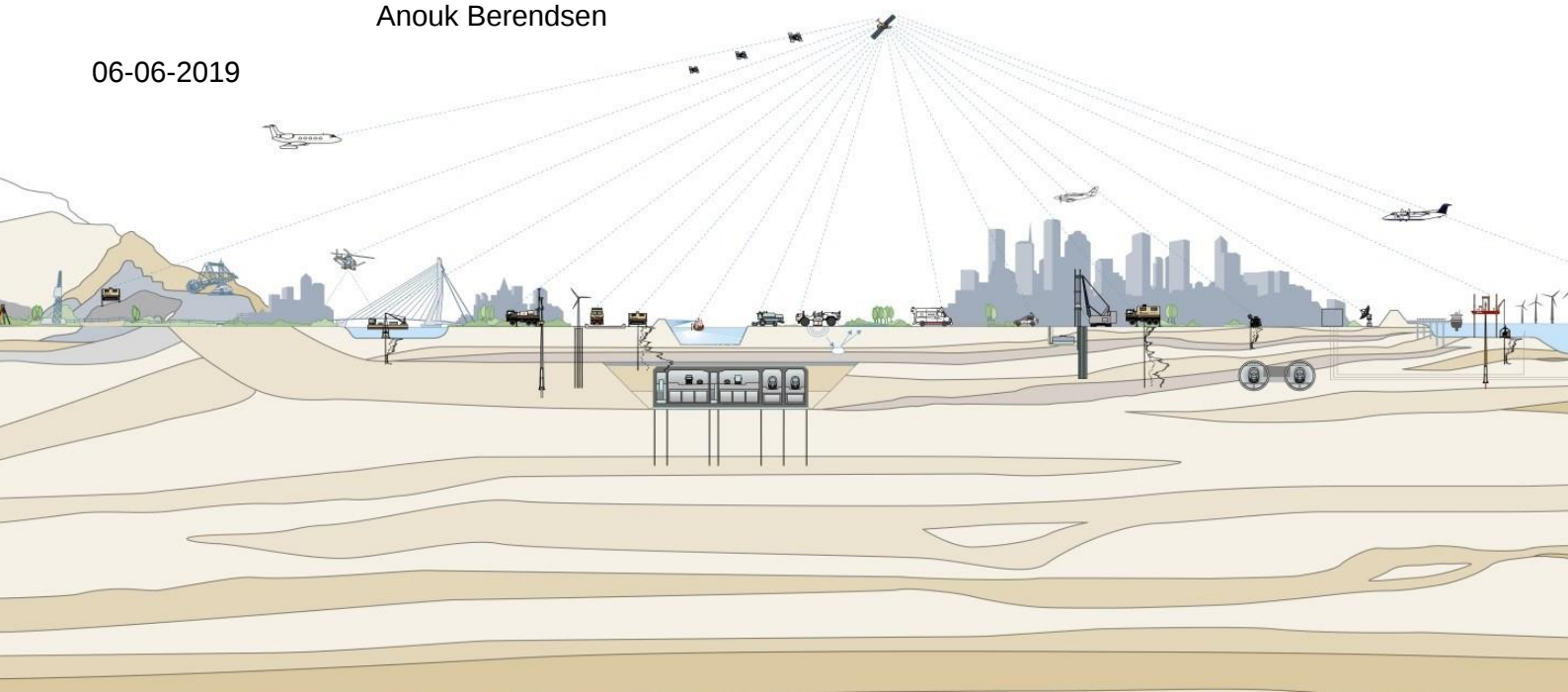
AFSTUDEERRAPPORT

Opgesteld door: Jelle Assen
Gemma Nieuwenhout

Opdrachtgever: Fugro NL Land B.V.

Begeleiders: Mark de Kwaadsteniet
Anouk Berendsen

06-06-2019



Afkoppelen op een hoger niveau

Onderzoek naar de technische haalbaarheid van een alternatieve bergingsmethode voor hemelwater in opbarstingsgevoelige gebieden

In leeropdracht van Hogeschool Van Hall Larenstein
Larensteinselaan 26A
6882 CT Velp

Interne begeleider Anouk Berendsen
anouk.berendsen@hvhl.nl

Opdrachtgever Fugro NL Land B.V.
Blaeulaan 60A
3528 AB Utrecht

Externe begeleider Mark de Kwaadsteniet
m.dekwaadsteniet@fugro.com

Auteurs Jelle Assen
jelle.assen@hvhl.nl

Gemma Nieuwenhout
gemma.nieuwenhout@hvhl.nl

Datum 06-06-2019
Plaats Velp

Versie beheer

Nummer	Omschrijving	Opgesteld	Datum
1.0	Concept versie	Jelle Assen Gemma Nieuwenhout	21-05-2019
2.0	Definitieve versie	Jelle Assen Gemma Nieuwenhout	06-06-2019

VOORWOORD

Voor u ligt de scriptie 'Afkoppelen op een hoger niveau', een onderzoek naar de technische haalbaarheid van een alternatieve bergingsmethode voor hemelwater in opbarstingsgevoelige gebieden. Dit onderzoek is gedaan als afronding van de opleiding Land- en Watermanagement aan Hogeschool van Hall Larenstein. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Fugro NL Land B.V. in Utrecht in de periode van februari tot en met juni 2019.

Allereerst willen wij onze dank uitbrengen aan Mark de Kwaadsteniet, onze begeleider bij Fugro NL Land B.V. die ons altijd met enthousiasme en een kritische blik heeft begeleid. Ook willen wij onze begeleider vanuit Hogeschool van Hall Larenstein, Anouk Berendsen danken voor haar feedback op onze producten en de begeleiding tijdens het onderzoeksproces.

Collega's van Fugro NL Land B.V. willen wij danken voor het beantwoorden van onze vragen en het beschikbaar stellen van informatie. In het bijzonder Martin Veenvliet die ons heeft geholpen met het construeren van ons hydraulisch model.

Tot slot willen wij onze dank uitbrengen aan Leonard Boer voor het interview, de gemeente Gorinchem en het Waterschap Rivierenland voor de brainstormsessies en andere partijen waarvan wij nuttige informatie hebben ontvangen.

Wij wensen u veel leesplezier,

Namens de auteurs,

Jelle Assen en Gemma Nieuwenhout

Velp, 06-06-2019

SAMENVATTING

In veen- en kleigebieden kan door slappe deklagen in combinatie met grote stijghoogte uit het eerste watervoerende pakket opbarsten plaatsvinden. Op nieuw te ontwikkelen terreinen moet ter compensatie van extra verhard oppervlak oppervlaktewater worden aangelegd. In opbarstingsgevoelige gebieden moeten maatregelen worden genomen in de vorm van ballastbedden en parallel gelegen smalle watergangen om opbarsten van de watergangbodem te voorkomen. Deze maatregelen zijn erg kostbaar door hoge investeringskosten en intensiever onderhoud. Om het opbarstingsrisico te verkleinen en mogelijk kosten te drukken is het idee ontstaan om de waterhuishouding te scheiden in twee watersystemen waarbij het dakoppervlak wordt gescheiden van het straatoppervlak. Het straatoppervlak wordt via een conventioneel HWA stelsel afgevoerd naar het oppervlaktewater. Het dakwater wordt via een dakwatersysteem onder vrijval afgevoerd naar een boven maaiveld gelegen waterberging. De haalbaarheid van dit systeem is nog onbekend. In opdracht van Fugro NL Land B.V. wordt de technische haalbaarheid van een dakwatersysteem met waterberging onderzocht. De toetsing is uitgevoerd aan de hand van een pilotlocatie, bedrijventerrein 'Groote Haar'. De volgende onderzoeksvraag opgesteld; *“Wat is de technische haalbaarheid van een dakwatersysteem met waterberging in opbarstingsgevoelige gebieden?”*

Het dakwatersysteem voert dakwater af richting een foliebassin. Een foliebassin ligt aan het maaiveldoppervlak waardoor graven en infiltreren in de bodem niet benodigd is. Dit is gunstig in opbarstgevoelige gebieden. Vanuit het foliebassin wordt water vertraagd afgevoerd naar het oppervlaktewater. Het dakwatersysteem functioneert onder druk waardoor dakwater kan worden afgevoerd tot een hoogte boven maaiveld. De regenpijpen zijn onderdeel van een vacuümhemelwaterafvoersysteem dat berekend is op waterdruk en het rioleringsstelsel moet waterdicht zijn.

De technische haalbaarheidsstudie is uitgevoerd door de hydraulische haalbaarheid van het dakwatersysteem te toetsen, het foliebassin te dimensioneren op extremen in neerslag en droogval en aandachtspunten ten aanzien van de technische haalbaarheid te behandelen. Dit is gedaan door een hydraulische modeltoetsingen en een waterbalanstoetsingen. Meerdere situaties zijn getoetst doormiddel van vier bebouwingsscenario's variërend in afvoerend oppervlak, goothoogte en type bebouwing. Het dakwatersysteem moet voldoen aan ontwerpbeurt L10 en het foliebassin moet voldoen aan een T=100+10% neerslagsituatie.

Uit de hydraulische toetsing is gebleken dat het niet mogelijk is dakwater via één leidingsysteem naar de foliebassinlocatie ten noorden van het pilotterrein af te voeren. Door de hoeveelheid aangesloten dakoppervlak moet afvoer plaatsvinden door het gebruik van drie deelgebieden. Vanaf het zuidoostelijke deelgebied is het niet mogelijk om water richting de bassinlocatie af te voeren door opstuwing in de afvoerleiding. Dakwater kan worden afgevoerd als de uitstroomlocatie naast de deelgebieden gelegen is, waarbij wordt voldaan aan de uiterste uitgangspunten.

De totale diepte van het foliebassin bedraagt twee meter. Door gebruik van de compensatie eis voor technische voorzieningen zijn de dimensies per scenario berekend. Het wateroppervlak bedraagt circa 6,7 á 6,8% van het aangesloten dakoppervlak. Het foliebassin voldoet aan een T=100+10% neerslagsituatie en de jaartoetsingen waarbij het waterpeil fluctueert binnen het minimum peil en de overstorthoogte. Het totale wateroppervlak op het terrein wordt gereduceerd in vergelijking tot het waterhuishoudingsplan met parallel gelegen watergangen. Door de beperkte watergangbreedte zijn geen ballastbedden benodigd.

Het dakwatersysteem en foliebassin worden op pilotlocatie 'Groote Haar' door de gemeente Gorinchem onderhouden omdat het systeem als onderdeel van het rioleringsstelsel wordt gezien. In brainstormsessies met het waterschap en de gemeente is naar voren gekomen dat het systeem kwetsbaar is, en bij lekken hydraulisch niet meer voldoet waardoor wateroverlast kan ontstaan. Ook waterkwaliteit en intensief beheer en onderhoud zijn aandachtspunten die van invloed zijn op de haalbaarheid van het systeem.

De conclusie van het onderzoek is dat het dakwatersysteem een technisch haalbaar alternatief voor het conventionele waterhuishouding kan zijn als rekening gehouden wordt met intensief beheer en onderhoud om het hydraulisch functioneren te blijven waarborgen en wateroverlast te voorkomen.

INHOUDSOPGAVE

<u>BEGRIPPENVERKLARING</u>	<u>1</u>
<u>1 INLEIDING</u>	<u>2</u>
1.1 ACHTERGROND	2
1.2 AANLEIDING	3
1.3 PROBLEEMANALYSE	4
1.4 ONDERZOEKSVRAGEN	6
1.5 DOELSTELLING	6
1.6 LEESWIJZER	6
1.7 PUBLIEK	6
<u>2 THEORETISCH KADER</u>	<u>7</u>
2.1 OORSPRONKELIJK ONTWERP WATERSYSTEEM 'GROOTE HAAR'	7
2.2 TOEPASSING VAN HEMELWATERBERGINGSSYSTEMEN	8
2.3 FOLIEBASSIN	9
2.4 DAKWATERSYSTEEM	10
<u>3 METHODIEK</u>	<u>11</u>
3.1 THEORETISCH KADER	11
3.2 ONTWERPCRITERIA	11
3.3 DAKWATERSYSTEEM	11
3.4 FOLIEBASSIN	13
3.5 AANDACHTSPUNTEN	14
<u>4 ONTWERPCRITERIA</u>	<u>15</u>
4.1 EISEN	15
4.2 RANDVOORWAARDEN	15
4.3 UITGANGSPUNTEN	16

<u>5</u>	<u>DAKWATERSYSTEEM</u>	<u>23</u>
5.1	ONTWERP	23
5.2	RESULTATEN HYDRAULISCHE TOETSING	24
5.3	DEELCONCLUSIE DAKWATERSYSTEEM	26
<u>6</u>	<u>FOLIEBASSIN</u>	<u>27</u>
6.1	DIMENSIES	27
6.2	TECHNISCHE HAALBAARHEID FOLIEBASSIN	28
6.3	RUIMTEGEBRUIK	29
6.4	DEELCONCLUSIE FOLIEBASSIN	30
<u>7</u>	<u>AANDACHTSPUNTEN</u>	<u>31</u>
7.1	BEHEER EN ONDERHOUD	31
7.2	AANDACHTSPUNTEN DAKWATERSYSTEEM	32
7.3	AANDACHTSPUNTEN FOLIEBASSIN	32
7.4	DUURZAAMHEID EN NEVENFUNCTIES	33
7.5	DEELCONCLUSIE AANDACHTSPUNTEN	33
<u>8</u>	<u>CONCLUSIE</u>	<u>34</u>
<u>9</u>	<u>DISCUSSIE</u>	<u>35</u>
<u>10</u>	<u>AANBEVELINGEN</u>	<u>36</u>
<u>11</u>	<u>BIBLIOGRAFIE</u>	<u>37</u>

BEGRIPPENVERKLARING

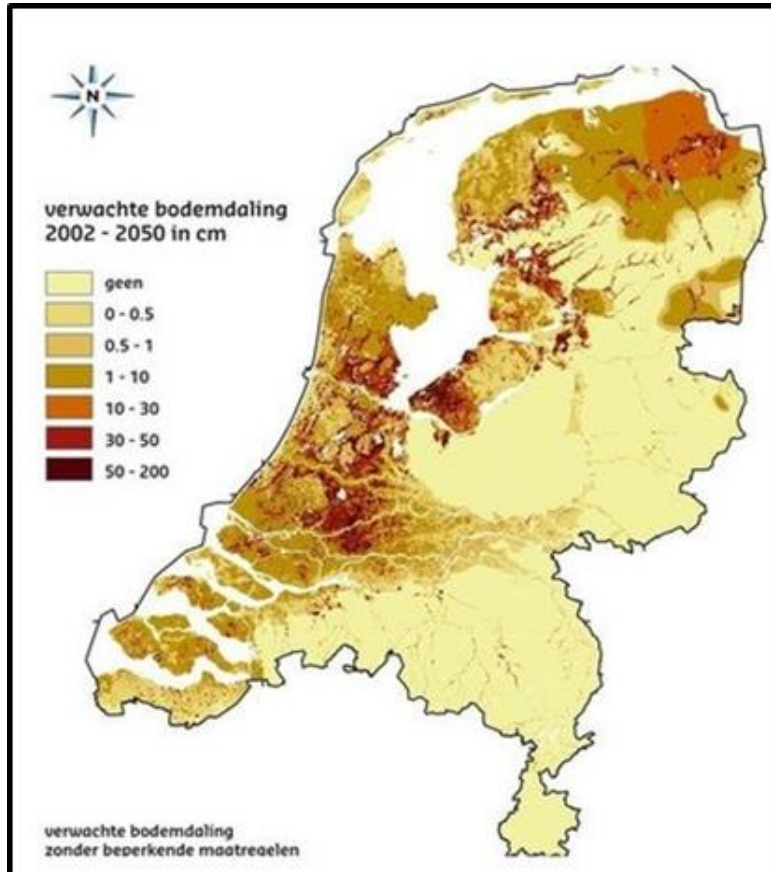
Begrippen	Verklaring
▪ Bebouwingsscenario's	De verschillende scenario's variërend in dakoppervlak, goothoogte en type bebouwing. De bebouwingsscenario's zijn; bedrijventerrein met veel dakoppervlak (Bv), bedrijventerrein met weinig dakoppervlak (Bw), woonwijken met veel dakoppervlak (Wv) en woonwijken met weinig dakoppervlak (Ww).
▪ Dakwatersysteem	Het leidingstelsel dat werkt door waterdruk in de regenpijpen dat dakwater afvoert richting het foliebassin.
▪ Oorspronkelijk ontwerp	Waterhuishoudingsplan van bedrijventerrein 'Groote Haar' waarbij het oppervlaktewatersysteem bestaat uit parallel gelegen smalle watergangen.
▪ Opbarstingsrisico	Het risico op het opbarsten van de deklaag veroorzaakt door een slappe deklaag in combinatie met een hoge kweldruk uit het eerste watervoerende pakket.
▪ Oppervlaktewater systeem	Het watersysteem bestaande uit watergangen.
▪ Totale wateroppervlak	Het totale wateroppervlak binnen het gebied, omvattend het oppervlaktewateroppervlak en het wateroppervlak binnen het foliebassin.
▪ Waking	Afstand tussen waterniveau in de regenpijpen en de bovenkant van de regenpijp.
▪ Waterbalans	Overzicht van watercomponenten waarbij de verandering in wateropslag gelijk is aan de water toevoegende componenten min de water afvoerende componenten
▪ Wateropgave terrein	Aangepaste verkavelingsstructuur van bedrijventerrein 'Groote Haar'.
▪ Uitgeefbaar terrein	Grond in handen van de gemeente dat beschikbaar is voor uitgifte waar grondopbrengsten voor de gemeente uit voortkomen.

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

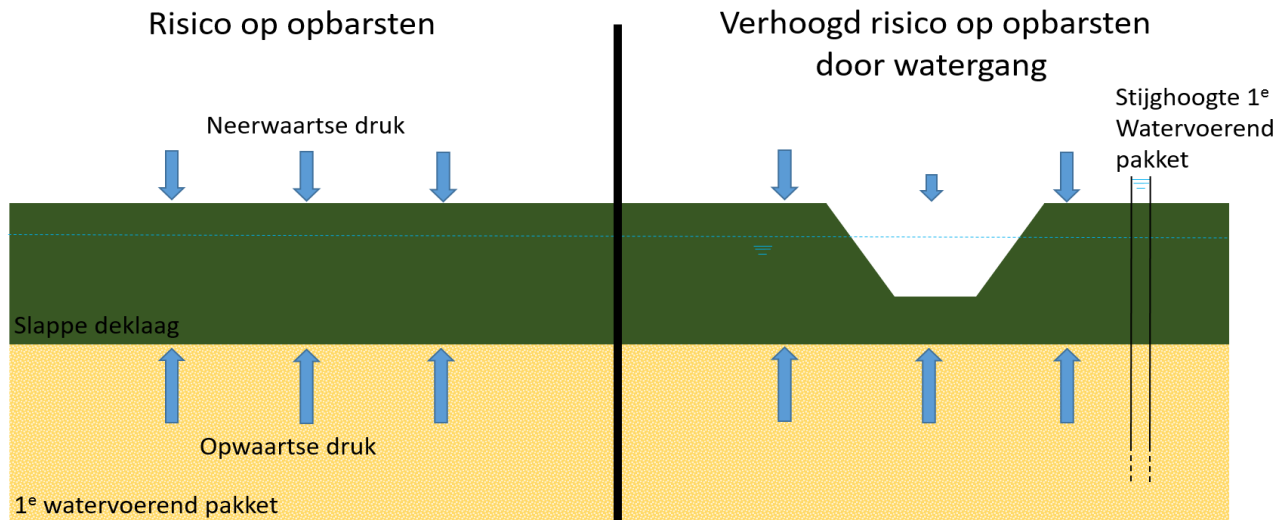
In Nederland zijn veel gebieden met een veen- of klei ondergrond. Door ontwatering klinken deze bodemtypes in waardoor de afsluitende deklaag dunner en slapper wordt en de neerwaartse druk afneemt. Het gevolg van inklinking is bodemdaling, zie figuur 1. In sommige gebieden is naast bodemdaling ook een toename in de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket merkbaar wat hoge kweldruk veroorzaakt. Deze toename is het gevolg van stijgende rivierwaterstanden in combinatie met zeespiegelstijging. Hoge kweldruk kan in combinatie met dunne en slappe deklagen leiden tot het opbarsten van de deklaag.

figuur 1. Verwachte bodemdaling in Nederland. Bron: (Dirven, 2018)



Opbarsten vindt plaats wanneer de opwaartse druk van grondwater groter is dan de neerwaartse druk van de deklaag. De afsluitende deklaag kan scheuren, waardoor een permanente verbinding tussen het grondwater uit het eerste watervoerende pakket en het maaiveld ontstaat. Dit risico wordt versterkt als zandbanen in het gebied aanwezig zijn. Opbarsten is een onomkeerbaar proces, dat ongewenst is. Het extra kwelwater moet door gemalen worden afgevoerd en veroorzaakt een verandering in de chemische samenstelling van het oppervlaktewater doordat grondwater vaak zuurstofarmer, ijzerrijker of zouter is. Dit kan leiden tot extra milieubelasting van het oppervlaktewater (Fugro NL Land B.V., 2018) (Fugro NL Land B.V., 2010).

Bij de realisatie van nieuwe terreinen wordt het risico op opbarsten versterkt door graven in de bodem, bijvoorbeeld bij de aanleg van diepe of brede watergangen, zie figuur 2. Door het afnemen van de laagdikte neemt de neerwaartse druk van de afsluitende deklaag verder af.



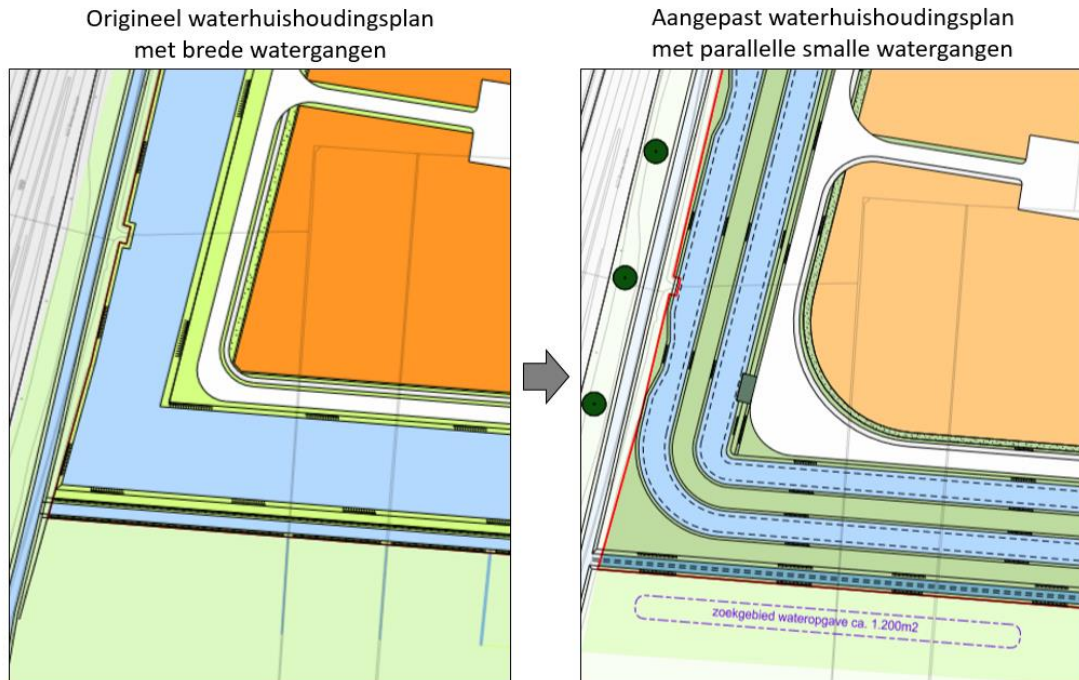
figuur 2. Schematische weergaven van het vergroot risico op opbarsten. Bron: Eigenwerk

1.2 Aanleiding

Bij het realiseren van nieuwe terreinen zoals woonwijken of bedrijventerreinen moet het toegenomen verharde oppervlak worden gecompenseerd door de aanleg van oppervlaktewater. Fugro NL Land B.V. is betrokken bij het ontwerpen van de waterhuishouding van nieuw te ontwikkelen terreinen in gebieden met slappe deklagen en een hoge kweldruk uit het eerste watervoerende pakket. Het aanleggen van brede of diepe watergangen ter compensatie van het verhard oppervlak is niet mogelijk door het hoge risico op opbarsten. Daarom heeft Fugro NL Land B.V. een ontwerp gemaakt voor de waterhuishouding waarbij het oppervlaktewatersysteem bestaat uit parallel gelegen smalle watergangen met ballastbedden in de watergangbodem, zie figuur 3. Ballastbedden zijn een versteviging van de waterbodem die voor extra neerwaartse druk zorgen en hierdoor het risico op opbarsten verlagen, zie bijlage 3 (Fugro NL Land B.V., 2009). Hoewel het risico op opbarsten door dit systeem sterk verminderd wordt, heeft het systeem een aantal nadelen:

- meer ruimtegebruik door parallel gelegen watergangen;
- aanlegkosten van ballastbedden;
- extra duikerverbindingen ten behoeve van een goede doorstroming;
- Intensiever onderhoud door extra waterganglengte.

Door de extra maatregelen die genomen moeten worden nemen de investeringskosten sterk toe. Door de hoge kosten van een watersysteem met parallel gelegen smallere watergangen en toch de noodzaak om het extra verhard oppervlak te compenseren in gebieden met een opbarstingsrisico heeft Fugro NL Land B.V. het idee ontwikkeld om de waterhuishouding te scheiden in twee hemelwatersystemen; één systeem voor de compensatie van straatoppervlak en één systeem voor de compensatie van dakoppervlak.

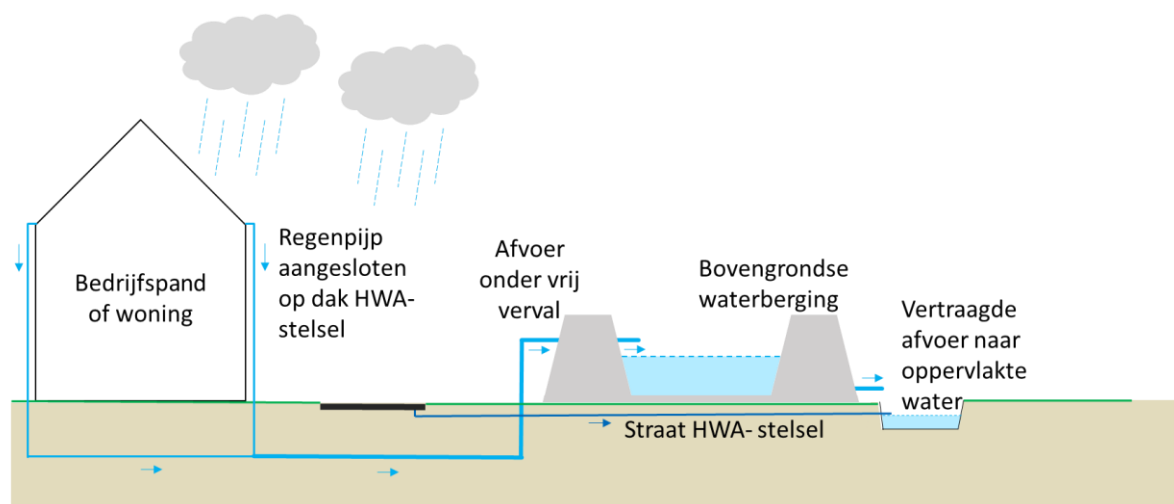


figuur 3. Vergelijking van de voorgaande waterhuishoudingsplannen. Bron: (Flow27, 2016) (SAB adviseurs in ruimtelijke ontwikkeling, 2018)

1.3 Probleemanalyse

In de waterhuishouding met twee gescheiden watersystemen blijft het straatoppervlak gecompenseerd in een oppervlaktewatersysteem met als voordeel dat enkelgelegen smalle watergangen volstaan. Het risico op opbarsten blijft gering en zonder extra maatregelen, zoals ballastbedden en extra duikerverbindingen blijven de investeringskosten beperkt. Het dakoppervlak wordt gecompenseerd door een afgesloten hemelwaterbergingsysteem met een vertraagde afvoer naar het oppervlaktewater, zie figuur 4. De haalbaarheid van dit gescheiden systeem is nog niet bekend.

Schematisatie gescheiden hemelwatersysteem



figuur 4: Schematische weergave van het gescheiden hemelwatersysteem. Bron: Eigenwerk

Het gevolg van het uitvoeren van dit gescheiden watersysteem is dat drie leidingstelsels aangelegd moeten worden; een droogweerafvoer (DWA) stelsel; een hemelwaterafvoer (HWA) stelsel voor straatoppervlak en een HWA stelsel voor dakoppervlak. Het HWA stelsel voor dakoppervlak functioneert door waterdruk in regenpijpen waardoor hemelwater onder vrijval afwatert naar een waterberging. De hemelwaterberging heeft een diepte waarbij opbarsten geen risico vormt.

Dit onderzoek is alleen gericht op het hemelwaterbergingssysteem voor dakoppervlak, voortaan verkort tot dakwatersysteem. In dit onderzoek wordt de technische haalbaarheid van het dakwatersysteem in opdracht van Fugro NL land B.V. onderzocht. De focus van het onderzoek ligt op het hydraulisch functioneren van het leidingstelsel, de dimensies van de hemelwaterberging en het ruimtegebruik van het totale wateroppervlak. Daarbij worden aandachtspunten vanuit technisch oogpunt meegenomen.

- de technische haalbaarheid waarbij het functioneren van het leidingstelsel, de dimensies van de hemelwaterberging en het ruimtegebruik van het totale wateroppervlak worden onderzocht;
- aandachtspunten aan het dakwatersysteem vanuit technisch oogpunt worden onderzocht;

De haalbaarheidsstudie naar een dakwatersysteem wordt onderzocht op het nieuw te realiseren terrein 'Groote Haar' Gorinchem, zie figuur 5. Door de toepassing van een werkelijke locatie kan een concrete toetsing worden uitgevoerd. Fugro NL Land B.V. is betrokken bij het ontwerp van de waterhuishouding en voorgaand onderzoek naar de bodem van dit terrein. Eerder benoemde problemen met het ontwerpen van de waterhuishouding in opbarstingsgevoelige gebieden spelen ook op dit terrein.

Pilotlocatie 'Groote Haar' te Gorinchem



Legenda

- Pilotlocatie 'Groote Haar'

figuur 5. Ligging van de pilotlocatie. Bron: Eigenwerk

Aan de hand van een pilottoetsing op bedrijventerrein 'Groote Haar' wordt middels bebouwingsscenario's, die variëren in gebruikstype, bebouwingshoogte en bebouwingsdichtheid de technische haalbaarheid in andere opbarstingsgevoelige gebieden inzichtelijk gemaakt. De typen terreinen die als variant worden onderzocht zijn bedrijventerreinen en woonwijken. De bebouwingshoogte kan van invloed zijn op de waterafvoer door het leidingsysteem naar de hemelwaterberging en de bebouwingsdichtheid is van invloed op de dimensies van dakwatersysteem en de hemelwaterberging. Met deze varianten kan de haalbaarheid van het systeem worden onderzocht bij verschillende gebruikssituaties in de vorm van vier bebouwingsscenario's:

- bedrijventerrein met veel bebouwing (Bv);
- bedrijventerrein met weinig bebouwing (Bw);
- woonwijk met veel bebouwing (Wv);
- woonwijk met weinig bebouwing (Ww).

1.4 Onderzoeksvragen

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

"Wat is de technische haalbaarheid van een dakwatersysteem met waterberging in opbarstingsgevoelige gebieden?"

De deelvragen die de hoofdvraag ondersteunen zijn als volgt:

- Wat zijn de ontwerpcriteria waaraan het dakwatersysteem en de waterberging moeten voldoen?
- Bij welke stelseldimensies is het per bebouwingsscenario mogelijk om via een leidingsysteem hemelwater afkomstig van dakoppervlak onder vrijverval af te voeren richting een waterberging op pilotlocatie 'Groote Haar'?
- Wat zijn per bebouwingsscenario de dimensies van de waterberging?
- Wat zijn aandachtspunten van het dakwatersysteem met waterberging uit het oogpunt van de gemeente en het waterschap?

1.5 Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het vaststellen van de technische haalbaarheid van een dakwatersysteem in gebieden met een risico op opbarsten. Bij een positief resultaat uit de haalbaarheidstoetsing kan de opgedane kennis worden gebruikt voor de realisatie van de waterhuishouding bij bedrijventerrein 'Groote Haar' en andere terreinen in gebieden met een risico op opbarsten.

1.6 Leeswijzer

In dit onderzoeksrapport wordt eerst een theoretisch kader geschetst waarin het oorspronkelijke waterhuishoudingsplan wordt benoemd en de keuze voor de meest geschikte waterberging wordt behandeld. In het hierop volgende hoofdstuk wordt de onderzoeksmethodiek beschreven. Het vierde hoofdstuk behandelt de ontwerpcriteria voor het dakwatersysteem, de waterberging en de toetsingsuitgangspunten. In hoofdstuk vijf wordt ingegaan op de resultaten uit de toetsing van het dakwatersysteem, in hoofdstuk zes wordt vervolgens de dimensionering van de waterberging behandeld. In het laatste hoofdstuk worden aandachtspunten op het systeem en het beheer en onderhoud benoemd. Tot slot volgen de conclusie, discussie en aanbevelingen van het onderzoek. In een los rapport worden de bijlagen van dit onderzoek weergegeven.

1.7 Publiek

Dit rapport is geschreven in opdracht van Fugro NL Land B.V. Het onderzoek is relevant voor alle gemeenten en waterschappen die te maken hebben met aanpassingen aan de waterhuishouding in gebieden met risico op opbarsten. De gemeente en Gorinchem en Waterschap Rivierenland zijn gebaat bij het resultaat van het onderzoek op de pilotlocatie. Daarnaast is het rapport geschreven voor de begeleiders en beoordelaars van Hogeschool Van Hall Larenstein te Velp en dient het rapport als afstudeerscriptie.

2 THEORETISCH KADER

In het theoretisch kader wordt ingegaan op het oorspronkelijke ontwerp van het watersysteem op de pilotlocatie 'Groote Haar'. Daarna worden bestaande waterbergingssystemen bij verschillende gebruikstypen behandeld. Tot slot wordt de geschikte bergingsmethode en het dakwatersysteem in detail behandeld.

2.1 Oorspronkelijk ontwerp watersysteem 'Groote Haar'

Het terrein 'Groote haar' is gelegen in het noorden van de gemeente Gorinchem. Op dit terrein heeft de gemeente Gorinchem het plan een regionaal bedrijventerrein te ontwikkelen. Door de toenemende verharding op het terrein moet ter compensatie waterberging in open water worden gerealiseerd. In 2016 is daarom voor dit gebied een waterhuishoudingsontwerp gemaakt door flow27, zie bijlage 1. Het wateroppervlak is berekend aan de hand van de hoeveelheid extra verhardoppervlak dat geborgen moet worden binnen een peilstijging van 30 centimeter. Door de brede watergangen bleek in dit watersysteem het opbarstingsrisico te hoog.

Na uitgebreid grondonderzoek en opbarstberekeningen van de watergangbodems is een nieuw ontwerp voor het oppervlaktewatersysteem tot stand gekomen voor het terrein 'Groote Haar' (Fugro NL Land B.V., 2019). Het aangepaste ontwerp van het oppervlaktewatersysteem bestaat uit parallel gelegen watergangen met een breedte variërend tussen 4,7 en 12 meter, zie figuur 6. Onder sommige tracés moet een ballastbed worden aangelegd om opbarsten te voorkomen. Ballastbedden zorgen voor verzwaring en versteviging van de watergang bodem. De dikte van ballastbedden varieert tussen 0,10 tot maximaal 1,00 meter afhankelijk van de locatie, zie bijlage 12. De oppervlakteverdeling van het meest recente waterhuishoudingsplan op basis van de parallel gelegen watergangen is weergegeven, zie tabel 1.



figuur 6. Kaart van het aangepaste oppervlaktewatersysteem ontwerp. Bron: (Fugro NL Land B.V., 2019)

tabel 1. Oppervlakte verdeling waterhuishoudingsplan 2019

Gebieden	Oppervlakte
Uitgeefbaar	367.951 m ²
Bestaand bedrijf	5.974 m ²
Verharding	47.594 m ²
Water (exclusief talud en natuurzone)	60.132 m ²
Waterberging natuurzone (exclusief talud)	3.531 m ²
Groen	181.041 m ²
Totaal oppervlakte	666.223 m²

Het totale terrein heeft een oppervlakte van 66,6 ha en een totaal uitgeefbaar terrein van 36,8 ha, zie tabel. Om de grootte van het terrein te belichten is de 'Groote Haar' vergeleken met de binnenstad van Amsterdam, zie bijlage 2.

2.2 Toepassing van hemelwaterbergingssystemen

Bij de toepassing van hemelwaterbergingssystemen in opbarstingsgevoelige gebieden is het belangrijk dat niet gegraven hoeft te worden in de ondergrond omdat graven het risico op opbarsten vergroot. Infiltreren van hemelwater is niet mogelijk door de slechte infiltratiecapaciteit en de grote stijghoogte van het grondwater in opbarstingsgevoelige gebieden.

Woonwijken, bedrijven en industrie

Veel toegepaste bergingsvoorzieningen in woonwijken en bedrijventerreinen zijn niet geschikt in opbarstingsgevoelige gebieden doordat graven of infiltreren noodzakelijk is. In woonwijken wordt bijvoorbeeld veel gebruik gemaakt van wadi's of infiltratievoorzieningen zoals infiltratiekratten. Op bedrijventerreinen worden bergingsvoorzieningen minder vaak toegepast. Ondergrondse tanks of kelders worden in kleine mate gebruikt bij bedrijven of industrie (Nering Bögel, sd) (Rainproof, 2019).

Glastuinbouw

In de glastuinbouw worden bergingssystemen toegepast om hemelwater te gebruiken als gietwater. Meerdere bergingssystemen worden hiervoor toegepast waarvan een bergingssilo en een foliebassin het meest gangbaar zijn. Deze systemen liggen gedeeltelijk of geheel boven maaiveld. Beide systemen kunnen onder vrijerval functioneren. Waterbergingssilo's bestaan uit een plaatstalen buitenwand met een binnenkant van waterdichte folie. Silo's nemen minder ruimte in dan een foliebassin omdat ze in de hoogte worden gebouwd. Echter hebben bergingssilo's een aantal nadelen;

- beperkte bergingscapaciteit waardoor meerdere silo's benodigd zijn;
- duurder bij grote hoeveelheden water;
- extra gevoelig voor zetting door grote druk op een klein oppervlak;
- de goothoogte is maatgevend voor de hoogte van de silo;
- esthetische inpassing in woonwijken en bedrijventerreinen is nadelig.

Door de nadelige aspecten worden silo's uitgesloten als mogelijk onderdeel van het dakwatersysteem en wordt in dit onderzoek gefocust op foliebassins. Deze hemelwaterbergingsmethode is goed toepasbaar in gebieden met een risico op opbarsten, doordat het graven in de deklaag kan worden beperkt.

2.3 Foliebassin

Een foliebassin is een soort vijver bestaande uit opgeworpen grondwallen en is waterdicht door de toegepaste folie, zie figuur 7 (Albersalligator, 2019). De folie kan bovenop het talud worden ingegraven of achter het talud. De bodem van foliebassins kan onder maaiveldhoogte zijn aangelegd maar ook op het maaiveld (Th.G.L. Aendekerk, 2005).



figuur 7. Foliebassin met instroomvoorziening. Bron: (IMAC, 2019)

Voor het aan- en afvoeren van hemelwater zijn enkele voorzieningen nodig. Een instroomvoorziening zorgt voor de voeding van het foliebassin en is het uiteinde van het dakwatersysteem. De voorziening moet boven het maximale peil worden geplaatst om uitstroom te garanderen. Voor het gebruik als hemelwaterberging moet het water vertraagd worden afgevoerd naar nabij gelegen oppervlaktewater. Dit kan door een vaste overloop aan te leggen in de grondwal van het bassin. Om te voorkomen dat het foliebassin overstroomt dient een overstortvoorziening aanwezig te zijn om beschadiging aan het foliebassin te voorkomen. Een noodvoorziening is gelegen op het maximum waterpeil van de berging.

Aandachtspunten

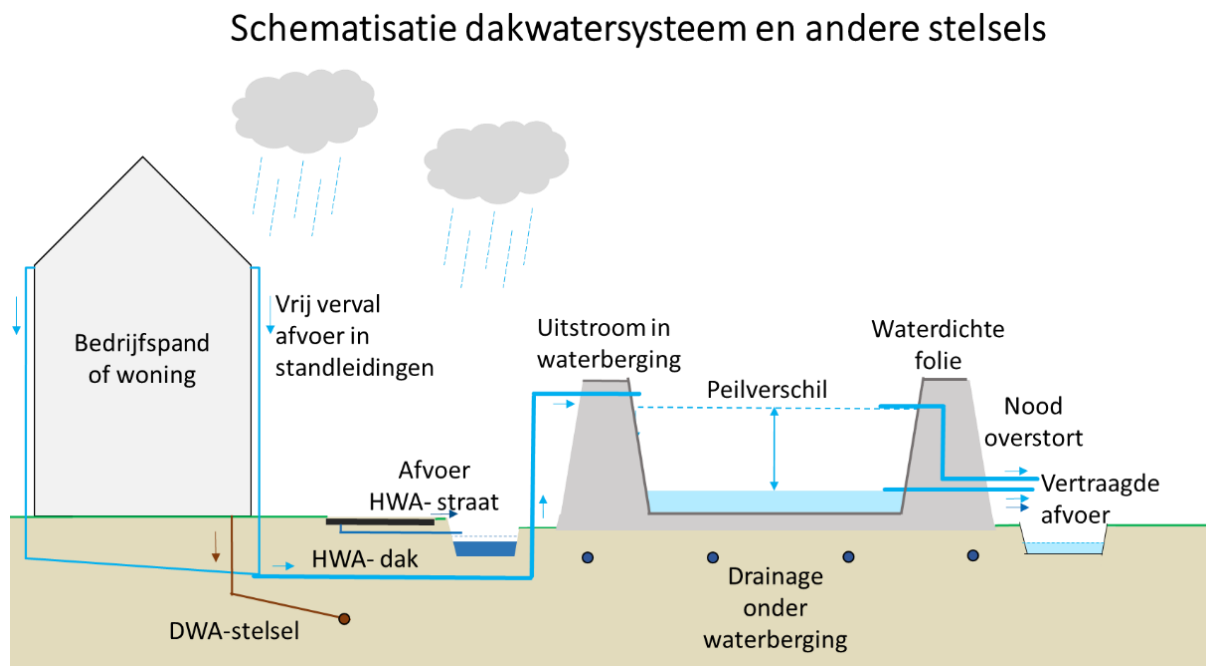
Grondverbetering onder de bassinbodem moet worden toegepast bij een hoog organisch stofgehalte van de grond om biogasontwikkeling onder de folie te voorkomen en ten behoeve van de draagkracht van de bodem. Als de kans op gasontwikkeling bestaat moeten ontgassingspijpjes onder de berging worden aangebracht. Bij minder draagkrachtige bodem dient voorbelasting worden toegepast (Th.G.L. Aendekerk, 2005). Organische stof in de grondwallen heeft effect op de stabiliteit van de kering. Bij een hoge grondwaterstand dient drainage onder het foliebassin te worden aangelegd, om opdrijven van de folie te voorkomen.

Op 12 maart 2019 is een bezoek gebracht aan glastuinbouwbedrijf Boer & de Hoedt in Ridderkerk. Hier is een foliebassin bekeken en een interview gehouden met de eigenaar, zie bijlage 7. Bij dit bedrijf wordt volgens hetzelfde principe als het onderzochte systeem water van dakoppervlak afgevoerd naar een foliebassin. In bijlage 7 is het interview uitgewerkt. Uit het bezoek is naar voren gekomen dat het systeem normaliter functioneert. Bij extreem hevige neerslag kan het leidingstelsel echter niet snel genoeg afvoeren waardoor water over de goten stroomt. Volgens de heer Boer komt dit doordat de afvoer in het nog gevulde stelsel niet direct opgang komt.

2.4 Dakwatersysteem

Het dakwatersysteem dat wordt behandeld in dit onderzoek bestaat uit regenpijpen aangesloten op een leidingstelsel dat uitstroomt in een foliebassin, zie figuur 8. Het dakwatersysteem werkt onder vrijval. Door druk in de regenpijpen kan het leidingstelsel zonder afschot worden aangelegd. Bij het gebruik van een dakwatersysteem is het noodzakelijk dat het systeem volledig waterdicht wordt aangelegd en dat regenpijpen, koppelstukken, riolering en rioleringsputten bestand zijn tegen druk. Er bestaan vacuüm hemelwaterafvoersystemen voor gebouwen met een groot dakoppervlak. Deze systemen bestaande uit PE kunststof zijn bestand en berekend op druk en daardoor toepasbaar voor het dakwatersysteem. Het rioleringsstelsel moet ook op druk berekend zijn. Drukleidingen zijn beschikbaar in PVC of PE kunststof tot een diameter van circa 600 á 700 mm. Bij een grotere leidingdiameter moet gebruik gemaakt worden van betonnen of GVK (glasvezelversterkte kunststof) leidingen. Bij druk op het rioleringsstelsel moet worden voorkomen dat putdeksels lekken of omhoog komen en daarom moeten geknevelde putten worden toegepast. De meeste putdeksels zijn bestand tegen een druk van 10 meter waterkolom maar dienen voor toepassing in het dakwatersysteem vastgeschroefd of vast gelast te worden (DYKA, 2019).

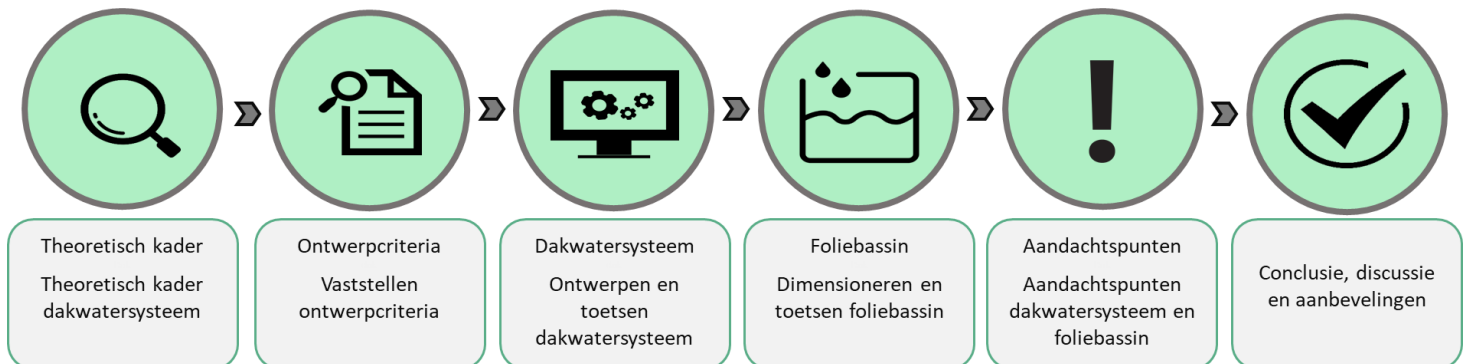
Naast het dakwatersysteem zijn ook een DWA stelsel en een HWA stelsel voor straatoppervlak nodig. Het HWA voor straatoppervlak voert hemelwater afkomstig van straatoppervlak af naar het oppervlaktewater. Het DWA stelsel voert vuilwater af richting een rioolwaterzuivering.



figuur 8. Schematische weergave dakwatersysteem met foliebassin en andere leidingstelsels. Bron: Eigenwerk

3 METHODIEK

In dit hoofdstuk wordt de gebruikte methodiek behandeld. De resultaten en conclusies die in dit rapport worden gepresenteerd zijn voortgekomen uit de in dit hoofdstuk beschreven methodiek. In figuur 9 is de hoofdstukindeling met de bijbehorende acties weergegeven die verder in dit hoofdstuk behandeld worden.



figuur 9. Hoofdstukindeling en bijbehoren acties. Bron: Eigenwerk

3.1 Theoretisch kader

In het theoretisch kader is achtergrond informatie behandeld over het dakwatersysteem, het foliebassin en de pilotlocatie 'Groote Haar'. De informatie is verkregen doormiddel van een literatuurstudie. Voor deze studie zijn bronnen van internet geraadpleegd en zijn rapporten van Fugro gebruikt. Naast de uitgevoerde literatuurstudie is een veldbezoek gebracht en is een interview gehouden bij een glastuinbouwbedrijf. Het resultaat van de literatuurstudie is samengevat in een schematische weergave van een bergingssysteem in opbarstingsgevoelige gebieden.

3.2 Ontwerpcriteria

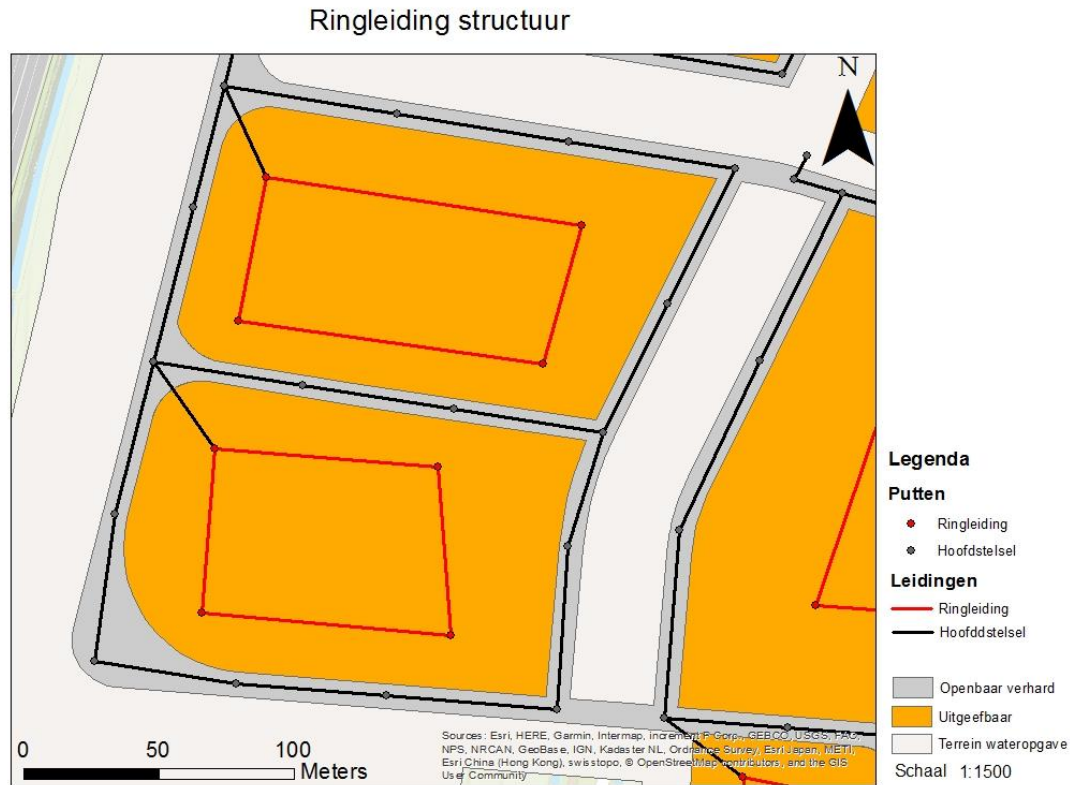
De ontwerpcriteria voor de toetsing van het dakwatersysteem en het foliebassin zijn gebaseerd op literatuuronderzoek en eigen inzicht. Het dakwatersysteem moet voldoen aan de gestelde eisen en randvoorwaarden. Doordat weinig informatie bekend is over het dakwatersysteem en specifiek over de toetsing op de pilotlocatie zijn aannames gedaan. Het dakwatersysteem is op grote lijnen getoetst en niet specifiek voor pilotlocatie 'Groote Haar'. De aannames zijn gedaan op uitersten waardoor het dakwatersysteem getoetst is aan kritische omstandigheden.

3.3 Dakwatersysteem

Het dakwatersysteem is hydraulisch getoetst doormiddel van een modeltoetsing in het software pakket Infoworks ICM SE. Het in de berekeningen gebruikte hydraulische model bestaat uit het hoofdrioleringsstelsel van het dakwatersysteem en een ringleidingstelsel in het uitgeefbaar terrein van de pilotlocatie. In de ringleiding zijn de regenpijpen gesimuleerd om de drukhoogte te bepalen. Doormiddel van de modeltoetsing is de technische haalbaarheid getoetst bij de verschillende bebouwingsscenario's.

Ringleiding en ringputten

De ringleiding is een sterk versimpelde weergave van de detail leidingstructuur in het uitgeefbaar terrein. Door de ringleidingputten zijn per uitgeefbare kavel de regenpijpen gesimuleerd, zie figuur 10. Op basis van de uitgangspunten met betrekking op de regenpijpen is het totale natte oppervlak aan regenpijpen verrekend naar het aantal aanwezige ringputten, zie paragraaf 4.3.5. Het aantal regenpijpen op een uitgeefbare kavel is bepaald door het kaveloppervlak te delen door het maximaal afvoerend oppervlak per regenpijp. Vervolgens is het natte oppervlak van de regenpijp vermenigvuldigd met het aantal regenpijpen en gedeeld door het aantal ringleidingputten op de uitgeefbare kavel. Op één ringleidingput staat door deze berekening het natte oppervlak van een groot aantal regenpijpen. Hierdoor kan de waterhoogte in de regenpijpen worden gesimuleerd in het hydraulische model zonder dat de gedetailleerde kavelstructuur van het terrein bekend is. In bijlage 4 zijn de uitkomsten van het nat oppervlak per ringleidingput weergegeven.



figuur 10. Vergrootte weergave ringleidingstructuur. Bron: Eigenwerk

Afvoerend oppervlak

Het instromende water in het hydraulische model wordt verdeeld over de ringleidingputten binnen het uitgeefbaar terrein. Doormiddel van Thiessen polygonen is het oppervlak aan uitgeefbaar terrein verdeeld over de ringleidingputten. Per scenario wordt een ander percentage aan dakoppervlak afgevoerd op de ringleidingputten. Het straatoppervlak komt niet tot afvoer in het dakwatersysteem doordat een afvoerterij van 10 meter is ingesteld voor het straatoppervlak. Het straatoppervlak wordt afgevoerd naar het HWA stelsel, dit is niet meegenomen in de hydraulische toetsing. In bijlage 5 is de Thiessen verdeling over de ringleidingputten weergegeven.

Modeltoetsing

Vanuit de maximale uitgangspunten zijn met het hydraulische model per scenario de minimale leidingdiameters berekend waarbij wordt voldaan aan de maximale waterhoogte in de regenpijpen. De maximale leidingdiameter bedraagt 1000 mm. Voor de toetsing zijn enkel de diameters van de horizontale rioleringsleidingen aangepast omdat het effect van de regenpijp diameters verwaarloosbaar bleek, zie bijlage 7. De volgende buisdiameters zijn gebruikt voor de hydraulische toetsing van het dakwatersysteem:

- | | |
|------------------------------|-------------------------------|
| ▪ 250 mm (minimale diameter) | ▪ 600 mm |
| ▪ 300 mm | ▪ 700 mm |
| ▪ 400 mm | ▪ 800 mm |
| ▪ 500 mm | ▪ 1000 mm (maximale diameter) |

De leidingdiameters hebben effect op de diepteligging van het stelsel. Nadat de buisdiameters zijn berekend is het stelsel is de juiste diepte bepaald wat vervolgens effect heeft op de waterhoogte in de regenpijpen.

Haalbare scenario's

In dit rapport worden de resultaten van vier bebouwingsscenario's behandeld; bedrijventerrein met veel dakoppervlak (Bv), bedrijventerrein met weinig dakoppervlak (Bw), woonwijk met veel dakoppervlak (Wv) en woonwijk met weinig dakoppervlak (Ww), zie paragraaf 4.3.2. voor de bepaling van de bijbehorende bebouwingspercentages. Aanvankelijk zijn meer scenario's getoetst waarbij gevarieerd is in de goothoogte bij bedrijventerreinen; drie meter voor Blv en Blw en acht meter voor Bhv en Bhw. De scenario's voor het bedrijventerrein met een goothoogte van drie meter (Blv en Blw) bleken technisch niet haalbaar doordat bij de maximale leidingdiameters van 1000 mm niet voldoende afvoercapaciteit beschikbaar was om te voldoen aan de maximale waterhoogte in de regenpijpen. Deze verworpen scenario's zijn verder behandeld in bijlage 6.

3.4 Foliebassin

Het foliebassin is gedimensioneerd op basis van afvoernormen afkomstig van Waterschap Rivierenland. De toetsing van de bassindimensies is gedaan doormiddel van waterbalansen voor een T=100+10% situatie en jaarreeksen.

Dimensionering foliebassin

De eerste dimensionering is uitgevoerd op basis van de compensatie voor verhard oppervlak voor technische voorzieningen en de geschatte foliebassinzonering. Voor elk haalbaar scenario uit de dakwatersysteemoetsing zijn de dimensies bepaald. Op basis van de resultaten behandeld in bijlage 13 is de geschatte foliebassinzonering aangepast naar de definitieve zonering behandeld in paragraaf 4.3.4. De aangepaste bassindimensies zijn getoetst doormiddel van waterbalansen.

Waterbalans

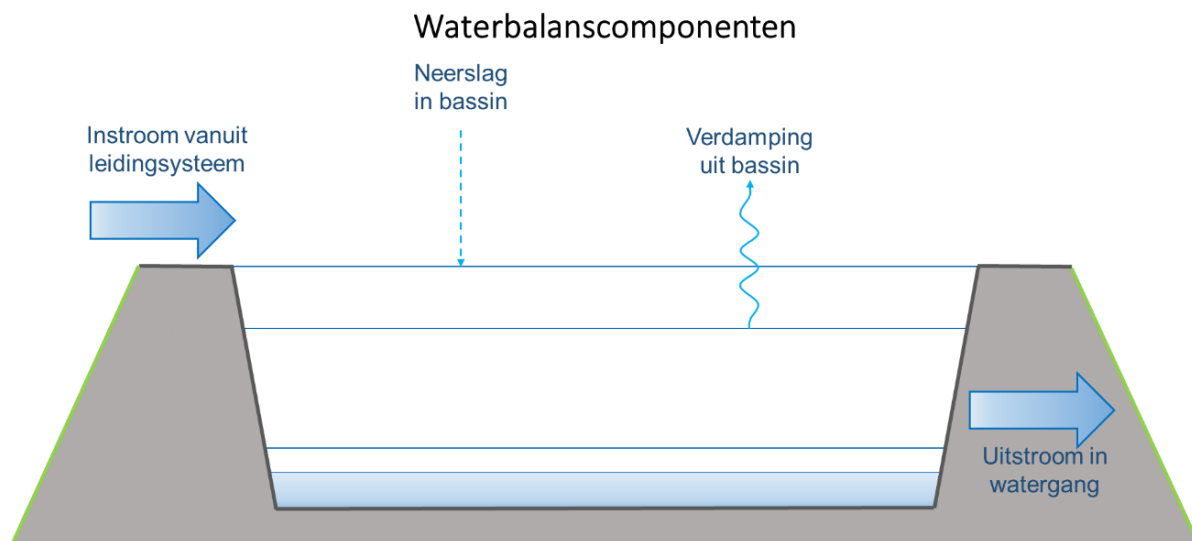
Het foliebassin is getoetst op een T=100+10% neerslagsituatie en een langdurige toetsing van 365 dagen voor de jaren 1998 en 2018 met en zonder WH klimaatscenario. Voor de neerslagsituaties zijn waterbalansen gemaakt. De beginvulling van het foliebassin staat op de uitstroomhoogte. Doormiddel van een Als- dan functie in Excel is de uitstroom in de waterbalans meegenomen. Boven de uitstroomhoogte wordt het instromende water afgevoerd tot een maximum van 1,5 l/s/ha. Onder de uitstroomhoogte wordt geen water afgevoerd. Boven de overstort hoogte wordt 1,5 l/s/ha afgevoerd zodat de maximale waterstand inzichtelijk is in het geval dat geen overstort aanwezig is.

De waterbalansen zijn gepresenteerd in een grafiek. De grafiek met de waterhoogte in het foliebassin is bij elk scenario gelijk doordat de verhouding van het instromende water en de bassindimensies bij ieder scenario gelijk zijn. Dit is veroorzaakt door het gebruik van dezelfde compensatienorm en zonering in alle scenario's. Per scenario verschilt het volume in de berging door het verschil in aangesloten dakoppervlak, deze grafieken zijn opgenomen in een bijlage.

Componenten waterbalans

De waterbalansen voor de jaartoetsing van de foliebassindimensies bestaan uit vier componenten, zie figuur 11. Het instroomcomponent is afkomstig van de resultaten van het hydraulische model. Naast de instroom wordt ook de neerslag dat direct in het foliebassin valt meegenomen, hiervoor is het oppervlak aan de binnenkant van de grondwalkruin genomen. De uitstroom uit het foliebassin bestaat uit de vertraagde afvoer naar het oppervlaktewater en de verdamping uit het bassin. De verdamping is gebaseerd op de referentieverdamping van het KNMI. Voor het verdampingsoppervlak is het maximale peil genomen, doordat de bergingszone in het foliebassin niet altijd gevuld is wordt de verdamping bij deze methode overschat.

Voor de T=100+10% toetsing wordt de verdamping uit het foliebassin niet meegenomen doordat wordt gerekend met een extreme neerslagsituatie en de verdamping te verwaarlozen is. Daarnaast zijn geen verdampingsgegevens beschikbaar.



figuur 11. Waterbalanscomponenten van foliebassin. Bron: Eigenwerk

3.5 Aandachtspunten

Aandachtspunten met betrekking tot het dakwatersysteem en het foliebassin zijn besproken met het waterschap Rivierenland en de gemeente Gorinchem. Deze partijen zijn betrokken bij de oorspronkelijke waterhuishouding op het pilotterrein 'Groote Haar'. Aandachtspunten met betrekking op het beheer en onderhoud en de algehele toepasbaarheid zijn in een 'brainstormsessie' besproken met beide partijen. De conclusies die getrokken zijn uit deze gesprekken kunnen bij andere partijen verschillen doordat anders tegen een dergelijk systeem kan worden aangekeken.

4 ONTWERPCRITERIA

In dit hoofdstuk worden de ontwerpcriteria behandeld die van toepassing zijn op het dakwatersysteem en het foliebassin. Daarna worden uitgangspunten behandeld die specifiek van toepassing zijn op de toetsing van het dakwatersysteem op pilotlocatie 'Groote Haar'.

4.1 Eisen

In deze paragraaf worden algemene eisen behandeld behorend bij het dakwatersysteem. Daarnaast worden specifieke eisen behandeld met betrekking op pilotlocatie 'Groote Haar'.

4.1.1 Leidingstelsels

Gemeente Gorinchem heeft nog geen gemeentelijk rioleringsplan opgesteld voor de pilotlocatie 'Groote Haar'. Eisen voor het dakwatersysteem en het HWA stelsel voor straatoppervlak zijn afkomstig van Rioned (Leidraad riolering, 2008). De minimale eisen aan de leidingstelsels zijn weergegeven in bijlage 8.1.

4.1.2 Toetsingscriteria water afvoer

Voor de ontwikkeling van het terrein 'Groote Haar' zijn eisen opgesteld met betrekking tot de waterhuishouding van het gebied. Het terrein krijgt een eigen beheerpeil binnen het bemalingsgebied. Extra verhard oppervlak moet worden gecompenseerd. Hiervoor geldt bij open water een norm van 436 m³ per extra hectare verhard oppervlak. In open water moet dit gecompenseerd worden binnen een peilstijging van 30 centimeter. Vanuit het waterschap Rivierenland geldt voor technische constructies een norm van 664 m³ per extra hectare verhard oppervlak (Dagelijks bestuur waterschap Rivierenland, 2009).

De maximale afvoernorm van het terrein 'Groote Haar' naar het bemalingsgebied bedraagt 1,5 l/s/ha. Deze afvoernorm geldt ook voor de waterberging tot T=100+10% neerslagsituatie, bij een extremere neerslagsituatie mag meer water worden afgevoerd. Het dakwatersysteem moet voldoen aan een neerslaggebeurtenis van T=10+10%, het foliebassin moet voldoen aan T=100+10% (Dagelijks bestuur waterschap Rivierenland, 2009).

Naast de afvoernormen hanteert het Waterschap Rivierenland een maximale ledigingstijd van 48 tot 96 uur voor technische constructies (Dagelijks bestuur waterschap Rivierenland, 2009).

4.2 Randvoorwaarden

Enkele randvoorwaarden zijn van toepassing bij het realiseren van het dakwatersysteem. Randvoorwaarden geldend voor het dakwatersysteem hebben betrekking op wet- en regelgeving en enkele ontwerpvoorwaarden.

4.2.1 Wet- en regelgeving

Voor het plaatsen van een waterberging uitgevoerd als foliebassin dient een omgevingsvergunning en een watervergunning aangevraagd te worden bij het omgevingsloket. Deze vergunningen vallen onder de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (InfoMil, 2019).

Het Waterschap Rivierenland en de gemeente Gorinchem hebben de afspraak dat al het beheer aan stedelijk oppervlaktewater door het waterschap wordt uitgevoerd (Flow27, 2016). Het gemeentelijk rioleringsplan voor bedrijventerrein 'Groote Haar' wordt in een later stadium opgesteld door de gemeente Gorinchem (Gemeente Gorinchem, 2019). De wet milieubeheer vormt hier de basis voor.

4.2.2 Ontwerpvoorwaarden peilen

In het eerste waterhuishoudingsplan van terrein 'Groote Haar' zijn ontwerppeilen van het gebied vastgelegd (Flow27, 2016). Deze peilen staan vast en hebben effect op het ontwerp van het dakwatersysteem. De ontwerppeilen zijn weergegeven in tabel 2.

tabel 2. Ontwerppeilen 'Groote Haar'. Bron: (Flow27, 2016)

Gebruikstype	Ontwerppeil t.o.v. NAP
Huidig maaiveld	-1,00 m
Uitgeefbaar terrein	-0,16 m
Openbaar verhard terrein	-0,46 m
Groenstroken	-1,00 m
Winterpeil oppervlaktewater	-1,56 m
Zomerpeil oppervlaktewater	-1,46 m
Bodem watergang	-2,46 m

Voor de ligging van het leidingstelsel is naast de ontwerppeilen van het terrein ook de hoogteligging van duikers van belang. In het gebied ligt een gasleiding van de Gasunie, deze leiding dient te blijven liggen en het maaiveld rondom de gasleiding mag niet worden opgehoogd. In bijlage 8.2 zijn de hoogtes van duikers en de gasleiding weergegeven (Fugro NL Land B.V., 2019) (Fugro NL Land B.V., 2017).

4.3 Uitgangspunten

Voor het onderzoek naar de technische haalbaarheid van het dakwatersysteem zijn verschillende uitgangspunten gekwantificeerd. De uitgangspunten worden gebruikt voor de hydraulische toetsing van het dakwatersysteem en de dimensionering van het foliebassin.

4.3.1 Verkavelingsstructuur

De verkavelingsstructuur van pilotlocatie 'Groote Haar' in het huidige waterhuishoudingsplan is niet definitief, voor de ligging van het dakwatersysteem in het model en de bepaling van het dakoppervlak per bebouwingsscenario is het verder detailleren van de verkavelingsstructuur benodigd. Om deze reden is de verkavelingsstructuur aangepast, zie figuur 12. Dit is gedaan voor het gebied waarvan de waterhuishouding ontworpen moet worden, hierna de wateropgave genoemd.

Aangepaste verkavelingsstructuur 'Groote Haar'



figuur 12. Aangepaste verkavelingsstructuur 'Groote Haar'. Bron: Eigenwerk

Het uitgeefbaar terrein in de aangepaste verkavelingsstructuur geldt als basis voor de oppervlakteverdeling van het percentage dakoppervlak in de modeltoetsing. In tabel 3 zijn de behorende oppervlaktes van de nieuwe indeling weergegeven.

tabel 3. Oppervlakteverdeling aangepaste verkavelingsstructuur. Bron: Eigenwerk

Landgebruik	Oppervlakte (hectare)	Oppervlakte (%)
Totaal wateropgave	61,7	100
Uitgeefbaar terrein	43,1	70
Openbaar verhard	6,2	10
Onverhard (groen en watergangen)	12,4	20

Met de aangepaste verkavelingsstructuur kan worden voldaan aan uitgangspunten afkomstig van Rioned voor de mate van verharding op bedrijventerreinen en in woonwijken (Stichting Rioned, 2004). Hierbij geldt dat bij een gebruiksbestemming als bedrijventerrein 80% van het terrein verhard is en bij een gebruiksbestemming als woonwijk 50% verhard is. Op de pilotlocatie 'Groote haar' bedraagt de totale verharding dan 49,4 hectare bij bedrijventerreinen en 30,8 hectare bij woonwijken. De verkavelingsstructuur is zo aangepast dat als al het uitgeefbaar terrein verhard is totaal 80% van de wateropgave bestaat uit verhard terrein. Zie bijlage 9 voor de onderbouwing van de verkavelingsstructuur.

4.3.2 Bebouwingsscenario's

In deze subparagraaf worden de bebouwingsscenario's voor de toetsing van het dakwatersysteem en het foliebassin gekwantificeerd. De scenario's variëren in gebruiksbestemming, verhardings- en bebouwingsintensiteit en goothoogte. In tabel 4 staan de belangrijkste uitgangspunten voor de toetsing van het dakwatersysteem. De toelichting op de tabel volgt hieronder.

tabel 4. Uitgangspunten bebouwingsscenario's

Scenario	Daktype	Dakoppervlak van uitgeefbaar terrein (hectare)	Goothoogte bebouwing (m)
Bv*	Plat	42,0	8
Bw*	Plat	30,8	8
Wv*	Hellend	24,7	3
Ww*	Hellend	18,5	3

*B = Bedrijventerrein *W= Woonwijk *v= Veel dakoppervlak *w= Weinig dakoppervlak

Gebruiksbestemming

Het type dak is van invloed op de hoeveelheid water dat tot afvoer komt. Voor bedrijventerreinen wordt uitgegaan van platte daken omdat de meeste bedrijfshallen, fabrieksgebouwen en kantoorgebouwen zijn voorzien van een plat dak. Bij platte daken wordt gerekend met een afvoerterlies van 0,002 meter (Infoworks ICM 9.5 (Sewer Edition), 2019). In woonwijken wordt uitgegaan van hellende daken omdat de meeste woningtypen een hellend dak hebben. Bij hellende daken wordt gerekend zonder afvoerterlies (Infoworks ICM 9.5 (Sewer Edition), 2019).

Goothoogte

De goothoogte is van belang voor de maximale waterhoogte in de regenpijpen. Bij bedrijventerreinen wordt voor bedrijfspanen een goothoogte van 8 meter aangenomen, dit is de kleinste maximale hoogte uit het bestemmingsplan 'Groote Haar' (gemeente Gorinchem, 2017) .

Door de aanwezigheid van carports en aanbouwen in woonwijken is de laagste goothoogte maatgevend. De goothoogte die voor woningen wordt aangenomen bedraagt 3 meter (Groothuisbouw, sd).

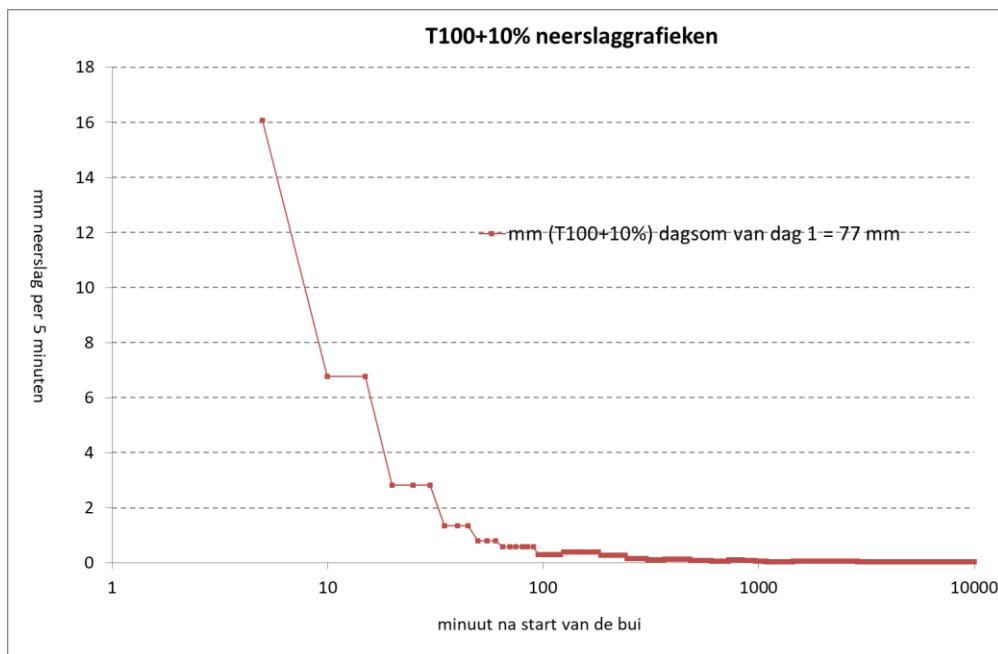
Verhardings- en bebouwingsintensiteit

Voor de toetsing van het dakwatersysteem wordt gevarieerd in de hoeveelheid dakoppervlak. De verdeling van het dakoppervlak is gebaseerd op standaard percentages dakoppervlak en eigen interpretatie, zie tabel 4 (Gemeente Amsterdam, 2019). De bepaling van de verdeling dakoppervlak is weergegeven in bijlage 10.

4.3.3 Meteorologie

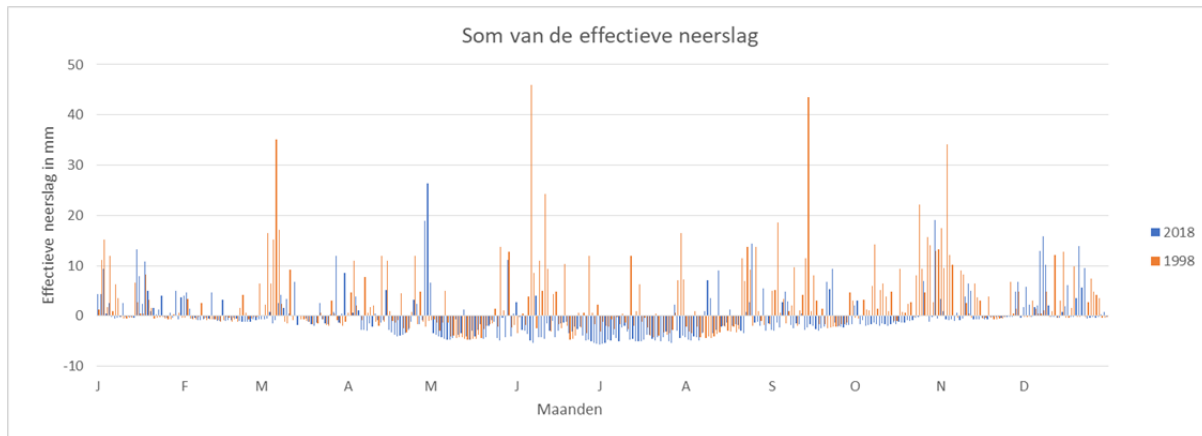
In bijlage 8.1 staat vermeld dat HWA stelsels moeten voldoen aan ontwerpbuien L8 en L9. De buien hebben een herhalingstijd van respectievelijk 2 en 5 jaar. Omdat bij het dakwatersysteem water tot boven maaiveld in de regenpijpen staat, is een veiligheidsmarge gehanteerd door te ontwerpen op een herhalingstijd van 10 jaar. Daarom wordt getoetst aan ontwerpbui L10 van Rioned (Stichting Rioned, 2004). Zie bijlage 11 voor de neerslagverdeling van de L10 bui.

Het foliebassin wordt door waterschap Rivierenland gezien als een technische voorziening, daarom moet deze voldoen aan een $T=100+10\%$ situatie. Voor de toetsing wordt een $T=100+10\%$ van waterschap Rivierenland gebruik met een totale neerslag som van 77mm in één dag. Het verloop is weergegeven per minuut waarbij de x-as een logaritmische schaal is, zie figuur 13.



figuur 13. Grafiek van de $T=100+10\%$ neerslagsituatie. Bron: (Waterschap Rivierenland, 2019)

Het dakwatersysteem en het foliebassin worden ook over jaarperiodes getoetst op droogval en inundatie. Hiervoor worden neerslaggegevens van de jaren 1998 en 2018 per dag gebruikt, zie figuur 14. Het jaar 2018 wordt gekenmerkt door langdurig aanhoudende droogte terwijl het jaar 1998 wordt gekenmerkt door een langdurige natte periode. Om het veranderende klimaat mee te nemen in dit onderzoek wordt van beide jaren het KNMI WH klimaatscenario getoetst in een tijdsperiode tot 2085. Het WH klimaatscenario is het meest extreme scenario waaraan getoetst kan worden en vergroot extremen in droogte en neerslagpieken. In bijlage 11 is de onderbouwing van de klimaatscenario's weergegeven (KNMI, 2015).



figuur 14. Som van de effectieve neerslag in de jaren 1998 en 2018. Bron: (KNMI, z.d.)

4.3.4 Foliebassin

Voor de toetsing van het foliebassin zijn uitgangspunten vastgesteld met betrekking tot de locatie en opbarsten, algemene ontwerpuitgangspunten en zonering van het foliebassin.

Locatie en opbarsten

De locatie van het foliebassin in dit onderzoek ligt ten noorden van het wateropgave gebied op de locatie van een toekomstig windturbine park, zie figuur 15. Dit is een ongunstige situatie voor het foliebassin door de hoge mate van opbarstingsgevoeligheid en de grote afstanden waarover het dakwater moet worden afgevoerd. Als het foliebassin kan voldoen op deze sterk opbarstingsgevoelige locatie kan het ook voldoen op een locatie met een lager risico op opbarsten. Het dakwatersysteem kan op uitersten worden getoetst bij lange stelsellengten wat hydraulisch het meest ongunstig is.

Uit berekeningen volgens NEN 9997 blijkt dat op deze locatie zonder ontgraving al opbarsten plaatsvindt. Dit heeft als gevolg dat het foliebassin geheel op maaiveld moet liggen en niet gedeeltelijk ingegraven kan worden, zie bijlage 12 voor de berekeningsuitkomsten (Fugro NL Land B.V., 2019).

Locatie foliebassin



figuur 15. Kaart met de locatie van het foliebassin. Bron: Eigenwerk

Ontwerputgangspunten foliebassin

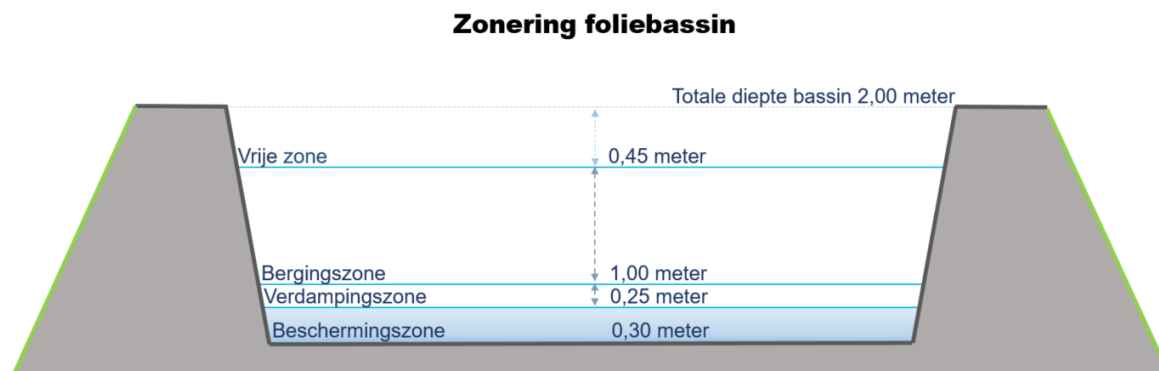
De dimensionering van het foliebassin wordt uitgevoerd aan de hand van een aantal standaard ontwerputgangspunten, zie tabel 5. In de dimensionering is uitgegaan van een vierkant bassin. De weergegeven uitgangspunten gelden bij grondwallen met kleigrond als grondmateriaal. Als zand wordt gebruikt is het binnentalud minimaal 1:2. Door de folie worden de taluds versterkt. Grondsoorten met veel organisch materiaal worden afgeraden voor het gebruik in grondwallen omdat de stabiliteit van de grondwallen afneemt (Fugro NL Land B.V., 2019).

tabel 5. Ontwerputgangspunten van het foliebassin. Bron: (Fugro NL Land B.V., 2019)

Ontwerputgangspunten Foliebassin	
Bassin vorm	Vierkant
Binnentalud	1:1
Buitentalud	1:2
Kruinbreedte grondwal	1 meter
Grondsoort grondwal	Klei
Maximale bodemdiepte	-1,00 meter
Foliemateriaal	EPDM >1 mm

Zonering foliebassin

Het foliebassin is verdeeld in verschillende zones, zie figuur 16. De totale diepte van het foliebassin bedraagt 2,00 meter. Deze diepte is aangehouden met het oog op zetting en de ruimtelijke inpassing in een bedrijfs- of woonomgeving. Door de diepte van de vrijezone, verdampingszone en de beschermingszone bedraagt de bergingszone 1,00 meter. Hierdoor is het ruimtegebruik van het foliebassin lager dan het oppervlaktewater waar een bergingszone van 0,3 meter wordt gehandhaafd. Verdere uitleg van de zonering is opgenomen in bijlage 13 (Provincie Noord Holland, 2015).



figuur 16. Zonering van het foliebassin. Bron: Eigenwerk

4.3.5 Dakwatersysteem

In deze subparagraaf worden uitgangspunten behandeld ten aanzien van het dakwatersysteem. Ingegaan wordt op de maximale leidingdiameters, de diepteligging van het dakwatersysteem en de regenpijpen.

Maximale leidingdiameter

Naast de behandelde minimale eisen aan het leidingstelsel worden maximale leidingdiameters aangenomen voor het dakwatersysteem. Door het hoge risico op opbarsten is aangenomen dat de maximale diameter niet groter mag zijn dan 1000 mm. Doordat onder het dakwatersysteem het DWA-stelsel met afschot komt te liggen, neemt de diepteligging toe waardoor bij de aanleg van leidingstelsels het opbarstingsrisico sterk vergroot wordt. Als uit de toetsing blijkt dat het systeem bij bepaalde scenario's niet voldoet met leidingen van 1000 mm wordt het scenario technisch niet haalbaar geacht.

Diepte ligging stelsel

Het dakwatersysteem en het HWA stelsel voor straatoppervlak komen op gelijke hoogte te liggen. Doordat in beide stelsels geen afschot aanwezig is kan gebruik worden gemaakt van kruisputten als de stelsels kruisen. De reden voor deze aanpak is om te voorkomen dat de rioleringsstelsels te diep komen te liggen. Minder diepgelegen rioleringsstelsels is gunstig bij de aanleg van leidingstelsels in een slappe deklaag. Bij diep aan te leggen rioleringsstelsels moet anders een kostbare spanningsbemaling worden toegepast om te voorkomen dat tijdens de aanleg de deklaag opbarst. In tabel 6 is de hoogteligging weergegeven van het dakwatersysteem bij de minimale leidingdiameter en de maximale leidingdiameter.

tabel 6. Hoogteligging dakwatersysteem op pilotlocatie 'Grote Haar'. Bron: (Fugro NL Land B.V., 2019) en eigenwerk

Hoogteligging dakwatersysteem	B.o.b. bij $\varnothing 250$ in m t.o.v. NAP	B.o.b. bij $\varnothing 1000$ in m t.o.v. NAP
Normale ligging	-1,92	-2,79
Ligging onder watergang	-3,22	-4,09
Ligging onder duiker	-3,02	-3,89
Ligging onder gasleiding	-3,10	-3,97
Ligging bij uitstroom	1,000	1,000

Regenpijpen

Regenpijpen zijn onderdeel van het dakwatersysteem. In tabel 7 zijn de aannames opgenomen met betrekking op regenpijpen. Het maximaal af te voeren oppervlak verschilt per bebouwingstype en is afhankelijk van het daktype en de regenpijpdiameter (Wavin Nederland B.V., 2017). Voor extra veiligheid wordt 0,30 meter waking ten opzichte van de bovenrand van de regenpijp aangehouden bij een Rioned L10 bui. Zie bijlage 4.

tabel 7. Uitgangspunten met betrekking op de regenpijpen. Bron: (Wavin Nederland B.V., 2017) en eigenwerk

Uitgangspunten	Bedrijventerrein	Woonwijk
Regenpijpdiameter	100 mm	100 mm
Daktype	Plat	Hellend
Maximaal af te voeren dakoppervlak	525 m ²	395 m ²
Waking bovenkant regenpijp	0,30 m	0,30 m
Maximale stijghoogte bij L10 bui in regenpijp	7,54 m t.o.v. NAP	2,54 m t.o.v. NAP

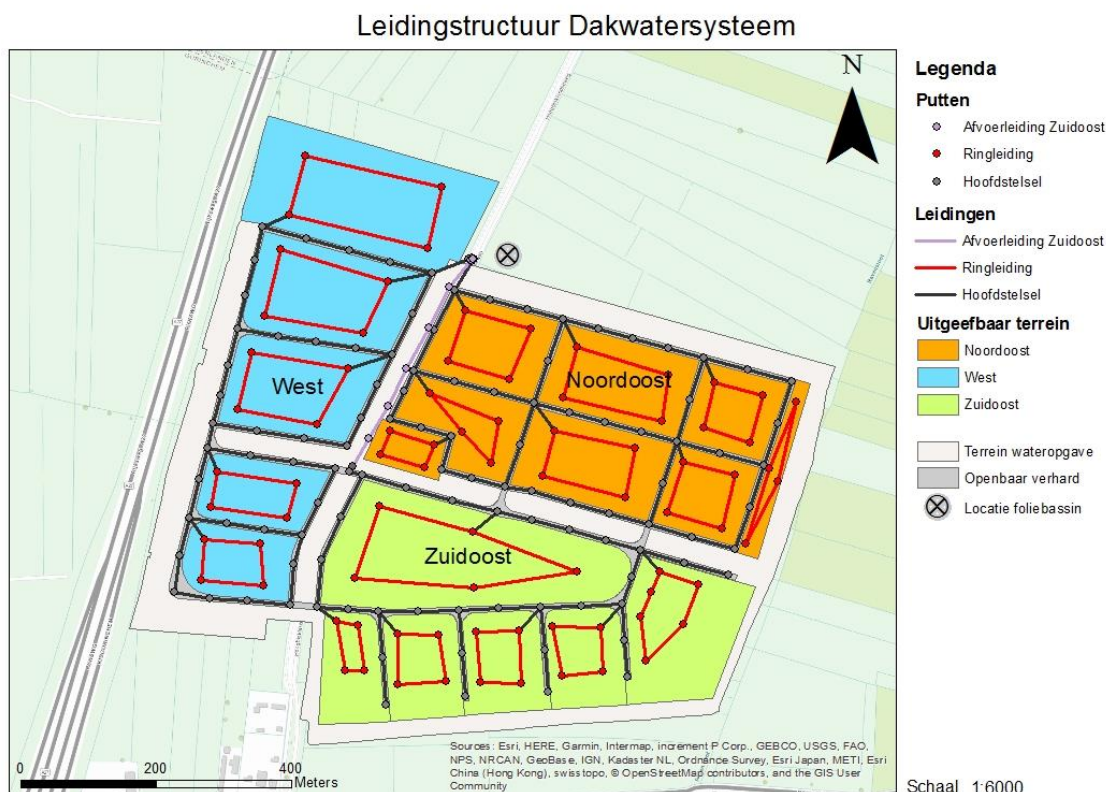
5 DAKWATERSYSTEEM

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de hydraulische haalbaarheid van het dakwatersysteem. Het ontwerp van het hydraulisch getoetste leidingstelsel wordt eerst behandeld gevolgd door de toetsingsresultaten van de vier haalbare bebouwingsscenario's. De resultaten die worden behandeld in dit hoofdstuk zijn verkregen door de in paragraaf 3.3 behandelde toetsingsmethode.

5.1 Ontwerp

In deze paragraaf wordt ingegaan op de definitieve leidingstructuur van het dakwatersysteem dat gebruikt is voor de hydraulische toetsing.

In figuur 17 is het hoofdstelsel en het ringleidingstelsel van het dakwatersysteem zoals opgenomen in het hydraulische model weergegeven. Het hoofdstelsel ligt geheel onder de openbare verharding. Na de eerste berekeningen is het dakwatersysteem verdeeld in drie deelgebieden; West, Noordoost en Zuidoost. Het aangesloten dakoppervlak in de berekeningen bleek te groot om het dakwater via één leidingstelsel af te kunnen voeren naar het foliebassin. De afvoercapaciteit van het systeem blijkt onvoldoende bij leidingdiameters van 1000 mm om te voldoen aan de maximale waterhoogte, zie bijlage 6.2. Uit vervolgberekeningen is gebleken dat bij het gebruik van de drie deelgebieden de waterafvoer van deelgebied Zuidoost werd belemmerd door de afvoerleiding richting het foliebassin, zie bijlage 6.3. Bij de gebruikte hoeveelheid dakoppervlak en leidingdiameters van 1000 mm blijkt het niet mogelijk om al het dakwater af te voeren richting de locatie van het foliebassin in het noorden van de pilotlocatie. Daarom is voor de vervolgttoetsing gebruik gemaakt van de uitstroomblocatie nabij het deelgebied. De gasleiding is bij het bepalen van de uitstroomblocatie genegeerd.



figuur 17. Leidingstructuur per deelgebied op pilotlocatie 'Grote Haar'. Bron: Eigenwerk

In tabel 8 is per scenario en per deelgebied weergegeven hoeveel dakoppervlak aangesloten is op het dakwatersysteem.

tabel 8. Dakoppervlak van de deelgebieden per bebouwingsscenario. Bron: Eigenwerk

Dakoppervlak in hectare				
Deelgebieden	Bv	Bw	Wv	Ww
West	14,0	10,3	8,2	6,2
Noordoost	12,9	9,5	7,6	5,7
Zuidoost	15,1	11,1	8,9	6,7
Totaal	42,0	30,8	24,7	18,5

5.2 Resultaten hydraulische toetsing

In deze paragraaf wordt de haalbaarheid van het onder vrijval afvoeren van hemelwater naar een waterberging via een dakwatersysteem behandeld. De haalbaarheidstoetsing is uitgevoerd met ontwerp-bui L10, de getoonde resultaten zijn hierop gebaseerd. Zie bijlage 6.1 voor de uiterste invoerparameters waaraan het dakwatersysteem moet voldoen.

Definitieve toetsingsresultaten

Door het uitvoeren van meerdere modeltoetsingen zijn per scenario de meest optimale stelseldimensies gevonden waarbij het dakwatersysteem voldoet. Hierbij is besloten om het hoofdstelsel over het gehele gebied dezelfde dimensies te geven en in de ringleidingen te variëren in leidingdiameter tussen de deelgebieden. Gekozen is om overal in het hoofdstelsel dezelfde diameter te nemen omdat het gaat om de haalbaarheid van het dakwatersysteem en niet een specifiek ontwerp voor locatie 'Groote Haar', daarbij ligt het stelsel rondom de uitgeefbare kavels zonder afschot waardoor water meerdere kanten op kan stromen. In tabel 9 zijn per scenario de optimale dimensies van het stelsel weergegeven in combinatie met de maximale waterhoogte in de regenpijpen. In bijlage 14 zijn voorgaande toetsingen weergegeven waaruit blijkt dat bij andere stelseldimensies de maximale waterhoogte minder optimaal is of niet meer voldoet. De in de bijlage weergegeven waterhoogtes zijn lager dan de definitieve toetsing doordat de hoogteligging van het stelsel in de definitieve toetsing is aangepast.

tabel 9. Optimale stelseldimensies per scenario en de daarbij horende maximale stijghoogte. Bron: Eigenwerk

Scenario's	Bv	Bw	Wv	Ww
Invoerparameters				
Maximale waterhoogte in ringleiding in m t.o.v. NAP	7,54	7,54	2,54	2,54
Leidingdiameter hoofdsysteem in mm	800	800	1000	1000
Leidingdiameter ringleiding deelgebied west in mm	600	500	800	600
Leidingdiameter ringleiding deelgebied noordoost in mm	500	400	600	500
Leidingdiameter ringleiding deelgebied zuidoost in mm	700	500	1000	600
Resultaten				
Maximale waterhoogte in regenpijp deelgebied west in m t.o.v. NAP	7,07	5,43	2,51	2,39
Maximale waterhoogte in regenpijp deelgebied noordoost in m t.o.v. NAP	5,37	4,08	2,48	2,08
Maximale waterhoogte in regenpijp deelgebied zuidoost in m t.o.v. NAP	7,18	6,96	2,52	2,53

Het hoofdstelsel van de woonwijk scenario's heeft een grotere diameter dan de bedrijventerrein scenario's. Door de maximaal toegestane waterhoogte in de regenpijpen 7,54 meter t.o.v. NAP bedraagt is bij bedrijventerreinen minder afvoercapaciteit benodigd. De verandering in de leidingdiameters heeft effect op de hoogteligging van het systeem. In het model hebben alle leidingen dezelfde b.o.b. hoogte afhankelijk van de diameter van het hoofdsysteem. Bij watergangen, duikers en de gasleiding geldt een andere b.o.b. hoogte omdat leidingen onder deze obstakels komen te liggen, zie tabel 10. Door de grotere diameter van 1000 mm in de woonwijk scenario's ligt het watersysteem dieper.

tabel 10. Hoogteligging b.o.b. dakwatersysteem. Bron: Eigenwerk

B.o.b. hoogte (m t.o.v. NAP)		
	Bv en Bw	Wv en Ww
Normaal bob	-2,57	-2,79
Bob dakwatersysteem gasleiding	-3,75	-3,97
Bob dakwatersysteem watergang	-3,87	-4,09
Bob dakwatersysteem duiker	-3,67	-3,87
Uitstroomhoogte bob	1,00	1,00

Waterhoogte jaarrond

Het dakwatersysteem is doorgerekend met jaarreeksen van 1998 en 2018 met en zonder WH klimaatscenario. De berekende waterhoogte op basis van de bui L10 toetsing wordt in de jaartoetsing niet gehaald. In

Maximale waterhoogte in regenpijpen (m t.o.v. NAP)				
	2018	2018 WH	1998	1998 WH
Bv	1,16	1,17	1,22	1,22
Bw	1,14	1,15	1,19	1,19
Wv	1,12	1,13	1,15	1,16
Ww	1,11	1,12	1,14	1,14

tabel 11 is per bebouwingsscenario en per jaar de maximale waterhoogte weergegeven. De maximale waterhoogte komt maximaal 22 centimeter boven de uitstroomhoogte van 1,00 m t.o.v. NAP uit. Dit is een groot verschil met de waterhoogte bij het gebruik van de ontwerp-bui.

tabel 11. Maximale waterhoogte in regenpijpen bij jaarreeksen. Bron: Eigenwerk

Maximale waterhoogte in regenpijpen (m t.o.v. NAP)				
	2018	2018 WH	1998	1998 WH
Bv	1,16	1,17	1,22	1,22
Bw	1,14	1,15	1,19	1,19
Wv	1,12	1,13	1,15	1,16
Ww	1,11	1,12	1,14	1,14

Uitstroomsnelheid

De maximum uitstroomsnelheid vanuit het dakwatersysteem in het foliebassin is hoog, zie tabel 12. Deze stroomsnelheden gelden voor ontwerp-bui L10 en zijn hoger dan door Rioned vastgestelde stroomsnelheden in HWA stelsels van 1,50 m/s (riolering, 2008). De uitstroomvoorziening in het model bestaat uit één uitstroom leiding met dezelfde diameter als het stelsel. Als een uitstroomvoorziening met meer buizen wordt aangelegd daalt de maximum uitstroomsnelheid. Dit is verder behandeld in bijlage 15. De snelheid in het dakwatersysteem zelf is minder dan 1,50 m/s en vormt daarmee geen probleem.

tabel 12. Maximale uitstroomsnelheid in dakwatersysteem bij jaarreeksen. Bron: Eigenwerk

Maximale uitstroomsnelheid in m/s					
	L10	2018	2018 WH	1998	1998 WH
Bv	5,14	0,76	0,79	0,96	0,95
Bw	3,88	0,62	0,65	0,81	0,80
Wv	2,59	0,57	0,61	0,80	0,77
Ww	2,26	0,49	0,52	0,71	0,70

Druk op regenpijpen

Doordat de regenpijpen gevuld zijn met water staat er druk op het leidingstelsel. Bij de maximale berekende waterstand van 7,18 m t.o.v. NAP bedraagt de druk op het stelsel 70,4 MPa. Dit vormt geen probleem voor de leidingen. Een pvc regenpijp heeft een E-modulus bij 50 jaar van 1320 MPa (Wavin Nederland B.V., 2017). Dit betekent dat de leiding bezwijkt bij een druk van 1320 MPa, een waterdruk van 70,4 MPa kan zonder problemen worden verdragen. Een vacuümsysteem voor hemelwaterafvoer

is ontworpen op drukopbouw in het systeem en kan deze druk op leidingen verdragen. Daarnaast kunnen putten een maximale druk verdragen van 10 meter waterkolom (DYKA, 2019). Hemelwaterafvoerstelsels zijn bestand tegen de berekende drukopbouw bij de getoetste scenario's.

5.3 Deelconclusie dakwatersysteem

Het antwoord op de in dit hoofdstuk behandelde deelvraag *'Bij welke stelseldimensies is het per bebouwingsscenario mogelijk om via een leidingsysteem hemelwater afkomstig van dakoppervlak onder vrijval af te voeren richting een waterberging op pilotlocatie 'Groote Haar'?' luidt:*

Uit de hydraulische toetsing van het dakwatersysteem op pilotlocatie 'Groote Haar' is gebleken dat dakwater bij de bebouwingsscenario's Bv, Bw, Wv en Ww onder vrijval kan worden afgevoerd naar een foliebassin bij toepassing van de leidingdiameters weergegeven in tabel 9. Dit kan alleen als gebruik wordt gemaakt van drie deelgebieden en de uitstroomvoorziening van het dakwatersysteem naast het deelgebied gelegen is. Afvoer via een afvoerleiding naar de behandelde bassinlocatie is niet mogelijk binnen de gestelde ontwerpcriteria door grote opstuwings in de afvoerleiding. Afvoer van dakwater richting de bassinlocatie doormiddel van twee deelgebieden is onder vrijval niet mogelijk zonder dat de maximale waterhoogte wordt overschreden door de grote hoeveelheid aangesloten dakoppervlak.

Bij woonwijken zijn grotere leidingdiameters benodigd bij een kleiner afvoerend oppervlak dan bij bedrijventerreinen. Dit wordt veroorzaakt door de lagere goothoogte en de snellere afvoer van hellende daken. De maximale leidingdiameter van 1000 mm wordt bij woonwijken bereikt bij een afvoerend oppervlak van 8,9 hectare in het Wv scenario in deelgebied zuidoost. De maximale diameters worden niet bereikt bij het grootst getoetste afvoerend oppervlak bij bedrijventerreinen van 15,1 hectare voor het scenario Bv in deelgebied zuidoost. Door de extra goothoogte is meer berging in het dakwatersysteem beschikbaar, daarnaast komt niet al het water op platte daken van bedrijfspanden tot afvoer.

6 FOLIEBASSIN

In dit hoofdstuk worden de dimensies van het foliebassin behandeld. De bassindimensies zijn getoetst aan de hand van waterbalansen die inzicht geven over de werking van de berging. Door het maken van de waterbalansen wordt getoetst wat de benodigde ruimte van het foliebassin is bij de verschillende bebouwingsscenario's.

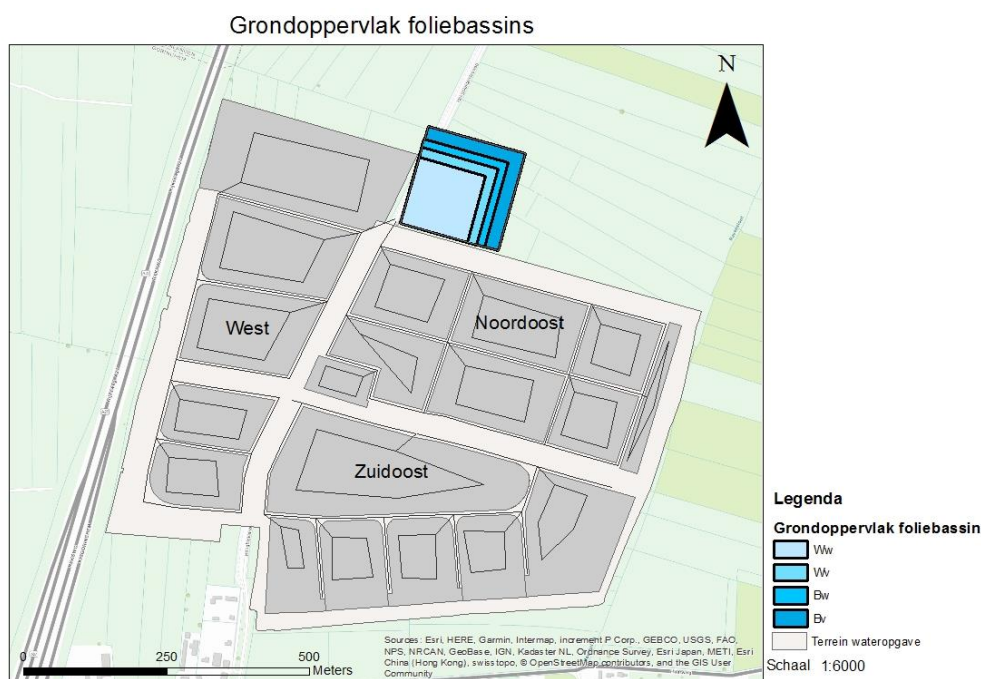
6.1 Dimensies

De dimensies van het foliebassin zijn per scenario anders door het verschil in dakoppervlak. Het foliebassin is ontworpen aan de hand van de compensatie eis van 664 m³/ha voor de toename in verharding. In tabel 13 zijn per scenario enkele oppervlaktes van het foliebassin weergegeven. Het grondgebruik van één bassin bedraagt 3,13 hectare bij het Bv scenario en 1,46 hectare bij het Ww scenario. Voor de aanleg van het bassin op één locatie is veel ruimte nodig, daarom wordt aanbevolen meerdere kleine bassins aan te leggen. De toetsing wordt uitgevoerd aan de hand van deze dimensies. Het ruimtegebruik van het foliebassin is ongeveer 6,8% van het aangesloten dakoppervlak. In bijlage 16 zijn uitgebreide tabellen met dimensies weergegeven geldend voor een vierkant bassin.

tabel 13. Dimensies foliebassin per scenario. Bron: Eigenwerk

Beschrijving	Bv	Bw	Wv	Ww
Dakoppervlak (ha)	42,0	30,8	24,7	18,5
Wateroppervlak bij maximum peil foliebassin (ha)	2,82	2,07	1,67	1,25
Ruimtegebruik bij maximum peil ten opzichte van aangesloten dakoppervlak (%)	6,71	6,72	6,76	6,76
Oppervlak bovenrand foliebassin (ha)	2,85	2,10	1,69	1,27
Ruimtegebruik bovenrand foliebassin ten opzichte van aangesloten dakoppervlak (%)	6,79	6,82	6,83	6,87
Oppervlak foliebassinbodem (ha)	2,72	1,99	1,59	1,18
Grondoppervlak foliebassin (ha)	3,13	2,34	1,90	1,46

In figuur 18 is het grondoppervlak van het foliebassin weergegeven op de vastgestelde locatie op bedrijventerrein 'Grote Haar'. Bij alle scenario's is door de grootte van het grondoppervlak niet mogelijk om op deze locatie een foliebassin te plaatsen. Meerdere kleinere foliebassins zijn makkelijker in te passen in het gebied, dit is ook van toepassing op andere locaties waar een foliebassin aangelegd wordt. Opgemerkt dient te worden dat de totale inhoud van de grondwallen hierdoor wel toeneemt.



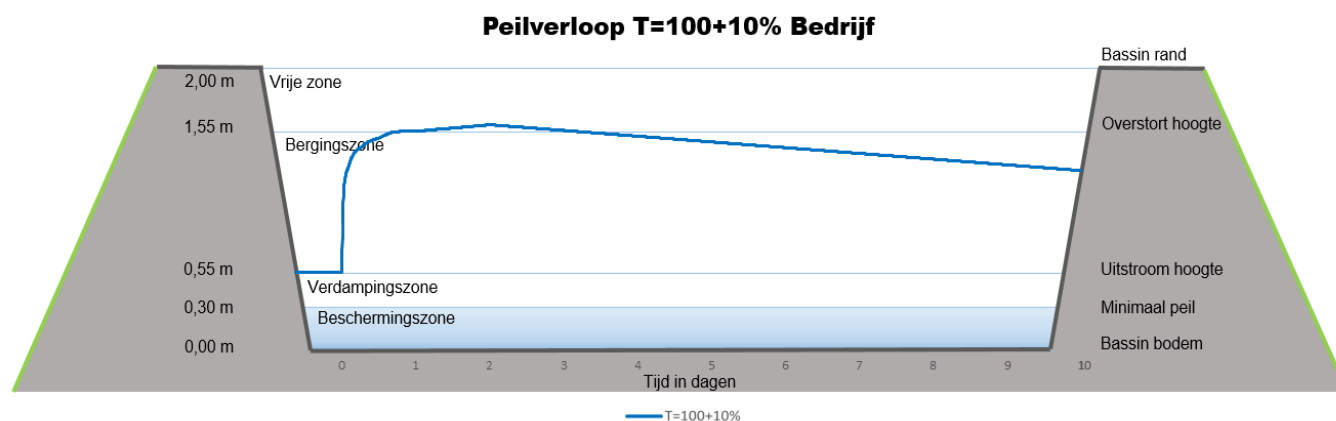
figuur 18. Grondoppervlak foliebassin per bebouwingsscenario. Bron: Eigenwerk

6.2 Technische haalbaarheid foliebassin

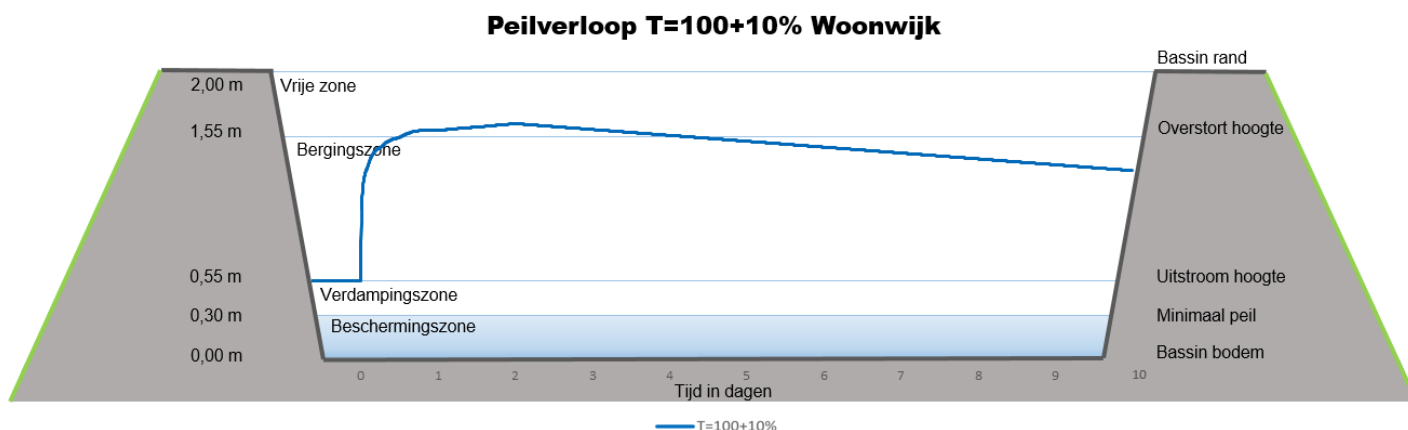
De foliebassinindimensies worden getoetst aan de hand van een T=100 toetsing en een jaartoetsing. De toetsingsmethode is behandeld in paragraaf 3.4.

6.2.1 T=100 toetsing

Technische voorzieningen zoals het foliebassin moeten volgens waterschap Rivierenland voldoen aan een T=100 neerslag situatie. Deze situatie is getoetst aan een T=100+10% neerslagsituatie van 77 mm per dag, zie 4.3.3. In figuur 20 en figuur 19 is te zien dat het maximale waterpeil bij de beide gebruiksbestemmingen van de bebouwingsscenario's onder de bassinrand blijft. Tussen bedrijventerrein en woonwijk is een verschil in het peilverloop zichtbaar. Bij de woonwijkscenario's is een hogere piek in het peilverloop te zien dan bij de bedrijventerreinscenario's. Dit is te verklaren doordat water van hellende daken allemaal tot afvoer komt en bij platte daken een afvoeroverlies optreedt. Het waterpeil overschrijdt bij een afvoer van 1,5 l/s/ha het overstortpeil 2,8 dagen bij de bedrijventerreinscenario's en 4 dagen bij de woonwijk scenario's. Boven het overstortpeil is ook vastgehouden aan de maximale afvoer van 1,5 l/s/ha. De periode dat water boven het overstortpeil staat is langer dan de gewenste ledigingstijd van Waterschap Rivierenland, hier wordt verder op ingegaan in 6.2.2. Het maximale waterpeil vormt geen risico voor de waterveiligheid.



figuur 20. Peilverloop in foliebassin bij T=100+10% neerslagsituatie bij bedrijventerreinscenario's. Bron: Eigenwerk



figuur 19. Peilverloop in foliebassin bij T=100+10% neerslagsituatie bij woonwijkscenario's. Bon: Eigenwerk

Een T=100+10% neerslagsituatie kan worden geborgen in het foliebassin. De model uitstroom is gebruikt voor de aanvoer in het foliebassin. Als de waterhoogte boven de regenpijphoogte komt raakt in het model geen water verloren maar komt tot afvoer. Het leidingstelsel is gedimensioneerd op een T=10 gebeurtenis waardoor in de realiteit een gedeelte van het water door het volle leidingstelsel niet tot afvoer komt. In bijlage 17 zijn per scenario de T=100 toetsingsresultaten in meer detail weergegeven.

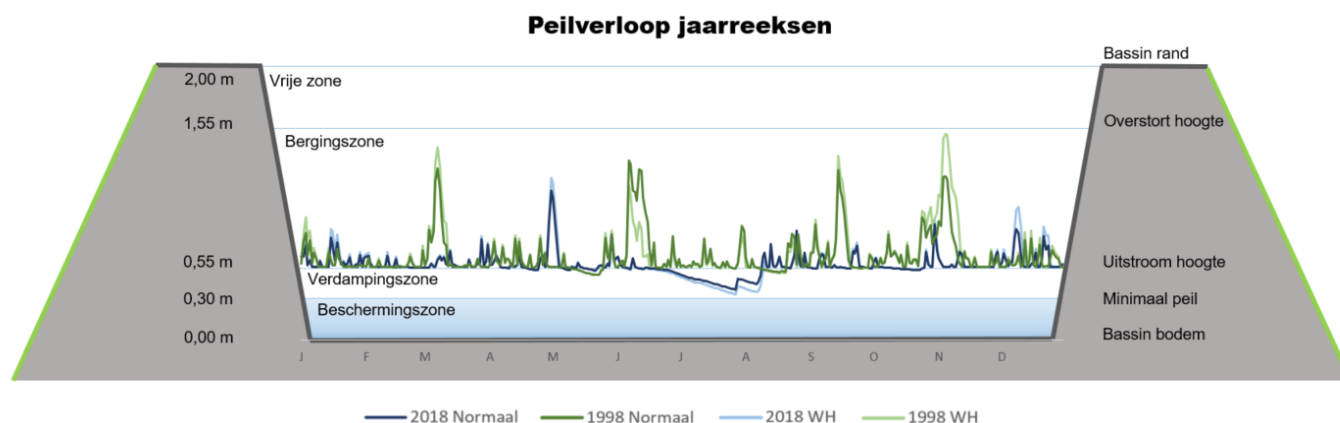
6.2.2 Ledigingstijd

De ledigingstijd van het foliebassin met een afvoernorm van 1,5 l/s/ha bedraagt 123 uur. Dit is langer dan de geëiste ledigingstijd van 48 tot 96 uur van waterschap Rivierenland. Als wordt voldaan aan een ledigingstijd van 48 uur is een afvoernorm van 3,84 l/s/ha benodigd. Een afvoernorm van 1,94 l/s/ha is benodigd voor een ledigingstijd van 96 uur, zie bijlage 19. Bij een grotere afvoernorm neemt het maximale waterpeil af in de T=100+10% en de jaartoetsingen.

6.2.3 Jaartoetsing

Naast de T=100 toetsing van het foliebassin zijn de jaarreeksen van 1998 en 2018 met en zonder WH klimaatscenario getoetst. Hierdoor wordt het effect van langdurige neerslag en droogte op het waterpeil in het foliebassin inzichtelijk. In figuur 21 is het waterpeil in het foliebassin weergegeven. Door de grote tijdstap is in de grafiek geen verschil in het peilverloop te onderscheiden tussen de bedrijventerrein scenario's en de woonwijkscenario's zoals bij de T=100 toetsing het geval is. Tijdens langdurige neerslag in het jaar 1998 en 1998 WH blijven alle neerslagpieken binnen de bergingszone. Tijdens de droogte in het jaar 2018 en 2018 WH blijft het minimum peil van 0,30 meter in de beschermingszone gehandhaafd. In bijlage 18.3 zijn de waterbalansgrafieken en het bijbehorende volume per scenario weergegeven.

In bijlage 18.2 zijn de waterbalansen in tabelvorm weergegeven. De instroom en uitstroom over het gehele jaar blijft gelijk voor alle jaarreeksen behalve de jaarreeksen van 1998. Bij alle scenario's wordt een kleine hoeveelheid meer afgevoerd dan dat in het foliebassin stroomt. Dit wordt verder in de bijlage behandeld. Dit heeft geen effect op de berekende waterstanden in het foliebassin.



figuur 21. Peilverloop in foliebassin bij jaarreeksen. Bron: Eigenwerk

6.3 Ruimtegebruik

In deze paragraaf wordt het ruimtegebruik van het wateroppervlak doormiddel van het dakwatersysteem met foliebassin behandeld in vergelijking met het ruimtegebruik van wateroppervlak in het oorspronkelijke ontwerp van het watersysteem.

In tabel 14 is het ruimtegebruik van het totale wateroppervlak per scenario weergegeven. Dit betreft het oppervlak van de waterlijn waarin de grondwallen van het foliebassin en de taluds van het oppervlakte niet zijn meegenomen. Het oppervlakte aan open water van het oorspronkelijke watersysteem bedraagt 6,01 hectare. Bij het gebruik van een twee meter hoog foliebassin varieert het totale wateroppervlak tussen 3,05 hectare en 4,77 hectare bestaande uit het oppervlakte aan watergangen en het wateroppervlak van het foliebassin. Hiermee is zoals verwacht minder wateroppervlak benodigd dan bij het oorspronkelijke watersysteem ontwerp. De reductie van het gebruik aan wateroppervlak bedraagt 20,6% tot 57,2% afhankelijk van het gebruikte scenario. Doordat in het Bw scenario het meeste straatoppervlak is opgenomen is in dit scenario de reductie het laagst.

In het oorspronkelijke waterhuishoudingsplan varieert de breedte van watergangen tussen 4,7 en 12 meter. Bij het gebruik van enkel gelegen watergangen bedraagt de gemiddelde watergangbreedte minimaal 1,80 meter bij het Wv scenario tot maximaal 5,30 meter bij het Bw scenario. Dit is berekend doormiddel van een totale watergang lengte van 5040 meter, berekend uit het eerste waterhuishoudingsplan. Door te variëren in waterbreedte kan op opbarstgevoelige locaties geen of smalle watergangen aangelegd worden en zijn geen ballastbedden benodigd in het gebied door de geringe watergangbreedte.

tabel 14. Ruimtegebruik totale wateroppervlak. Bron: (Fugro NL Land B.V., 2019) en eigenwerk

	Oppervlakte water huidig WHP (ha)	Oppervlakte water bij dakwater systeem (ha)	Totale lengte enkelgelegen watergangen (m)	Breedte op waterlijn (m)	Water-oppervlak van foliebassin (ha)	Totaal water-oppervlak bij dakwater systeem (ha)	Reductie water-oppervlak (%)
Bv	6,01	1,00	5040	2,1	2,82	3,82	36,4
Bw	6,01	2,70	5040	5,3	2,07	4,77	20,6
Wv	6,01	0,90	5040	1,8	1,67	2,57	57,2
Ww	6,01	1,80	5040	3,6	1,25	3,05	49,3

Bij een uitstroomdebiet van 1,5 l/s/ha of bij een ledigingstijd van 96 uur is het mogelijk om het uitstromende water afkomstig van het foliebassin te bergen in het oppervlaktewater zonder dat extra oppervlaktewater aangelegd dient te worden, zie bijlage 20. Bij een ledigingstijd van 48 uur is wordt vanuit het foliebassin meer water afgevoerd op het oppervlaktewater dan wat maximaal vanuit het terrein 'Groote haar' mag worden afgevoerd. Daarom moet bij een ledigingstijd van 48 uur van het foliebassin meer oppervlaktewater worden aangelegd om het verschil te bergen.

6.4 Deelconclusie foliebassin

Het antwoord van de in dit hoofdstuk beantwoorde deelvraag 'Wat zijn per bebouwingsscenario de dimensies van de hemelwaterberging?' luidt:

De dimensies van het vierkante foliebassin zijn per scenario weergegeven in tabel... Het foliebassin voldoet bij deze dimensies aan een $T=100+10\%$ neerslagsituatie en dus aan de waterveiligheidsnormen van waterschap Rivierenland. Het wateroppervlak van het foliebassin bedraagt 6,7 tot 6,8% van het aangesloten dakoppervlak. Het waterpeil in het bassin fluctueert binnen het minimum peil en de overstort hoogte in de gedane jaartoetsingen en voldoet daarmee aan de gestelde uitgangspunten. Door het gebruik van het dakwatersysteem met foliebassin wordt in vergelijking met de oorspronkelijke waterhuishouding bespaard op het totale wateroppervlak op pilotlocatie 'Groote Haar'. De reductie van het wateroppervlak bedraagt in de meest gunstige situatie 57,2% bij het Wv scenario en 20,6 % bij het minst gunstige Bw scenario. Door de reductie kan het benodigde oppervlaktewater beperkt blijven en is het aanleggen van ballastbedden niet noodzakelijk.

7 AANDACHTSPUNTEN

In dit hoofdstuk worden aandachtspunten ten aanzien van het dakwatersysteem en het foliebassin behandeld. Ingegaan wordt op het beheer en onderhoud en op aandachtspunten van het dakwatersysteem en het foliebassin. De resultaten in dit hoofdstuk zijn verkregen door brainstormsessies met waterschap Rivierenland en de gemeente Gorinchem zoals beschreven in paragraaf 3.5.

7.1 Beheer en onderhoud

Uit de gesprekken met het waterschap en de gemeente is gebleken dat het dakwatersysteem en het foliebassin worden gezien als onderdeel van het rioleringsstelsel. Daarom wordt het beheer en onderhoud uitgevoerd door de gemeente Gorinchem, de gemeente is verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud aan rioleringsstelsels. Het waterschap is verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van het oppervlaktewater in het gebied. Waterschap Rivierenland ziet het foliebassin als technische constructie en niet als een peilgebied met een eigen peilregime. Daarom is Waterschap Rivierenland niet bereid het dakwatersysteem met foliebassin te onderhouden. Het waterschap staat positief tegenover een dakwatersysteem met foliebassin het beheersgebied zolang het water wordt afgevoerd naar het oppervlakte water volgens de landelijke afvoernormen en het water van goede kwaliteit is.

Onderhoud en inspectie

Onderhoud en inspectie van de putten en de leidingen is benodigd om de werking van het dakwatersysteem te blijven garanderen. Doordat het dakwatersysteem altijd gevuld is tot minimaal 1,00 m t.o.v. NAP moet bij onderhoud het stelsel worden leeggepompt voordat de putdeksels kunnen worden geopend omdat anders water op maaiveld stroomt. Daarna kunnen gedeeltes worden afgedamd en voor verdere inspectie en onderhoud worden leeggepompt. In tabel 15 is het totale volume van het dakwatersysteem weergegeven bij een waterhoogte van 1,00 m t.o.v. NAP en de hoeveelheid water dat moet worden weggepompt als de waterhoogte 0,5 meter onder de putopening bedraagt, -0,96 m t.o.v. NAP. Het volume dat bij onderhoud moet worden weggepompt bedraagt 684 m³ bij bedrijventerreinscenario's en 714 m³ bij de woonwijken scenario's.

tabel 15. Totale volume dakwatersysteem. Bron: Eigenwerk

	Volume in m ³ bij waterhoogte 1,00 m t.o.v. NAP	Volume in m ³ bij waterhoogte -0,96 m t.o.v. NAP	Volumeverschil in m ³
Bv	6016	5332	684
Bw	5601	4917	684
Wv	8933	8219	714
Ww	8126	7412	714

Doordat het dakwatersysteem altijd gevuld is met water en daarnaast nog een HWA en DWA stelsel aanwezig is moet intensiever beheer worden uitgevoerd bij het gebruik van het dakwatersysteem. Doordat het stelsel altijd gevuld is met water moet het systeem regelmatig geïnspecteerd worden op lekkage.

Het foliebassin is een redelijk onderhoudsarm systeem. Het belangrijkste onderhoudsaspect van het foliebassin is dat het bassinfolie na 30 jaar vervangen moet worden (De Lange plastics B.V., 2019). Dit gaat gepaard met een volledige renovatie van het foliebassin (Van Daalen waterbassins, 2019).

7.2 Aandachtspunten dakwatersysteem

In deze paragraaf worden aandachtspunten behandeld ten aanzien van het dakwatersysteem uit het oogpunt van waterschap Rivierenland en de gemeente Gorinchem.

Kwetsbaarheid dakwatersysteem

Als lekkage optreedt werkt het dakwatersysteem hydraulisch niet meer naar behoren en kan wateroverlast optreden. Doordat het systeem op druk functioneert zijn de gevolgen van een lek vele malen groter dan een conventioneel rioleringsstelsel. Het dakwatersysteem kan tot de hoogte van het lek leegstromen en hierdoor kan wateroverlast optreden. Door de grootte van het systeem kan dit fors zijn. Door het hoge risico op de werking van het algehele systeem is het dakwatersysteem kwetsbaar voor lekken.

Lekken kan worden veroorzaakt door schade aan regenpijpen, slechte of verkeerd toegepaste aansluitingen en aanpassingen aan het systeem. In de regelgeving van het uitgeefbaar terrein moet worden voorgeschreven dat regenpijpen in originele staat moet worden gehouden. Daarnaast is regelmatige inspectie van regenpijpen van belang om de hydraulische werking en de veiligheid van het systeem te waarborgen. Door verzakkingen door zetting kan ondergronds lekkage ontstaan. Doordat in opbarstingsgevoelige gebieden ook zetting optreedt is dit een reëel probleem wat kan optreden na een aantal jaren.

Het compartimenteren van het stelsel met mogelijkheid tot afsluiten kan wateroverlast bij een lekkage beperken. Dit is ook gunstig voor het beheer en onderhoud van het systeem. Zie tabel 15 voor het leidingvolume.

Doordat in woonwijken veel verschillende perceeleigenaren zijn is het risico op beschadiging van het dakwatersysteem hoger. Dit kan te maken hebben met minder goed uitvoerbare inspectie van het systeem of omdat aanpassingen of schade aan het stelsel plaatsvinden. Op industrielocaties is de kans op schade groter door bedrijfsactiviteiten met bijvoorbeeld heftrucks en vrachtauto's. Door zwaar verkeer in dergelijke gebieden kunnen ook eerder verzakkingen van wegen optreden. In een gebied met kantoorpanden zijn relatief weinig perceeleigenaren waardoor inspectie beter uit te voeren is. Door het type werkzaamheden is het risico op beschadiging van het dakwatersysteem lager.

Waterkwaliteit

De waterkwaliteit in het dakwatersysteem kan afnemen bij langdurige perioden zonder afvoer. In droge periodes waarbij water in het stelsel achterblijft kan een verslechterde waterkwaliteit stankoverlast veroorzaken. Een mogelijke oplossing kan zijn om het water uit het dakwatersysteem te pompen richting het foliebassin. Door het toepassen van een leeg stelsel neemt de bergingscapaciteit van het stelsel toe. Als het dakwatersysteem wordt leeggepompt moet het stelsel wel onder afschot komen te liggen.

De waterkwaliteit kan ook verslechteren doordat de regenpijpen verstopten door bladeren. Hierdoor kan slibvorming in het leidingstelsel op treden wat de doorstroming belemmert. Slib van vuil in het stelsel is niet alleen voor de waterkwaliteit negatief maar ook voor hydraulisch functioneren. Daken moeten worden voorzien van een goede bladvang om dit te voorkomen.

7.3 Aandachtspunten foliebassin

In deze paragraaf worden aandachtspunten ten aanzien van het foliebassin behandeld.

Uitstroomvoorziening foliebassin

Vanuit het foliebassin is vertraagde afvoer richt het oppervlaktewater benodigd. Hierbij moet oeverbescherming worden aangebracht om te voorkomen dat de watergangoever uitspoelt. Daarnaast moet de grondwal van het foliebassin worden verstevigd op de locatie van de uitstroomvoorziening. Een uitstroomvoorziening kan een vaste drempel zijn op de uitstroomhoogte van het bassin. Ook kan gebruik worden gemaakt van een automatische stuw. De overstort kan een gedeeltelijk verlaagde grondwal zijn.

Bereikbaarheid foliebassin

Met het oog op vernieling en veiligheid is het vanuit de gemeente Gorinchem gewenst dat het foliebassin niet bereikbaar is voor onbevoegden. De gemeente ziet de plaatsing van het foliebassin het liefst op een moeilijk bereikbare locatie aan de rand van het bedrijventerrein, mogelijk met omliggende watergangen en een brug met toegangshek. Dit is nadelig voor de inpassing in een gebied. Gemeenten kunnen hier verschillend tegenaan kijken.

Waterpeil foliebassin

In paragraaf 6.2.3 is bepaald dat de gemiddelde waterstand ver onder de bassin rand staat. Doordat veel folie zichtbaar is, is dit nadelig voor de esthetische inpassing.

Waterkwaliteit

De waterkwaliteit in het foliebassin kan verslechteren door bijvoorbeeld algengroei en kroosvorming. Het is door het Waterschap Rivierenland ongewenst om water met veel algengroei of kroosvorming af te voeren naar het oppervlaktewater. Algengroei kan worden tegengegaan door het creëren van stroming doormiddel van een pomp of door het plaatsen van een afdekzeil die het water afschermt tegen licht. Beide maatregelen leiden tot extra kosten.

7.4 Duurzaamheid en nevenfuncties

Het gebruik van een dakwatersysteem met een foliebassin voorkomt opbarsten van de deklaag. Het systeem is mogelijke een duurzame oplossing omdat minder water via gemalen moet worden afgevoerd, de watersamenstelling grotendeels gelijk blijft, de deklaag behouden blijft en geen ballastbedden in de bodem aangelegd hoeven te worden. Echter is de hoeveelheid kunststof folie dat na 30 jaar vervangen moet worden niet duurzaam. Door nevenfuncties aan het foliebassin te koppelen kan duurzaam gebruik worden gemaakt van de waterberging en daarbij zorgen voor een kostenreductie. Mogelijke nevenfuncties van het dakwatersysteem en het foliebassin zijn:

- geluidswal;
- zichtonttrekking bedrijventerrein;
- irrigatiewater;
- drijvende zonnepanelen;
- bluswater uit leidingsysteem.

De toepasbaarheid van deze nevenfuncties moet onderzocht worden. Het bassin kan een meer natuurlijke inrichting krijgen door meer natuurlijke vormen toe te passen.

7.5 Deelconclusie aandachtspunten

Het antwoord van de in dit hoofdstuk beantwoorde deelvraag *‘Wat zijn aandachtspunten van het dakwatersysteem met waterberging uit het oogpunt van de gemeente en het waterschap?’* luidt:

Het belangrijkste aandachtspunt voor de technische haalbaarheid is de kwetsbaarheid van het dakwatersysteem. Door de waterdruk in het dakwatersysteem is het effect van een lek op het hydraulisch functioneren groot en kan leiden tot wateroverlast. Andere aspecten zoals de waterkwaliteit in het dakwatersysteem en foliebassin zijn belangrijke aandachtspunten voor de algehele haalbaarheid van het systeem. Het intensieve beheer en onderhoud aan de rioleringsstelsels door extra werkzaamheden bij onderhoud aan het stelsel en een meer periodieke inspectie van het systeem is voor gemeenten een aandachtspunt.

8 CONCLUSIE

In de conclusie wordt antwoord gegeven op de hoofdvraag. De conclusie wordt onderbouwd aan de hand van de deelconclusies gegeven in dit rapport. De hoofdvraag van dit onderzoek luidt: *“Wat is de technische haalbaarheid van een dakwatersysteem met waterberging opbarstingsgevoelige gebieden?”*

Uit dit haalbaarheidsonderzoek op pilotlocatie ‘Groote Haar’ is gebleken dat het dakwatersysteem in combinatie met het foliebassin een technisch haalbaar alternatief kan zijn voor de compensatie van toenemend verhardoppervlak in opbarstingsgevoelige gebieden. Uit de resultaten van de pilottoetsing bij verschillende bebouwingsscenario’s blijkt dat het technisch haalbaar is om dakwater onder vrijverval af te voeren richting een foliebassin, als gebruik gemaakt wordt van een getoetst afvoerend oppervlak van in ieder geval 15,1 hectare bij bedrijventerreinen en 8,9 hectare bij woonwijken. Hierbij voldoet het dakwatersysteem en het foliebassin aan de ontwerpcriteria.

Voor de afvoer van al het dakwater op de pilotlocatie zijn bij de vier getoetste bebouwingsscenario’s drie deelgebieden nodig. Door de hoeveelheid aangesloten dakoppervlak is het niet mogelijk om binnen de gestelde ontwerpcriteria al het dakwater af te voeren richting de foliebassinlocatie in het noorden van terrein ‘Groote Haar’. Dit is het gevolg van grote opstuwung door beperkte afvoercapaciteit van de afvoerleiding van het zuidoostelijke deelgebied richting de bassinlocatie.

De dimensies van het foliebassin voldoen aan de normen voor technische voorzieningen van het Waterschap Rivierenland, het foliebassin voldoet daarmee aan een $T=100+10\%$ neerslagsituatie. In droge perioden blijft het minimale peil gehandhaafd bij de getoetste zonering, ook de maximale vulling van het foliebassin blijft binnen de gestelde uitgangspunten bij de getoetste jaarreeksen 1998 en 2019 met en zonder WH klimaatscenario. Daarmee is het foliebassin klimaat robuust ontworpen.

Door het gebruik van het dakwatersysteem met foliebassin neemt het opbarstingsrisico af doordat veel minder oppervlaktewater benodigd is. Hierdoor zijn brede of parallel gelegen watergangen op opbarstingsgevoelige locaties te vermijden en zijn maatregelen zoals ballastbedden niet nodig. Ten opzichte van het oorspronkelijke waterhuishoudingsplan neemt het totale wateroppervlak op de pilotlocatie af door de toepassing van het foliebassin. Bij het scenario Bw bedraagt de reductie van het wateroppervlak het minst, 20,6%. Voor het scenario Wv bedraagt de reductie van het wateroppervlak het meest, 57,2% op basis van een vierkant foliebassin.

Doordat opbarstingsgevoelige gebieden ook zettingsgevoelig zijn bestaat de mogelijkheid op verzakking met als gevolg lekkage aan het dakwatersysteem. Het dakwatersysteem is door het grote effect van lekken op het hydraulisch functioneren en het risico op wateroverlast kwetsbaar. De gebruiksbestemming van een gebied kan van invloed zijn op de kwetsbaarheid van het dakwatersysteem. In woonwijken en industrieterreinen is de kans op schade groot. Dit kan komen door inspectie bij meerdere perceeleigenaren lastig uit te voeren is en de kans op aanpassingen aan het systeem groot is. Bovendien wordt het risico op beschadiging verhoogt door werkactiviteiten en zwaar verkeer op industrieterreinen. In gebieden met kantoorgebieden is de kans op beschadiging lager en kan inspectie beter plaatsvinden. Daarom wordt geacht dat het dakwatersysteem vooral in kantoorgebieden een technisch haalbaar alternatief is voor de conventionele manier van watercompensatie in opbarstingsgevoelige gebieden.

9 DISCUSSIE

In dit hoofdstuk is de discussie van dit onderzoek behandeld. Hier wordt ingegaan op de validiteit van het onderzoek, de gebruikte toetsingsmethode en de resultaten die naar voren zijn gekomen in dit onderzoek.

Het onderzoek naar de technische haalbaarheid is gedaan doormiddel van modeltoetsing in Infoworks ICM SE. De onderzoeksmethode is behandeld in het hoofdstuk methodiek van dit rapport. De gebruikte ontwerpcriteria en gebruikte aannames zijn behandeld in het hoofdstuk ontwerpcriteria waardoor het onderzoek herhaalbaar is. Het dakwatersysteem is op hoofdlijnen getoetst en is daarmee genoeg valide voor het doel om de technische haalbaarheid van het dakwatersysteem te onderzoeken. Uitkomsten uit het interview en de brainstormsessies zijn opvattingen van de ondervraagden. Andere partijen kunnen een ander standpunt hebben ten opzichte van een dergelijk dakwatersysteem.

Doordat weinig bekend is over het onderzochte systeem in een bedrijventerreinomgeving of woonomgeving zijn veel aannames gedaan in het onderzoek. Daarnaast is voor het toetsen van de verschillende gebruikstypes de verkavelingsstructuur aangepast omdat de definitieve verkavelingsstructuur van de pilotlocatie nog niet bekend is.

De toetsing van het dakwatersysteem had vollediger gekund door bij sommige scenario's gebruik te maken van een kleinere leidingdiameter. Echter zal het verschil op de huidige resultaten met deze leidingdiameters niet groot zijn. Daarnaast is de structuur van het leidingstelsel een sterke versimpeling van het realiteit. Door een meer gedetailleerde toetsing uit te voeren in gebieden waar meer informatie beschikbaar is kunnen resultaten veranderen. Verwacht wordt dat door de verspreiding van het dakwater in een meer gedetailleerde leidingstructuur kleinere leidingdiameters toereikend zijn.

Het percentage dakoppervlak in het Bv scenario is aanzienlijk hoog. In dit scenario is 42 hectare, ofwel 97,2 procent van het uitgeefbaar terrein verhard. Het scenario geeft hierdoor geen realistisch beeld van een werkelijke situatie voor een bedrijventerrein met veel dakoppervlak. Het Bw scenario geeft een meer werkelijke situatie voor een bedrijventerrein met veel dakoppervlak. Bij een afname van het dakoppervlak bij bedrijventerreinscenario's neemt het straatoppervlak toe wat effect heeft op het benodigde oppervlak aan watergangen. Hierdoor kan het bij veel straatoppervlak nog steeds noodzakelijk zijn om ballastbedden onder watergangen aan te brengen om opbarsten van de deklaag te voorkomen.

In het onderzoek is verder naar voren gekomen dat het dakwatersysteem kwetsbaar is voor beschadiging, lekken, verstopping en aanpassingen waardoor het hydraulisch functioneren van het systeem wordt beïnvloed en wateroverlast kan ontstaan. Als het systeem wordt toegepast moeten duidelijke afspraken gemaakt worden over het beheer en inspectie van het dakwatersysteem om de veiligheid van het systeem te waarborgen. Het is de vraag of het hydraulisch functioneren gewaarborgd kan blijven in zettingsgevoelige gebieden na de aanleg van het systeem.

Door tijdgebrek bij het uitvoeren van het onderzoek is niet toegekomen aan het behandelen van de economische haalbaarheid van het dakwatersysteem met foliebassin. Mogelijk is het dakwatersysteem met foliebassin economisch ongunstiger dan het oorspronkelijke waterhuishoudingsplan met parallel gelegen watergangen. Dit is nadelig voor de algehele haalbaarheid van het systeem.

Aanbevolen wordt om vervolgonderzoek te doen naar de waterkwaliteit in het systeem en goede maatregelen te treffen om verslechtering van de waterkwaliteit te voorkomen. Het systeem moet op meer detailniveau ontworpen worden als besloten wordt om het dakwatersysteem aan te leggen in opbarstingsgevoelige gebieden.

10 AANBEVELINGEN

Naar aanleiding van de resultaten, de conclusie en de discussie van dit onderzoek worden in dit hoofdstuk aanbevelingen gedaan.

Voor de algehele haalbaarheid van het dakwatersysteem wordt aanbevolen aanvullend onderzoek uit te voeren naar de waterkwaliteit van het dakwatersysteem met foliebassin en het effect hiervan op het oppervlaktewater. Ook de mogelijkheid van het leegpompen van het stelsel in droge perioden kan hierin worden meegenomen. Daarnaast wordt aanbevolen om een kosten-batenanalyse op te zetten voor de toepassing van het dakwatersysteem. Hierbij dient rekening gehouden te worden met toekomstige toename van opbarstproblematiek door verdere bodemdaling met slappere deklagen als gevolg.

Voor de aanleg van een dakwatersysteem op terreinen met veel aangesloten dakoppervlak, zoals de getoetste pilotlocatie wordt aanbevolen het systeem aan te leggen in deelgebieden. Op een stelsel met bedrijventerreinen kan in ieder geval 15,1 hectare dakoppervlak worden aangesloten. Voor woonwijken kan 8,9 hectare dakoppervlak worden aangesloten. Daarnaast kunnen beter meerdere foliebassins worden aangelegd in plaats van één groot bassin zodat het bassin beter inpasbaar is in het gebied.

Bij de toepassing van het dakwatersysteem met foliebassin als onderdeel van de waterhuishouding in een gebied met opbarstingsrisico wordt aanbevolen een uitgebreide ontwerptoetsing te doen aan de hand van een gedetailleerde verkavelingsstructuur. Dit kan resulteren in kleinere stelseldimensies en kostenbesparing. Aangeraden wordt om waterstandhoogtes nabij de 10 meter boven maaiveld te voorkomen door de druk op leidingstelselcomponenten en putten. Stelselcomponenten zijn hier niet op berekend waardoor de realisatie extra kosten met zich meebrengt en het risico op wateroverlast verder toeneemt. Met gebruikers en beheerders van het systeem moeten duidelijke afspraken worden gemaakt met betrekking op beheer en onderhoud van het systeem. Het systeem is gevoelig voor schade en verstopping waardoor de werking negatief wordt beïnvloed en tot risico's ten aanzien van wateroverlast kan leiden.

Voor het detailontwerp van stelselonderdelen is aanvullend onderzoek benodigd. Hierbij moet gedacht worden aan de in- en uitstroom voorzieningen van het foliebassin, de grondverbetering en drainage onder het foliebassin, de toe te passen geknevelde putten en de gebouwafvoer doormiddel van een vacuümsysteem.

Ten aanzien van duurzaamheid kan aanvullend onderzoek worden uitgevoerd naar de toepasbaarheid van verschillende nevenfuncties. Mogelijke richtingen van nevenfuncties zijn de inzet als geluidswal, het gebruik als irrigatiewater, de aanleg van zonnepanelen of diepte infiltratie in een watervoerend pakket. Mogelijk kunnen door aanvulling van andere systemen het dakwatersysteem worden ontzien, bijvoorbeeld door waterberging op het dak waardoor piekafvoer in het dakwatersysteem wordt vertraagd.

11 BIBLIOGRAFIE

- Albersalligator. (2019, April 15). *Bassinfolie en taludbescherming*. Opgehaald van [www.albersalligator.com](https://www.albersalligator.com/wateropslag/bassinfolie-en-taludbescherming/): <https://www.albersalligator.com/wateropslag/bassinfolie-en-taludbescherming/>
- Dagelijks bestuur waterschap Rivierenland. (2009). *Beleidsregels Keur Waterschap Rivierenland 2009*. Tiel: Waterschap Rivierenland.
- De Lange plastics B.V. (2019, Mei). *Agrarisch*. Opgehaald van [www.dlplastics.nl](https://www.dlplastics.nl/agrarisch.html): <https://www.dlplastics.nl/agrarisch.html>
- Dirven, L. (2018, november 29). *Nieuwe kaart laat bodemdaling in Nederland zien*. Opgehaald van [www.naturetoday.com](https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=24775): <https://www.naturetoday.com/intl/nl/nature-reports/message/?msg=24775>
- DYKA. (2019, mei 22). Druksystemen voor hemelwaterafvoer. Steenwijk, Overijssel, Nederland: DYKA. Opgeroepen op Mei 22, 2019
- Flow27. (2016). *Waterhuishoudingsplan Groote Haar*.
- Flow27. (2016). *Waterhuishoudingsplan Groote Haar*. Flow27.
- Fugro NL Land B.V. (2010). Ontgravingen voor riolering kunnen risico inhouden. *Ontgravingen voor riolering kunnen risico inhouden*. H2O. Opgeroepen op maart 20, 2019, van <http://edepot.wur.nl/340448>
- Fugro NL Land B.V. (2009). *Uitvoeringsaspecten aanleg watergangen en riolering*. Leidschendam.
- Fugro NL Land B.V. (2010). *Ontgravingen voor riolering kunnen risico inhouden*. H2O. Opgeroepen op 04 2019, van <https://edepot.wur.nl/340448>
- Fugro NL Land B.V. (2017). *Geotechnisch onderzoek en advies zetting- en stabiliteit bedrijventerrein Groote Haar; Leiding Gasunie*. Leidschendam: Fugro NL Land B.V.
- Fugro NL Land B.V. (2018). *Geotechnisch en geohydrologisch advies 'Bedrijventerrein Groote Haar' te Gorinchem*. Utrecht: Fugro NL Land B.V.
- Fugro NL Land B.V. (2019). *Geotechnisch en geohydrologisch advies 'bedrijventerrein Groote Haar' te Gorinchem*. Arnhem.
- Fugro NL Land B.V. (2019). Informatie taluds grondlichamen. Utrecht.
- Fugro NL Land B.V. (2019). Opbarstbeschouwing watergangen bij bedrijventerrein 'Groote Haar' te Gorinchem. Utrecht.
- Fugro NL Land B.V. (2019, 03 05). Uitgangspunten duikerverbindingen t.b.v advies fundatie project Groote Haar. Arnhem, Gelderland, Nederland. Opgeroepen op 03 2019
- Gemeente Amsterdam. (2019, april). Dakoppervlak woonwijken. Utrecht, Utrecht, Nederland. Opgeroepen op april 2019
- gemeente Gorinchem. (2017, mei 20). *Bedrijventerrein en windturbinepark Groote Haar*. Opgehaald van www.ruimtelijkplannen.nl:

- <https://www.ruimtelijkeplannen.nl/viewer#!/marker/125888.73357761814/429199.61872521526/idn/NL.IMRO.0512.BP2016164-4001/cs/125800.47705580266/429427.6147399052/8339.19365866264>
- Gemeente Gorinchem. (2017, mei 20). *Bedrijventerrein en windturbinepark Groote Haar*. Opgehaald van www.ruimtelijkeplannen.nl:
<https://www.ruimtelijkeplannen.nl/viewer#!/marker/125888.73357761814/429199.61872521526/idn/NL.IMRO.0512.BP2016164-4001/cs/125800.47705580266/429427.6147399052/8339.19365866264>
- Gemeente Gorinchem. (2019, 03 11). Gemeentelijk rioleringsplan Gorinchem Noord. Gorinchem, Zuid-Holland, Nederland.
- Groothuisbouw. (sd). *Wat zijn de nokhoogte en goothoogte van een woning?* Opgeroepen op mei 9, 2019, van www.groothuisbouw.nl: <https://www.groothuisbouw.nl/wat-zijn-de-nokhoogte-en-de-goothoogte-van-een-woning///>
- Hagelunie. (2018, April 3). *Watersilo veilig aanleggen*. Opgehaald van www.hagelunie.com:
<https://hagelunie.com/nl/news/posts/2018/april/watersilo-veilig-aanleggen/>
- Horticoop. (sd). *Silokeuring*. Opgeroepen op april 4, 2019, van www.horticoop.nl:
<https://www.horticoop.nl/media/wysiwyg/PDF/flyersTS/Silokeuring.pdf>
- IMAC. (2019). *Gezond water als basis voor een gezonde teelt*. Opgehaald van Imac-Bleiswijk.
- InfoMil. (2019). *Omgevingsvergunning en watervergunning*. (Rijkswaterstaat) Opgeroepen op 04 2019, van Kenniscentrum InfoMil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/integrale-regels/omgevingsloket/infoblad-bedrijven/omgevingsvergunning/>
- InfoMil, K. (2012, november). *Goed gietwater glastuinbouw*. Opgeroepen op April 08, 2019, van infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/lucht-water/handboek-water/activiteiten/telen-gewassen/telen-kweken/goed-gietwater/>
- Infoworks ICM 9.5 (Sewer Edition). (2019, 03). Subcatchements - Landuse.
- KNMI. (2015). *KNMI'14 Klimaatscenario's*. De Bilt. Opgeroepen op 04 2019, van http://www.klimaatscenario's.nl/images/Brochure_KNMI14_NL.pdf
- KNMI. (z.d.). Dagwaarden neerslagstations.
- Leidraad riolering. (2008). *Module B2100 Functioneel ontwerp: inzameling en transport van afvalwater en (verontreinigd) hemelwater*. Ede: Stichting Rioned.
- Nering Bögel. (sd). *regenwatergebruik en industriële afvalwaterbehandeling*. (N. Bögel, Producent) Opgeroepen op april 3, 2019, van www.neringbogel.eu:
<https://www.neringbogel.eu/producten/industriële-afvalwaterbehandeling>
- Provincie Noord Holland. (2015). *Proef zelfvoorzienende zortwaterberging Texel*. Haarlem: Provincie Noord Holland.
- Rainproof. (2019, april 3). *Maatregelen toolbox*. Opgehaald van www.rainproof.nl:
https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen?f%5B0%5D=field_thema%3A22
- riolering, L. (2008). *Module B2100 Functioneel ontwerp: inzameling en transport van afvalwater en (verontreinigd) hemelwater*. Ede: Stichting Rioned.

- SAB adviseurs in ruimtelijke ontwikkeling. (2018). *Wateropgave bedrijventerrein Groote Haar*. Arnhem: SAB adviseurs in ruimtelijke ontwikkeling.
- Stichting Rioned. (2004, juli 1). *Neerslaggebeurtenis*. Opgehaald van www.rioned.nl:
<https://www.riool.net/neerslaggebeurtenissen-1>
- Stichting Rioned. (2004, juli 1). *Registratie*. Opgehaald van www.riool.net:
<https://www.riool.net/registratie-1>
- STOWA. (2018). *Neerslagstatistieken voor korte duren*. Amersfoort. Opgeroepen op 05 01, 2019, van
<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202018/STOWA%202018-12%20HR.pdf>
- Texel4trading/Innofund. (2016). *PV installatie op waterbassin van exploitatiemaatschappij "de Krim"*. Texel: Gemeente Texel.
- Th.G.L. Aendekerk, A. d. (2005). *Water en ruimte meervoudig ruimtegebruik in de boomteelt*. Wageningen: Praktijkonderzoek plant & omgeving Wageningen.
- Van Daalen waterbassins. (2019, mei). *Renovatie*. Opgehaald van www.waterbassin.nl:
<http://www.waterbassin.nl/renovatie>
- van der Made, H. (2019, April). *Bebouwingspercentage woonwijken*. Amsterdam.
- Waterschap Rivierenland. (2019). *Neerslaggrafiek T=100+10% neerslagsituatie*.
- Wavin Nederland B.V. (2017). *Handboek regenwaterafvoer*. Hardenberg: Wavin Nederland B.V.