Deltares

Enabling Delta Life

Utopia: de regenwaterriool vrije stad!?

Deltares

Utopia: de regenwaterriool vrije stad!?

Daniel van Dijk, HKV
Jeroen Langeveld, Partners4Urbanwater
Didrik Meijer, Deltares

Deltares, 2019

Deltares

Titel
Utopia: de regenwaterriool vrije stad!?

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Gemeente Almere, ALMERE	11201843-007	11201843-007-ZWS-0005	35

Trefwoorden
Robamci, Assetmanagement, Hemelwaterriool, Regenwaterrioolvrij, Infiltratie, Particulier, Openbaar, Almere

Samenvatting
In het kader van het project Risk and Opportunity Based AssetManagement for Critical Infrastructures (ROBAMCI) is voor de gemeente Almere de case "Utopia: de regenwaterriool vrije stad!?" uitgevoerd.

Dit rapport beschrijft voor Muziekwijk in Almere, de uitkomsten van de onderzoeken naar:
- de mogelijkheden om het regenwater zonder rioolbuis af te voeren naar het oppervlakte water;
- de mogelijkheden om een deel van het water te bergen bij particulieren
- de risico's ten aanzien van wateroverlast bij toepassing van een regenwaterrioolvrij concept met en zonder maatregelen bij particulieren

Referenties

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	juni 2019	Didrik Meijer		Hans Korving		Lucas Janssen	
1.0	Okt 2019	Didrik Meijer		Lucas Janssen		Gerard Blom	

Status
definitief

Inhoud

Samenvatting **1**

1 Inleiding **3**
1.1 Doel 3
1.2 Leeswijzer 4

2 Ontwerp op hoofdlijnen **5**
2.1 Uitgangspunten voor het ontwerp 5
2.2 Ontwerp regenwaterriolering huidige situatie Almere 6
2.3 Oplossingsrichting zonder riolering 6

3 Ontwerp uitwerking **11**
3.1 Aangesloten oppervlak in muziekwijk 11
3.2 De onderdelen van het systeem 12
3.3 Ontwerpuitgangspunten 13
3.4 Van theoretisch mogelijke berging naar praktisch haalbare berging 13

4 Faalkansen **15**
4.1 Veroudering: voorzieningen particulierterrein 15
4.2 Veroudering: afname inhoud infiltratiepakketten in straat 15
4.3 Veroudering: afname doorlaatbaarheid infiltratiepakketten 16
4.4 Veroudering: dichtslibben infiltratiekolk 16
4.5 Veroudering: Afname doorlaatbaarheid bodem 17

5 Consequenties van falen **19**
5.1 Huidige situatie, gescheiden stelsel 19
5.2 Aanpak analyse regenwaterrioolvrij-ontwerp 23
5.3 Regenwaterrioolvrij Muziekwijk: gemiddelde waterdieptes en duur 24
5.4 Regenwaterrioolvrij Muziekwijk: waterdieptes en duur per locatie 25
5.5 Conclusie risico's 29

6 Kosten en baten **31**
6.1 Kosten 31
6.2 Baten 32

7 Conclusies en aanbevelingen **35**
7.1 Aanbevelingen 35

Bijlage(n)

A Modelleringsdetails **A-1**
A.1 Infiltratiepakket A-1
A.2 Berging water op straat A-2
A.3 Berging op particulier terrein A-3

B Overzicht model resultaten **B-1**

Samenvatting

In het kader van het project Risk and Opportunity Based AssetManagement for Critical Infrastructures (ROBAMCI) is voor de gemeente Almere de case “Utopia: de regenwaterriool vrije stad!?” uitgevoerd. Dit is een verkennend onderzoek naar de mogelijkheden en risico’s van de toepassing van een regenwaterrioolvrij-concept voor de afvoer van hemelwater in de Muziekwijk in Almere.

Twee cases van regenwaterrioolvrij-concepten zijn met elkaar vergeleken:

1. Case Particulier & Openbaar (P&O): In deze case zijn zowel maatregelen op particulier terrein als in openbaargebied toegepast om het hemelwater te verwerken.
2. Case Openbaar (O): in deze case zijn alleen maatregelen in het openbare gebied toegepast om het hemelwater te verwerken.

Uit het onderzoek is gebleken dat het mogelijk is om voor een relatief vlak gebied als de Muziekwijk een regenwaterrioolvrij-systeem te ontwerpen dat veel robuuster is dan het huidige gescheiden stelsel. De kosten voor zo’n stelsel zijn circa 3x zo hoog als voor een gescheiden stelsel. De verwachte vermeden schade is kleiner dan de extra benodigde investeringen.

Voor de cases zijn op basis van expert judgement een aantal aannames gedaan over de veroudering van de systemen. Deze aannames kunnen grote invloed hebben op de uitkomsten van dit verkennende onderzoek.

Op basis van de aannames voor het falen van het systeem in de loop van de tijd blijkt dat een systeem waarbij al het water in openbaar gebied wordt verwerkt robuuster is dan een systeem waarbij particulieren een deel van de neerslag moeten verwerken op eigen terrein. Dit komt met name door de aanname dat de gemeente een betere beheerder is dan de “gemiddelde” burger. De tweede aanname die hieraan bijdraagt is, dat een particulier zich minder bewust is van de functie van bepaalde voorzieningen en dat daardoor voorzieningen op particulier terrein kunnen worden verwijderd.

Bij een regenwaterrioolvrij-systeem wordt de weg gebruikt voor de tijdelijke berging van neerslag. Gedurende enkele uren worden enkele centimeters water op straat geborgen. Bij de case “Openbaar” is 50 jaar na aanleg, de waterdiepte op circa een kwart van de locaties < 0,05 m en op enkele locaties na <0,1 m. Bij de case “Particulier & Openbaar) is de waterdiepte op circa 10% van de locaties < 0,05 m en op 5% locaties >0,1 m. De duur van water op straat is bij de case “Openbaar” 50 jaar na aanleg vrijwel overal minder dan 8 uur, terwijl bij de case “P&O” op een derde van de locaties de duur langer is dan 8 uur.

1 Inleiding

In het kader van het project Risk and Opportunity Based AssetManagement for Critical Infrastructures (ROBAMCI) is voor de gemeente Almere de case “Utopia: de regenwaterriool vrije stad!?” uitgevoerd. In Almere ligt een gescheiden rioolstelsel. Aangenomen wordt dat de technische levensduur van het riool circa zestig jaar is. De riolering wordt beheerd door de gemeente.

De riolering is ontworpen op een dynamische bui 08, met een totaal volume van 19.8 mm in een uur tijd en een piekintensiteit van 110 l/sha. De riolering is niet ontworpen op het afvoeren van extremere neerslaggebeurtenissen die, als gevolg van klimaatverandering, naar verwachting steeds vaker gaan optreden.

Vanwege de klimaatverandering worden in Nederland steeds meer hemelwatersystemen aangelegd waarbij regenwater zoveel mogelijk wordt vastgehouden en vertraagd afgevoerd naar grond- en oppervlaktewater. Een deel van de gemeenten is bezig, of overweegt, over te schakelen op zogenaamde regenwaterrioolvrijesystemen. Hierbij wordt het regenwater niet door middel van leidingsystemen afgevoerd, maar verwerkt door middel van een combinatie van voorzieningen die het mogelijk maken om water te bergen, te infiltreren en oppervlakkig af te voeren. Voorbeelden van deze voorzieningen op/in particulier terrein zijn infiltratiekratten, groene daken of waterreservoirs voor het gebruik van water. Voorbeelden van voorzieningen op/in openbaarterrein zijn infiltratievoorzieningen, wadi’s, hol liggende straten met een waterafvoerende functie.

Een deel van de gemeentes kiest ervoor om particulieren te verplichten een actieve rol te nemen in het verwerken van regenwater. Particulieren moeten bijvoorbeeld 40 mm regenwater bergen/verwerken op eigen terrein. Hierdoor krijgen particulieren ook een grotere rol in het beheer van de hemelwatervoorzieningen. Ze zijn niet langer alleen verantwoordelijk voor een goed gebruik van de gemeentelijke infrastructuur, maar worden ook verantwoordelijk voor het beheer van de voorzieningen op eigen terrein.

Door het toepassen van voorzieningen op particulier terrein wordt de piekbelasting naar de openbare voorzieningen verlaagd en kan de noodzakelijke afvoercapaciteit van de openbare voorzieningen beperkt worden.

De regenwaterrioolvrije stad brengt nieuwe risico’s mee. Particulieren worden “mede beheerders” en gemeente moeten nieuwe voorzieningen met dubbelfuncties (hemelwater-weg, hemelwater-groen) gaan beheren. In deze case studie wordt getracht een overzicht te geven van de mogelijke ontwikkelingen, de daarbij behorende kosten en risico’s en wordt dit afgezet tegen een “traditioneel” rioolsysteem.

1.1 Doel

Het doel van deze case is:

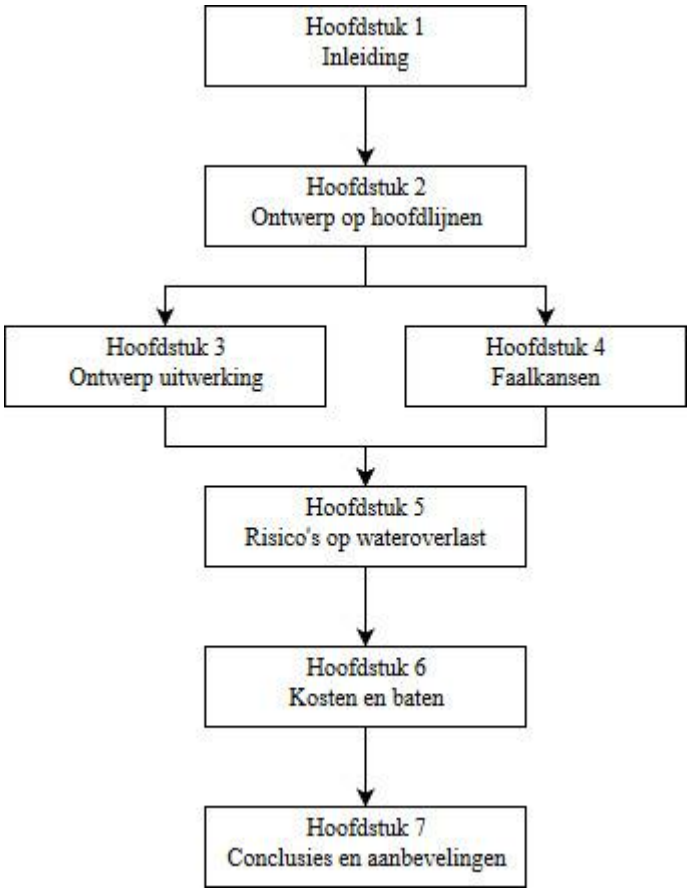
1. Bepalen of en zo ja wat de potentiele besparingen zijn van het toepassen van het concept regenwaterrioolvrije stad.
2. Bepalen wat het effect is op risico’s in relatie tot de regenwaterrioolvrije stad.
3. Bepalen wat het effect is op risico’s van het toepassen van voorzieningen op particulier terrein.

De onderzoeksvragen zijn:

- Is het mogelijk een regenwaterrioolvrij ontwerp te maken voor Almere Muziekwijk waarbij het regenwater wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater?
- Wat zijn de faalmechanismes en -kansen bij een regenwaterrioolvrij ontwerp?
- Wat zijn de gevolgen voor de risico's bij de veroudering van een regenwaterrioolvrij ontwerp?
- Hoe verhouden de aanleg- en beheerkosten van een regenwaterrioolvrij ontwerp zich ten opzichte van een traditioneel ontwerp?

1.2 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: In hoofdstuk 2 zijn de uitgangspunten beschreven en op basis hiervan is een ontwerp op hoofdlijnen gemaakt. Dit ontwerp is in hoofdstuk 3 uitgewerkt tot een schetsontwerp dat vertaald is in een model. Parallel aan dit hoofdstuk zijn in hoofdstuk 4 de faalkansen beschreven. Het ontwerp (hoofdstuk 3) en de faalkansen (hoofdstuk 4) zijn de basis voor de wateroverlastberekeningen (locaties dieptes en duur). Dit is beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 zijn de kosten en baten beschreven en dit is vergeleken met het huidige gescheiden stelsel. De conclusies van dit onderzoek staan in hoofdstuk 7.

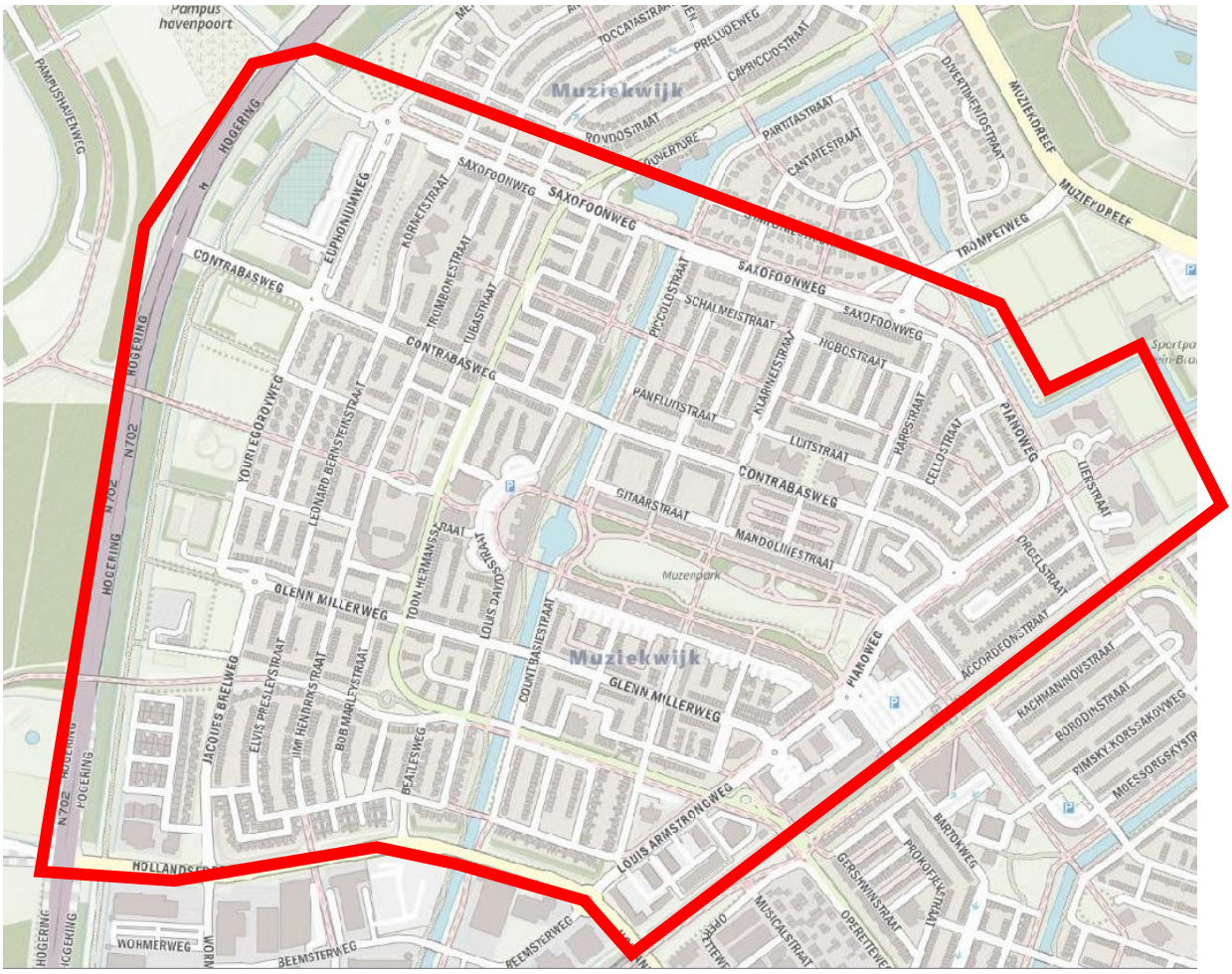


Figuur 1.1 Opbouw van het rapport

2 Ontwerp op hoofdlijnen

2.1 Uitgangspunten voor het ontwerp

Het ontwerp voor de regenwaterrioolvrijewijk wordt opgesteld voor het noordelijke deel van Muziekwijk. In Figuur 2.1 is het projectgebied weergegeven. In dit rapport is het gebied verder aangeduid als Muziekwijk. Een watergang verdeeld het gebied in Muziekwijk-West en -Oost



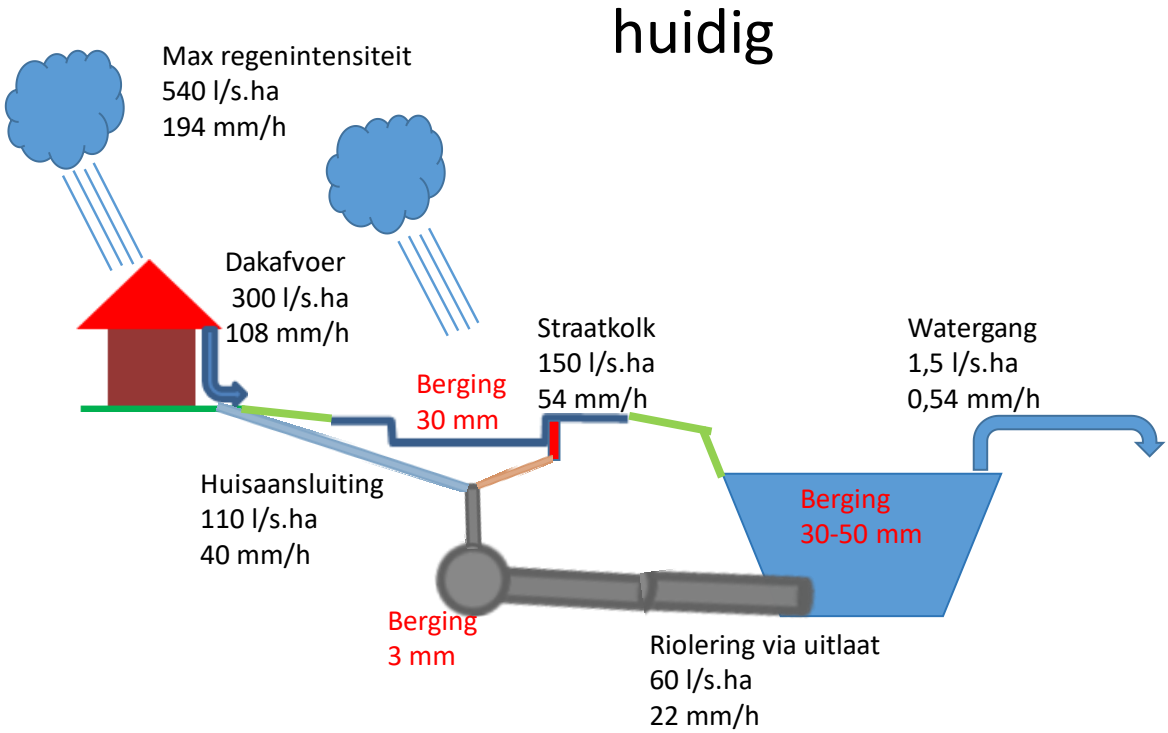
Figuur 2.1 Globale grenzen van het projectgebied

De gemeente wil het ontwerp zoveel mogelijk vrij laten, maar heeft de volgende richtlijnen mee gegeven:

- Ontwerp bui is T=100, 70mm neerslag in een uur.
- Water op straat is toegestaan met een maximale diepte van 10 cm en een maximale duur van 6 uur.
- Panden moeten droog blijven ook als er meer dan 70 mm valt.
- Voorzieningen moeten binnen 24 uur na afloop van de bui weer beschikbaar zijn.
- Ruimte beslag minimaliseren in verband met wensen extra parkeerplaatsen en kabels en leidingen.
- Bij holle constructies rekening houden met mogelijke wortelingroei.

2.2 Ontwerp regenwaterriolering huidige situatie Almere

Almere kent een traditioneel gescheiden rioolstelsel met relatief veel berging in het oppervlaktewater door de drooglegging van 1,5 m en vrij ruime afmetingen van het oppervlaktewater. Het onderzoek van “de zwakste schakel” heeft laten zien dat het hemelwaterriool nu de zwakste schakel is, gevolgd door de straatkolken. Het oppervlaktewater heeft de minste invloed. Figuur 2.2 geeft een schematisch overzicht van de huidige situatie.



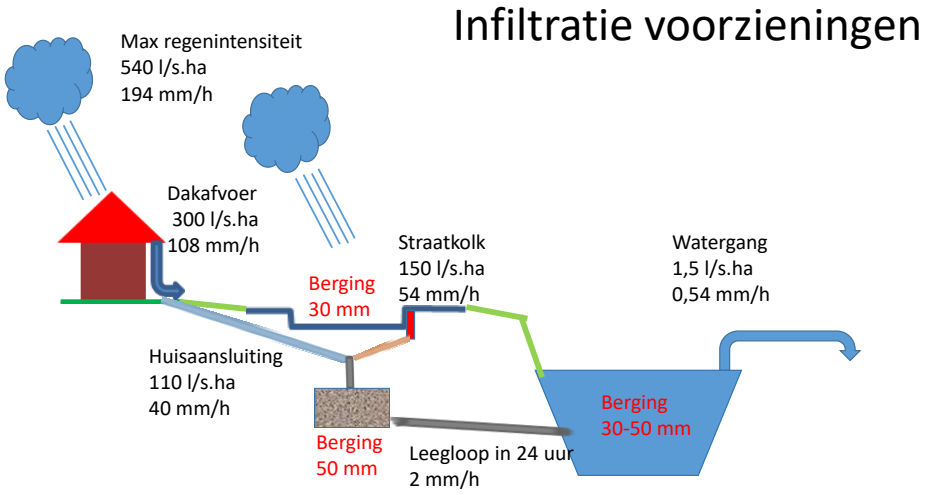
Figuur 2.2 Huidige opzet omgang hemelwater met indicatieve kentallen

2.3 Oplossingsrichting zonder riolering

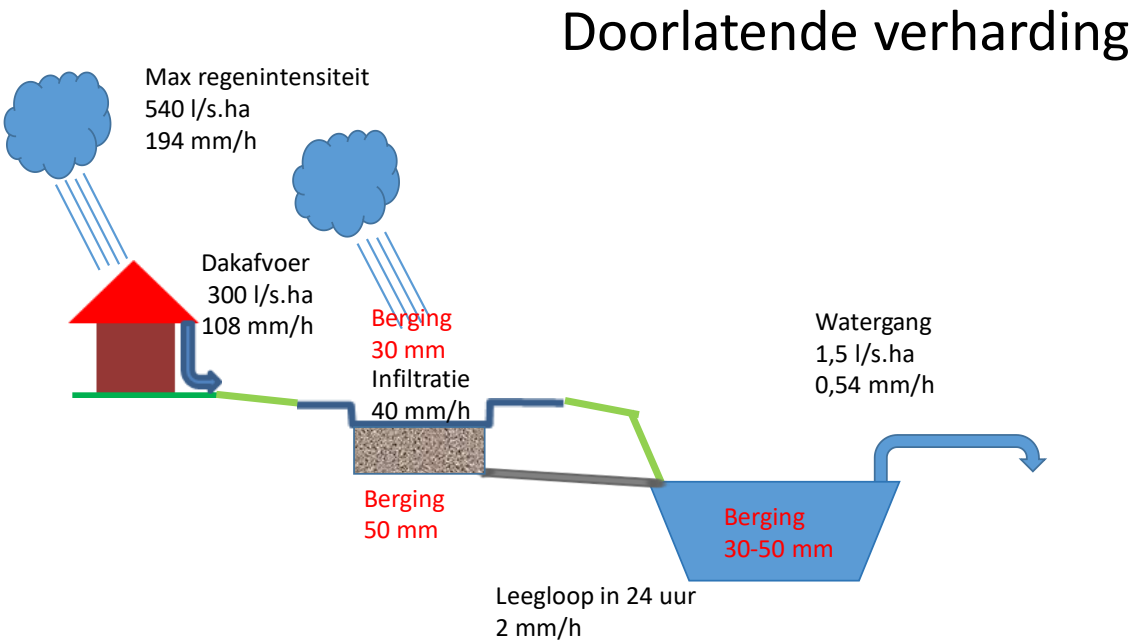
In een regenwaterrioolvrije stad wordt ondergrondse afvoer via buizen niet meer toegepast. Dat betekent dat op een geheel andere manier moet worden gedacht over de verwerking van neerslag. Gezien het beperkte maaiveldverhang in Almere is afvoer over het maaiveld naar de huidige watergangen niet haalbaar. Daarvoor wordt in dit project het toepassen van infiltratie naar de bodem als oplossingsrichting verkend. Daarvoor bestaan 2 principe oplossingen:

- Het regenwaterriool wordt vervangen door een infiltratievoorziening (zie Figuur 2.3).
  De infiltratievoorziening moet om praktische redenen ongeveer 1 meter diep liggen om gevoed te kunnen worden via de kolkleidingen en huisaansluitingen. Dat betekent dat de infiltratievoorziening maar ongeveer een halve meter aan berging kan krijgen. Bij een porositeit van 35% van een zandpakket, komt dit bij een berging van 50 mm neer op het kunnen aansluiten van 3,5 m^2 verhard oppervlak/m^2 filteroppervlak, waarmee het filteroppervlak nagenoeg de volledige straatbreedte moet krijgen. Het beslag op de ondergrondse ruimte wordt daarmee aanzienlijk.
- Het regenwaterriool wordt vervangen door doorlatende verharding en huisaansluitingen en kolkleidingen worden verwijderd (zie Figuur 2.4).
  Doorlatende verharding moet een hoge infiltratiecapaciteit hebben van ongeveer 40 mm/h betrokken op het totale afvoerend oppervlak om een vergelijkbare prestatie te krijgen als nu wordt bereikt met straatkolken en huisaansluitleidingen.

Afhankelijk van de verhouding dak-weg betekent dit al snel een infiltratiecapaciteit van 80 mm/h, die tot in lengte van jaren gegarandeerd moet worden.



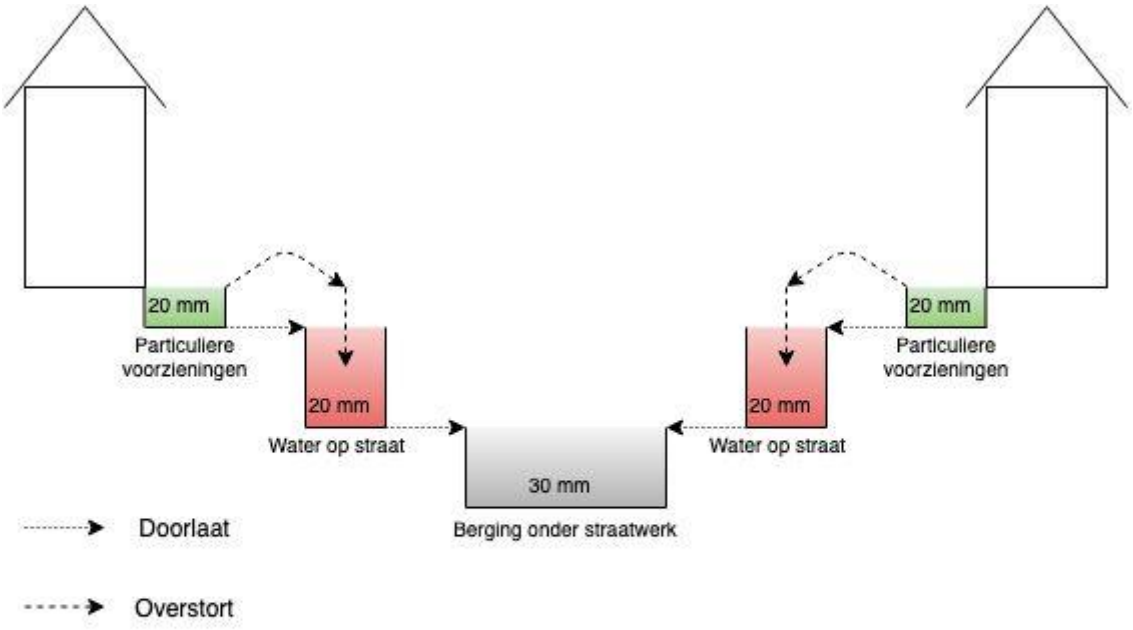
Figuur 2.3 Vervanging hemelwaterriool door infiltratievoorziening

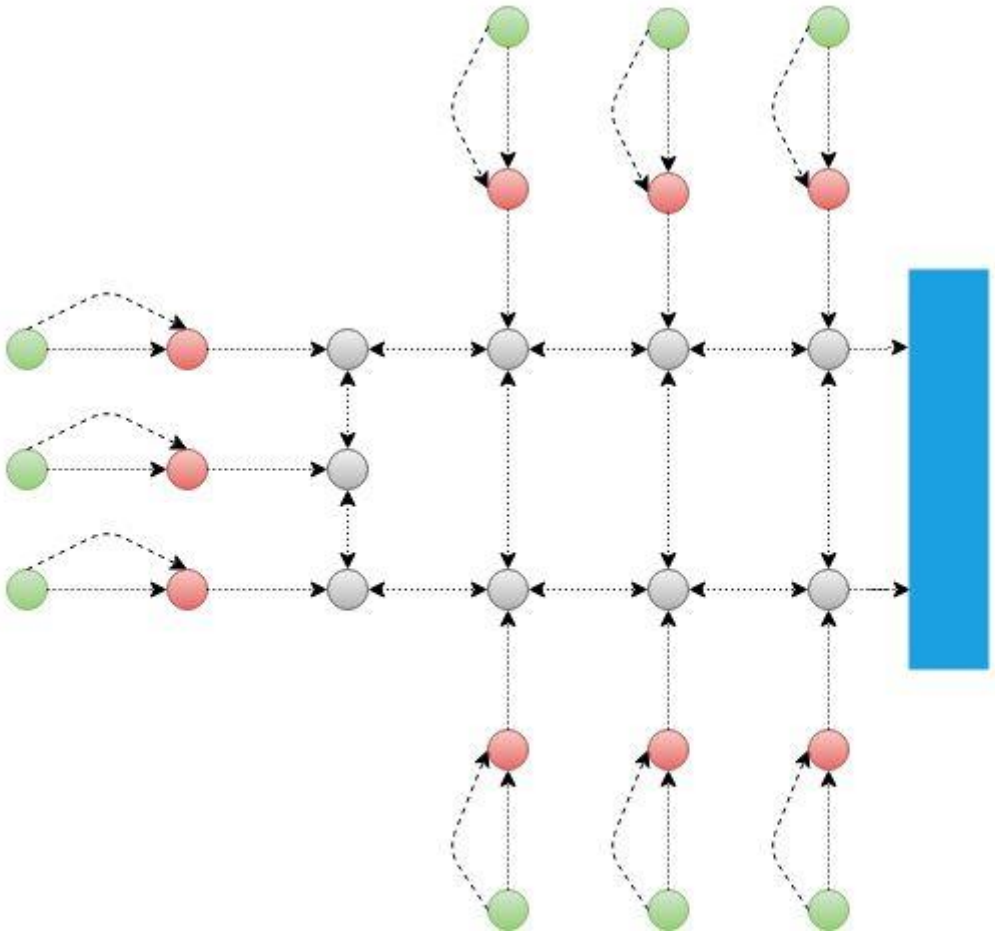


Figuur 2.4 Vervanging hemelwaterriool door infiltrerende verharding en afstroming over maaiveld naar verharding

In het project is, op verzoek van de gemeente, gewerkt met een variant op het systeem met straatkolken. De uitgewerkte oplossing bestaat uit een berging onder de straat met een inhoud van 50 mm. De bewoners dragen daarbij zorg voor een retentie van 20 mm op eigen terrein. Figuur 2.5. geeft een overzicht van het principeontwerp.

Het regenwaterrioolvrije concept is verder uitgewerkt in hoofdstuk 3. Het bestaande stratenpatroon is daarbij gehandhaafd. Dit betekent dat het aantal lozingslocaties vanuit de ondergrondse berging naar het oppervlaktewater beperkt is. De lediging van de infiltratiesleuven verloopt dan ook vooral naar de omringende bodem in plaats van naar het oppervlaktewater.





Figuur 2.5 Schematische weergave van het principe ontwerp

3 Ontwerp uitwerking

3.1 Aangesloten oppervlak in muziekwijk

Figuur 3.1 toont de verschillende oppervlakten binnen de Muziekwijk zoals geregistreerd in de BGT. In Tabel 3.1 zijn de verschillende oppervlakten gesommeerd naar hun type. De eerste 4 typen zijn meegenomen in het oorspronkelijke rioleringsmodel in SOBEK. Het totale oppervlak in dit model bedroeg 73,3 ha. Het oppervlak van de BGT is 96,9. Hiervan is 31.2 ha onbegroeid particulier terrein. Hiervan nemen we aan dat 7,7 ha verhard is zodat het oppervlak in beide modellen gelijk is.

Van de 73,3 hectare aangesloten oppervlak is 45% afkomstig van particulier terrein (daken, opritten) en 55% van de wegen in het open terrein. De overige oppervlakten als openbaar groen en water beschouwen we als niet aangesloten op de riolering. Deze oppervlakten laten het water volledig infiltreren (of voeren direct af op de watergangen).

Figuur 3.1 Basisregistratie Grootschalige Topografie (BGT) kaart van Muziekwijk.

*Tabel 3.1 Gesommeerde oppervlakten onderverdeeld naar type binnen de Muziekwijk. * aanname deel op riolering aangesloten particuliere opritten en terrassen.*

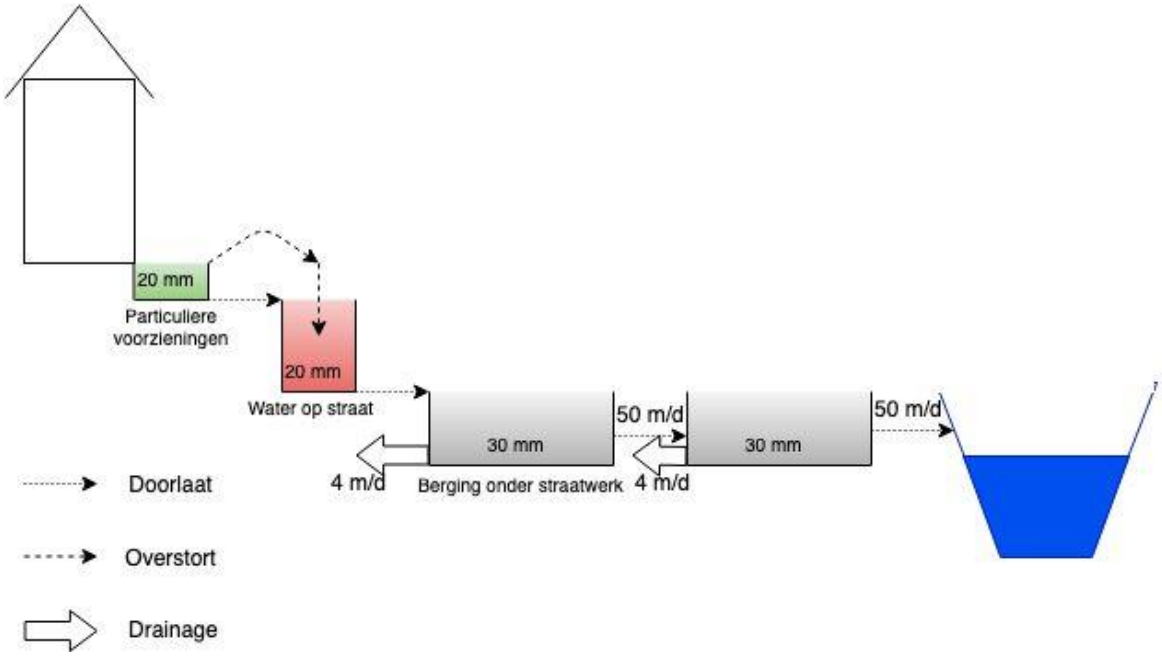
Verhardingstype	Oppervlak volgens BGT [ha]	Oppervlak in model [ha]	Percentage van totaal [%]
Panden (rood)	25,0	25,0	34
Weg (grijs)	38,9	38,9	53
Ondersteunende wegdelen (lichtgrijs)	1,7	1,7	2
Onbegroeid (particulier) terrein (geel)	31,2	7,7	11
Totaal	**96,9**	**73,3**	**100**

3.2 De onderdelen van het systeem

Er zijn twee varianten van het regenwaterrioolvrije ontwerp, met en zonder maatregelen op particulier terrein, de overige systeemonderdelen zijn gelijk aan elkaar (Figuur 3.2). De toegepaste onderdelen zijn:

- particuliere berging (groene bakjes),
- waterberging op straat (rode bakjes),
- infiltratieputten (doorgang tussen rode en grijze bakjes),
- infiltratiepakketten (grijze bakjes)
- de stroming door de pakketten (verbindingen tussen de grijze bakjes),
- de drainage richting grondwater (grote pijlen)
- de uitstroom richting open water (pijl tussen grijs bakje en watergang).

In de beschrijving is, waar nodig, onderscheid gemaakt tussen de particuliere en de openbare variant. De details van de modellering staan in bijlage A.



Figuur 3.2 Schematische weergave van model

3.3 Ontwerpuitgangspunten

De volgende ontwerpuitgangspunten zijn gehanteerd:

- Het aangesloten verhard oppervlak bedraagt 73,3 hectare, waarvan 45% particulier terrein en 55% weg.
- Het systeem wordt getoetst op een ontwerpbui van 70mm in 1 uur.
- Het systeem dient binnen 24 uur weer leeg te zijn
- De drooglegging van het gebied is 70cm onder maaiveld
- Het streefpeil van het oppervlaktewater blijft ongewijzigd op -5.7 m + NAP.

De onderverdeling van de berging voor de twee verschillende ontwerpvarianten is weergegeven in Tabel 3.2.

Uitgangspunt is dat er 70mm berging wordt gerealiseerd, deze bergingen zijn in het model verwerkt op putniveau. Er zijn twee scenario's met en zonder maatregelen op particulier terrein. In Tabel 3.2 is "effectieve berging" de berging ten opzicht van het totaal aangesloten afvoerende oppervlak en "berging" de berging ten opzichte van het betreffende terrein.

Tabel 3.2 Theoretische bergingsberekening in mm op het bruto oppervlakte 'per put'.

	zonder maatregelen op particulierterrein	**met maatregelen op particulierterrein (40mm)**
percentage particulier terrein	45 %	45 %
percentage openbaar terrein	55 %	55 %
totale effectieve berging [mm]	70	70
effectieve berging water op straat [mm]	20	20
effectieve berging particulier terrein [mm]	0	18
effectieve berging infiltratiepakket [mm]	50	32
berging op straat [mm][1]	80	80
berging particulier [mm]	0	40

Zonder maatregelen op particulier terrein wordt 20mm water op straat geborgen (dat is ongeveer 8 cm water op de rijbanen tussen de stoepbanden), zonder dat dit tot overlast leidt en 50mm in het infiltratiepakket.

Met burgerparticipatie wordt ook 20mm water op straat geborgen en 40mm op particulier terrein. Echter, omdat de berging van particulier terrein alleen betrekking heeft op het particuliere oppervlak, bedraagt de effectieve berging 45% van 40mm is 18mm. Omgerekend is dan de benodigde berging in de infiltratiepakketten 20mm + 12mm = 32mm.

3.4 Van theoretisch mogelijke berging naar praktisch haalbare berging

Vanuit gemeente Almere is gevraagd om te onderzoeken wat de effecten zijn van de praktisch haalbare berging. Daarmee zoeken we wat er (redelijkerwijs) mogelijk is aan berging, en beperken we ons niet alleen tot de theoretisch minimaal benodigde berging.

[1] *Aangenomen is dat 25% van het totale aangesloten oppervlak wegoppervlak is exclusief stoepen pleintjes etc.*

In het model is de praktisch haalbare berging voor de infiltratiepakketten geïmplementeerd, waarbij gezocht is naar een realistische afmetingen. Hierbij ia aangenomen dat alle wegen een infiltratiepakket krijgen met een breedte van 6 tot 8,5 m, een hoogte van 50 tot 60 cm (waarbij nog 10 cm hoogte beschikbaar is voor een straatklinker) en een materiaalporositeit van 33%. Tabel 3.3 laat zien welke afmetingen dan theoretische nodig en welke praktisch haalbaar zijn. De waarden onder “praktisch mogelijk” zijn geïmplementeerd in het model. Het gehele infiltratiepakket werkt dus als berging en ligt in zijn geheel boven het grondwater en de drooglegging van 70 cm – straatniveau.

Tabel 3.3 Praktische ontwerpdimensies infiltratiepakket

		Met particuliere berging			**Zonder particuliere berging**	
		Theoretisch nodig	Praktisch mogelijk		Theoretisch nodig	Praktisch mogelijk
Benodigde berging	mm	32	**36**		50	**56**
Aangesloten oppervlakte	ha	75	75		75	75
Weglengte	km	25	25		25	25
Pakketdikte	m	0,5	0,5		0,6	0,6
Pakketbreedte	m	6	6,5		7,5	8,5
Porositeit	%	0,33	0,33		0,33	0,33
Berging in pakket	m^3	24.750	26.800		37.125	42.075
Gerealiseerde berging	mm	33	35,75		49,5	56,1

4 Faalkansen

Door de tijd heen zal het aangelegde systeem verouderen. Dit heeft capaciteitsverlies tot gevolg. Om de effecten hiervan te simuleren op het hydraulisch functioneren gedurende een levensduur van 50 jaar worden vijf verouderingsprocessen meegenomen. Afhankelijk van het proces worden deze jaarlijks hersteld of zal het langzaam steeds verder verslechteren. We veronderstellen hierbij wel dat het bedachte hoofdsysteem in principe in gebruik blijft en dat niet bijvoorbeeld een volledige straat wordt verwijderd en niet wordt gecompenseerd.

De beschouwde processen, zie de andere uitwerking hierna, betreffen:

- Uitval voorzieningen particulierterrein *(jaarlijks herstel)*
- Afname inhoud bergingspakketten in de straat
- Afname doorlaatbaarheid (afvoercapaciteit) bergingspakketten
- Dichtslibben infiltratiekolken *(jaarlijks herstel)*
- Afname doorlaatbaarheid en drainagecapaciteit overige bodem

4.1 Veroudering: voorzieningen particulierterrein

Aangenomen wordt dat jaarlijks 25% van de voorzieningen op particulierterrein falen. De uitval is een gevolg van verwijderen van de berging of tijdelijke blokkade. Effecten zoals burgers die in de loop van de tijd meer en meer bergingen permanent verwijderen of bergingen langzaam dichtslibben zijn niet meegenomen in deze analyse.

Als de particuliere berging uitvalt dan wordt het oppervlak gelijk aan 1m^2, anders blijft het oppervlak gelijk aan het oorspronkelijke bergingsoppervlak.

De jaarlijkse uitval is gemodelleerd door per particuliere berging te trekken uit een uniforme verdeling kansverdeling waarbij de kans op uitval gelijk is aan 25% en kans op geen uitval aan 75%.

$$O_{put;\,part;berging} = \begin{cases} O_{put;part-berging;oorspronkelijk} & ;75\%\ kans \\ 1 & 25\%\ kans \end{cases}$$

Deze trekking wordt elk jaar toegepast.

4.2 Veroudering: afname inhoud infiltratiepakketten in straat

Het beschikbare volume in de infiltratiepakketten onder de straat neemt langzaam af als gevolg van slib dat het pakket inspoelt. Zeker indien de berging in praktijk gevuld met worden via kolken is de kans groot (25%) dat het volume afneemt door sediment. Straatkolken houden op jaarbasis slechts 30% van het instromend sediment tegen. De infiltratiepakketten worden niet tussendoor gereinigd. Dus de afname van het beschikbare volume is een onomkeerbaar proces.

De afname van het beschikbare volume is geschat op 10% per 30 jaar. Als dit lineair gebeurtis de jaarlijkse afname van 0,1/30.

$$V_{infiltratiepakket}(t) = \frac{0{,}1}{30} * t * V_{infiltratiepakket;oorspronkelijk}.$$

De uitval van infiltratiepakketten wordt getrokken uit een uniforme kansverdeling waarbij

$$P_{infiltratiepakket\ slibt\ dicht} = \begin{cases} 0 & ; 75\%\ kans \\ 1 & 25\%\ kans \end{cases}$$

Deze trekking vindt plaats aan het begin van de levenscyclus.

4.3 Veroudering: afname doorlaatbaarheid infiltratiepakketten

De doorlaatbaarheid van de infiltratiepakketten neemt ook af als gevolg van langzaam dichtslibben van de pakketten door vuilinspoeling. We nemen aan dat de kans 10% is dat de doorlaatbaarheid van het pakket afneemt. Waarbij de capaciteit over de hele levensduur (tenminste 50 jaar) afneemt tot maximaal 50% van de oorspronkelijke capaciteit.

Aangenomen wordt dat de afname lineair verloopt volgens:

$$q_{infiltratiepakket}(t) = \frac{0{,}5}{50} * t * q_{infiltratiepakket;oorspronkelijk}$$

De uitval van infiltratiepakketten wordt getrokken uit een uniforme kansverdeling waarbij

$$P_{doorlaatbaarheid\ neemt\ af} = \begin{cases} 0 & ; 90\%\ kans \\ 1 & ; 10\%\ kans \end{cases}$$

Deze trekking vindt plaats aan het begin van de levenscyclus.

4.4 Veroudering: dichtslibben infiltratiekolk

Als gevolg van sedimentinspoeling neemt de capaciteit van de infiltratiekolken af. Gemiddeld faalt 5% van de straatkolken volledig. Elk jaar worden de straatkolken gereinigd. In het model staat één doorlaat gelijk aan 20 infiltratiekolken. Binnen een ‘SOBEK-put’ kunnen 0 tot 20 kolken uitvallen. Elke kolk draagt evenveel bij aan de totale infiltratiecapaciteit. Dus de gemodelleerde infiltratiecapaciteit vermindert evenredig met de uitval van het aantal infiltratiekolken. Dus

$$Q_{infiltratieput} = \left(1 - \frac{n_{uitval}}{n_{putten}}\right) * Q_{infiltratieput;oorspronkelijk}$$

$1 - \frac{n_{uitval}}{n_{putten}}$ is beschreven met een discrete binomiale kansverdeling. Deze is gedefinieerd als

$$\frac{n_{uitval}}{n_{putten}} = B\left(n_{putten}, p\right) = f(k; n, p) = P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

Met $n = n_{putten} = 20$ en $p = 0{,}05$.

In de PTK is de volgende kansverdelingstabel toegepast.

Tabel 4.1 Benadering van binomiale kansverdeling voor uitval putten.

% kans	Cumulatieve kans	Aantal van 20 putten uitval	Beschikbare capaciteit %
35,9%	35,9%	0	100
37,7%	73,6%	1	95
18,9%	92,5%	2	90
5,9%	98,4%	3	85
1,3%	99,7%	4	80
0,2%	100%	5	75

Deze trekking wordt jaarlijks toegepast, omdat aangenomen wordt dat de kolken jaarlijks gereinigd worden.

4.5 Veroudering: Afname doorlaatbaarheid bodem

Een groot deel van het water stroomt lateraal vanuit de bergingskoffers door de bodem naar drainageleidingen. De aanname is dat de horizontale doorlaatbaarheid (k_h)van de bodem 4 m/dag bedraagt. Door de tijd heen kunnen drainageleidingen dichtslibben. Aangenomen wordt dat deze leidingen de totale capaciteit van 4m/dag voor het hele gebied, onverhard en verhard samen kunnen verwerken. Daarnaast kan de doorlaatbaarheid van de bodem afnemen door dichtslibben met kleine deeltjes. Dit heeft tot gevolg dat de totale drainagecapaciteit van de bodem, die we hier beschouwen met de parameter horizontale doorlaatbaarheid, afneemt.

Om de gevoeligheid te onderzoeken veronderstellen we dat voor 50% van de bergingskoffers over 50 jaar de doorlaatbaarheid afneemt met 50%. Dus:

$$k_{h;grondwater}(t) = \frac{0{,}5}{50} * t * k_{h;grondwater;oorspronkelijk}.$$

met t de tijd in jaar.

De afname van doorlaatbaarheid bekijken we per bergingskoffer. Deze wordt uit een uniforme kansverdeling waarbij

$$P_{afname;drainagecapaciteit} = \begin{cases} 0 & 50\%\ kans \\ 1 & 50\%\ kans \end{cases}$$

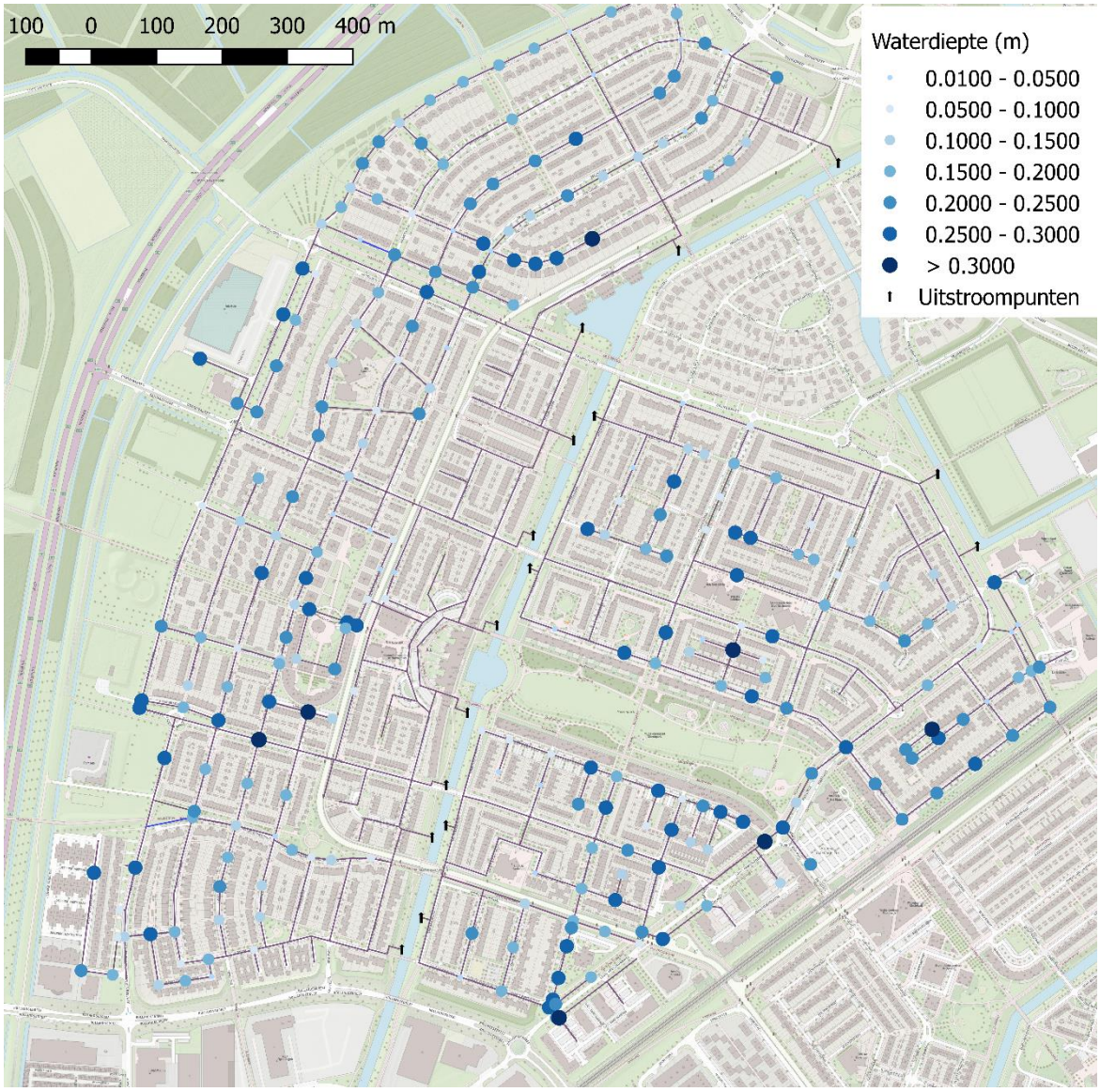
Deze trekking vindt plaats aan het begin van de levenscyclus.

5 Consequenties van falen

5.1 Huidige situatie, gescheiden stelsel

Om een beeld te krijgen van de optredende waterstanden in de huidige situatie bij een bui van 70 mm in een uur is een berekening gemaakt met het bestaande SOBEK model. Het model is op 1 punt aangepast, namelijk de oppervlakte voor de berging van water op straat is aangepast. Het oppervlak is gelijk gesteld aan 25% van het totale afvoerende oppervlak op basis van de aanname dat 50% van het oppervlak openbare ruimte is en dat daarvan 50% straat-oppervlak is.

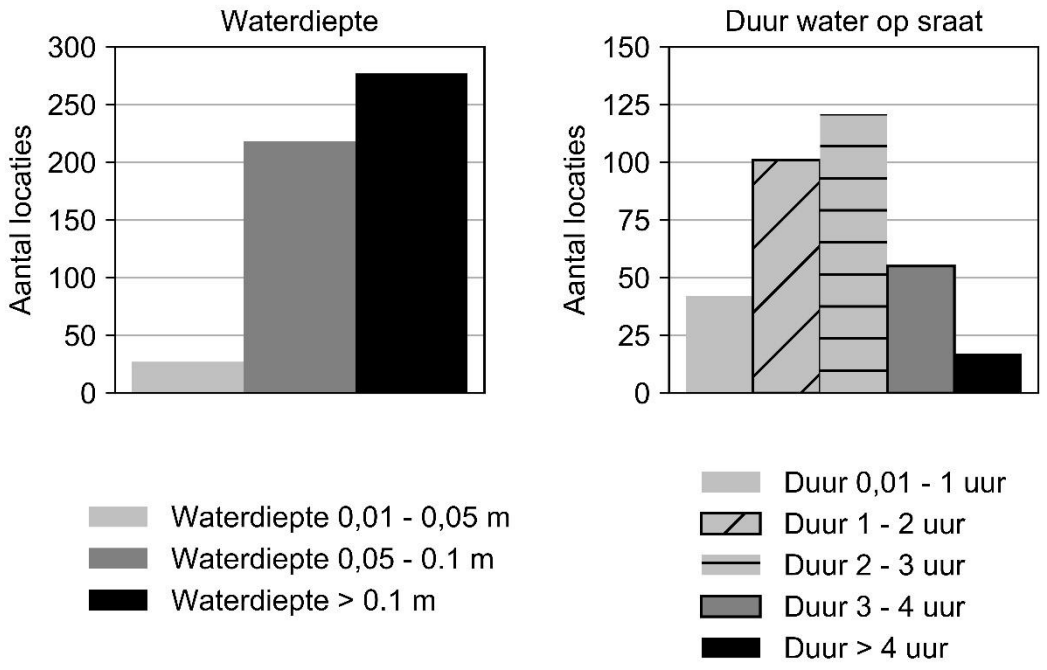
Figuur 5.1 geeft een overzicht van de locaties waar water op straat wordt berekend. De afbeelding laat zien dat water op straat wordt berekend in een groot deel van het stelsel. In het gebied rondom de uitstroompunten blijft het berekende water niveau onder het straatniveau. Figuur 5.2 laat zien hoe lang het water op straat blijft staan. De afbeelding laat zien op een groot aantal locaties het water langer dan 2 uur op straat blijft staan.



Figuur 5.1 Overzicht van de optredende waterdieptes bij een bui van 70 mm in een uur in de huidige situatie met een gescheiden stelsel

Figuur 5.2 Overzicht van de optredende duur van water op straat bij een bui van 70 mm in een uur in de huidige situatie met een gescheiden stelsel

In afbeelding 5.3 is een overzicht gegeven van het aantal locaties met een bepaalde waterdiepte en duur van water op straat. De afbeelding laat zien dat op relatief veel locaties (>250, >50%) meer dan 0,1 m water op straat wordt berekend de duur van water op straat is varieert. Op de meeste locaties is na 4 uur het water weer van straat verdwenen.



Figuur 5.3 Overzicht van diepte en duur van water op straat per locatie in het huidige gescheiden stelsel

In het project "ROBAMCI Risicogestuurdbeheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen" is onderzocht wat het effect van veroudering is van de riolering als gevolg van zetting en vervuiling. In Figuur 5.4 is een overzicht weergegeven van de locaties waar bij bui 08 in 2050 wel water op straat wordt berekend en in de huidige situatie niet. De afbeelding laat zien dat in de loop van de tijd het aantal locaties waar water op straat wordt berekend sterk toeneemt. Door bij de vergelijking van de resultaten het gescheiden stelsel in de huidige situatie als referentie situatie te gebruiken wordt voor de referentie situatie uitgegaan van het meest positieve scenario.

Figuur 5.4 Verschil in water op straat locaties bij bui 08 in 2050 ten opzichte van 2018 als gevolg van 32 jaar zetting. De linker afbeelding toont Muziekwijk en de rechter afbeelding Waterwijk.

5.2 Aanpak analyse regenwaterrioolvrij-ontwerp

De risico's van het regenwaterrioolvrij-concept is geanalyseerd met behulp van de probabilistische toolkit (PTK). Het ontwerp van het regenwaterrioolvrij-concept is gemodelleerd in het softwarepakket SOBEK 2 Urban. De referentiesituatie (situatie bij oplevering) is doorgerekend met een bui van 70 mm in een uur. Vervolgens is een periode van 50 jaar doorgerekend in 25 rondes van elk 2 jaar. Voor elke ronde zijn uit de stochasten die beschreven zijn in hoofdstuk 4 150 trekking gedaan.

Er zijn twee cases doorgerekend:

1. Case Particulier & Openbaar (P&O): In deze case zijn zowel maatregelen op particulier terrein als in openbaargebied toegepast om het hemelwater te verwerken.
2. Case Openbaar (O): in deze case zijn alleen maatregelen in het openbare gebied toegepast om het hemelwater te verwerken.

Voor de cases zijn de gebieden Muziekwijk-Oost en Muziekwijk-West afzonderlijk doorgerekend. De resultaten zijn voor de twee gebieden samen geanalyseerd en beschreven.

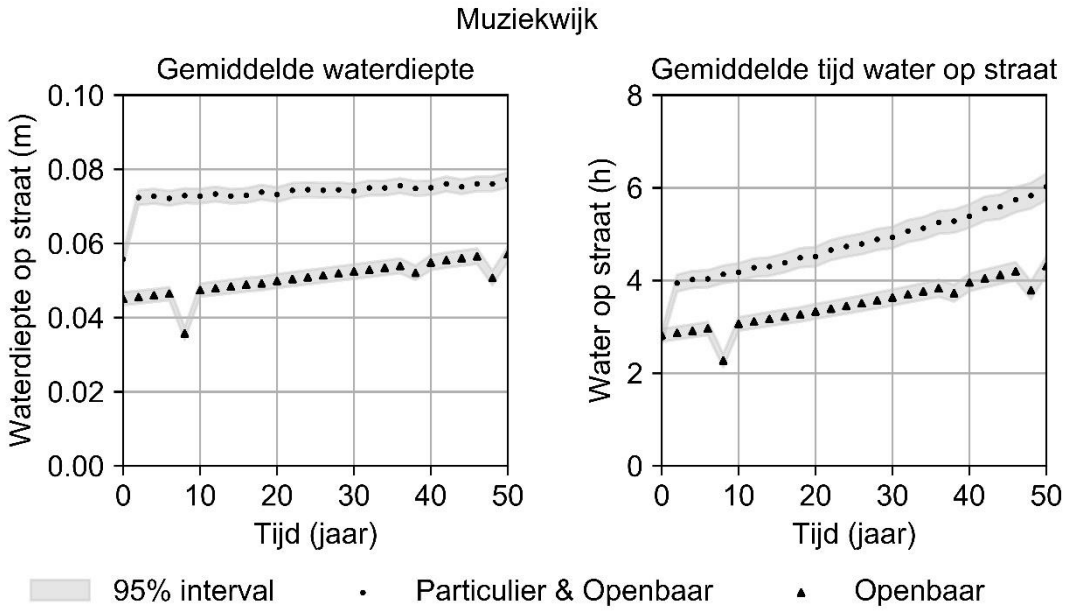
5.3 Regenwaterrioolvrij Muziekwijk: gemiddelde waterdieptes en duur

Voor Muziekwijk zijn de ontwikkelingen van de waterdiepte en de berekende duur van water op straat in de loop van de jaren weergeven in Figuur 5.5. In de afbeelding zijn per jaar de gemiddelde waterdiepte en duur van water op straat weergeven over alle putten in het model. In de afbeelding zijn 3 uitschieters te zien in de berekeningen van het scenario met maatregelen in openbaar gebied (jaar 8, 38 en 48). Deze uitschieters zijn het gevolg van een softwarebug. Aangezien deze uitschieters de conclusies niet beïnvloeden en voor elke wijk en case 3.750 berekeningen gemaakt moeten worden zijn, de berekeningen niet opnieuw uitgevoerd maar, zijn deze resultaten er uit gefilterd.

De afbeelding laat zien dat in jaar 0 de gemiddelde waterdiepte op straat voor de variant met voorzieningen in openbaar gebied en op particulier terrein (P&O) circa 1 cm hoger is dan voor de variant met alleen voorzieningen in openbaar gebied (O). De duur is bij beide varianten ongeveer gelijk namelijk 3 uur.

Na 1 jaar neemt de gemiddelde waterstand en de duur van water op straat bij de variant P&O met een sprong toe. Dit wordt veroorzaakt door de aanname dat 25% van de particuliere voorzieningen faalt. De gemiddelde waterdiepte neemt toe met circa 2 cm en de duur van water op straat met ruim een uur.

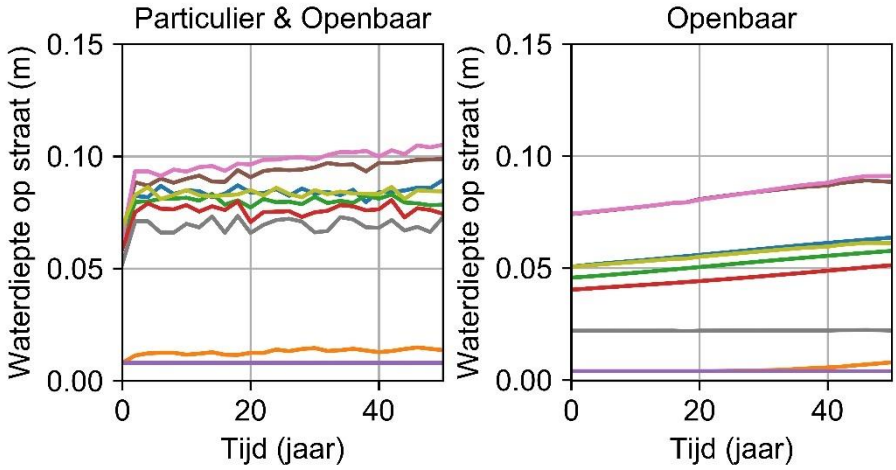
In de periode van jaar 1 tot en met jaar 50 neemt zowel de waterdiepte als de duur van water op straat bij beide varianten toe. De waterdiepte neemt bij de variant Openbaar sterker toe. Dit wordt veroorzaakt doordat de afvoercapaciteit van het infiltratiepakket afneemt. Deze afname vindt ook plaats bij de variant P&O maar bij deze variant wordt het water langer geborgen in de particuliere voorzieningen. Doordat het water uit de particuliere voorzieningen wel langzaam afgevoerd wordt naar de straat neemt de duur van water op straat iets sterker toe bij de variant P&O dan bij de variant Openbaar.



Figuur 5.5 Ontwikkeling van de gemiddelde waterdiepte en duur van water op straat voor de situatie met alleen voorzieningen in openbaar gebied (Openbaar) en voor de situatie met voorzieningen op particulier terrein en in openbaar gebied (Particulier & Openbaar)

Figuur 5.6 laat het verschil zien in de ontwikkeling van de waterdiepte voor de situatie met alleen voorzieningen in openbaar gebied (Openbaar) en voor de situatie met voorzieningen op particulier terrein en in openbaar gebied (Particulier & Openbaar). Bij de variant P&O de waterstanden niet in een constante lijn stijgen terwijl dit wel gebeurt bij de variant Openbaar. Omdat bij Openbaar een constante stijging te zien is, heeft het random uitvallen van kolken blijkbaar geen invloed op de waterstanden gerekend over een straatvak (straat oppervlak tussen 2 putten). Dit komt overeen met de aanname van de kolkcapaciteit. Bij volledig functioneren is de capaciteit 108 mm/h (3 l/s, 100 m^2/kolk). Als in een straatvak 30% van de kolkcapaciteit uitvalt is de afvoercapaciteit nog steeds groter dan 70 mm/h.

De niet constante stijging bij de variant P&O wordt veroorzaakt door het random uitvallen en herstellen van de voorzieningen op particulier terrein.

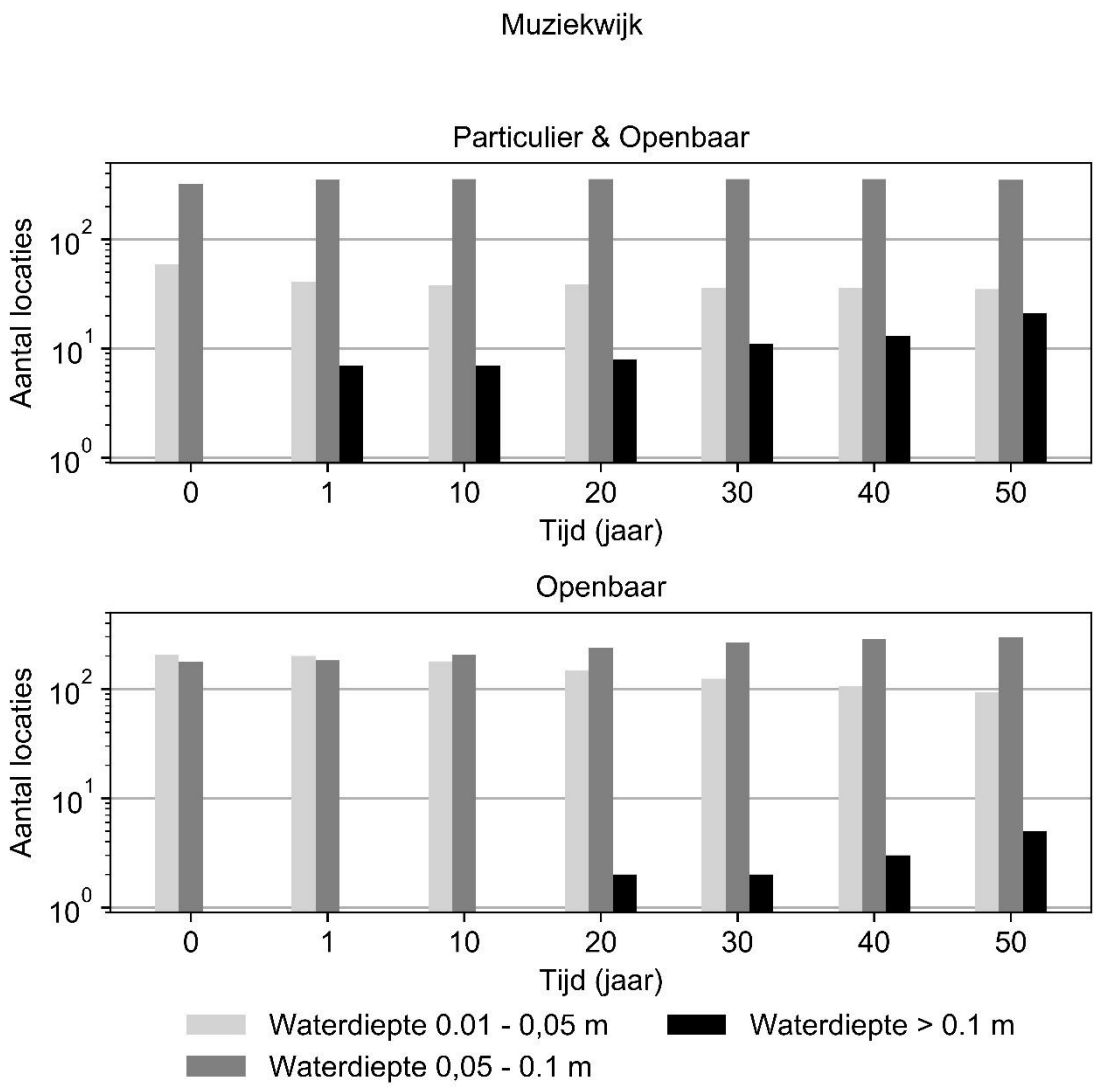


Figuur 5.6 Ontwikkeling van de waterdiepte voor enkele random gekozen locaties voor de situatie met alleen voorzieningen in openbaar gebied (Openbaar) en voor de situatie met voorzieningen op particulier terrein en in openbaar gebied (Particulier & Openbaar).

5.4 Regenwaterrioolvrij Muziekwijk: waterdieptes en duur per locatie

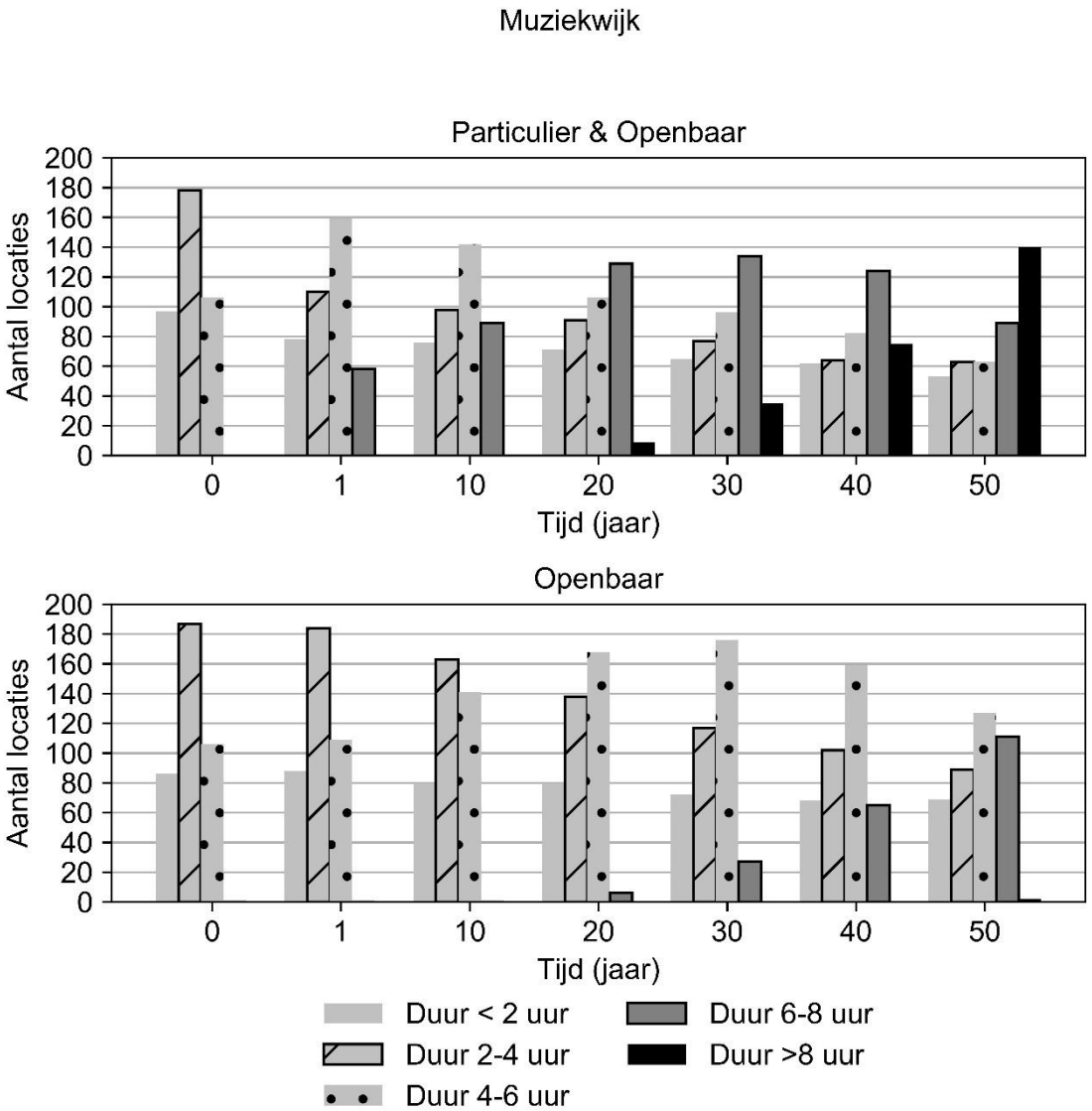
De gemiddelde waterdiepte en duur van water op straat zijn vooral illustratief voor de ontwikkeling van het functioneren van de voorziening. Schade en overlast zijn echter afhankelijk van de maximale waterstanden. Wanneer de waterdiepte groter is dan de hoogte van de stoepranden neemt de kans op overlast sterk toe. Aangenomen is dat de stoepranden circa 10 cm hoog zijn.

In Figuur 5.7 is het aantal locaties weergegeven met een bepaalde waterdiepte (let op: logschaal). De afbeelding laat zien dat bij de variant P&O in jaar 0 geen locaties zijn met een waterdiepte > 0,1m maar dat vanaf jaar 1 het aantal locaties met een waterdiepte >0,1 toeneemt van 7 tot 21 in het jaar 50. Bij variant Openbaar zijn na 20 jaar 2 locaties met een waterdiepte > 0,1 m. Het aantal neemt toe tot 5 in jaar 50. Het aantal locaties met een waterdiepte tussen 0,05 en 0,01 m is vrijwel constant (350) bij de variant P&O en neemt bij de variant Openbaar toe van 200 tot 300.



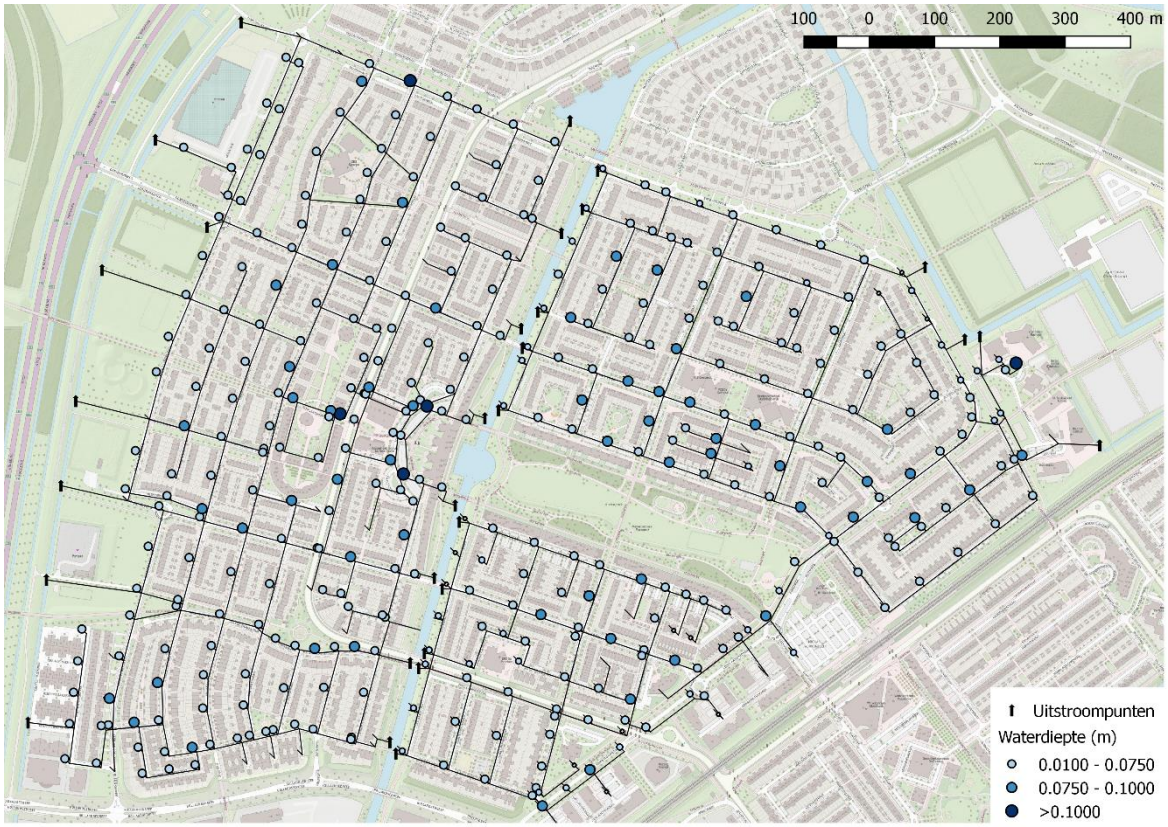
Figuur 5.7 Overzicht van het aantal locaties met een bepaalde waterdiepte

In Figuur 5.8f is het aantal locaties weergegeven met een bepaalde duur van water op straat. De afbeelding laat zien dat bij de variant P&O in jaar 0, de maximale duur van water op straat 6 uur is. In jaar 1 zijn er circa 40 locatie met een duur van 6-8 uur en na 50 jaar zijn er circa 80 locaties waar langer dan 8 uur water op straat staat. Bij de variant Openbaar zijn er na 20 jaar voor het eerst enkele locaties met een duur van water op straat langer dan 6 uur en na 50 jaar is er een enkele locatie met een duur van meer dan 8 uur.

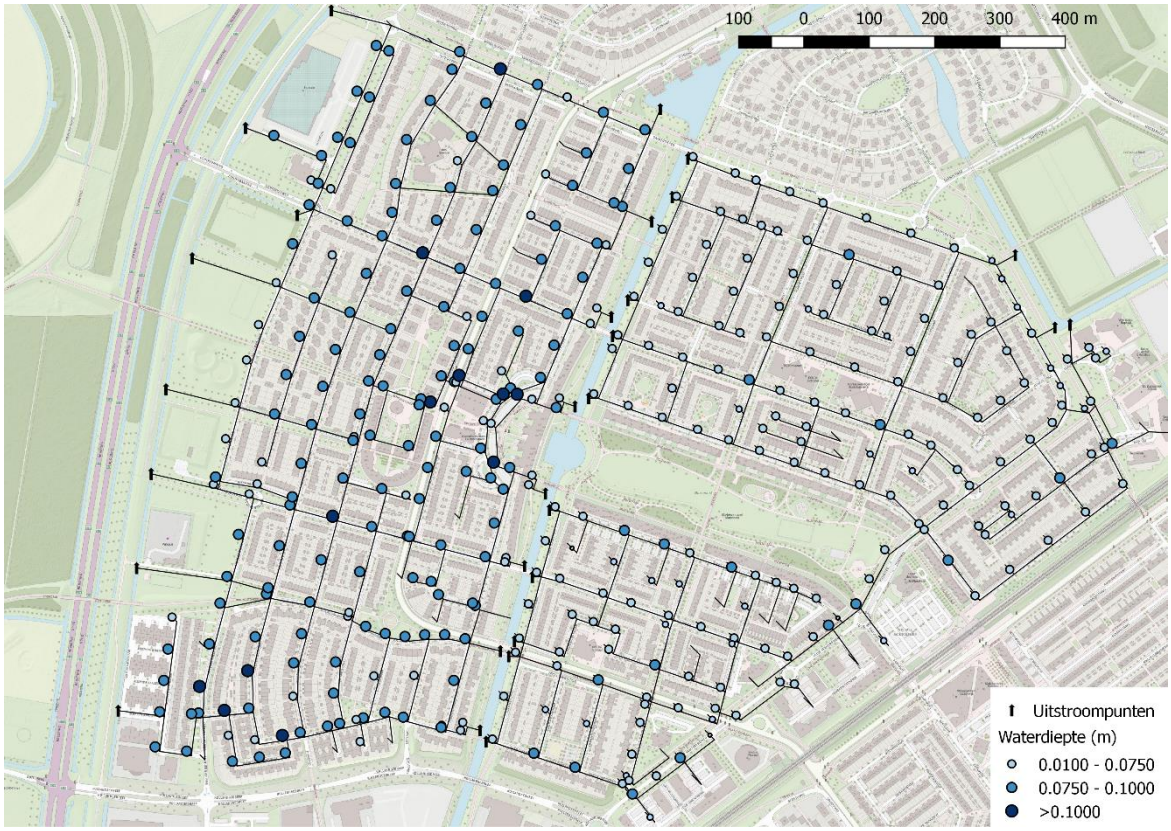


Figuur 5.8 Overzicht van het aantal locaties met een zekere duur van water op straat

In de figuren 5.9 en 5.10 zijn de berekende waterdieptes voor de twee varianten weergegeven voor de situatie 50 jaar na aanleg. De afbeeldingen laten zien dat water op straat in het hele gebied voorkomt. In bijlage is de situatie voor jaar 0 en de toename in waterdieptes en tijd weergegeven. De figuren in de bijlage laten zien dat de waterdieptes ook min of meer gelijkmatig toeneemt in het gebied zowel qua tijd als qua duur. Dit beeld verschilt van de huidige situatie met een gescheiden stelsel waar de duur en de diepte toeneemt met de afstand vanaf de uitstroompunten. In het regenwaterriool vrije ontwerp zijn de locaties met grotere dieptes en/of langere dure de locaties met een relatief laag maaiveld ten opzicht van het omringende maaiveld.



Figuur 5.9 Waterdiepte bij voorzieningen in openbaargebied in jaar van aanleg na 50 jaar



Figuur 5.10 Waterdiepte bij voorzieningen in openbaar gebied en op particulier terrein na 50 jaar

5.5 Conclusie risico's

Op basis van de uitgevoerde analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Met het huidige gescheiden stelsel worden bij een bui van 70 mm in een uur op een groot aantal (circa 50%) locaties waterdieptes berekend van meer dan 0,1 m. Dit betekent dat bij deze locaties kans bestaat op schade.
2. De kans op schade neemt toe als het stelsel veroudert. De exacte toename is niet berekend. De resultaten uit het project "ROBAMCI Risicogestuurdbeheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen" laten zien dat het aantal locaties met water op straat sterk toeneemt door veroudering van de stelsels.
3. Ten opzichte van de huidige situatie met een gescheiden stelsel zijn de voorgestelde ontwerpen van regenwaterrioolvrije systemen veel robuuster. Voor het jaar van aanleg zijn bij beide (Particuliere en Openbaar) systemen de waterdieptes overal < 0,1m en is de duur < 6 uur.
4. De robuustheid van het systeem met voorzieningen op particulier terrein en in openbaar gebied staat of valt met het beheer van het systeem door de particulier. Als de particulieren de systemen niet onderhouden of in stand houden neemt de kans op wateroverlast sterk toe, zowel wat betreft de duur als de optredende waterdieptes. Bij de gebruikte aannames laten de resultaten het volgende beeld zien
    a. In het eerste jaar na aanleg zijn bij de case P&O de berekende waterdieptes op een beperkt (< 10) aantal locaties groter dan 10 cm. In de case Openbaar gebeurt dit na 20 jaar en is het aantal locaties kleiner.
    b. In de case P&O neemt de duur van water op straat na 20 jaar toe tot meer dan 8 uur. In de case Openbaar gebeurt dit op slechts 1 locatie 50 jaar na aanleg.
    c. Het effect van falende kolken is niet terug te zien in de berekeningen omdat dit uitgemiddeld wordt over de straatvakken.
    d. De uitstroom aan de zijkant van de infiltratie voorzieningen heeft grote invloed op het functioneren van de voorzieningen.
5. Bij het regenwaterrioolvrije ontwerp zijn de laagste locaties in het gebied het meest kwetsbaar voor wateroverlast, terwijl bij een gescheiden de combinatie van maaiveld hoogte en de afstand tot het uitstroompunt bepalend is voor de kans op overlast.

6 Kosten en baten

6.1 Kosten

In dit hoofdstuk is een overzicht gegeven van de kosten van de aanleg en het onderhoud van de verschillende stelsels. Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd[2]:

- Kosten aanleg DWA riool 160,00 EUR/m
- Kosten aanleg DWA riool excl. straatwerk 100,00 EUR/m
- Kosten aanleg DWA + HWA riool 240,00 EUR/m
- Kosten aanleg voorzieningen particulierterrein 500,00 EUR/m^3
- Kosten aanleg infiltratiesysteem 375 EUR/m^3
- Kosten kolken zuigen 1,75 EUR/kolk
- Kosten reinigen leidingen 1,10 EUR/m
- Kosten inspecteren leidingen 1,90 EUR/m
- DWA-reinigen: 1x /3 jaar
- HWA-reinigen: 1x /15 jaar
- Inspecteren: 1x /15 jaar
- Geen onderhoud nodig aan infiltratiesysteem
- Levensduur 50 jaar

Tabel 6.1 geeft een overzicht van de kosten. Uit deze tabel blijkt dat de kosten voor een regenwaterrioolvrij systeem circa 3 keer zo hoog zijn als voor een traditioneel gescheiden stelsel.

[2] *Gebaseerd op gegevens van de gemeente Almere en de* Kennisbank Stedelijk Water

Tabel 6.1 Overzicht aanleg en beheer kosten

		Aantal keer per 50 jaar	Kosten (EUR/eenheid)	Kosten Totaal
	Gescheiden stelsel			**7.413.750**
DWA + HWA-riool aanleg	25.000 (m)	1	240	6.000.000
DWA-reinigen	25.000 (m)	16	1,10	440.000
HWA-reinigen	25.000 (m)	3	1,10	82.500
Inspecteren	50.000 (m)	3	1,90	285.000
Kolken reinigen	3.500 (-)	50	1,75	306.250
Aanleg drainage	25.000 (m)	1	10,00	250.000
Onderhoud drainage	25.000 (m)	10	0,20	50.000
	Particulier & Openbaar			**20.040.438**
Voorziening Particulier	13,200 (m^3)	1	500	6.597.000
Voorziening Openbaar	26.800 (m^3)	1	375	10.054.688
DWA-riool aanleg	25.000 (m)	1	100	2.500.000
Kolken reinigen	3.500 (-)	50	1,75	306.250
DWA-reinigen	25.000 (m)	16	1,10	440
Inspecteren	25.000 (m)	3	1,90	143
	Openbaar			**19.166.875**
Voorziening Particulier	0 (m^3)			0
Voorziening Openbaar	42.075 (m^3)	1	375	15.778.125
DWA-riool aanleg	25.000 (m)	1	100	2.500.000
Kolken reinigen	3.500 (-)	50	1,75	306.250
DWA-reinigen	25.000 (m)	16	1,10	440.000
Inspecteren	25.000 (m)	3	1,90	142.500

Naast de hierboven beschreven kosten zijn er nog extra investeringen nodig voor groen. Bomen kunnen gaan wortelen in infiltratievoorzieningen en hierdoor gaat de beschikbare ruimte achteruit. De kosten voor deze voorzieningen zijn niet meegenomen in de berekeningen.

6.2 Baten

De baten van een regenwaterrioolvrijsysteem bestaan uit vermeden schade door wateroverlast. De extra investeringskosten bedragen 12 miljoen euro. Uitgaande van een levensduur van 50 jaar moet de vermeden schade 240.000 euro per jaar zijn om dit bedrag te compenseren. Op basis van de uitgevoerde berekeningen is niet te bepalen of deze schade optreedt. De jaarlijkse schade met het huidige gescheiden stelsel is naar verwachting lager dan 240.000 euro per jaar.

Als aangenomen wordt dat per woning circa 150 m^2 afvoerend oppervlak is aangesloten zijn er in dit deel van Muziekwijk circa 4800 woningen (73 ha / 150 m^2). Bij de helft van de putten zijn bij het VGS waterstanden boven de 0,1 m berekend. Als de helft van de woningen in het gebied schade ondervindt als gevolg van de waterstanden dan treedt bij circa 1000 woningen schade op. De vermeden schade moet per huis > 10.000 euro zijn om de extra benodigde investeringen te compenseren. De vermeden schade per huis is naar verwachting lager dan 10.000 euro

Naast de baten als gevolg van vermeden schade zijn er ook nog andere baten zoals een betere bereikbaarheid van het gebied tijdens neerslag, verminderde kans op imago schade, minder onveilige situaties als gevolg van ondergelopen straten. Deze baten zijn niet gekwantificeerd.

7 Conclusies en aanbevelingen

In het kader van het project Risk and Opportunity Based AssetManagement for Critical Infrastructures (ROBAMCI) is voor de gemeente Almere de case “Utopia: de regenwaterriool vrije stad!?” uitgevoerd. Op basis van dit verkennende onderzoek wordt geconcludeerd dat:

- Het huidige gescheiden stelsel van Muziekwijk niet in staat is om extreme neerslag (70mm/hr) te verwerken. Op circa de helft van de locaties worden waterstanden >0,1m berekend en de gemiddelde duur van water op straat is 2 a 3 uur;
- Met een regenwaterrioolvrij concept kan een robuust systeem ontworpen worden voor Muziekwijk. Het systeem bestaat uit een infiltratiepakket dat gevoed wordt door middel van kolken.
- Het systeem is het robuust als het volledig in het openbaar gebied wordt gerealiseerd en wordt onderhouden door de gemeente. Als particulieren verantwoordelijk zijn voor het realiseren van een deel van de berging op hun eigen terrein neemt de robuustheid van het systeem af.
    - Na 50 jaar is het aantal locaties met een waterdiepte > 0,1 bij de variant P&O 21 en tegenover 5 bij de variant Openbaar.
    - Na 50 jaar is het aantal locaties met een waterdiepte tussen 0.05 en 0,1 bij de variant P&O 350 tegenover 300 bij de variant Openbaar.
    - Na 50 jaar staat bij de variant P&O op 80 locaties het water langer dan 8 uur op straat. Bij de variant Openbaar gebeurt dit maar in een enkel geval.
- Bij een regenwaterrioolvrijontwerp zijn de risicolocaties met name de locaties waar het maaiveld relatief laag ligt.
- De kosten voor een regenwaterrioolvrij ontwerp zijn circa 3x zo hoog als de kosten voor een gescheiden stelsel.
- De vermeden jaarlijkse schade is naar verwachting lager dan de benodigde extra investeringskosten.
- Naast de vermeden jaarlijkse schade zijn er wel bijkomende baten zoals verminderde kans op imagoschade, betere bereikbaarheid en minder veiligheidsrisico’s.
- Aangezien de kosten voor maatregelen op particulierterrein qua orde grootte vergelijkbaar zijn met maatregelen op openbaarterrein en de robuustheid met maatregelen op particulierterrein afneemt lijkt het niet raadzaam om particulieren een actieve taak te geven bij het verwerken van hemelwater op eigen terrein.

7.1 Aanbevelingen

De conclusie van dit onderzoek zijn gebaseerd op een aantal aannames voor de veroudering van het regenwaterrioolvrijesysteem en de kosten voor de aanleg en het onderhoud van de diverse voorzieningen.

Afwijkingen in deze aannames kunnen sterke invloed hebben op de uitkomsten. Om de conclusies van dit onderzoek te versterken wordt geadviseerd om als er betere gegevens voor handen komen over de veroudering of de kosten te analyseren wat de gevolgen hiervan zijn voor de uitkomsten van dit onderzoek.

A Modelleringsdetails

A.1 Infiltratiepakket

Infiltratiepakket: dimensies
De berging in de straat is opgenomen in SOBEK putten van het type manholes with lateral flow. Voor de modellering zijn deze putten gekneveld, zodat er geen water op straat kan ontstaan.

Het oppervlakte van de put is gelijk aan de benodigde berging gedeeld door de hoogte van de put. Dat is:

- benodigde berging [m^3] / puthoogte [m^1] = putoppervlakte [m^2], oftewel
- (aangesloten oppervlak in ha * berging in mm) /10 / 0.75m (puthoogte).

Het minimale putoppervlak is gelijk aan 1 m^2, omdat een put een intern oppervlak nodig heeft.

Infiltratiepakket: Doorlaatbaarheid in verticale en zijwaartse richting
De aanname is dat er een zijwaartse drainage is vanuit het infiltratiepakket richting het omliggende grondpakket. Aangezien grote delen van Almere zijn verhoogd, veronderstellen we dat ook hier een grote zandige fractie aanwezig is.

In het model gaan we uit van een effectieve drainagehoogte van 1/3 van de pakkethoogte, dus 25cm. Een vol pakket stroomt iets harder leeg, een leeg pakket iets langzamer. Met de aanname 1/3 van de hoogte hebben we deze temporele drainageverschillen uitgemiddeld.
De effectieve drainagelengte betreft twee keer de weglengte waaronder het pakket ligt.
De doorlaatbaarheid wordt aangenomen op 4m/dag, wat een lager is dan de standaard doorlaatbaarheid is voor een (homogeen) zandpakket, dit getal betreft ook slechts 80% van de standaarddoorlaatbaarheid van teelaarde. We gaan ervanuit dat er drainagebuizen in de Muziekwijk aanwezig zijn en dat deze met deze wijkrenovatie in stand blijven.

De zijwaartse drainageflux is per put uitgerekend aan de hand van de lengte van het infiltratiepakket dat hierop aansluit en toegekend aan de betreffende bovenstroomse put in SOBEK (manhole with lateral discharge), dit komt neer op 0,25m * 4m/ 86400 seconde * 2 * [weglengte in m] = weglengte * 2.312 e^{-05} m^3/m^1.s. Dit is vervolgens toegepast per put naar ratio het aangesloten oppervlak (om te voorkomen dat een put te zwaar wordt belast en numerieke instabiliteiten ontstaan).

Merk op, deze laterale doorlaatbaarheid heeft een grote invloed op de werking dit systeem, omdat 96% van al het water in het infiltratiepakket de omliggende bodem instroomt. Als dit niet zo werkt, dan is de hersteltijd van het infiltratiepakket dus 25 keer zo groot (om de overige 96% van het water te kunnen afvoeren via het infiltratiepakket).
Merk tevens op dat dit pakket drainerend gaat werken in natte situaties. Het grondwater boven de onderkant van de infiltratiepakketten wordt (deels) afgevoerd. Deze werken dus als grote drainageleidingen.

Er is geen verticale infiltratie naar het (diepe) grondwater verondersteld. Hoewel dit in de praktijk wel optreedt, omdat het infiltratiepakket boven de grondwaterspiegel ligt. Dit is dus een conservatieve aanname.

Infiltratiepakket: Doorlaatbaarheid in langsrichting
De infiltratiepakketen lopen leeg in de straatrichtingen van de pakketten. Door de onderlinge aansluitingen van de pakketten draineren ze uiteindelijk naar de watergangen.

Functionele eisen zijn dat de horizontale doorlaatbaarheid in de orde van 50m/dag ligt en dat de berging met 24uur weer volledig leeg is. De bergingspakketten zijn in het SOBEK-model onderling verbonden en de maximale uitwisseldebieten zijn gelimiteerd op 2,17 * 10^{-3} m^3/s (of 187,5 m^3/dag), wat het product is van de doorlaatbaarheid van 50m/dag en de watervoerende doorsnede van het infiltratiepakket (circa 5,0m * 0,75m).

Infiltratiepakket: Uitstroom naar watergang
Alle infiltratiepakketten zijn uiteindelijk verbonden met de watergang, hierin lopen de pakketten uiteindelijk leeg. De straten zijn waar mogelijk (extra) verbonden met de watergangen. De aanname is dat maximaal 3 infiltratiepakketten aankomen bij 1 put. De capaciteit is gelijk aan de som van de 3 binnenkomende pakketten. dus 3 x 187,5 m^3/dag = 562,5 m^3/dag = 6,51 * 10^{-3} m^3/s.

In het model zijn hiervoor extra uitlaten gemaakt (internal orifices) welke een kruinbreedte hebben van 5m (gelijk aan de wegbreedte) een hoogte van 0,75m (gelijk aan de dikte van het infiltratiepakket) en een drempelhoogte van -5.5m NAP. Gelijk aan het streefpeil van het oppervlaktewater.

Er zijn extra uitstroompunten gemaakt. Nieuwe uitstroompunten heten uitlaat_<putnaam>. al bestaande uitstroompunten heten straat_<putnaam>. De nieuwe uitstroomleidingen hebben de naam uitlaat_<putnaam>.

A.2 Berging water op straat

Straat: Aangesloten oppervlak
Het oppervlakte van het openbare terrein is gemodelleerd in een SOBEK put type Manhole with runoff. Het aangesloten oppervlakte is toegekend als closed sloped area [m2], waardoor er geen berging op straat of infiltratie wordt meegenomen.

Straat: Berging water op straat
We nemen aan dat er 20 mm over het bruto oppervlak wordt gerealiseerd op straat.
In het model nemen we een putdiepte van 20cm aan. In de put wordt de berging van 20mm gerealiseerd, dit putoppervlakte wordt berekend met de volgende formule:
Oppervlakte put is 20mm * aangesloten oppervlak / 20cm = putoppervlakte. Het minimale putoppervlakte is 1m^2, omdat SOBEK een putoppervlakte nodig heeft.

Bovenkant put is gelijk aan straatniveau (gebaseerd op het oorspronkelijke rioleringsmodel). Zodra er in het model water op straat wordt berekend dan wordt er meer dan 20mm water op straat geborgen.

Het aantal geborgen millimeters op straat is nu gelijk aan de berekende waterdiepte op straat in cm (oftewel de berekende waterdiepte gedeeld door 10 geeft het aantal mm overtollig water op straat).

Straat: Afvoercapaciteit straatkolken richting infiltratiepakket.
De straten wateren af via infiltratiekolken in het infiltratiepakket onder de straat. De infiltratiekolken hebben een capaciteit van 100 mm/uur. De aanname is dat er straks voldoende infiltratiekolken aanwezig zijn om deze capaciteit te halen.

De straatkolk is geschematiseerd als doorlaat (internal orifice). De stroming is toegestaan naar beide richtingen maar gelimiteerd op 100 mm/ uur. Dat is omgerekend naar het aangesloten bruto oppervlak en wordt berekend met de formule aangesloten bruto oppervlak [m^2] * 0.10 [m/uur] / 3600 [s/uur] = maximaal debiet [m^3/s].

A.3 Berging op particulier terrein

Particulier: Aangesloten oppervlak
Het oppervlakte van het particuliere terrein (45% van het bruto aangesloten oppervlak) is gemodelleerd in een SOBEK put type Manhole with lateral dicharge and runoff. Er is geen lateral discharge, dus die is gelijk nul. Het aangesloten oppervlakte is toegekend als closed sloped area [m^2], waardoor er geen berging op straat of infiltratie wordt meegenomen.

Particulier: Bergingsvoorziening
We nemen aan dat er 40 mm berging is gerealiseerd voor het verhard oppervlak particulier terrein (is 45% van het bruto oppervlak). We onderzoeken in deze studie enkel de effectiviteit van berging op particulier terrein en gaan ervanuit dat dit onafhankelijk is van het type particuliere berging.

De puthoogte is gekozen op 40 cm, dit is gelijk aan de berging in 0.1mm. De bodemhoogte van de particuliere berging is gelegd op 25cm boven straatniveau. Hierdoor is de kans op terugstuwing vanuit water op straat nihil. Het oppervlakte van de put is berekend met de formule 0,45 * bruto oppervlak [m2] / puthoogte [m] = putoppervlakte. De minimale putoppervlakte is gesteld op 1.5m^2. (minimaal 1 m^2 aangesloten oppervlak * 45% / 0.4m puthoogte).

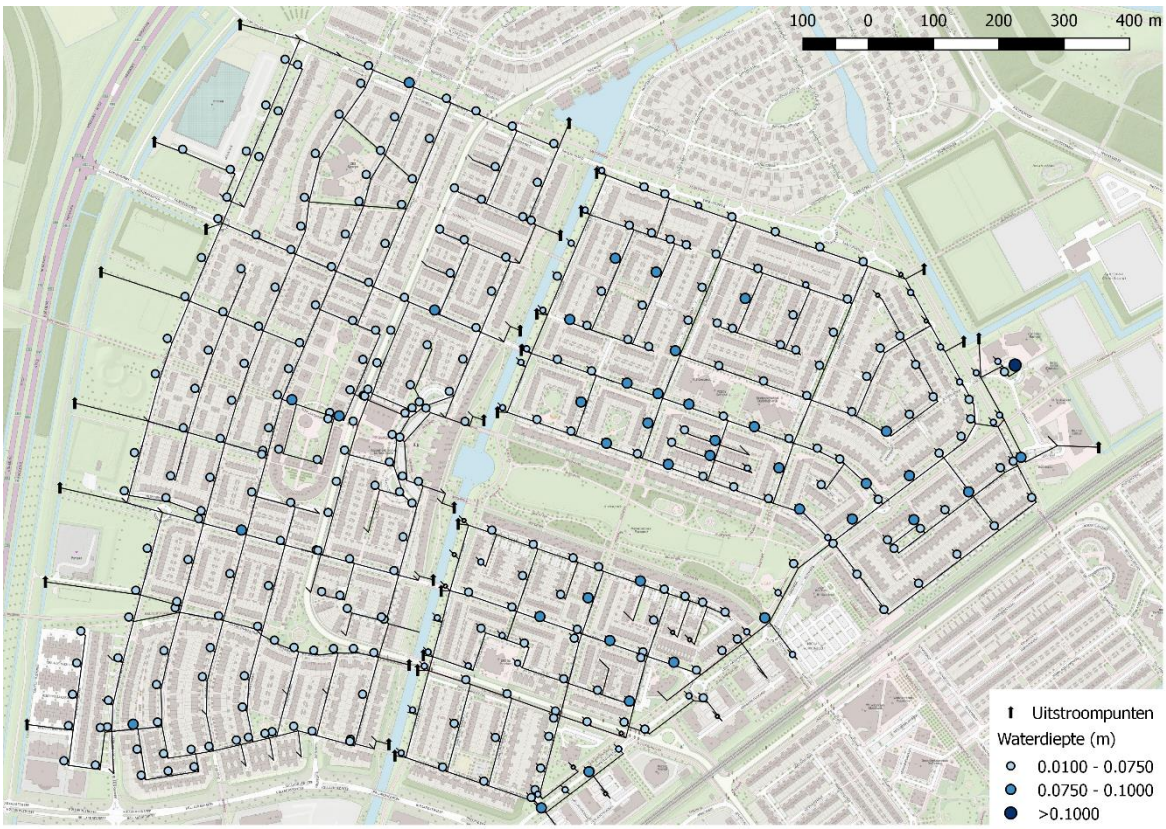
Het straatoppervlak van de berging van het particulier terrein is gesteld op 1m^2. Dit om water over maaiveld te kunnen laten afstromen naar de berging water op straat via een overstort.

Particulier: Leegloopvoorziening
De particuliere bergingen lopen leeg met 1mm/uur via een overlaat richting de berging water op straat (dit is een arbitraire keuze, de keuze had ook kunnen zijn dat particuliere bergingen rechtstreeks in het infiltratiepakket leeglopen).

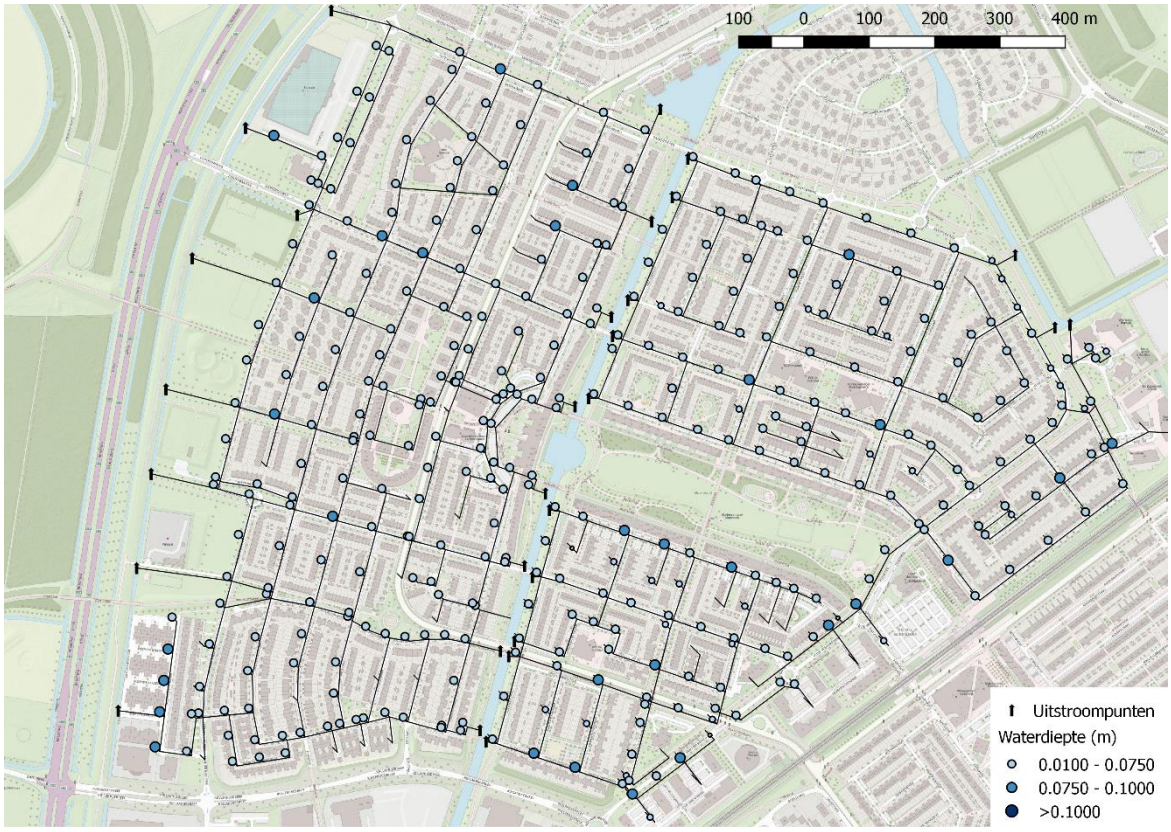
De leegloopvoorziening van de particuliere berging is geschematiseerd als doorlaat (internal orifice). Het water kan in en uitstromen maar is gelimiteerd op 1 mm/ uur. Doordat de berging van het particulier terrein 25cm boven straatniveau ligt, is de kans dat het water terugstroomt nihil. Er moet nu immers 25mm water zijn geborgen op straat (bovenop de 20mm die de straat al heeft). De capaciteit van de doorlaat is omgerekend van het aangesloten *particuliere* oppervlak en wordt berekend met de formule percentage particulier terrein [%] * aangesloten bruto oppervlak [m2] * 0.001 [m/uur] / 3600 [s/uur] = maximaal debiet [m^3/s].

Particulier: Noodoverlaat
Als de particuliere berging vol is, stroomt het water direct af over straat richting de berging water op straat. Dit noemen we een noodoverlaat. Deze overlaat werkt wanneer het water hoger komt dan de particulier berging (dus boven de 40mm berging). Let op, bij een bui van 70 mm in 1 uur, wordt er 40 mm geborgen, loopt er 1 mm weg door de reguliere leegloopvoorziening en gaat er dus 29mm over deze noodoverlaat richting de straat.

B Overzicht model resultaten

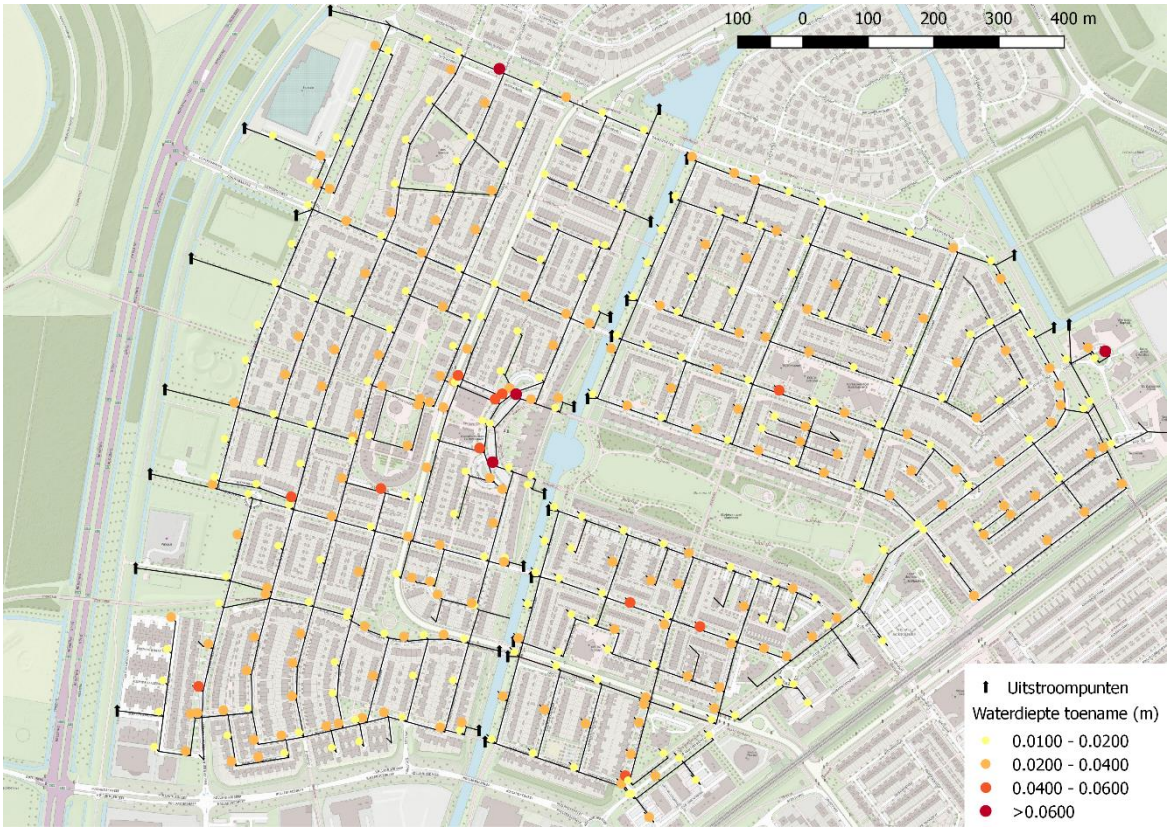


Figuur B.1 Waterdiepte bij voorzieningen in openbaar gebied in jaar 0

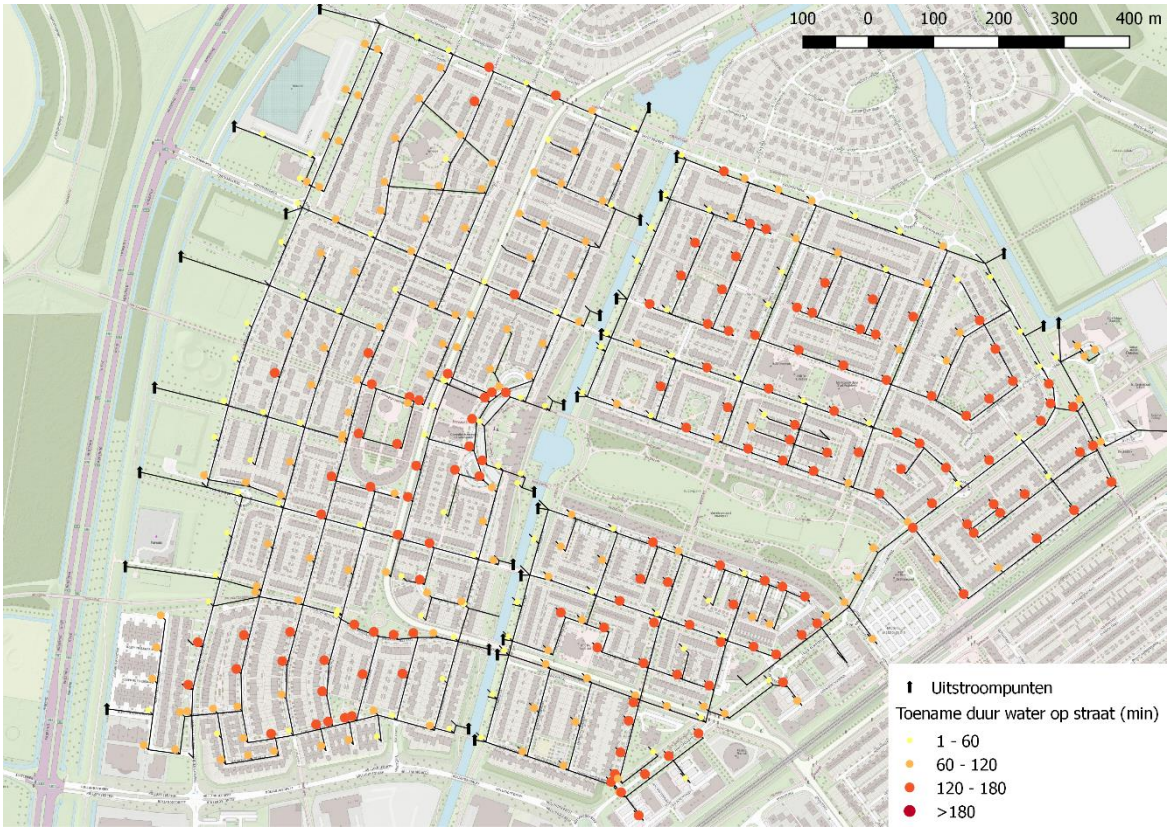


Figuur B.2 Waterdiepte bij voorzieningen in openbaar gebied en op particulierterrein in jaar 0

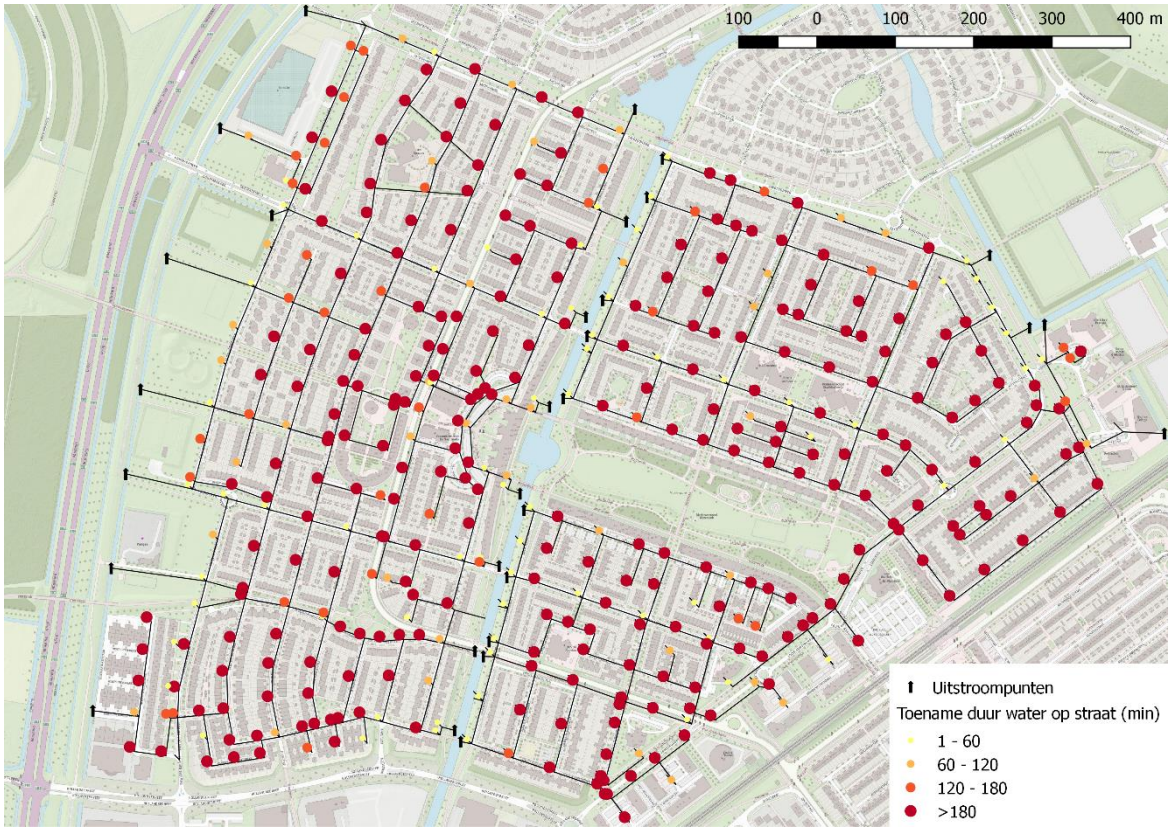
Figuur B.3 Overzicht toename in waterdiepte bij voorzieningen in openbaar gebied



Figuur B.4 Overzicht toename in waterdiepte bij voorzieningen in openbaar gebied en op particulierterrein



Figuur B.5 Overzicht toename in duur water op straat bij voorzieningen in openbaar gebied



Figuur B.6 Overzicht toename in duur water op straat bij voorzieningen in openbaar gebied en op particulierterrein