

ROBAMCI
Risicogestuurdbeheer bij
vervuiling en zetting van
hemelwaterriolen



ROBAMCI Risicogestuurdbeheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen

Daniel van Dijk, HKV
Marit Zethof, HKV
Jeroen Langeveld, Partners4Urbanwater
Johan Post, Partners4UrbanWater
Julien Bauer, CMS Asset Management
Hans Korving, Deltares
Didrik Meijer, Deltares

11200692-000

Titel

ROBAMCI Risicogestuurdbeheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Gemeente Almere	11200692-000	11200692-000-ZWS-0023	54

Trefwoorden

Robamci, Assetmanagement, Hemelwaterriool, vervuiling, zetting, Almere

Samenvatting

In het kader van het project Risk and Opportunity Based AssetManagement for Critical Infrastructures (ROBAMCI) is voor de gemeente Almere de case "Risicogestuurdbeheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen" uitgevoerd. Het functioneren van hemelwaterriolen wordt onder andere beïnvloed door vervuiling en zetting van de riolen. Om de afvoercapaciteit van de hemelwaterriolering op peil te houden en hinder, overlast en schade te voorkomen is onderhoud noodzakelijk.

Dit rapport beschrijft voor de wijken Muziekwijk en Waterwijk in Almere, de uitkomsten van de onderzoeken naar:

- de optredende zetting van het maaiveld
- de mate van belangrijkheid van een riool voor het functioneren van het stelsel
- de hotspots ten aanzien van de gevolgen van wateroverlast
- de effecten van zettingen en vervuiling van de riolering op de prestaties
- de beheerstrategieën van hwa riolering
- de kosten en baten van de beheerstrategieën

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	sept. 2018	Didrik Meijer	<i>DM</i>	Hans Korving	<i>bla HA</i>	Gerard Blom	<i>GB</i>

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Doel	2
1.2 Leeswijzer	2
2 Theoretisch kader risicogestuurd onderhoud	5
2.1 Risicomatrices	5
2.2 Bedrijfsdoelstellingen en risicomatrices	7
2.3 Scenario's	7
3 Zettingen in Almere	9
3.1 Beschikbare gegevens	9
3.2 Kwaliteitsoordeel zettingsgegevens	9
3.3 Analyse zettingsgegevens	11
3.4 Input modelberekeningen	14
4 Effecten van zettingen en vervuiling van het HWA-riolering	17
4.1 Aanpak en uitgangspunten	17
4.2 Conclusies	20
4.3 Resultaten case 1: zetting	21
4.4 Resultaten case 2: Vervuiling	25
4.5 Resultaten case 3: Combinatie zetting en vervuiling	26
4.6 Discussie	27
5 Kritieke leidingen in DWA- en HWA-riolering	31
5.1 Inleiding	31
5.2 Werkwijze	31
5.3 Gegevens	32
5.4 Uitgangspunten	32
5.5 Resultaten	32
5.6 Conclusies kritische leidingen	34
6 Hotspots	35
6.1 Inleiding	35
6.2 Gebruikte informatie	35
6.3 Hotspots in Muziekwijk	36
6.4 Conclusies	38
7 Beheerstrategieën	39
7.1 Onderhoudsplan: waar liggen kansgebieden?	39
7.2 Onderhoudsplan: hoe vaak waar reinigen?	40
7.3 Vervangingsplan: wanneer vervangen?	42
7.4 Conclusies	43
8 Kosten en Baten van de beheerstrategieën	45
8.1 Scenario's	45
8.2 Uitgangspunten	45
8.3 Risicoanalyse	46

8.4	Doelmatigheidstoets preventief onderhoud	48
9	Conclusies en aanbevelingen	51
9.1	Aanbevelingen	52
9.2	Referenties	54
 Bijlage(n)		
A	Risico matrix	A-1
B	Analyse zettingen Almere	B-1
C	Modelinstrumentarium	C-1
D	Resultaten referentie situatie	D-1
E	Geresampelde kansverdelingen	E-1
F	Achtergrond bij de analyse	F-1
G	Berekeningsresultaten case 2 vervuiling	G-1
H	Berekeningsresultaten case 3, combinatie zetting en vervuiling	H-1
I	Belangrijkheid van de verschillende leidingen	I-1
J	risico per bedrijfswaarde	J-1

Samenvatting

In het kader van het project Risk and Opportunity Based AssetManagement for Critical Infrastructures (ROBAMCI) is voor de gemeente Almere de case “Risicogestuurdbeheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen” uitgevoerd. De capaciteit van de hemelwaterriolen neemt in de loop van de tijd af door onder andere:

1. Vervuiling van de riolen door inspoelend straatvuil en inspoelend zand bij openstaande verbindingen;
2. Zetting van het maaiveld, waardoor de drooglegging afneemt en het maximaal beschikbare verhang tussen maaiveld en oppervlaktewaterpeil vermindert.

Om de afvoercapaciteit van de hemelwaterriolering op peil te houden en hinder, overlast en schade te voorkomen is onderhoud noodzakelijk. Vaak is dit onderhoud gebaseerd op vaste onderhoudsfrequenties.

De gemeente Almere hanteert een gedifferentieerde reinigingsfrequentie van vuilwaterriolen op basis van meldingen en inschattingen van de vervuilingsgraad. Om onnodig beheer te voorkomen schouwt de gemeente de riolen voordat deze gereinigd worden en inspecteert riolen voordat deze vervangen worden. In deze case is onderzocht of er kansen liggen om het reinigen van de hemelwaterriolen te optimaliseren.

Voor de wijken Muziekwijk en Waterwijk-Oost is onderzocht in welke mate de gevolgen van veroudering van de HWA-riolen gecompenseerd kunnen worden door het aanpassen van de beheerstrategie en of door rekening te houden met de risico's, de (meer)kosten van de aangepaste beheerstrategie beperkt kunnen worden. Hiervoor zijn de volgende activiteiten/deelonderzoeken uitgevoerd:

1. Opstellen van een risicomatrix voor de gemeente Almere.
2. Overzicht maken van de optredende zettingen in Almere.
3. Bepalen van de effecten van zettingen en vervuiling op het functioneren van de HWA-stelsel.
4. Bepalen van de kritieke leidingen in de HWA-stelsels.
5. Bepalen van “hotspots”, waar water op straat grotere negatieve gevolgen heeft.
6. Opstellen van beheerstrategieën.
7. Analyseren van de kosten en baten van de beheerstrategieën.

De conclusies op basis van dit onderzoek zijn hieronder opgesomd.

Zettingen

- De zettingen over de jaren heen zijn niet constant, maar variëren in de tijd. Dit geldt zowel voor Muziekwijk als voor Waterwijk.
- De zettingen per wijk kunnen ruimtelijk sterk verschillen. In Muziekwijk is deze variatie het sterkst aanwezig, in Waterwijk in iets mindere mate.
- Zettingen berekend op basis van de door de gemeente gemeten putdekselhoogtes worden het meest betrouwbaar geacht, omdat deze veel meer lijken op zettingen op basis van het AHN dan zettingen op basis van satellietmetingen (SkyGeo).

Effecten van zettingen en vervuiling op de riolering

- Zetting van het maaiveld leidt tot een afname van de drooglegging, hierdoor neemt de kans van water op straat toe. De mate waarin de kans op water op straat toeneemt, verschilt per wijk.

- Vervuiling zorgt voor dichtslibben van de rioolbuizen, waardoor de afvoercapaciteit afneemt, hierdoor neemt de kans van water op straat toe. De mate waarin de kans op water op straat toeneemt, verschilt per wijk.
- Door de combinatie van zetting en vervuiling nemen zowel de afvoercapaciteit als de drooglegging af, waardoor de kans op water op straat versterkt wordt ten opzichte van de afzonderlijke effecten. De mate waarin de kans op water op straat toeneemt, verschilt per wijk.
- De invloed van zetting is kleiner dan de invloed van vervuiling voor de toename in de kans op water op straat.
- Als gevolg van de optredende stroomsnelheden tijdens neerslaggebeurtenissen spoelen delen van het stelsel regelmatig schoon. Met name de “aorta’s” van de stelsels worden schoongespoeld. De doodlopende uiteinden worden niet schoongespoeld.

Kritische elementen en locaties

- Voor het functioneren van de riolering zijn de volgende leidingen het belangrijkste:
 - Leidingen richting gemalen (voor DWA-stelsel).
 - Leidingen richting uitstroompunten (voor RWA-stelsel).
 - Leidingen die, als ze geblokkeerd raken, ertoe leiden dat bepaalde putten of gebieden geïsoleerd raken van uitstroompunten.
- De ontsluitingswegen zijn de meest kritische locaties in de beschouwde wijken. In Muziekwijk zijn meerdere risicolocaties voor stremming van hoofdautowegen en wijkontsluitingswegen.

Beheerstrategieën

- Voor het optimaal laten functioneren van de riolering moet de vervuiling van doodlopende strengen worden tegengegaan. Dit kan door:
 - Aanpassing in de reinigingsstrategie
 - Aangepast beheer van de straatkolken
- Zettingen zorgen enerzijds voor een toename van de kans op water op straat, maar anderzijds voor een afname van de kans op water in woningen en gebouwen.
- Als gezakte straten waterrobuust worden ingericht, kunnen ze worden gebruikt als waterberging. Belangrijke aandachtspunten hierbij zijn:
 - Blijven beschermen van de volksgezondheid door actief tegengaan van foutaansluitingen.
 - Stabiliteit wegen. Het verweken van fundering moet voorkomen worden. Hiermee moet bij de inrichting van de openbare ruimte rekening worden gehouden door te zorgen dat water zo kort mogelijk in de wegfundering blijft staan.
 - De stad moet tijdens extreme neerslag toegankelijk blijven voor hulpdiensten.
- Met het huidige onderhoud vallen alle leidingen in de laagste risicocategorie. De daarbij behorende faalkosten nemen daardoor niet af als het onderhoud wordt aangepast. Door het aanpassen van de onderhoudsstrategie neemt het risico op water op straat af (circa 15% minder putten waar water op straat wordt berekend), maar met de gebruikte methodologie is dit niet te vertalen naar een vermindering van de faalkosten. De onderhoudskosten in combinatie met de faalkosten zijn qua orde van grootte gelijk voor de verschillende strategieën. Als het uitgangspunt minimaal 1 x per 12 jaar inspecteren wordt losgelaten zullen de kosten afnemen met circa 10%.

1 Inleiding

In het kader van het project Risk and Opportunity Based Asset Management for Critical Infrastructures (ROBAMCI) is voor de gemeente Almere de case "Risicogestuurdbeheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen" uitgevoerd. De capaciteit van de hemelwaterriolen neemt in de loop van de tijd af. Om de afvoercapaciteit van de hemelwaterriolerings op peil te houden en hinder, overlast en schade te voorkomen is onderhoud noodzakelijk. Vaak is dit onderhoud gebaseerd op vaste onderhoudsfrequenties.

De gemeente Almere heeft een gescheiden rioolstelsel. Door zettingen verkleint de drooglegging, waardoor de kans op water op straat toeneemt. Daarnaast zorgt vuilophoping (die versterkt kan worden door ongelijkmatige zettingen van de buizen) voor afname van de transportcapaciteit van de rioolbuizen. Deze twee processen zorgen voor een toename van de kans op water op straat.

Voor de wijken Muziekwijk en Waterwijk-Oost (zie Figuur 1.1) is ten eerste onderzocht in welke mate de gevolgen van veroudering van de HWA-riolen gecompenseerd kunnen worden door het aanpassen van de beheerstrategie en ten tweede of door rekening te houden met de risico's de (meer)kosten van de aangepaste beheerstrategie beperkt kunnen worden.

In dit onderzoek ligt de focus op het effect van zetting en vervuiling van het hemelwaterafvoer-stelsel (HWA-stelsel) op de kans op water op straat. Momenteel wordt het HWA-stelsel eens in de 12 jaar geïnspecteerd en gereinigd. De verwachte technische levensduur van de HWA-riolen is 60 jaar. Omdat de riolerings in Almere nog relatief jong is (<35 jaar) zijn er nog geen grootschalige rioolvervangingen uitgevoerd.



Figuur 1.1 Overzichtkaart Muziekwijk, Waterwijk-West en Waterwijk-Oost

1.1 Doel

Het doel van deze case is:

- Onderzoeken of de veroudering (vervuiling en zetting) van de HWA-riolering gecompenseerd kan worden door een aanpassing in de beheerstrategie.
- In beeld brengen van de kosten en risico's van een andere beheerstrategie.

Onderzoeksvragen:

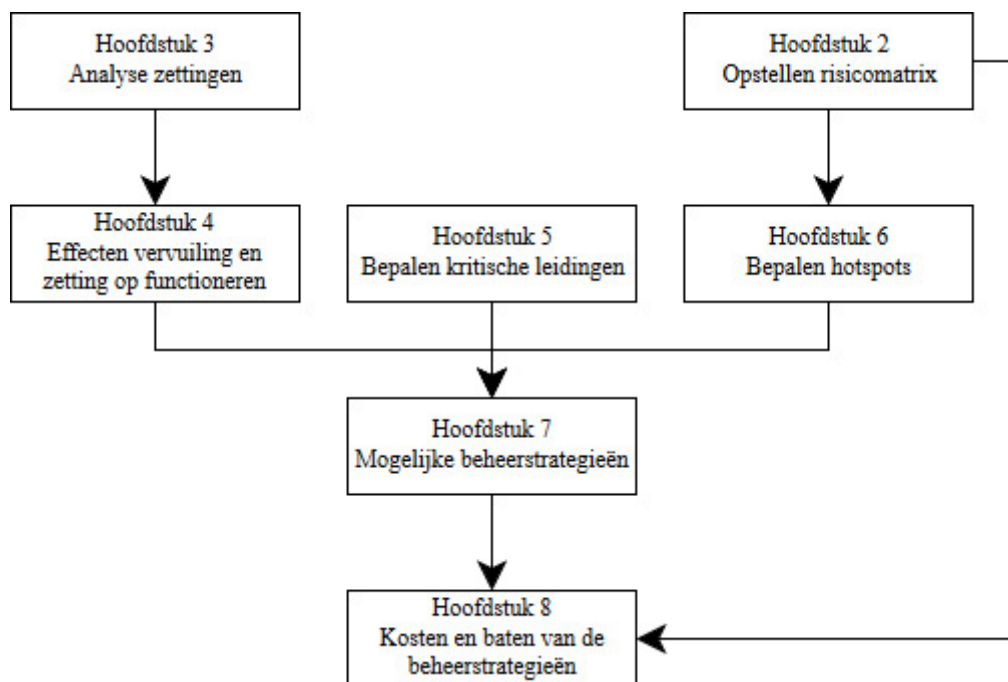
1. Wat is de optredende zetting in Almere?
2. Wat is het effect van ongelijkmatige zetting op het functioneren van de HWA-riolering?
3. Wat is het effect van vervuiling op het hydraulisch functioneren van de HWA-riolering?
4. Wat is het gecombineerde effect van zetting en vervuiling op het functioneren van de HWA-riolering?
5. Kan met een andere beheerstrategie de toegenomen kans op water op straat worden verkleind dan wel gecompenseerd?
6. Wat zijn de kritieke leidingen in de DWA- en HWA-riolering?
7. Zijn er "hotspots" die om speciale bescherming vragen?
8. Wat zijn de mogelijke beheerstrategieën?
9. Wat zijn de kosten en baten van de mogelijke beheerstrategieën?

1.2 Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd zoals weergegeven in Figuur 1.2. In hoofdstuk 2 is het theoretisch kader van risicogestuurd onderhoud beschreven en een risicomatrix opgesteld. De risicomatrix waar de consequenties van wateroverlast als meer of minder erg worden beoordeeld. Deze informatie is gebruikt in hoofdstuk 6 bij het bepalen van de hotspots.

In hoofdstuk 3 is een analyse van de optredende zetting in opgenomen. Dit is een onderdeel van de input van hoofdstuk 4 waarin de effecten van zettingen en vervuiling zijn bepaald voor het functioneren van de hemelwaterriolering.

In hoofdstuk 7 een voorstel opgenomen voor een aangepaste beheerstrategie. Dit hoofdstuk is gebaseerd op de informatie uit hoofdstuk 4, 5 waarin beschreven is welke leidingen cruciaal zijn voor het functioneren van de hemelwaterriolering en hoofdstuk 6. Hoofdstuk 8 bevat een beschrijving van de kosten van de huidige en aangepaste beheerstrategie en in hoofdstuk 9 zijn de conclusies en aanbevelingen van deze studie opgenomen.



Figuur 1.2 Schematisch overzicht van de structuur van het rapport

2 Theoretisch kader risicogestuurd onderhoud

De gemeente Almere beheert een groot areaal. Deze assets vervullen hun noodzakelijk functies en de borging daarvan is geregeld via de beheerorganisatie. Goed beheer is een balans tussen het vervullen van de prestatie, het in controle hebben van de risico's en de kosten over de levensduur. Dit staat ook wel bekend als assetmanagement, zie Figuur 2.1.



Figuur 2.1 Prestatie, Risico en Kosten

Binnen assetmanagement voor de riolering is de toepassing van risicosturing essentieel, mede doordat de beheeropgave van assets complexer is geworden en krappere financiële kaders (*“meer met minder of meer met hetzelfde”*). Hierin is de opgave om te zorgen dat het stelsel maximaal bijdraagt aan de maatschappelijke doelen en dat daarbij ook op de lange termijn de juiste beslissingen worden genomen. Voor de riolering van Almere is onderzocht in hoeverre het onderhoudsconcept wat betreft het reinigen van de RWA-riolen voor gemeente Almere optimaal (effectief en efficiënt) is.

2.1 Risicomatrices

Dit hoofdstuk bevat de uitwerking van de risicomatrices, doelmatigheidstoets en toegepaste scenario's. De doelmatigheidstoets is uitgevoerd in de CMS-tool Power Suite. In Power Suite is het gehele proces vanaf het opstellen van de risicomatrices tot en met het inzichtelijk maken van de toets resultaten voor de verschillende scenario's uitgevoerd.

Risico's hebben effect op het bereiken van de doelstellingen. Een effect is een afwijking van wat wordt verwacht, positief en/of negatief. Doelstellingen kunnen betrekking hebben op verschillende aspecten zoals financiële, veiligheids-, gezondheids-, en milieudoelstellingen. Dit kan ook van toepassing zijn op verschillende niveaus zoals strategisch, organisatie breed, project, product en proces. Risico wordt vaak gekarakteriseerd door een verband te leggen met potentiële gebeurtenissen, een consequentie, of een combinatie van beide en hoe die van invloed kunnen zijn op het bereiken van doelstellingen.

Risico is het product van de kans dat een gebeurtenis optreedt en het effect bij het optreden van die gebeurtenis. In formule vorm: $Risico = Kans \times Effect$. De risicoformule laat zien dat een kleine kans en een groot effect tot een, qua omvang, even groot risico kunnen leiden als een grote kans en een klein effect. Ook laat deze zien dat kleine kansen en zeer grote

effecten kunnen leiden tot grote risico's. Dit geldt uiteraard eveneens voor kleine effecten die met een zeer hoge waarschijnlijkheid optreden.

Voor de risicomatrices wordt gebruik gemaakt van de kans variabele en de effect variabele. De kans variabele geeft aan hoe vaak een gebeurtenis optreedt en wordt doorgaans op de volgende manieren uitgedrukt:

- Gevoelsmatig: (zelden, soms, regelmatig).
- Kalendertijd: (Een per x jaren, maanden, weken).
- Herhalingsfrequentie: (1/10.000, 1/1000, 1/100) Indien het aantal herhalingen per tijdseenheid bekend is, is het altijd mogelijk om te rekenen naar een tijdschaal.

De effectvariabele geeft aan wat er gebeurt als een gebeurtenis optreedt. Hierbij wordt het effect in oplopende gradaties van omvang weergegeven. Onderscheid kan gemaakt worden tussen effect en consequenties. Het effect beschrijft wat er gebeurt, consequenties bepalen hoe erg het is. De consequenties zijn de "outcome" van het effect.

Doordat leidingen verstoppert, kan er een gevaar ontstaan voor mens en milieu. Het is mogelijk dat het primaire proces voor een bepaalde tijd niet voorgezet kan worden of dat de procesfunctie en prestatiegraad negatief worden beïnvloed. Met het herstellen van het functioneren van de leidingen zullen kosten gemoeid zijn. Hierbij is het ook mogelijk dat er schade is aangericht waarvoor gevolgstkosten worden opgevoerd. Tot slot is er ook nog de doorverwerking van het effect naar de buitenwereld toe, gevolgd door de reactie van de buitenwereld. Dit beïnvloedt het imago van de organisatie.

Binnen risicomanagement en risicoanalyse methodieken is het gebruikelijk om effect en consequenties op te splitsen in verschillende categorieën. Vaak worden meerdere categorieën tegelijkertijd aangesproken. De algemene indeling die vaak wordt toegepast is hieronder weergegeven:

- Veiligheid
- Milieu en leefomgeving
- Proces (beïnvloeden van functie en prestatiegraad)
- Kosten
- Imago

De formule $Risico = Kans \times Effect$ kan grafisch in twee dimensies worden uitgedrukt. Hierdoor ontstaat een risicomatrix, voor een specifiek risicocriterium. De kans variabele varieert van wat voor het optreden van een gebeurtenis hoogst onwaarschijnlijk (klein) tot extreem vaak (groot) wordt geacht. De effectvariabele varieert tussen geen enkel effect en extreem veel effect. Met de matrix kan de grens tussen acceptabele en niet-acceptabele risico's ten gevolge van het optreden van een gebeurtenis worden ingevuld. Tussen "klein" en "groot" en "weinig" en "veel" zijn diverse tussenstappen denkbaar die het model verfijnen en op die manier zorgen voor een betere classificatie van risico's. Teveel tussenstappen kunnen leiden tot een schijnzekerheid.

Op basis van de ligging van de acceptatie grens en de waarden in de cellen kunnen risico's op verschillende manieren in niveau worden ingedeeld. In zowel standaarden als in de praktijk worden doorgaans verdelingen in twee, drie of vier niveaus gehanteerd. In overleg met gemeente Almere is een risicomatrix opgesteld, de risicomatrix is terug te zien in bijlage A.

2.2 Bedrijfsdoelstellingen en risicomatrices

In dit onderzoek is gebruikgemaakt van de voor de gemeente Almere opgestelde risicomatrix.

1. Gezondheid
2. Veiligheid
3. Wateroverlast
4. Bereikbaarheid
5. Imago/ Politiek
6. Financiën

Met deze risicomatrix is de organisatie in staat het effect van falen te toetsen aan de relevante (kern)waarde van de organisatie als geheel. Hiermee wordt inzicht verschaft in de afzonderlijke kritikaliteit van de assets. Zoals eerder benoemend, de risicomatrices zijn opgenomen in bijlage A.

2.3 Scenario's

Het doel van de case is antwoord te geven op de navolgende vragen;

- Hoe maken we de toegevoegde waarde van het preventief onderhoud inzichtelijk?
- Welke risico's dienen te worden beheerst?
- Wat is de doelmatigheid (effectiviteit en efficiëntie) van het onderhoud?
- Wat zijn de te verwachten beheers- en risicokosten?
- Wat zijn de restrisico's?

Voor het beantwoorden van deze vragen zijn in Power Suite een drietal scenario's uitgewerkt.

Scenario 1 - Initieel risico; Dit scenario visualiseert de risico's in het geval de organisatie besluit morgen geen onderhoud meer uit te voeren. Het risico kan worden gevisualiseerd in (reële) kosten van falen, risicokosten in de tijd, risico kosten per oorzaak, component, systeem risicokosten per bedrijfswaarde et cetera. Dit geeft de organisatie zicht op de potentiële verbeterruimte voor het op te stellen preventief onderhoudsplan.

Scenario 2 - Huidige bedrijfsvoering (Huidig onderhoud); Dit scenario maakt de restrisico's inzichtelijk op basis van het huidig preventief onderhoud. In dit scenario kan de toegevoegde waarde van het preventief onderhoud worden gevisualiseerd door de restrisico's af te zetten tegen de initiële risico's in combinatie met de gemiddelde jaarlijkse kosten voor het onderhoud. Met andere woorden; de organisatie is in staan aan te tonen wat de toegevoegde waarde is van het onderhoud. Dit scenario is het vertrekpunt voor scenario 3.

Scenario 3 - Optimaal onderhoud

Dit scenario maakt de restrisico's inzichtelijk op basis van aangepaste onderhoudsstrategieën. In dit onderzoek zijn verschillende onderhoudsstrategieën gedefinieerd. Voor deze strategieën is toegevoegde waarde van het preventief onderhoud gevisualiseerd door de restrisico's af te zetten tegen de initiële risico's en huidige bedrijfsvoering in combinatie met de gemiddelde jaarlijkse kosten voor het onderhoud.

3 Zettingen in Almere

In het kader van deze case studie is de maaiveldzetting in de gemeente Almere in beeld gebracht. Er is gekeken naar de verwachte gemiddelde zetting voor heel Almere en specifiek voor Muziekwijk en Waterwijk. Daarnaast is de variatie in de zettingen in beeld gebracht. Hiervoor zijn metingen gebruikt van de maaiveldhoogte uitgevoerd door de gemeente en metingen van veranderingen in maaiveldhoogten uitgevoerd door SkyGeo.

Dit hoofdstuk beschrijft de beschikbare meetgegevens, geeft een beeld van de kwaliteit van de metingen en laat zowel de verwachte zetting voor heel Almere en voor Muziekwijk en Waterwijk zien, als de variatie ervan in ruimte en tijd.

3.1 Beschikbare gegevens

Voor de analyse van maaiveldzettingen in Almere zijn gegevens uit verschillende bronnen beschikbaar gesteld door de gemeente. In Tabel 3.1 zijn de beschikbare gegevens weergegeven.

Tabel 3.1 Overzicht beschikbare gegevens

Meetgegevens	Bestandsnaam	Bron	Jaren
Niveau putdeksels	'Rioolputten_historie_zettingen.xlsx'	Baak/total station/ GPS (Almere)	1998-2015 (momentopname)
Niveau putdeksels	'Kopie van Metingen putten 1-1-15 tot 18-10-17.xls'	Baak/total station/ GPS (Almere)	2015-2017 (momentopname)
Niveau BOB leidingen	'Kopie_Metingen strengen 1-1-15 tot 18-10-17.xls'	Baak/total station/ GPS (Almere)	2015-2017 (momentopname)
Zetting maaiveld t.h.v. putdeksels	'Rioolputten_TSX_ds_I_Weighted_buffer_15m.shp'	Satelliet, Terrasar-X (SkyGeo)	2009-2015 (tijdgemiddeld)

3.2 Kwaliteitsoordeel zettingsgegevens

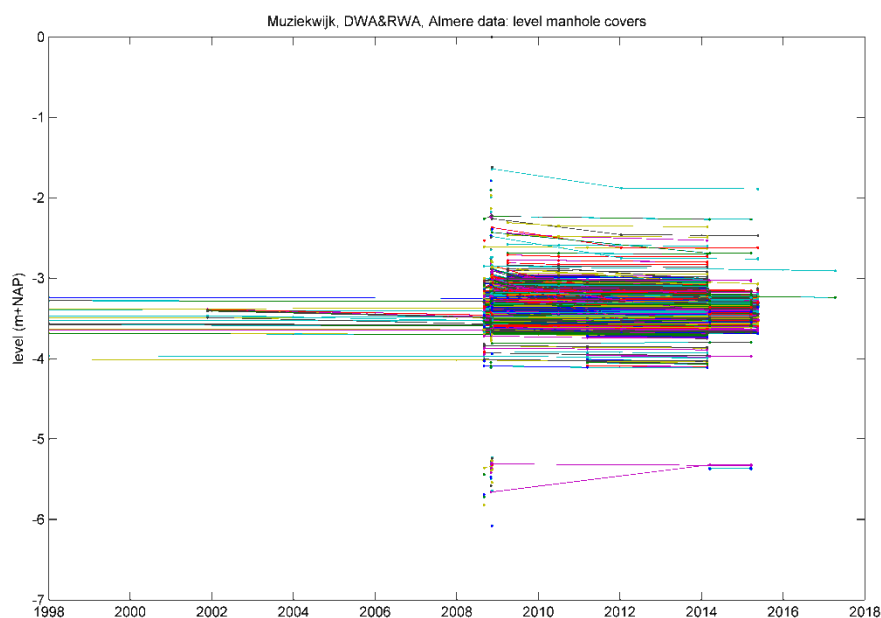
Voorafgaand aan de gegevensanalyse is de kwaliteit van de beschikbare gegevensbronnen beoordeeld. Hierbij is ten eerste gekeken naar meetdatum, meetwaarde en reekslengte in de gegevens van de gemeente. Daarnaast is de spreiding in de zettingen op basis van de metingen van de gemeente Almere vergeleken met die in de SkyGeo metingen. Als laatste zijn de zettingen zoals berekend uit de hoogtegegevens van de gemeente en gemeten door SkyGeo vergeleken met het Actuele Hoogtebestand Nederland (AHN). Om de zetting op basis van het AHN te bepalen is het verschil genomen tussen de maaiveldhoogte t.h.v. de rioolputten uit AHN2 (ingewonnen in 2009) en AHN3 (ingewonnen in 2016). Dit betreft dus een zetting over een periode van 7 jaar.

Metingen van onvoldoende kwaliteit zijn niet meegenomen in de verdere analyse of voor het bepalen van de input voor de modelberekeningen.

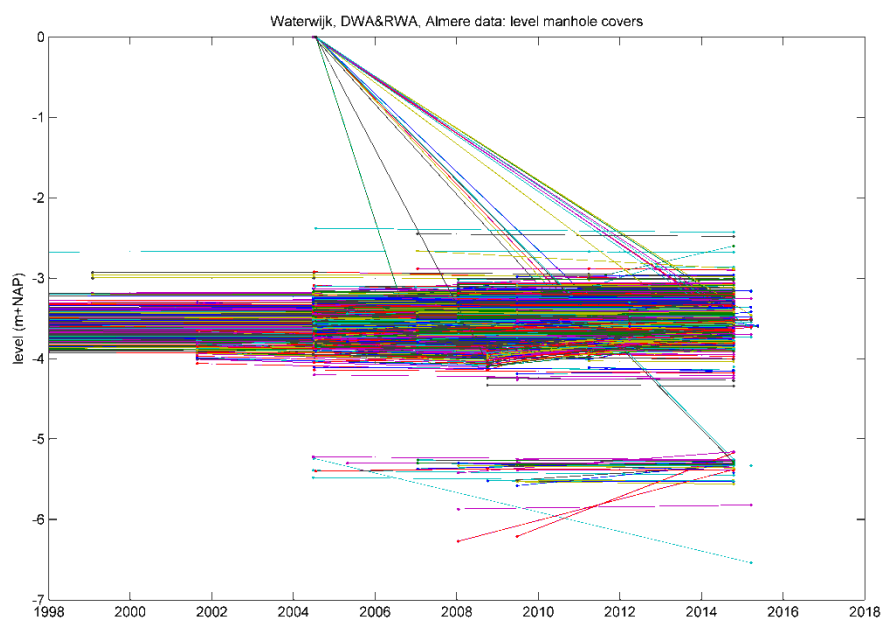
De reekslengte van de putdekselhoogtes beslaat circa 17 jaar. Dit is voldoende om een zettingsanalyse op uit te voeren. De reekslengte van de BOB hoogtes van de leidingen is te kort (slechts 2 jaar). Deze metingen zijn niet meegenomen in de verdere analyse.

In Figuur 3.1 en Figuur 3.2 zijn voor Muziekwijk en Waterwijk de gemeten putdekselhoogtes weergegeven in de tijd. Elke stip stelt een meting voor. De metingen van dezelfde putdeksel zijn verbonden met een lijn. Deze figuren laten zien dat een aantal metingen een datum heeft voor 01-01-1998. Dit is met name in Waterwijk het geval. Deze metingen zijn uit de gegevens verwijderd, omdat de wijk voor die tijd nog helemaal niet bestond.

Daarnaast zijn er in Waterwijk in 2005 metingen met putdekselhoogte 0 m+NAP. Dit is geen realistische waarde voor de wijk. Dit komt voor uit de manier van gegevens invoer in 2005. Daarom zijn ook deze metingen uit de gegevens verwijderd.

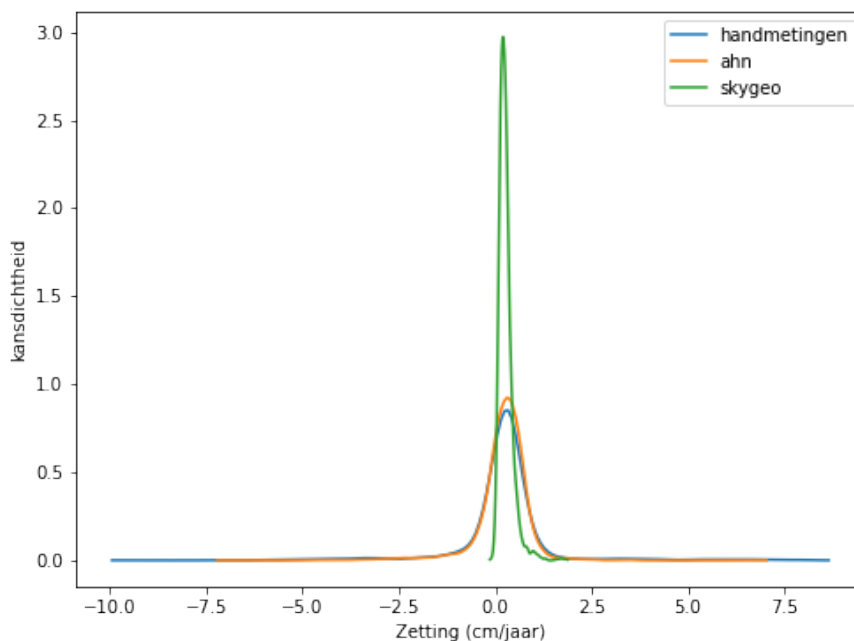


Figuur 3.1 Gemeten hoogte van putdeksels in Muziekwijk voor de jaren 1998-2017 (bron data: gemeente Almere)



Figuur 3.2 Gemeten hoogte van putdeksels in Waterwijk voor de jaren 1998-2017 (bron data: gemeente Almere)

Uit vergelijking van de zettingen berekend op basis van de meetgegevens van de gemeente ('handmetingen') en de zettingen gemeten door SkyGeo blijkt dat de spreiding enorm verschilt. Figuur 3.3 geeft een indruk van de verschillen. Een statistische toets op de significantie van de verschillen in spreiding toont aan dat zowel de zettingen op basis van de metingen van de gemeente als die op basis van de AHN gegevens sterk verschillen van de SkyGeo gegevens. De metingen van de gemeente zijn gebruikt in de verdere analyse en voor het bepalen van de input voor de modelberekeningen. Die op basis van AHN en SkyGeo niet. De toets op verschillen in variantie is uitgewerkt in bijlage 2.



Figuur 3.3 Kansverdeling van zettingen op basis van drie verschillende bronnen: (1) Almere, (2) SkyGeo en (3) AHN

3.3 Analyse zettingsgegevens

De maaiveldzettingen (cm/jaar) op basis van de door de gemeente Almere gemeten putdekselhoogten zijn als volgt berekend:

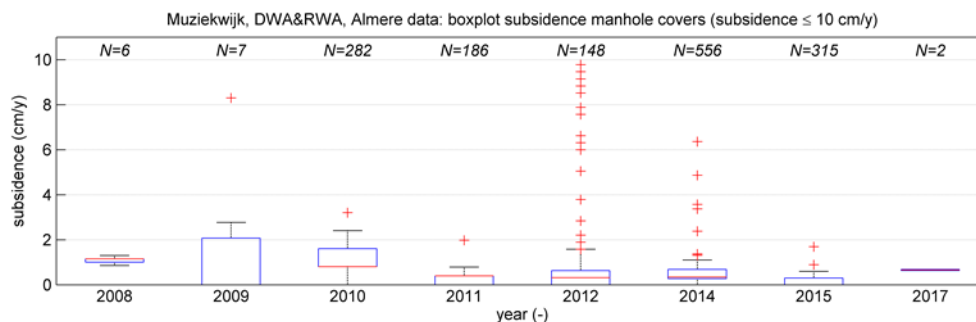
$$zetting = \frac{putdekselhoogte(tijdstip\ 1) - putdekselhoogte(tijdstip\ 2)}{tijdstip\ 2 - tijdstip\ 1}$$

$tijdstip\ 2 > tijdstip\ 1$

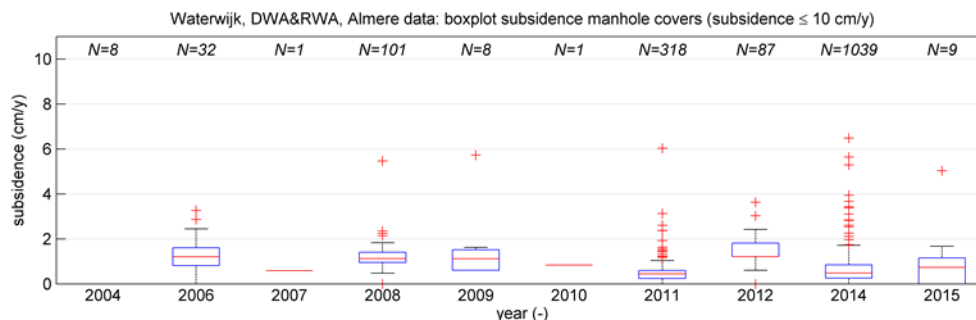
Zettingen (dus dalingen van het maaiveld in de tijd) zijn hiermee positief gedefinieerd. Als het verschil tussen de hoogte op t1 en t2 negatief is, dan duidt dit op een ophoging van het maaiveld. Negatieve waarden van de zetting zijn niet meegenomen in de analyse. In overleg met de gemeente is bepaald dat een zetting groter dan 10 cm/jaar niet realistisch is. Ook deze waarden zijn niet meegenomen.

De analyse van de maaiveldzettingen op basis gemeten putdekselhoogten laten het volgende beeld zien:

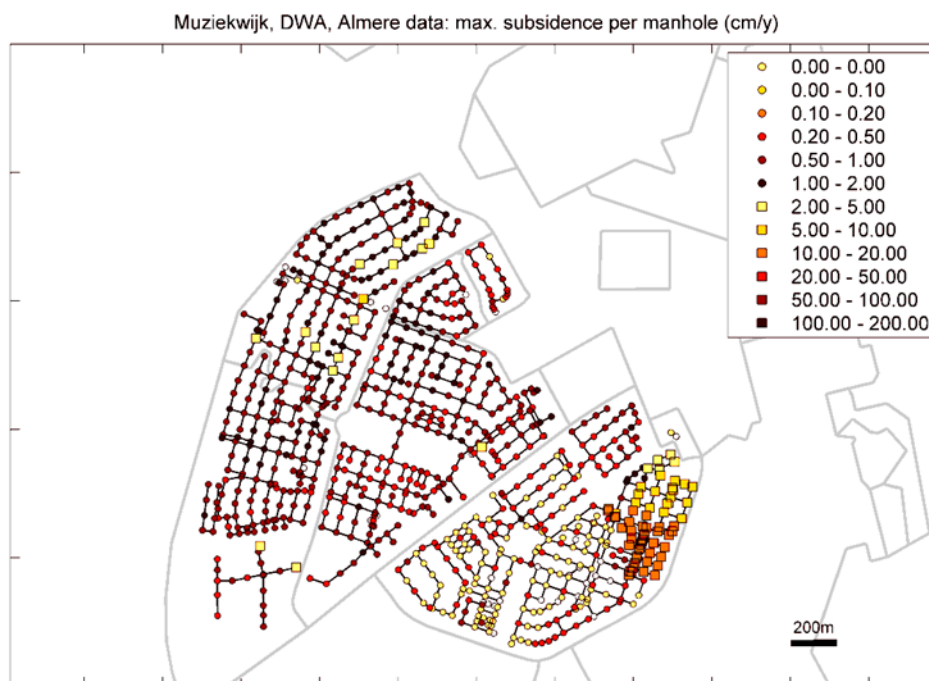
- De zettingen over de jaren heen is niet constant, maar variëren in de tijd. Dit geldt zowel voor Muziekwijk als voor Waterwijk. De rode lijnen (mediaan) in de boxplots in Figuur 3.4 en Figuur 3.5 illustreren de variatie over de jaren heen. Uit de figuren blijkt ook dat de variatie in de metingen binnen hetzelfde jaar enkele malen groter is dan de variatie over de jaren.
- De zettingen per wijk kunnen ruimtelijk sterk verschillen. Dit wordt geïllustreerd in figuur Figuur 3.6 en Figuur 3.7. Hierin is de maximale zetting over de hele meetperiode (1998-2017) weergegeven. In Muziekwijk is deze variatie het sterkst, in Waterwijk in iets mindere mate. Een goed voorbeeld is de zuidoostelijke hoek van Muziekwijk waar de zetting bijna 10x groter is dan in de rest van de wijk. In Waterwijk is de zetting het grootst in het noordoostelijke deel van de wijk.
- De ruimtelijke correlatie tussen de zettingen is op korte onderlinge afstanden relatief hoog. Dit betekent dat de wijken redelijk gelijkmatig zakken. Dit blijkt uit het grote aantal punten dat in Figuur 3.6 en Figuur 3.7 dichtbij elkaar ligt en dezelfde kleur heeft. Aan de andere kant kan het ene deel van een wijk veel harder zakken dan het andere.



Figuur 3.4 Kansverdeling van zettingen op basis van drie verschillende bronnen: (1) Almere, (2) SkyGeo en (3) AHN



Figuur 3.5 Kansverdeling van zettingen op basis van drie verschillende bronnen: (1) Almere, (2) SkyGeo en (3) AHN



Figuur 3.6 Maximale zetting per putdeksel in Muziekwijk voor de jaren 1998-2017 (zettingen > 10 cm/jaar zijn niet meegenomen in de analyse)



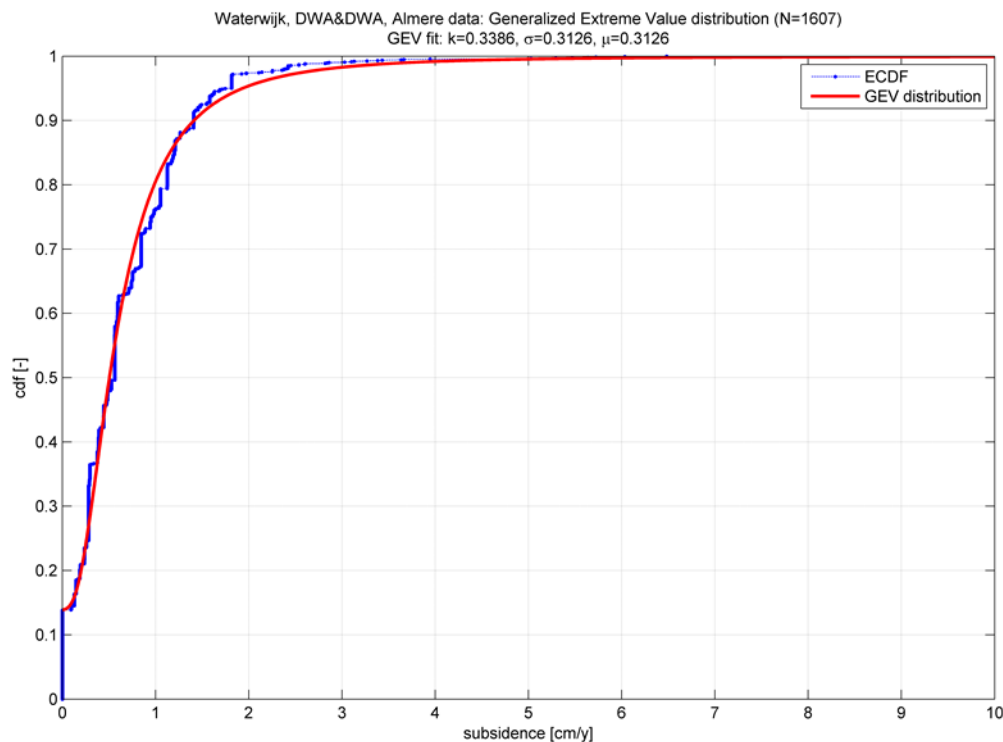
Figuur 3.7 Maximale zetting per putdeksel in Waterwijk voor de jaren 1988-2017 (zettingen > 10 cm/jaar zijn niet meegenomen in de analyse)

3.4 Input modelberekeningen

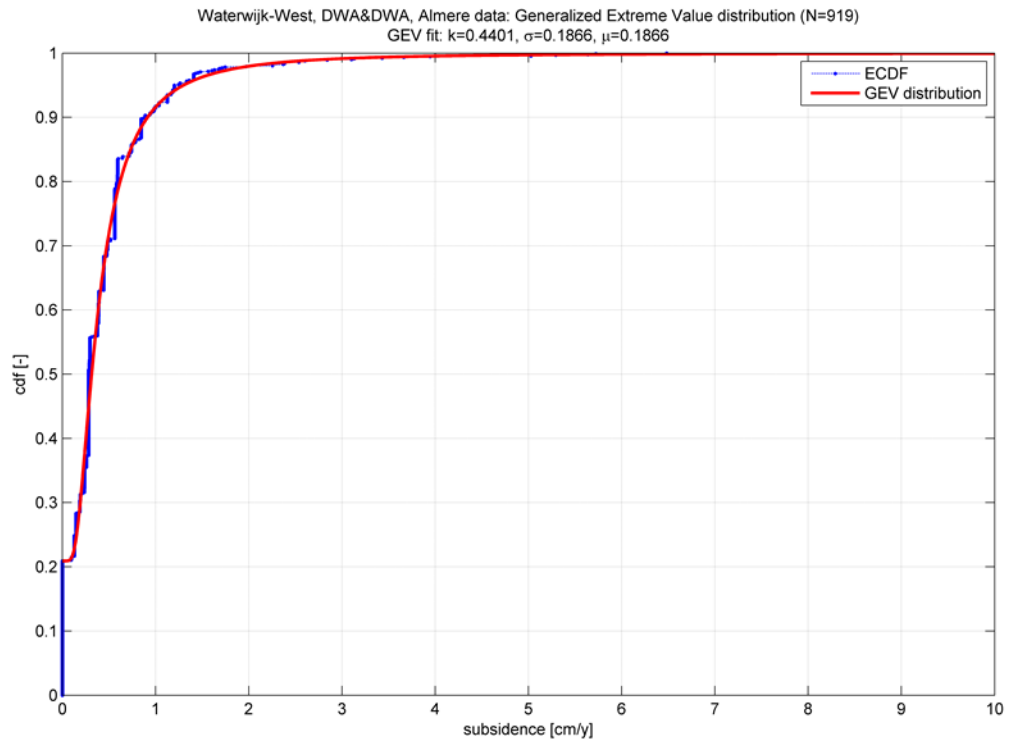
De modelberekeningen vragen om een kansverdeling van de zettingen die kunnen optreden in een wijk. Deze kansverdelingen zijn voor beide wijken afgeleid uit zettingen berekend op basis van de door de gemeente Almere gemeten putdekselhoogten. Er is voor gekozen om geen gebruik te maken van een empirische kansverdeling, maar om de parameters van een bepaald verdelingstype te schatten uit de verzameling zettingen.

Uit de analyse is gebleken dat een GEV (gegeneraliseerde extreme waarde verdeling) verdeling het best in staat is om de berekende zettingen statistisch te beschrijven. Een groot aantal putdeksels in de wijken zakt niet. Een GEV verdeling is echter alleen gedefinieerd voor waarden groter dan nul. Om toch rekening te kunnen houden met het grote aandeel van zettingen gelijk aan nul, is de verdelingsfunctie alleen gefit op zettingen groter dan nul. Achteraf zijn de kansen voor zettingen met een waarde groter dan nul gecorrigeerd op basis van de kans dat een deel van de punten een zetting van nul heeft.

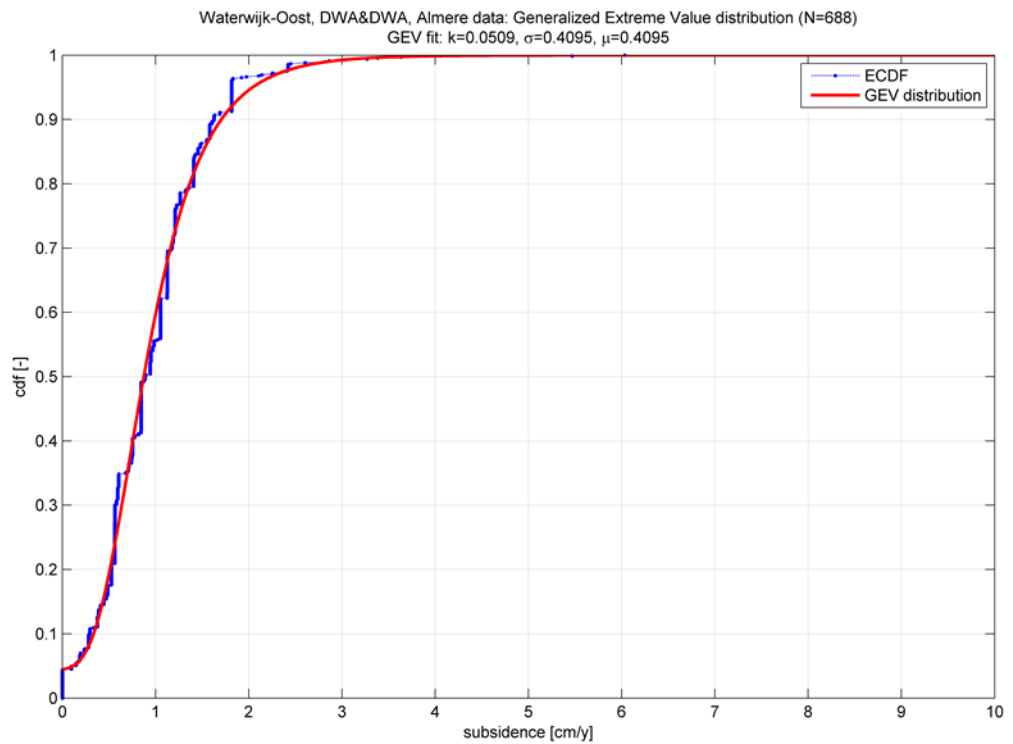
Het fitten van de GEV verdelingen op basis van de berekende zettingen leidt voor Muziekwijk en Waterwijk tot de cumulatieve kansverdelingen zoals weergegeven in Figuur 3.8, Figuur 3.9 en Figuur 3.10. Voor Waterwijk is vanwege de ruimtelijke verschillen in zettingen een aparte kansverdeling voor het westelijke en oostelijke deel van de wijk bepaald. Dit is voor Muziekwijk niet gedaan, omdat het aantal putdeksels in de zuidoostelijke hoek (waar de zettingen het grootst zijn) te klein is om betrouwbaar een kansverdeling op te kunnen fitten.



Figuur 3.8 Cumulatieve kansverdeling (op basis van GEV-verdeling) van zettingen in Muziekwijk



Figuur 3.9 Cumulatieve kansverdeling (op basis van GEV-verdeling) van zettingen in Waterwijk-West



Figuur 3.10 Cumulatieve kansverdeling (op basis van GEV-verdeling) van zettingen in Waterwijk-Oost

4 Effecten van zettingen en vervuiling van het HWA-riolering

4.1 Aanpak en uitgangspunten

Het effect van ongelijkmatige zetting en/of vervuiling op het hydraulisch functioneren van de regenwaterriolering in 2050 is bepaald ten opzichte van de huidige situatie (2018).

De volgende aannames en uitgangspunten zijn gehanteerd voor de referentie en/of voor de situatie in 2050:

- Het gebruikte hydraulisch model is het door de gemeente Almere aangeleverde model H0106_D.lit. De buis- en puthoogten zijn aangepast aan de hand van de laatste metingen¹.
- Voor de referentiesituatie (T=0 jaar) is uitgegaan van schoon rioolstelsel 2018, waarbij de laatste metingen zijn verwerkt. Reeds opgetreden zettingen zijn daarmee verwerkt in het model.
- De zetting/vervuiling is per 2 jaar toegevoegd aan het hydraulisch model en daarna doorgerekend met Bui 08 [Rioned, 2004]. Deze bui heeft een kans van optreden van eens per twee jaar. Er is in de berekeningen geen rekening gehouden met klimaateffecten.
- Het oppervlaktewaterstreefpeil is ingesteld op NAP -5,5 m. Aangenomen wordt dat dit gelijk blijft tussen 2018 en 2050.
- De zetting is toegekend aan de putten door de putdekselhoogten te verlagen.
- De vervuiling is toegepast op de buizen door de diameters te verkleinen.
- 1 cm water op straat is gelijk aan 1 m³ water (omdat het representatieve putoppervlak in het model gelijk is aan 100 m²).

De aanpak op hoofdlijnen is weergegeven in Figuur 4.1. Het HWA-stelsel van Almere is gemodelleerd in het softwarepakket Sobek 2 Urban. De referentiesituatie (situatie 2018) is doorgerekend met bui 08 uit de Leidraad Riolering. De periode van 2018 tot 2050 wordt in 16 rondes van elk 2 jaar doorgerekend.

Op basis van de 25 jaar reeks van het KNMI uit de Bilt is een analyse uitgevoerd om per buis de maximale schuifspanningen te bepalen voor verschillende herhalingstijden. Op basis van deze uitkomsten is bepaald of er vuilophoping in een buis plaatsvindt, hoe vaak de buis schoonspoelt als gevolg van hevige neerslag. Als de buis niet schoonspoelt wordt de leiding eens per 12 jaar (mechanisch) gereinigd.

De PTK controleert elke ronde welke buizen schoonspoelen of worden gereinigd. De buizen met een T=2 schoonspoelfrequentie worden elke ronde weer schoongespoeld. De T=5 elke drie rondes, T=10 elke 5 rondes. Elke 6 rondes worden alle overige buizen gereinigd, dit is de 12-jaarlijkse reinigings- en inspectieronde.

Vanaf 2018 verloopt de analyse in stappen van 2 jaar (gelijk aan de herhalingstijd van Bui 08). Voor de verschillende cases verricht de PTK de volgende aanpassingen aan het Sobekmodel:

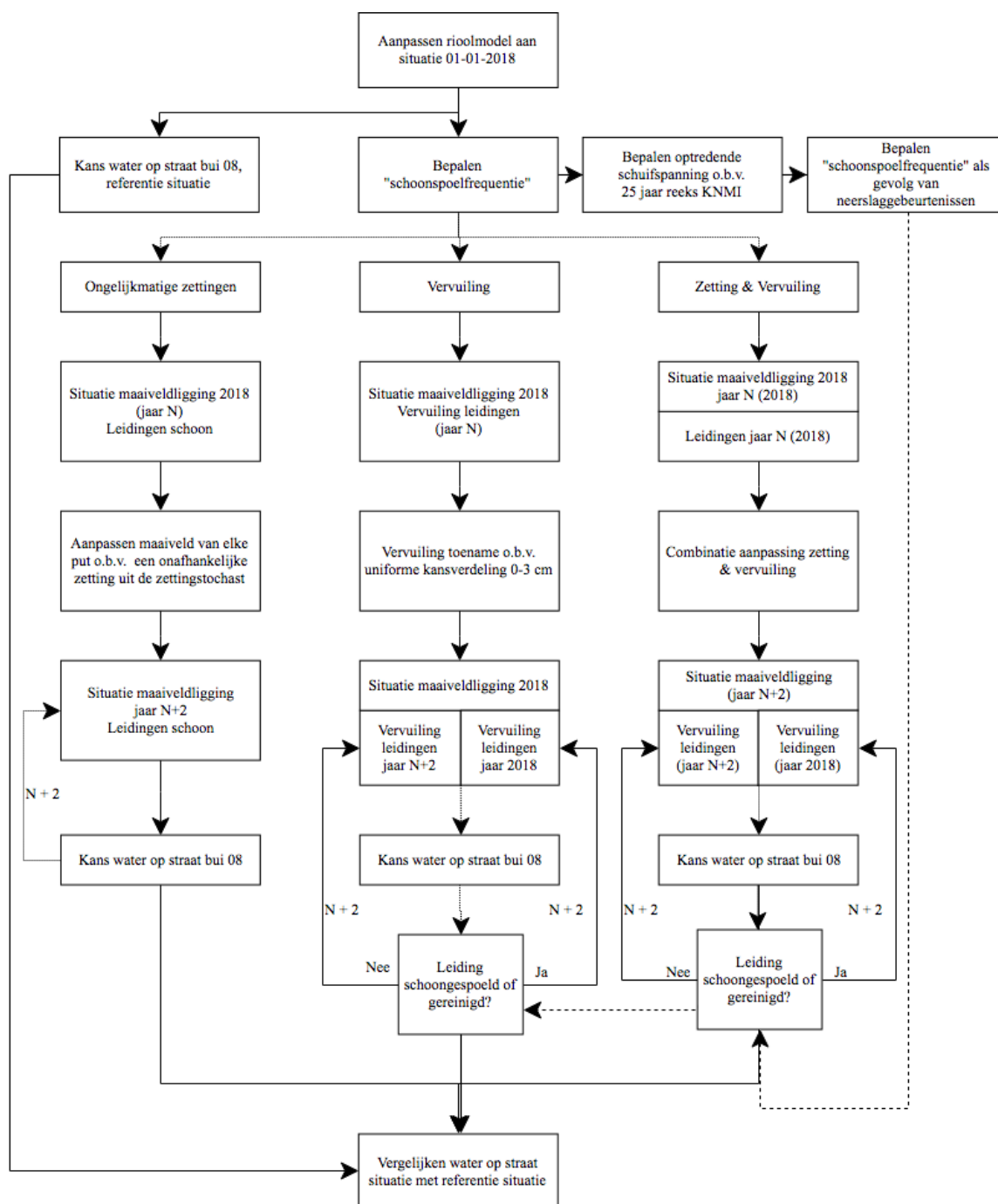
¹ Metingen zijn opgeleverd in een excelbestand genaamd 'riool_strengen.xlsx'. Deze metingen van buishoogten, diameters en putdekselhoogten zijn over een periode van 18 jaar uitgevoerd. Dit zijn de meest actuele gegevens.

1. Zetting: De PTK trekt voor elke put een onafhankelijke zetting uit de zettingstochast van de betreffende wijk en verwerkt dit in het Sobekmodel door het maaiveld ter hoogte van een put te laten zakken. De kansverdelingstabel is gegeven in bijlage E.
2. Vervuiling: De PTK trekt voor elke buis waar slibaangroei kan optreden een jaarlijkse slibaangroei uit een uniforme kansverdeling. De aanname is dat de aangroei jaarlijks tussen de 0 en 3 cm kan bedragen. De slibaangroei is verwerkt in het Sobekmodel door de buisdiameter te verkleinen.
3. Combinatie: De PTK voert de handelingen voor zetting en vervuiling tegelijk uit.

Voor elke case zijn 16 rondes doorgerekend (32 jaar). Per ronde zijn 100 simulaties gedaan. Zo zijn voor elke put voor iedere ronde 100 uitkomsten gegenereerd. In het algemeen wordt gesteld dat er genoeg simulaties zijn gedaan wanneer de spreiding in de uitkomsten (waterstanden) kleiner is dan 0,1 en dat daarmee de verdeling in uitkomsten representatief is.

Vanuit Robamci fase 2 [Robamci, 2017a] nemen we de aanname over dat met 100 simulaties de spreiding (standaarddeviatie) in resultaten voor elke put in ronde 16 uiteindelijk kleiner is dan 0,1. Hierbij merken we op dat 100 simulaties per ronde nog tot een acceptabele rekentijd van de PTK valt.

Voor elke doorgerekende case is voor elke put de gemiddelde maximale hoeveelheid water op straat (m^3) en de bijbehorende standaarddeviatie bepaald. Op basis van de gemiddelden en de spreiding is het 90%-betrouwbaarheidsinterval rondom de kans op water op straat bepaald voor een gegeven jaar (bijvoorbeeld 2050).



Figuur 4.1 aanpak op hoofdlijnen

Verdere toelichting op het modelinstrumentarium en de specifieke aannames en analyses staan beschreven in Bijlage C. Bijlage D beschrijft de uitkomsten van de referentie situatie.

4.2 Conclusies

In dit hoofdstuk zijn de hydraulische effecten van zetting (case 1), vervuiling (case 2) en de combinatie (case 3) op de kans op water op straat bij Bui 08 in het zichtjaar 2050 voor twee wijken in de gemeente Almere onderzocht. Vervolgens zijn verschillende reinigingsfrequenties bekeken om te onderzoeken of andere frequenties van reiniging leiden tot een verkleining van de kans van water op straat. Geconcludeerd kan worden dat:

- zetting van het maaiveld leidt tot een afname van de drooglegging, hierdoor neemt de kans van water op straat toe.
- vervuiling zorgt voor dichtslibben van de rioolbuizen, waardoor de afvoercapaciteit afneemt, hierdoor neemt de kans van water op straat toe.
- In de gecombineerde case (zetting en vervuiling) nemen zowel de afvoercapaciteit als de drooglegging af, waardoor de kans op water op straat versterkt wordt ten opzichte van de individuele effecten.

De omvang van de toename in de kans en mate van water op straat verschilt per wijk.

Zetting

Zetting leidt tot een toename van het aantal locaties waarvoor water op straat wordt berekend in Muziekwijk en Waterwijk-Oost. In Waterwijk-West is er geen toename van water op straat, mogelijk omdat er in de huidige situatie al veel water op straat staat bij Bui 08 wordt berekend. Bij Waterwijk-Oost neemt naast het aantal locaties water op straat ook de hoeveelheden water op straat bij al bestaande knelpunten toe.

Vervuiling

De effecten van vervuiling van het rioolstelsel en daarmee de afname van de afvoercapaciteit zijn in alle deelwijken merkbaar, want er zijn meer locaties waar water op straat ontstaat en ook het volume water op straat neemt toe. De hoeveelheid vuil die ophoopt in het systeem (dus afhankelijk van de reinigingsfrequentie) heeft effect op de mate van extra water op straat. Dit effect is bij Waterwijk-West het kleinst. Hier is de toename van de waterdiepte op straat gemiddeld 5 tot 10 m³ en het aantal locaties met water op straat neemt toe met circa 20%. Bij Muziekwijk is de gemiddelde toename 5 tot 10 m³ en neemt het aantal locaties met water op straat toe met ca. 50%. Bij Waterwijk-Oost neemt het water op straat toe met 10 tot 15 m³ per put en verdubbelt het aantal locaties met water op straat.

Zetting en vervuiling

De gecombineerde effecten van zetting en vervuiling leiden tot meer water op straat dan bij de afzonderlijke effecten. Bij Waterwijk-Oost versterken de effecten van zetting en vervuiling elkaar. Er ontstaat meer water op straat. De toename is hier een volume van 6 tot 18 m³ water op straat per put. Water op straat neemt vooral toe bij de putten waar relatief weinig water op straat stond. Voor Muziekwijk had zetting geen groot effect op het volume voor de al reeds bestaande locaties met water op straat, alleen neemt het aantal locaties toe. Door de vervuilingcomponent neemt de mate van water op straat toe met 5 tot 10 m³ per put. Voor Waterwijk-West zijn de effecten vooral veroorzaakt door de vervuiling, aangezien zetting geen noemenswaardig effect had op zowel het aantal locaties als het volume water op straat. De toename van het watervolume op straat is gemiddeld 5 tot 10 m³ en het aantal locaties neemt toe met circa 20%.

Reinigingsfrequenties

Uit dit verkennende onderzoek blijkt dat andere reinigingsfrequenties effect hebben op de mate van water op straat. Met een gerichte reinigingsstrategie zijn de effecten van zetting op

water op straat niet geheel weg te nemen. De effecten die ontstaan bij Waterwijk-Oost kunnen dus niet gecompenseerd worden door extra reiniging. Wel vermindert extra reinigen de toename van locaties en volumes water op straat als gevolg van vervuiling. Waar in de huidige situatie een reinigingsfrequentie van 12 jaar wordt aangehouden, kan een afname van ca. 15% locaties water op straat en 5 m³ volume water op straat per put worden bewerkstelligd door vaker te reinigen. Voor Waterwijk-West betreft deze afname tussen de 10 en 15% en 4 m³ minder water op straat per put. Bij Muziekwijk praten we over ca. 5% en ca. 3 m³ minder water op straat bij de resterende putten.

4.3 Resultaten case 1: zetting

In deze case is de kans op water op straat in 2050 als gevolg van ongelijke zetting van het maaiveld voor Bui 08 bepaald. In Tabel 4.1 is per gebied de ordegrrootte van de verwachte jaarlijkse zetting gegeven en de geschatte zetting in 2050 (na 32 jaar zetting o.b.v. 32 keer de verwachte jaarlijkse zetting) weergegeven. Merk op dat het modelinstrumentarium zelf 32 trekkingen verricht uit de zettingsstochast en die oplegt aan het Sobekmodel.

Tabel 4.1 Verwachtingswaarde van de zetting per deelwijk in 2050, dit is niet de opgelegde zetting in het Sobekmodel.

Zettingsgebied	verwachtingswaarde van de zetting [cm/jaar]	Verwachte zetting in 2050 [cm]
Muziekwijk	0,37	12
Waterwijk-West	0,31	10
Waterwijk-Oost	0,874	28

Effect van 32 jaar ongelijkmatige zetting voor de verschillende deelwijken

Het effect van ongelijkmatige zetting op water op straat is in een geografisch beeld weergegeven in Figuur 4.2 tot en met Figuur 4.4.



Figuur 4.2 Maximale water op straat situatie ([cm] / volume [m^3]) bij bui 08 in 2050 als gevolg van 32 jaar ongelijkmatige zetting op basis van het gemiddelde van alle simulaties voor 2050.

In Figuur 4.2 is een toename van water op straat op de meeste plekken (blauwe bollen) te zien (zie bijlage D voor de referentie situatie). Merk op dat 1 cm water op straat gelijk staat aan 1 m^3 water op straat. Vanaf de uitlaat gezien, neemt water op straat het meest toe in het midden van het traject en neemt het minder toe, of zelfs af, richting het einde van het traject. Dit is te verklaren omdat de maximale waterstanden (of drukhoogten) vanaf de uitlaat gezien steeds hoger liggen, zie Figuur F.2 en Figuur F.3.

Wanneer de straten zakken en de uitstroomsituatie gelijk blijft, zullen de waterstanden dus dichter onder het straatniveau komen en vaker ook op straat. Wanneer er meer water op straat komt in het midden van het traject, kan het zo zijn dat de hoeveelheid water op straat aan het einde van het traject iets afneemt als gevolg van herverdeling van het water (rode bollen) (zie bijlage F voor een uitleg van de interpretatie van de resultaten).

Spreiding in de uitkomsten

In Figuur 4.3 is de spreiding in uitkomsten over de 100 simulaties getoond. Deze spreiding is bepaald aan de hand van de standaarddeviatie (met een normale verdeling) en is een maat voor de bandbreedte van de uitkomsten. Hoe roder, hoe groter de spreiding. Het valt op dat de spreiding in uitkomsten in Muziekwijk groter is dan in Waterwijk. Merk op dat voor de meeste water op straat locaties in 2050 ook in de huidige situatie al water op straat werd berekend. De grotere spreiding wordt dus niet veroorzaakt door de resultaten van de putten waarvoor maar voor een deel van de simulaties water op straat wordt berekend in 2050. Er is niet verder onderzocht wat de oorzaak is van de verschillen in spreiding.



Figuur 4.3 Standaarddeviatie van de maximaal berekende extra water op straat bij Bui 08 in 2050 voor alle simulaties als gevolg van 32 jaar ongelijke zetting.

Nieuwe water op straat locaties

Als gevolg van het verzakken van putten, ontstaat op een aantal nieuwe locaties water op straat. Dit beeld is geschetst in Figuur 4.4 De extra locaties zijn hier aangegeven met rood. De groene locaties hebben geen water op straat in 2018 noch in 2050. Op de gele locaties is in beide gevallen water op straat berekend.

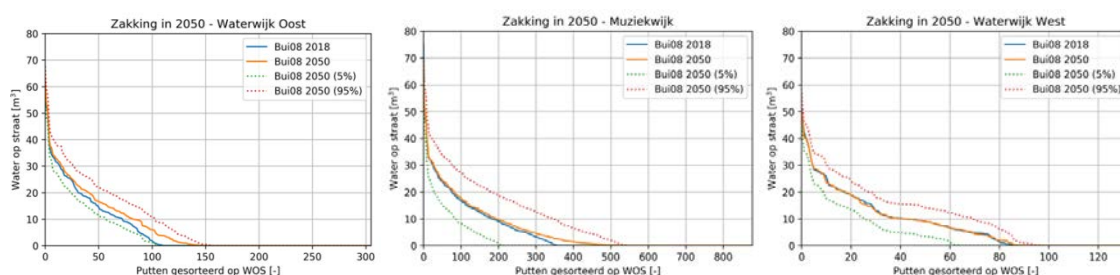


Figuur 4.4 Verschil in water op straat locaties bij bui 08 in 2050 ten opzichte van 2018 als gevolg van 32 jaar ongelijke zetting op basis van het gemiddelde van alle simulaties voor 2050

De effecten van zetting zijn ook weergegeven in grafieken, zie Figuur 4.5 Alle putten binnen een deelwijk zijn van groot naar klein gesorteerd op maximaal berekende watervolume. Dit is gedaan voor de huidige situatie (2018) en voor de toekomstige situatie (2050), waarbij voor 2050 ook de 90% betrouwbaarheidsinterval is geplot.²

Uit de grafiek voor Waterwijk-West blijkt dat de kans op water op straat vrijwel gelijk blijft bij de situatie met een zetting met een verwachtingswaarde van 10 cm (zie Tabel 4.1) t.o.v. de huidige situatie (referentiecasi). Een deel is te verklaren doordat in de huidige situatie al bij ca. 70% van de putten water op straat ontstaat (ca. 90 van de 130 putten). Het overige deel heeft blijkbaar voldoende waking om ook bij 10 cm zetting geen water op straat te berekenen in 2050. Voor Muziekwijk geldt dat een zetting van 12 cm tot gevolg heeft dat ongeveer 100 locaties (putten) extra water op straat staat, waarvoor in de referentiesituatie geen water op straat was berekend. Voor het gebied Waterwijk-Oost leidt een gemiddelde zetting van 29 cm in 2050 tot ongeveer 30 nieuwe locaties water op straat en wordt bij bestaande locaties meer water op straat berekend, namelijk op 50 locaties een toename van 3 m³ en op 100 locaties 6 m³.

² Merk op dat de 5% verwachtingswaarde voor 2050 nooit lager kan zijn dan de huidige verwachtingswaarde in 2018. Dat dit wel gebeurt, komt doordat het betrouwbaarheidsinterval is gebaseerd op een normale verdeling in plaats van de samengestelde extreme waarde verdeling welke voor de zetting is toegepast.



Figuur 4.5 Gesorteerd berekend gemiddelde van de maximaal berekende water op straatlocaties bij Bui 08 als het gevolg van 32 jaar ongelijkmatige zetting (2050) in vergelijking met het huidige stelsel (2018) voor alle simulaties.

4.4 Resultaten case 2: Vervuiling

In deze case is het hydraulisch effect van vervuiling op de kans op water op straat bij Bui 08 onderzocht (In Bijlage G zijn de volledige resultaten opgenomen). De hoeveelheid vuilinspoeling in het HWA-rioolstelsel (zoals zand, stof, klein materiaal) en de mate dat dit leidt tot slibaangroei zijn onbekend. In deze casestudie is verondersteld dat de gemiddelde slibaangroei binnen de bandbreedte 0 tot 3 cm per jaar ligt. Aangenomen is dat het slib in het HWA-riool vooral zandig slib is, dus weinig cohesief (klei is sterk cohesief). Daarnaast zijn grote blokkades zoals grote objecten in de riolering of boomwortels niet meegenomen. Boomwortels zijn bij een verdrinken stelsel vaak geen probleem, omdat wortels niet constant in het water kunnen staan.

Voor het zichtjaar 2050 (waarbij sprake is van maximaal 8 jaar vuilophoping) zijn de resultaten in kaarten getoond. Vervolgens zijn de effecten op water op straat bij verschillende onderhoudsfrequenties³ voor de verschillende gebieden in grafieken beschreven:

- 4 jaar
- 6 jaar
- 8 jaar
- 12 jaar (huidig onderhoudsfrequentie)

De effecten van het huidige 12-jaarlijkse reinigingsfrequentie zijn in Tabel 4.2 vergeleken met frequentere reiniging. Per deelwijk is de verwachte afname in water op straat locaties weergegeven en de verwachte afname in m³ water op straat bij de putten waar water op straat zal blijven optreden. Alle getallen zijn bij benadering en zijn bedoeld om een gevoel te geven bij de effecten van frequenter reinigen. Het onderscheid tussen 6- en 8-jaarlijkse reiniging is gegeven de uitgangspunten in de berekeningen moeilijker te maken, dit is verder toegelicht in de discussie

³ De maximale vervuiling bij een onderhoudsfrequentie van 4 jaar treedt in onze berekeningen op in 2022, 2034 en 2046. We hebben hier 2022 uitgevoerd. Voor 6 jaar komt dit neer op 2024, 2036 en 2048. Hier hebben we 2024 uitgevoerd. Voor 8 jaar op 2026, 2038 en 2050 waarbij we 2050 hebben uitgevoerd en voor 12 jaar op 2030 en 2042 waarbij 2030 is uitgevoerd.

Tabel 4.2 Water op straat bij de huidige reinigingsfrequentie en effecten van vaker reinigen op de afname in de kans op water op straat uitgesplitst naar de verschillende deelwijken.

Reinigingsfrequentie	T = 12 jaar	T = 6 tot 8 jaar	T = 4 jaar	Schoon
<u>Waterwijk Oost:</u>				
Aantal putten wos [-]	180	160	150	105
Rel. afname locaties wos [%]		-13%	-20%	-71%
Afname wos bij wos-locaties [m ³]		-5	-10	-15
<u>Waterwijk West:</u>				
Aantal putten wos [-]	105	100	95	85
Rel. afname locaties wos [%]		-5%	-11%	-24%
Afname wos bij wos-locaties [m ³]		-4	-2	-8
<u>Muziekwijk:</u>				
Aantal putten wos [-]	520	480	450	350
Rel. afname locaties wos [%]		-8%	-16%	-49%
Afname wos bij wos-locaties [m ³]		-6	-5	-10

4.5 Resultaten case 3: Combinatie zetting en vervuiling

In deze case is het gecombineerde effect van verzetting en vervuiling op de verandering van de kans op water op straat bij Bui 08 onderzocht. In deze case zijn de uitgangspunten voor de zettingssnelheid overgenomen uit case 1 en vervuiling en schoonspoelfrequentie overgenomen uit case 2 (Bijlage H beschrijft de volledige uitkomsten van de berekeningen).

De effecten van de huidige 12-jaarlijkse reinigingsfrequentie zijn in Tabel 4.3 vergeleken met hoogfrequentere reinigingen. De 12-jaarlijkse reiniging vormt de basis voor de getallen in de tabel. De tabel geeft aan wat de verwachte afname is van m³ water op straat per put en het aantal putten met water op straat als gevolg van een andere reinigingsfrequentie. Alle getallen zijn bij benadering en zijn bedoeld om een gevoel te geven bij de effecten van frequenter reinigen.

Tabel 4.3 Water op straat bij de huidige reinigingsfrequentie en effecten van vaker reinigen op de afname in de kans op water op straat uitgesplitst naar de verschillende deelwijken.

* het huidige stelsel ligt hoger dan in het 12-jaarlijkse reinigingsscenario.

Reinigingsfrequentie [1/jaar]:	12	8	6	4	Huidig
<u>Waterwijk Oost:</u>					
Extra zetting t.o.v. 12-jaarlijkse reiniging [cm]		+7,0	+5,3	+3,5	-12,2*
Aantal putten wos [-]	200	175	200	175	105
Rel. afname locaties wos [%] t.o.v. 12 jaar reinigen		-13%	0%	-13%	-48%
Afname wos bij wos-locaties [m ³] t.o.v. 12 jaar reinigen		-6	-3	-6	-15
<u>Waterwijk West:</u>					
Extra zetting tov 12 jaarlijkse reiniging [cm]		+2,5	+1,9	+1,2	-4,3
Aantal putten wos [-]	110	95	100	95	85
Rel. afname locaties wos [%] t.o.v. 12 jaar reinigen		-16%	-10%	-16%	-29%
Afname wos bij wos-locaties [m ³] t.o.v. 12 jaar reinigen		-4	-3	-5	-8
<u>Muziekwijk:</u>					

Extra zetting tov 12 jaarlijkse reiniging [cm]		+3,0	+2,2	+1,5	-5,2
Aantal putten wos [-]	530	500	510	500	350
Rel. afname locaties wos [%] t.o.v. 12 jaar reinigen		-6%	-4%	-6%	-51%
Afname wos bij wos-locaties [m ³] t.o.v. 12 jaar reinigen		-4	-2	-5	-12

Wat opvalt in Tabel 4.3 is dat de zetting een ondergeschikte rol heeft bij de vervuiling. Dit concluderen we uit het feit dat de mate van water op straat in 2042 (dat is de 12-jaarlijkse reiniging) in alle gevallen heviger is dan voor de daaropvolgende jaren (2046, '48 en '50) met hun de bijbehorende hogere reinigingsfrequenties.

Verder valt op dat in bijna alle gevallen bij een 6-jaarlijkse reiniging meer water op straat staat dan bij een 8-jaarlijkse reiniging. Dit is te verklaren vanuit de berekeningsaannames. In de berekeningen worden elke 6 jaar een groot deel van de buizen schoongespoeld. Aangezien dit buizen zijn die zich in de regel halverwege het traject tussen de uitlaat en het uiteinde bevinden hebben die een groot effect op water op straat in de uiteinden. Bij de 6-jaarlijkse reinigingsronde worden ze schoongespoeld net na de berekening. In de 8-jaarlijkse berekening zijn ze dus maar voor 2 van de 6 jaar vervuild en daarmee is dus het effect van deze buizen op de mate van water op straat aanzienlijk (welke buizen dit zijn is te zien in Figuur C.2. in Bijlage C).

Net als in Waterwijk-Oost en Waterwijk-West geldt ook in Muziekwijk dat het effect van een hogere reinigingsfrequentie een sterkere invloed heeft op water op straat dan de zetting. Met andere woorden, de negatieve effecten van zetting lijken beperkt en soms zelfs gecompenseerd te kunnen worden met extra reiniging.

Niet alle zetting kan worden gecompenseerd, dat is te zien doordat in alle gevallen de toekomstige situaties een negatiever beeld geven dan de huidige situatie in 2018. Vergelijk hiervoor ook de resultaten van de zettingsanalyse met een schoon stelsel (hoofdstuk 4.2).

4.6 Discussie

De in dit hoofdstuk beschreven analyses zijn gebaseerd op een groot aantal aannames. In deze paragraaf is beschreven wat het effect is van de aannames op de uitkomsten

1. Aannamen rondom zettingssnelheid (case 1)

De zetting zal in werkelijkheid overal in de openbare ruimte plaatsvinden. Dit zal tot extra kuilen en daarmee plassen leiden, omdat het water op de lagere delen van de straat niet meer kan afstromen naar de riolering. Deze plasvorming treedt dan ook bij minder hevige buien. Dit water zal na afloop van de bui infiltreren en/of verdampen.

Uit de analyse naar de zettingssnelheid is gebleken dat het lastig is om een snelheid per gebied af te leiden (zie hoofdstuk 3). De mate van zetting kan daarmee dus anders zijn in de praktijk.

2. Aannamen rondom vervuiling (case 2)

In case 2 'vervuiling' zijn een aantal aannames over de slibaangroei gedaan (Tabel 4.4), omdat er weinig literatuur en onderzoek bekend is over aangroei en wegspoelen van sliblagen in HWA-stelsels. De gehanteerde uitgangspunten zijn niet vergeleken met de praktijk.

Tabel 4.4 Lengte rioolstelsel en geschatte slibaangroei per jaar (op basis van 1,5 cm/jaar slibaangroei en de diameters van het rioolstelsel)

Wijk	Rioolbuis [km]	Slibaangroei o.b.v. 1,5 cm/jaar [m ³ /jaar]
Muziekwijk	50,5	8,9
Waterwijk-West	17,9	3,2
Waterwijk-Oost	6,5	1,5

De effecten van eventuele blokkades zijn niet meegenomen. Boomwortels zijn geen groot probleem bij verdrongen stelsels, omdat wortels niet tegen permanent water kunnen. Voor droge delen van het regenwaterstelsel (als deze aanwezig zijn) kan dit effect meegenomen worden in berekeningen door willekeurig vernauwingen of blokkades te modelleren. De vraag is echter of het fenomeen blokkade wel zo vaak optreedt als de grootste veroorzaker (boomwortels) niet optreedt. Andere vormen van blokkade kunnen instortingen zijn, ingespoelde plakkende vervuiling of achterblijvende onderdelen in de riolering. Foutaansluitingen kunnen leiden tot blokkades.

Voor het modelleren van de natuurlijke reiniging van het HWA-stelsel zijn een aantal aannamen gedaan (zie paragraaf 4.3 en Bijlage C). Voor zandig materiaal wordt vaak een kritische schuifspanning van 1,5 tot 2,5 N/m² gehanteerd waarop het water het zand begint te transporteren. In deze studie is aangenomen dat bij een (relatief lage) kritische schuifspanning (Tau) van 1,5 N/m² gedurende een uur ervoor zorgt dat een buis geheel schoonspoelt en dat het slib niet in benedenstroomse buizen belandt. Daarnaast zijn de stroomsnelheden bij een schoon stelsel bepaald en niet bij een vervuild stelsel. Bij een vervuild stelsel zullen de stroomsnelheden hoger liggen dan bij een schoon stelsel.

Deze onderschatting van de stroomsnelheden is deels ondervangen door een lagere waarde voor de kritische schuifspanning te kiezen, zodat bij dichtslibben van de buis hogere snelheden en daarmee een hogere schuifspanning van ca. 2 tot 2,5 N/m² zal ontstaan.

Merk op dat de bandbreedte van kritische schuifspanning op deze manier ook in onze berekeningen tussen de 1,5 en 2,5 N/m² komt te liggen. Betere schattingen van slibtransport kunnen worden gedaan door de hydraulische berekeningen uit te breiden met sedimenttransportberekeningen. Een alternatief is om na elke ronde een statistische analyse te maken met "De Bilt-reeks" om te bepalen of een buis wel of niet schoonspoelt.

3. reinigingsfrequenties en inspectierondes

We bevelen aan om de berekeningen uit te breiden met verschillende reinigingsfrequenties en ze allen op hetzelfde zettingsjaar uit te voeren om zo te onderzoeken wat de effecten van verschillende reinigingsstrategieën zijn. In de huidige berekeningen zijn er ook verschillen in mate van zetting aanwezig, wat zuivere vergelijkingen lastig maakt. Toch kunnen op basis van deze verkennende berekeningen wel concluderen dat extra reinigen leidt tot een verminderd risico van water op straat.

4. Afstroming over maaiveld

Afstroming over maaiveld is niet meegenomen. Dit betekent dat enkel de putten waar water uit kan treden, zijn berekend en niet de plaatsen waar het water gaat verzamelen. Het meenemen van maaiveldstroming geeft vooral inzicht in waar het water zich zal verzamelen, maar de conclusies van deze studie zullen hierdoor niet echt veranderen. Wel kan in extreme situaties water over straat naar een volgende put stromen om zo een krappe leiding te omzeilen.

5. Effecten van klimaatverandering

Klimaatverandering is niet meegenomen in deze studie. We weten dat Bui 08 conform Leidraad Riolerings is afgeleid op basis van “De Bilt” meetreeks van 1955 – 1979 [Rioned, 2004]. Nieuwe inzichten op basis van aanvullende metingen na 1979 laten zien dat hevige en lokale buien steeds vaker zullen optreden [HKV & KNMI, 2018]. De effecten van hevigere neerslag zal tot meer wateroverlast leiden in de toekomst.

5 Kritieke leidingen in DWA- en HWA-riolering

5.1 Inleiding

Een rioelstelsel bestaat uit een (groot) aantal putten en leidingen. Voor het functioneren van de riolering zijn niet alle leidingen even belangrijk. In de kwaliteitseisen die gesteld worden aan leidingen en het daarbij behorende onderhoud maakt de gemeente Almere momenteel geen onderscheid tussen leidingen op basis van belangrijkheid.

Differentiatie in kwaliteitseisen en onderhoud van leidingen op basis van dit criterium levert mogelijk efficiency winst op. Daarom zijn de leidingen in Muziekwijk en Waterwijk-Oost geordend op basis van de mate van belangrijkheid. De mate van belangrijkheid kan gebruikt worden als input voor de onderhoudsstrategie. Aan leidingen die belangrijk zijn voor het functioneren kunnen hogere eisen gesteld worden dan aan de andere leidingen. Hogere eisen kunnen vervolgens leiden tot een hogere reinigingsfrequentie.

In dit hoofdstuk zijn de werkwijze, de gebruikte gegevens en uitgangspunten en de resultaten beschreven.

5.2 Werkwijze

Voor het bepalen van de mate van belangrijkheid van de leidingen is gebruik gemaakt van de Graaf Theorie Methode (GTM)⁴. De belangrijkste voordelen van deze methode zijn dat de uitkomst van de mate van belangrijkheid onafhankelijk is van de gebruikte belasting op het netwerk en dat de methode veel sneller werkt dan methodes gebaseerd op hydraulische modellen. Hierdoor kan deze methode ook voor grote netwerken toegepast worden.

De methode gebruikt de geometrische gegevens van de netwerken. Deze zijn afkomstig uit de Sobek modellen. Voor elke put in het netwerk wordt de “goedkoopste” route berekend naar een lozingspunt. Voor DWA-stelsels zijn de gemalen het lozingspunt, voor HWA-stelsels uitstroompunten naar het oppervlaktewater.

De aanpak is als volgt:

- Wat de “goedkoopste” route is, is afhankelijk van de positie van de put ten opzichte van een lozingspunt en de “kosten” die zijn toegekend aan de leidingen. De “kosten” per leiding zijn gebaseerd op het hydraulisch verhang dat in die leiding optreedt bij een bepaald debiet. Kleine lange leidingen zijn “duur”, grote korte leidingen “goedkoop”. De kosten van de afzonderlijke putten wordt gesommeerd en leidt tot de totale kosten van het netwerk.
- De leidingen zijn één voor één verwijderd uit het originele netwerk. Nadat een leiding verwijderd is, worden de kosten opnieuw berekend. Er kunnen twee situaties ontstaan: (1) alle putten zijn nog verbonden met een lozingspunt, (2) delen van het netwerk zijn niet langer verbonden met een lozingspunt.
- De leidingen worden geordend. Eerst op basis van het oppervlak (HWA-stelsels) of aantal inwoners (DWA-stelsel) dat niet langer verbonden is met een lozingspunt, daarna nogmaals op basis van de totale kosten van het netwerk. Als een groot oppervlak niet langer verbonden is aan het stelsel nadat een leiding is verwijderd dan is de leiding belangrijk. Als de totale kosten van het netwerk sterk toenemen na het verwijderen van een leiding is de leiding ook belangrijk.

⁴ Meijer, D.; van Bijnen, M.; Langeveld, J.; Korving, H.; Post, J.; Clemens, F.H.L.R.. *Identifying Critical Elements in Sewer Networks Using Graph-Theory*. Water **2018**, doi:10.3390/w10020136

5.3 Gegevens

De volgende gegevens zijn gebruikt:

- Het rioolmodel H0106_D.lit en specifiek de cases:
 - 4 'RWA - Almere West'
 - 5 'DWA - Almere West'
 - 6 'DWA - Almere Centrum'
 - 7 'RWA - Almere Centrum'
- Kopie van Metingen putten 1-1-15 tot 18-10-17.xls
- RIOOL_STRENGEN.xls

De hoogteligging van de leidingen (bob's) en de hoogte van het maaiveld en de putbodems in de modellen is geactualiseerd op basis van de informatie uit de twee excel-bestanden. Vervolgens zijn de geometrische gegevens geëxporteerd uit de Sobek modellen.

5.4 Uitgangspunten

Voor de berekeningen zijn verder de volgende uitgangspunten gebruikt:

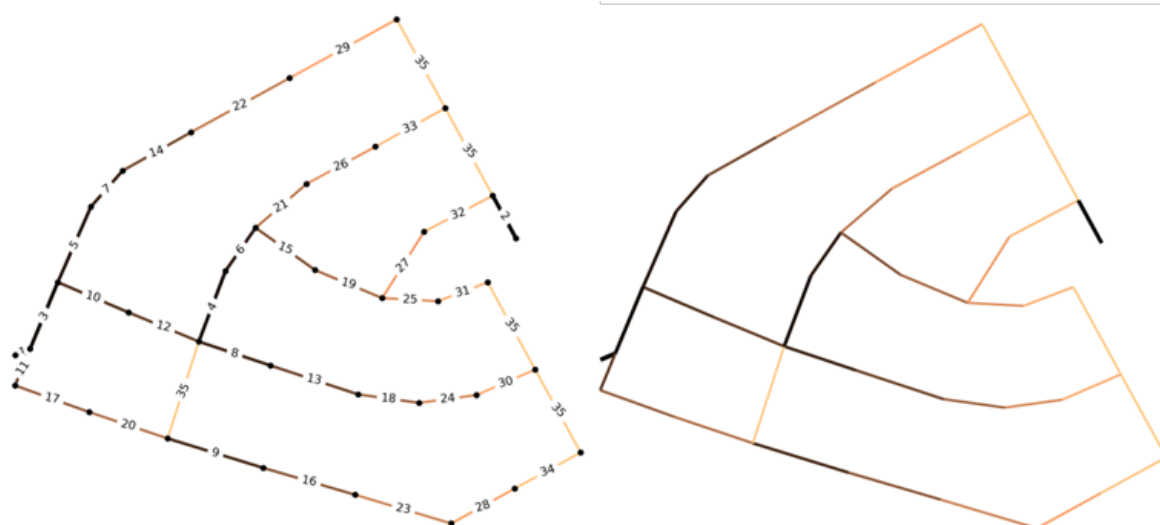
- De dynamische kosten van de DWA-Leidingen zijn op basis van 50% vulling.
- De dynamisch kosten van de HWA-leidingen zijn op basis van 100% vulling.

5.5 Resultaten

De resultaten van analyse zijn opgenomen in bijlage F. Twee voorbeelden (DWA, HWA) zijn in deze paragraaf toegelicht.

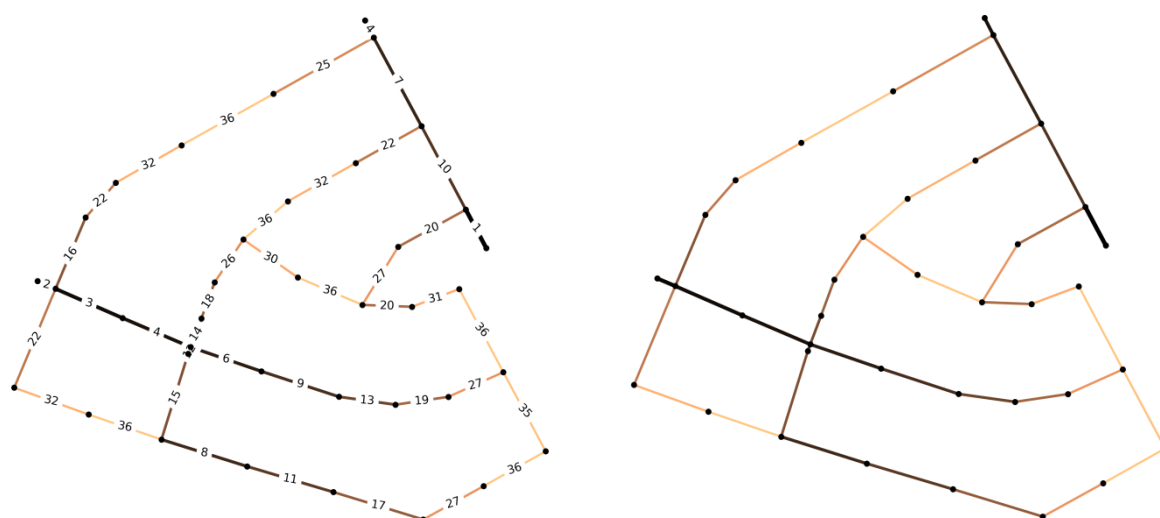
In Figuur 5.1 is een voorbeeld weergegeven van de mate van belangrijkheid van de leidingen in een DWA stelsel in Muziekwijk. De dikke, donkere lijnen geven de belangrijke leidingen aan en de lichte, dunne lijnen de minder belangrijke leidingen. In de linker afbeelding zijn ook de rangnummers weergegeven. De afbeelding laat zien dat een leiding beoordeeld wordt als belangrijk (leiding 1 en 2) als een leiding uitvalt en hierdoor een deel van de leidingen niet langer is aangesloten op een uitstroompunt.

De leidingen die daarna het belangrijkste zijn, zijn de leiding die als ze uitvallen er toe leiden dat het water van een groot achterliggend gebied moet omstromen via een (veel) langere weg dan de oorspronkelijke weg. Hoe groter het gebied en hoe langer de "omstroomroute" hoe belangrijker de uitgevallen leiding is, omdat de totale kosten van het netwerk hierdoor toenemen.



Figuur 5.1 Voorbeeld van de mate van belangrijkheid van de leidingen in een DWA-stelsel uit Almere Muziekwijk. Hoe dikker en zwarter een leiding hoe belangrijker de leiding voor het functioneren van het stelsel. De nummers geven de rangnummers weer van 1 (belangrijk) tot 35 (minst belangrijk).

In Figuur 5.2 is een voorbeeld weergegeven van de mate van belangrijkheid van de leidingen in een HWA stelsel in Muziekwijk. Net zoals bij de DWA-stelsel geven de dikke, donkere lijnen de belangrijke leidingen aan en de lichte, dunne lijnen de minder belangrijke leidingen. In de linker afbeelding zijn ook de rang nummers weergegeven. De afbeelding laat zien dat een leiding beoordeeld wordt als belangrijk, als een leiding uitvalt en hierdoor een deel van de leidingen niet langer is aangesloten op een uitstroompunt (het uitvallen van leiding 1 leidt er toe dat een put niet langer is verbonden met de rest van het netwerk). De leidingen die daarna het belangrijkste zijn, zijn de leiding die als ze uitvallen er toe leiden dat het water van een groot achterliggend gebied moet omstromen via een (veel) langere weg dan de oorspronkelijke weg. Hoe groter het gebied en hoe langer de “omstroomroute” hoe belangrijker de uitgevallen leiding is.



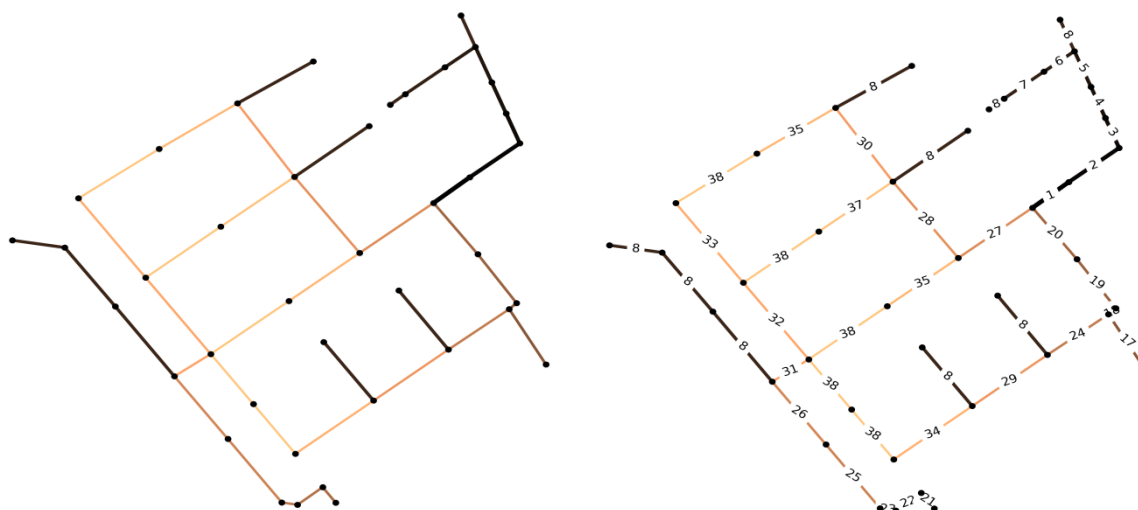
Figuur 5.2 Voorbeeld van de mate van belangrijkheid van de leidingen in een HWA-stelsel uit Almere Muziekwijk. Hoe dikker en zwarter een leiding hoe belangrijker de leiding voor het functioneren van het stelsel. De nummers geven de rangnummers weer.

5.6 Conclusies kritische leidingen

Op basis van de GTM kan voor zowel DWA- als HWA-stelsel bepaald worden welke leidingen het belangrijkste zijn voor het functioneren van het stelsel als geheel. De analyse laat zien dat de volgende type leidingen relatief belangrijk zijn:

1. Leidingen richting gemalen (voor DWA-stelsel)
2. Leidingen richting uitstroompunten (voor RWA-stelsel)
3. Leidingen die, als ze geblokkeerd raken, ertoe leiden dat bepaalde putten of gebieden geïsoleerd raken van uitstroompunten.

Figuur 5.3 laat zien dat de uiteinden van het stelsel belangrijker zijn dan de andere leidingen omdat als deze leidingen geblokkeerd zijn delen van het stelsel niet langer verbonden zijn met uitstroompunten.



Figuur 5.3 Voorbeeld waaruit blijkt dat de eindleidingen van een stelsel belangrijker zijn dan de overige leidingen

6 Hotspots

6.1 Inleiding

Op basis van open data en de informatie van HKV over de connectiviteit tijdens overstromingen is voor de gemeente Almere een hotspotskaart gemaakt. In dit hoofdstuk is beschreven hoe de kaart is opgebouwd.

In de risicomatrix (hoofdstuk 2) is aangegeven dat bereikbaarheid en het drooghouden van panden twee belangrijke items zijn voor de gemeente Almere. De hotspotkaart laat zien waar in het gebied speciale voorzieningen aanwezig zijn die mogelijk extra beschermd moeten worden en waar de belangrijkste hoofd- en ontsluitingswegen lopen die niet gestremd mogen worden in verband met de bereikbaarheid van de wijken.

6.2 Gebruikte informatie

Voor het opstellen van de kaart is de volgende informatie gebruikt:

- De data beschikbaar in open streetmaps (OSM) op 18-01-2018;
- De data beschikbaar in de *Basisregistratie Grootchalige Topografie (BGT)* op 18-01-2018
- Almere_autsnelweg.tiff, Almere_HoofdAUtowedeg.tiff, Almere_Ontsluitingsweg.tiff, ALmereOVbaan.tiff, Almere Stadsautowedeg.tiff, Almere_Stadsautowedeg_KNIP.tiff, Blocked_roads_wdepth15cm.shp, opgesteld door HKV, ontvangen op 30 april 2018.

De hotspot-kaart is opgebouwd uit de volgende lagen:

- Landgebruik
- Gebouwen
- Wegen
- Spoorwegen
- Gemalen

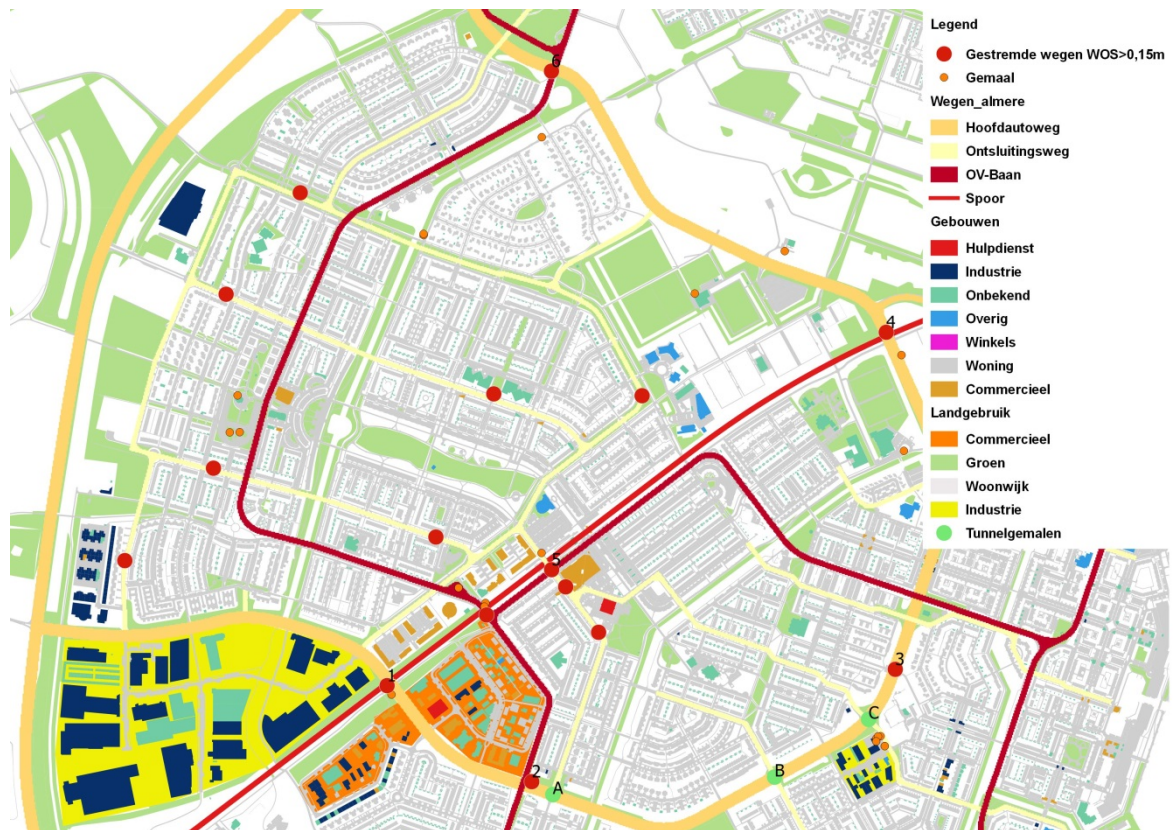
In Tabel 6.1 is een overzicht gegeven van de wijze waarop de verschillende lagen zijn opgebouwd en welke items uit de bestanden zijn gebruikt voor de verschillende lagen.

Tabel 6.1 Overzicht van de opbouw van kaart lagen

Lagen	Indeling	Items
Landgebruik (OSM, landuse)	Commercieel	Commercial
	Groen	Allotments, Grass, orchard, village green, meadow, farmland, farmyard, cemetery
	Woonwijk	residential
	Industrie	Industrial
Gebouwen (OSM, buildings)	Commercieel	Bank, commercial, retail, KPN XL Winkel, Winkelcentrum Muziekwijk, Albert Heijn, Vomar Voordeelmarkt, GAMMA Almere-Markerkant, Jumbo, Aannemer Knipscheer, Winkelcentrum Muziekwijk
	Hulpdienst	Hospital, police
	Industrie	Industrial
	Overig	arts_centre, bicycle_parking, café, car_wash, childcare community_centre, construction fuel, garage, hotel, dentist, dojo, nightclub, parking, place_of_worship, restaurant, roof, school, shed, theatre,.
	Woning	Residential, apartments, house, houseboat
	Onbekend	
Wegen (bgt_wegdeel TrafficArea Unknown WKB, gegevens HKV)	Hoofd autoweg	Hoofd autoweg, Stads autoweg
	OV-banen	OVbaan
	Ontsluitingswegen	Ontsluitingsweg
Gemalen (POMP_bgt_installatie Installatie Point)	Gemalen	Pomp
Spoorwegen (bgt_spoor Railway LineString)	Spoor	Trein
Gestremdewegen (Blocked_roads_wdepth15cm)	Gestremde wegen bij waterdiepte van > 0.15m	Gestremde wegen bij waterdiepte van > 0.15m

6.3 Hotspots in Muziekwijk

Figuur 6.1 geeft een overzicht van de hotspots in Almere Muziekwijk. De afbeelding laat zien dat het landgebruik in het grootste deel van de wijk is geclassificeerd als woonwijk en een klein deel als commercieel of industrie. Door de wijk loopt een hoofdautoweg, spoor en een aantal OV-banen. Bij een waterstand van 15 cm worden een aantal wijkontsluitingswegen gestremd evenals de onderdoorgangen bij het spoor.



Figuur 6.1 Overzicht hotspots in Muziekwijk

In het onderzoek van HKV⁵ is Muziekwijk aangemerkt als aandachtsgebied, omdat op een aantal locaties op de hoofdautoweg en wijkontsluitingswegen stremmingen kunnen optreden als gevolg van extreme neerslag (zie afbeelding 6.1 rode punten). De bereikbaarheid van deze wijk neemt hierdoor af. De belangrijkste knelpunten van de hoofdwegen zijn (nummers verwijzen naar afbeelding 6.1):

- De spoortunnel in de Hollandsedreef (1).
- Hollandsedreef onderdoorgang Hildebrandbrug (kruising busbaan) (2).
- Verdiepte weg Stedendreef tussen Rotterdamweg en Amersfoortweg (3).
- De spoortunnel in de Plantsoenpoort (4).

De belangrijkste knelpunten op de busbanen zijn:

- De spooronderdoorgang nabij het Ella Fitzgeraldpad en de busbaan vanuit Winkelcentrum Muziekwijk richting deze spooronderdoorgang (5). In deze omgeving bevindt zich Politiebureau Almere Stad West.
- De onderdoorgang onder de Sjalotpoort/Specerijdreef (6).

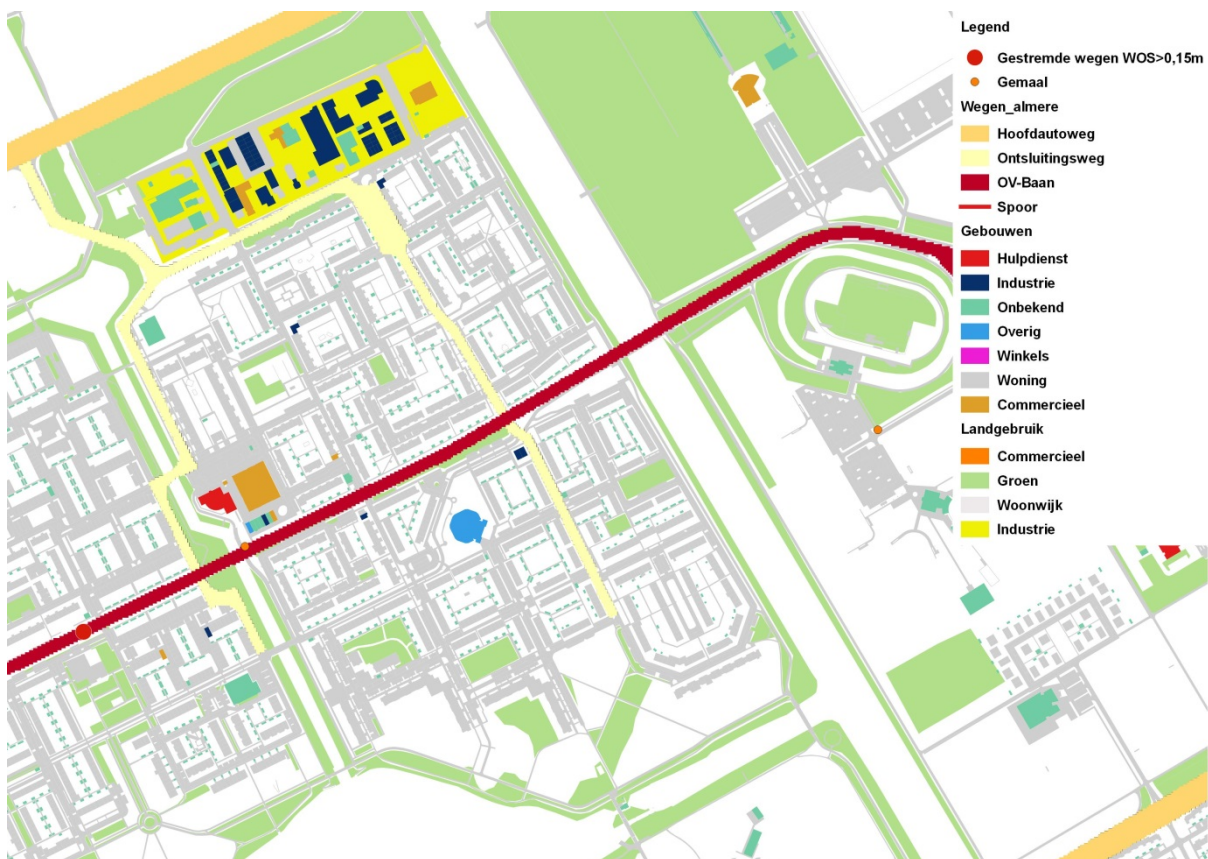
Daarnaast staan drie tunnelgemalen op kwetsbare locaties:

1. Hollandsedreef Clare Lennartbrug, Hildebrandstraat 23, Basisfietsroute (A)
2. Stedendreef Zuid-Hollandsepoort, Mahlerstraat 21, Basisfietsroute (B)
3. Stedendreef Zeelandsepoort, Madernastraat 35, Basisfietsroute (C)

⁵ Extreme neerslag in Almere, Impact op de vitale hoofdinfrastructuur, PR3691.10, juli 2018

Hot spots in Waterwijk

In Figuur 6.2 is de hotspot kaart weergegeven van Waterwijk-Oost. De afbeelding laat zien dat het landgebruik in het grootste deel van de wijk is geclassificeerd als woonwijk en een klein deel als industrie. Door de wijk loopt een OV-baan. In het gebied ligt een winkel centrum en een school. In de Waterwijk zijn de optredende waterstanden niet dermate hoog dat de wegen gestremd worden.



Figuur 6.2 Overzicht hotspots in WaterwijkOost

In het onderzoek van HKV zijn er geen speciale aandachtspunten voor Waterwijk Oost naar voren gekomen.

6.4 Conclusies

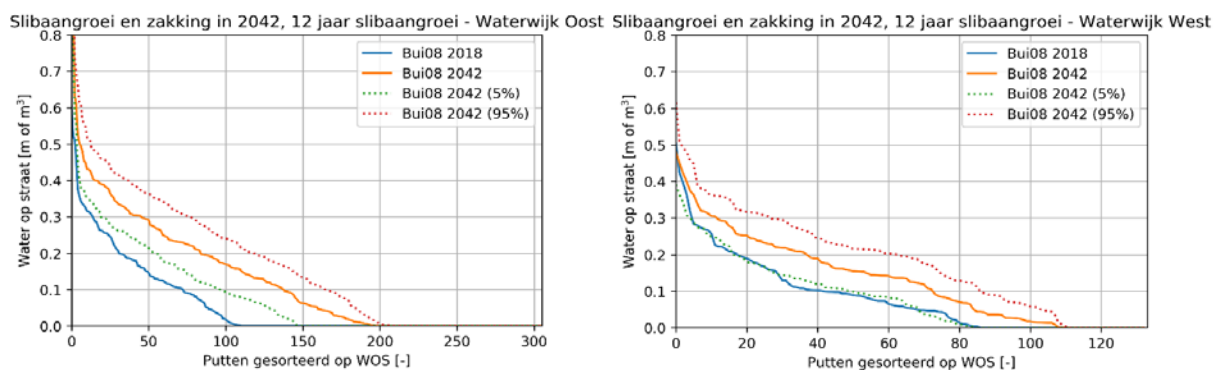
In dit hoofdstuk zijn de hotspot kaarten voor Almere weergegeven. De afbeeldingen laten zien dat in Muziekwijk wijkontsluitingswegen geblokkeerd kunnen worden als gevolg van extreme neerslag.

Binnen de gebieden zijn met uitzondering van de hulpdiensten geen "bijzondere" objecten aanwezig. In de risicomatrix uit hoofdstuk 2 is aangegeven dat water zowel niet in woningen als niet in bedrijven mag stromen. Op basis hiervan kan geen verder onderscheid gemaakt worden tussen kritischer en minder kritische plaatsen in de wijken. Wel volgt uit de risicomatrix dat de wijk ontsluitingswegen belangrijker zijn dan de wijkwegen.

7 Beheerstrategieën

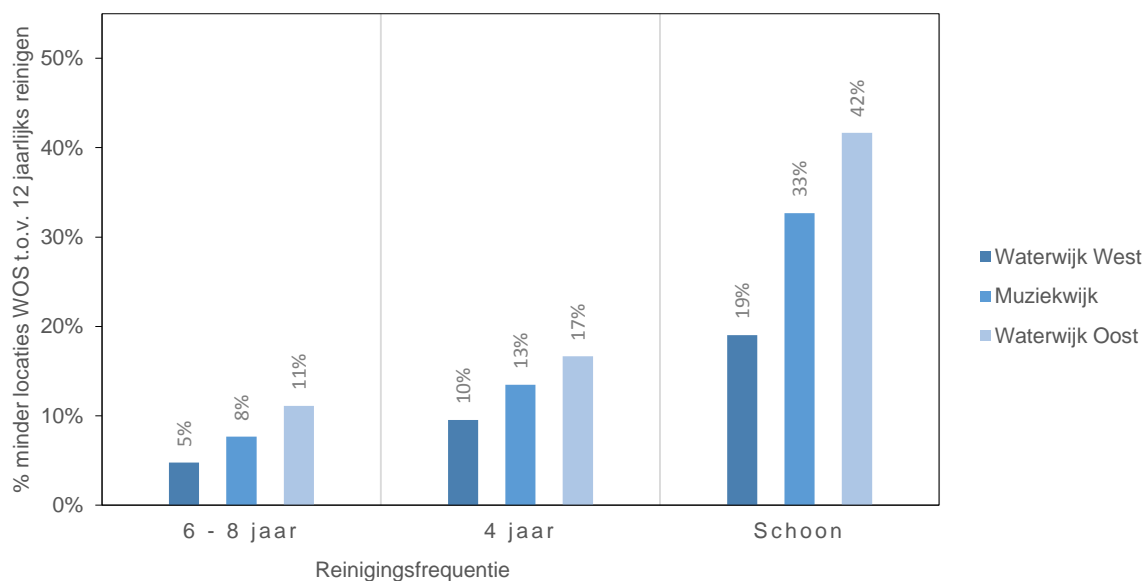
7.1 Onderhoudsplan: waar liggen kansgebieden?

Uit Hoofdstuk 3 volgt dat de vervuiling van rioolleidingen een grotere rol speelt bij het optreden van water op straat dan zetting. Het meest extreme scenario is dat van 24 jaar zetting met 12 jaar sinds de laatste reinigingsronde, hierna "scenario 2042" genoemd. Gebieden waar de situatie drastisch verslechtert tijdens scenario 2042 ten opzichte van de huidige situatie hebben het meeste baat bij een intensievere reinigingsfrequentie. Zo is in Figuur 7.1 te zien dat voor Waterwijk-West de achteruitgang mee valt en vrijwel gelijk is aan het 5% betrouwbaarheidsinterval. Bovendien zijn de verschillen met de huidige situatie veelal te vinden in het aandeel putten met een minimale waterdiepte, waardoor de daarbij behorende overlast beperkt is. Voor Waterwijk-Oost zijn de verschillen groter en is het aandeel putten met een grote waterdiepte ook groter. Hier is het intensiveren van de reinigingsfrequentie een kansrijke maatregel. De situatie in Muziekwijk bevindt zich tussen Waterwijk- Oost en West in.



Figuur 7.1 Effect van 12 jaar vervuiling en 24 jaar zetting op het volume water op straat per put ten opzichte van de huidige situatie

Figuur 7.2 laat zien dat het intensiveren van de reinigingsfrequentie in een gebied slechts beperkt leidt tot minder locaties water op straat. Het verschil tussen 1 keer per 12, 8 of 4 jaar reinigen is niet zo groot. Wel bestaat een vrij groot verschil tussen het functioneren bij een geheel schoon rioolstelsel en een stelsel dat 1 keer per 4 jaar wordt gereinigd. Kennelijk gaat de opbouw, gegeven de aannames uit hoofdstuk 4, zo snel dat dit zelfs met een extreem hoge frequentie van 1 keer per 4 jaar nog tekort schiet.



Figuur 7.2 Effect van het aanpassen van de reinigingsfrequentie op het aantal locaties met water op straat

7.2 Onderhoudsplan: hoe vaak waar reinigen?

In hoofdstuk 4 is beschreven hoe op basis van een reeksberekening is bepaald met welke herhalingsstijd de verschillende strengen in het rioolstelsel worden schoongespoeld. Deze herhalingsstijd is opgenomen in Figuur 7.3. Een deel van de leidingen is altijd schoon doordat de optredende schuifspanningen zeer vaak boven de 1.5 N/m^2 uitkomen. Een ander deel van de leidingen zal nooit automatisch schoonspoelen, doordat de optredende schuifspanningen nooit boven deze waarde uitkomen.

Bij een gegeven ambitieniveau volgt uit deze kaarten direct welke leidingen gereinigd moeten worden. Immers, leidingen die vaker schoonspoelen dan de vastgestelde reinigingsfrequentie hoeven nooit te worden gereinigd, terwijl leidingen die minder vaak schoonspoelen dat wel moeten. Bij handhaving van de huidige wijze van reinigen (1 keer per 12 jaar) zouden alleen alle rode en donkerrode leidingen gereinigd hoeven te worden.

Echter, niet elke leiding is even belangrijk of 'kritisch'. In hoofdstuk 5 is bepaald welke leidingen kritisch zijn en welke niet. Door nu de kritische leidingen en de vervuilende leidingen over elkaar te leggen ontstaat een beeld van de leidingen die vervuilen en tegelijk ook kritisch zijn. Het resultaat hiervan is opgenomen in Figuur 7.4.

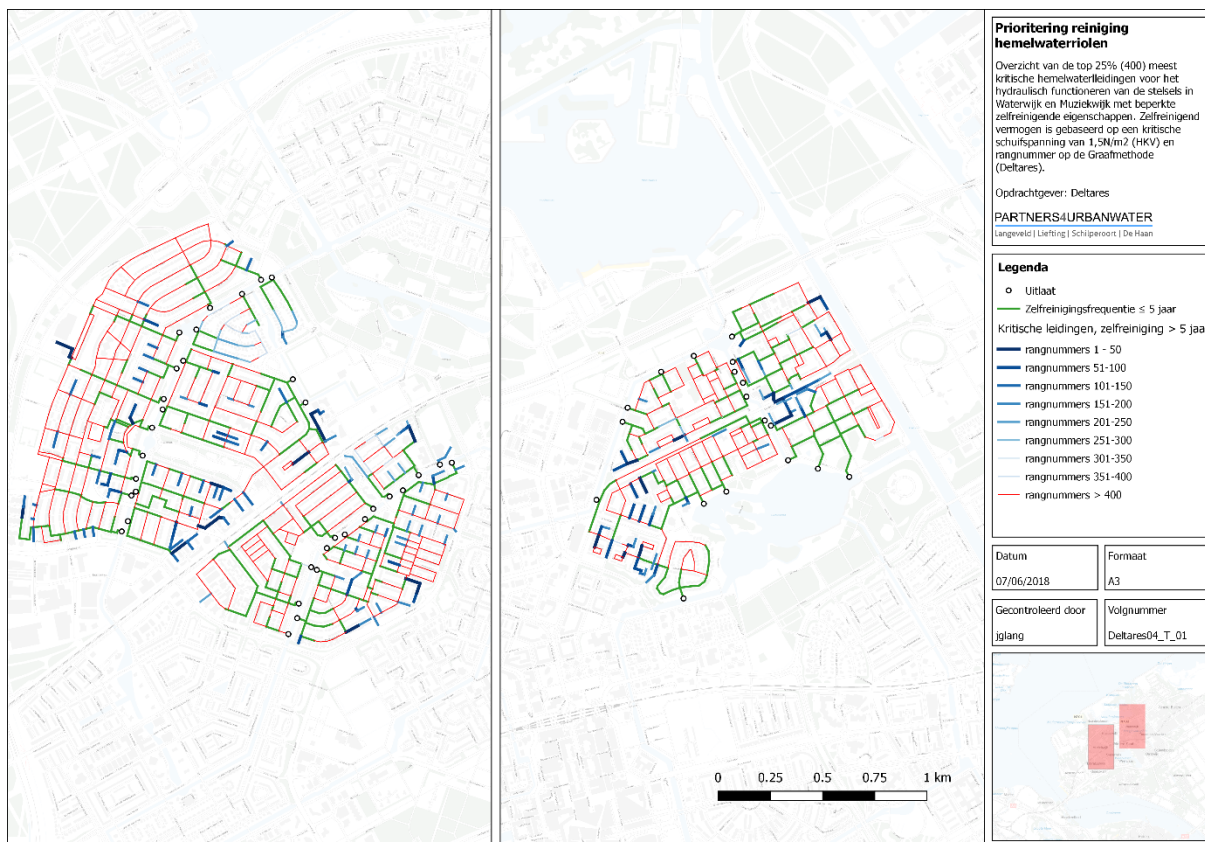


Figuur 7.3 herhalingsijd schoonspelen rioolstrengen volgens de methode van steekproefkwantelen met de 25jarige De Bilt reeks bij een kritische schuifspanning van $1,5N/m^2$

Uit Figuur 7.3 volgt dat de 'aorta's' van de stelsels (riolleidingen richting de uitlaten) gemiddeld minimaal eens in de vijf jaar schoon spoelen. Dit is ook terug te zien in Tabel 7.1; de zelfreinigende leidingen zijn voornamelijk vertegenwoordigd in de klassen met grote diameters. Daarentegen hebben de doodlopende uiteinden van de stelsels in de regel een zeer beperkt zelfreinigend vermogen en omdat bij verstopping het water geen andere route kan volgen zijn deze leidingen snel kritisch. Deze laatste groep is het meest gebaat bij een intensievere reinigingsfrequentie. Doordat dit type strengen zich aan het uiteinde van de stelsels bevindt, is de reductie in het aantal water op straat locaties bij een intensievere reinigingsfrequentie beperkt.

Tabel 7.1 Overzicht van het zelfreinigend vermogen van riolleidingen naar diameter

Diameters (mm)	200	250	300	400	500	600	700
Zelfreinigend $T \leq 5$	4%	20%	26%	55%	80%	94%	93%
25% meest kritische leidingen	84%	80%	19%	5%	1%	0%	7%
Overige	12%	0%	55%	40%	18%	6%	0%
Totaal aantal	25	5	1244	180	82	32	14



Figuur 7.4 Overzicht van kritische leidingen met een beperkt zelfreinigend vermogen

Het extra reinigen van de blauwe riolen uit Figuur 7.4 klinkt als een overzichtelijk en doelmatig alternatief voor de huidige reinigingsfrequentie van 1 keer per 12 jaar. De kleine verschillen tussen de berekeningen met een frequentie van 4, 6-8 en 12 jaar duidt er echter op dat een iets vaker reinigen (2 of 3 keer zo veel) niet zo effectief is, maar dat de kwetsbare riolen nog veel vaker gereinigd zouden moeten worden. Uit het oogpunt van doelmatigheid lijkt jaarlijks reinigen echter niet helemaal de juiste weg. Wellicht dat het vaker reinigen van kolken om zo de slibbelasting van het riool fors te verlagen doelmatiger is. De resultaten van het eerder uitgevoerde hemelwateronderzoek Almere lijken hierop te duiden. De echte afweging kan echter pas worden gemaakt zodra beter inzicht is in de snelheid van vervuiling van de hemelwaterriolen (zie aanbeveling nader onderzoek hoofdstuk 9)

7.3 Vervangingsplan: wanneer vervangen?

Zetting wordt gezien als een belangrijke aanleiding voor rioolvervanging in Almere. De simulatieresultaten in hoofdstuk 4 laten zien dat de aantallen locaties met water op straat tot 2050 slechts beperkt toenemen. Aangezien alle riolering gescheiden is uitgevoerd en de panden onderheid zijn, kan de maaiveldvaling ook gezien worden als kans voor klimaatadaptie. Door de lager gelegen straten waterrobuust in te richten is het mogelijk intensiever gebruik te maken van de laagtes op straat om tijdelijk water te bergen tijdens hevige neerslag. Ook kan lokaal de weg gebruikt worden om hemelwater direct naar het oppervlaktewater af te voeren en zo het hemelwaterriool te ontlasten.

Belangrijke aandachtspunten bij het accepteren van een hogere frequentie van water op straat door zetting zijn daarbij:

- Volksgezondheid: bij frequenter water op straat en bij aanwezigheid van foutaansluitingen neemt het besmettingsrisico toe. Om dit tegen te gaan kan worden geprobeerd om water op straat te beperken, maar uiteraard kan ook worden ingezet op het verhelpen van foutaansluitingen
- Stabiliteit wegen: zeker bij klinkerbestrating is het mogelijk dat de straat kapot wordt gereden indien veelvuldig sprake is van water op straat waar auto's doorheen rijden. Dit is te voorkomen door de openbare ruimte zo vorm te geven dat het water snel van de straat afloopt.
- Toegankelijkheid voor hulpdiensten: bij te hoge waterstanden of weggeslagen putdeksels komt de toegankelijkheid voor hulpdiensten in het geding. Door het water snel af te voeren naar een laagte, groen of watergang kan ook dit aandachtspunt worden aangepakt.

Aanbevolen wordt om het ophoogbeleid kritisch te beschouwen en alleen hemelwaterriolering te vervangen indien een van de drie genoemde aandachtspunten niet op een andere, toekomstbestendige, wijze opgelost kan worden. Daarnaast wordt aanbevolen om in het gebied wel te monitoren of de bovenkant van de riolering (huis- en kolkaansluitingen) door de zetting nog goed blijven functioneren en de constructieve kwaliteit van de riolering te borgen via reguliere inspecties met een frequentie van eenmaal per 10-12 jaar gericht op de constructieve aspecten.

7.4 Conclusies

Op basis van de voorgaande hoofdstukken kan worden geconcludeerd dat het vervuilen van de doodlopende uiteinden van de stelsel moet worden tegengegaan. Dit kan of door het vaker reinigen van deze strengen of door het intensiveren van het kolkonderhoud. De optimale reinigingsfrequentie is sterk afhankelijk van de mate waarin de riolen daadwerkelijk vervuilen. De theoretische aannames die hiervoor gebruikt zijn bieden onvoldoende basis om de reinigungsstrategie nu al aan te passen. Wel kan worden geconcludeerd dat door het schoonspoelen van de leidingen vaker reinigen van de aorta's van het systeem waarschijnlijk niet zinvol is.

De zettingen hebben een negatieve invloed op de kans op water op straat, maar een positief effect op de kans op water in woningen en bedrijven. Aanbevolen wordt alleen over te gaan tot ophoging van wijken als water op straat een negatief effect heeft op de Volksgezondheid, stabiliteit van wegen of de toegankelijkheid van wijken.

8 Kosten en Baten van de beheerstrategieën

8.1 Scenario's

Zoals in hoofdstuk 2 is aangegeven zijn er 3 hoofd scenario's. Scenario 3 is op basis van de uitkomsten zoals beschreven in hoofdstuk 7 onderverdeeld in 3 sub scenario's:

1. Scenario 1 - Initieel risico
2. Scenario 2 - Huidige bedrijfsvoering (Huidig onderhoud)
3. Scenario 3 - Optimaal onderhoud:
 - a. Optimaal reinigen van leidingen;
 - b. Optimaal reinigen van leidingen en kolken;
 - c. Optimaal reinigen van leidingen en gereduceerde inspectie.

Scenario 3a, het optimaal reinigen van leidingen omvat het 1x per 12 jaar reinigen van alle leidingen. Daarnaast worden een deel van de andere leidingen vaker gereinigd zie tabel 8.1.

Scenario 3b, optimaal reinigen van leidingen en kolken, is met uitzondering van de strategie voor de leidingen met een schoonspoelfrequentie van T99 (zie Tabel 8.1) gelijk aan scenario 3a. Voor de leidingen met een schoonspoelfrequentie van T99 wordt uitgegaan van twee jaarlijks kolkenreinen in plaats van jaarlijks en een reinigingsfrequentie van 1 keer per 12 jaar.

Scenario 3c, optimaal reinigen van leidingen en gereduceerde inspectie, bestaat uit het reinigen van de T99 leidingen om de 4 jaar. Gedurende de eerste 36 jaar na aanleg worden de overige riolen niet onderhouden. Vanaf 36 jaar na aanleg worden deze riolen om de 12 jaar gereinigd en geïnspecteerd.

8.2 Uitgangspunten

Voor het bepalen van de risico's en kosten zijn de volgende uitgangspunten toegepast. Op basis van de schoonspoelfrequentie is er voor de verschillende scenario's een inschatting gemaakt van de benodigde onderhoudsfrequentie. Hier wordt alleen met de intervallen eens per 4, 6, 8 en 12 jaar gewerkt. Dit is weergegeven in Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Overzicht onderhoud frequenties

Schoonspoelfrequentie	Onderhoudsfrequentie (huidig scenario)	Onderhoudsfrequentie (optimaal scenario)
T0	1x per 12 jaar	1x per 12 jaar
T2	1x per 12 jaar	1x per 12 jaar
T5	1x per 12 jaar	1x per 6 jaar
T10	1x per 12 jaar	1x per 6 jaar
T25	1x per 12 jaar	1x per 6 jaar
T99	1x per 12 jaar	1x per 4 jaar

Op basis van de onderhoudsfrequentie en de schoonspoelfrequentie is voor de verschillende scenario's een inschatting gemaakt van de kans op falen (falen betekent hier water op straat als gevolg van een gereduceerde afvoer capaciteit bij een neerslag intensiteit van bui 08). Dit is weergegeven in Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Overzicht kans op falen

Schoonspoelfrequentie	Kans falen (initieel)	Kans falen (huidig scenario)	Kans falen (optimaal scenario)
T0	1x per 70 jaar	1x per 130 jaar	1x per 130 jaar
T2	1x per 60 jaar	1x per 125 jaar	1x per 125 jaar
T5	1x per 50 jaar	1x per 115 jaar	1x per 125 jaar
T10	1x per 40 jaar	1x per 110 jaar	1x per 120 jaar
T25	1x per 30 jaar	1x per 105 jaar	1x per 115 jaar
T99	1x per 20 jaar	1x per 100 jaar	1x per 110 jaar

Op basis van de ranking die de mate van belangrijkheid van de leidingen aangeeft is voor de verschillende scenario's een inschatting gemaakt van de risico effecten. De effecten komen overeen met de matrices. Dit is weergegeven in Tabel 8.3.

Tabel 8.3 Overzicht risico effecten

Rank	Gezondheid	Veiligheid	Wateroverlast	Bereikbaarheid	Imago/ Politiek	Financiën
0-49	1	1	1	1	1	1
50-99	1	1	2	2	2	1
100-200	2	2	2	2	2	2
200+	3	3	3	3	3	3

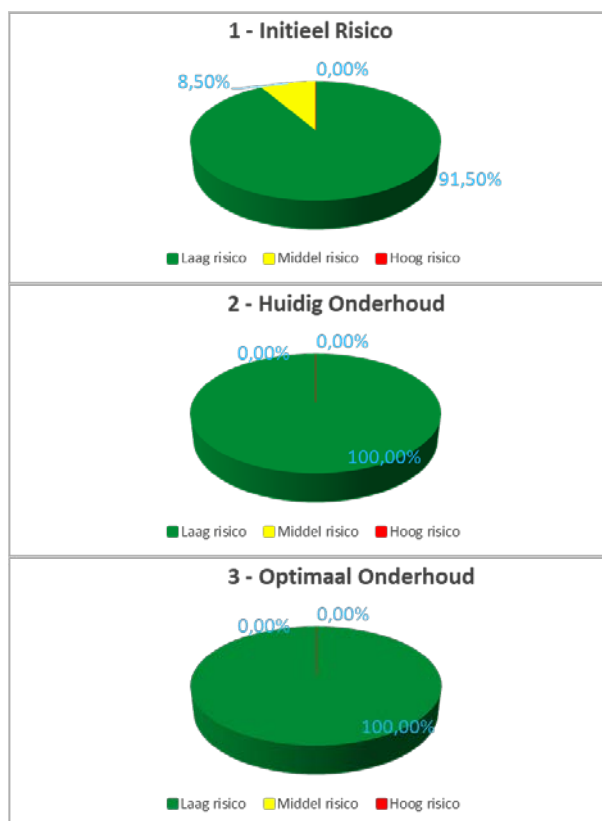
Op basis van de gegevens vanuit gemeente Almere zijn de volgende de kosten gebruikt voor het maken van de calculaties. Dit is weergegeven in Tabel 8.4.

Tabel 8.4 Overzicht kosten variabelen

Overzicht kosten variabelen	
Reinigen en inspecteren RWA per meter	€ 3.00
Incidenteel reinigen per incident	€ 2,500.00
Reinigen kolken machinaal per kolk	€ 1.75

8.3 Risicoanalyse

Er wordt gestart met de uiteenzetting van de resultaten voor de proactieve taken (preventief onderhoud met het doel het falen te voorkomen, voorspellen of vertragen). De resultaten van de risicoanalyse zijn gevisualiseerd in Figuur 8.1.



Figuur 8.1 Risicoverdeling per scenario

Initieel risico

In het initieel scenario leidt het falen van de assets binnen het areaal van gemeente Almere niet tot hoge risico's. Indien de kans van falen of effect van falen verandert binnen een scenario kan het zo zijn dat er wel sprake is van hoge risico's. 8,5 % van de leidingen heeft een middel risico's. Als laatste in het initiële risico, is een aandeel van 91,50% terug te zien voor de lage risico's.

Huidig onderhoud

In het scenario huidig onderhoud, is er geen verandering waarneembaar voor de hoge risico's, mede doordat dit soort risico's ook al niet aanwezig waren in het initieel risico scenario. De middel risico's zijn gereduceerd naar een aandeel van 0,00%. De waarde van het onderhoud wordt inzichtelijk gemaakt. Tot slot, de lage risico's hebben een aandeel van 100,00% in de risicoverdeling.

Optimaal onderhoud

In het scenario optimaal onderhoud, heeft er geen verschuiving plaatsgevonden in de risico's ten opzichte van het huidige onderhoud, dit omdat door het huidige onderhoud de risico's al aanzienlijk verminderd zijn. Tevens eindigt de risicomatrix bij een faalkans groter dan 60 jaar, hierdoor kan er geen verschuiving meer plaatsvinden. De middel risico's zijn gereduceerd naar een aandeel van 0,00%. Tot slot, de lage risico's hebben een aandeel van 100,00% in de risicoverdeling.

In Bijlage J wordt per scenario een overzicht gegeven van de risico's in relatie tot de risico categorieën. In dit overzicht is duidelijk terug te zien dat ook per bedrijfswaarde de risico's gereduceerd worden.

8.4 Doelmatigheidstoets preventief onderhoud

Tabel 8.5 geeft een totaaloverzicht van de kosten. In het totaaloverzicht worden de vier scenario's op hoofdlijnen met elkaar vergeleken. Het geeft inzicht in de gemiddelde jaarlijkse risico- onderhoud- en de restrisico kosten. De risicokosten omvatten de kosten voor het functieherstel en maar niet eventuele gevolggkosten. De kosten zijn geraamd met behulp van data uit de systemen. De gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten worden per scenario afgezet tegen de (rest) risicokosten en daarmee inzicht gegeven in de procentuele risicoreductie en het rendement van elke euro die wordt besteed aan onderhoud.

Tabel 8.5 Totaaloverzicht

Totaal overzicht	1 - Initieel risico	2 - Huidig onderhoud	3a - Optimaal reinigen van leidingen	3b - Optimaal reinigen van leidingen en kolken	3c - Optimaal reinigen van leidingen gereduceerde inspectie
Gem. jaarlijkse onderhoudskosten (Inspecteren en reinigen)	-	€ 18,247	€ 26,713	€ 20,275	€ 17,122
Gem. jaarlijkse onderhoudskosten (Kolken reinigen)	-	€ 20,941	€ 20,941	€ 25,970	€ 20,941
Gem. jaarlijkse risicokosten reële kosten van falen	€ 135,113	€ 35,629	€ 33,106	€ 33,106	€ 33,106
Risicoreductie (reële kosten van falen)	-	74%	75%	75%	75%
Rendement Euro onderhoud	-	€ 2.5	€ 2.1	€ 2.2	€ 2.7
Totale kosten	€ 135,113	€ 74,817	€ 80,759	€ 79,351	€ 71,169

In het initieel risico scenario is terug te zien, indien er geen onderhoud wordt uitgevoerd er alleen sprake is van gemiddelde jaarlijkse risicokosten. In dit scenario wordt er dus geen onderhoud uitgevoerd, er wordt alleen reactief gehandeld. Dit resulteert in een jaarlijks risico dat wordt gelopen van grofweg €135.000 euro. Dit is berekend door gebruik te maken van de gegeven kosten voor het incidenteel reinigen (€2.500 per incident) en de kans op falen.

In het huidig onderhoud scenario is terug te zien dat door middel van het onderhoud de gemiddelde jaarlijkse risico kosten verminderd worden. Hierbij wordt uitgegaan van de huidige 1x per 12 jaar reinigen en inspecteren van alle leidingen. De kosten bestaan uit het reinigen en inspecteren van leidingen en het reinigen van kolken.

Er blijft nog een rest risico over van €35.629 door €39.188 euro uit te geven aan het onderhoud. Dit betekent een risicoreductie van 74%. Het rendement per euro die wordt uitgegeven aan onderhoud bedraagt hierbij €2,5 euro. De totale kosten in dit scenario komen neer op €74.817 euro.

In het optimaal reinigen van leidingen scenario 3a, is terug te zien dat door middel van het onderhoud de gemiddelde jaarlijkse risico kosten verminderd worden. De onderhoudsfrequentie is hierbij aangepast, de nieuwe onderhoudsfrequenties zijn beschreven in paragraaf 8.1. Er blijft nog €33.106 euro over aan risicokosten door €47.654 euro uit te geven aan het onderhoud. Hier is te zien dat de jaarlijkse onderhoudskosten toenemen. Dit is veroorzaakt door het frequenter reinigen van de leidingen in combinatie met het reinigen &

inspecteren van leidingen. Het rendement per euro die wordt uitgegeven aan onderhoud bedraagt hierbij €2,1 euro. De totale kosten in dit scenario komen neer op €80.759 euro.

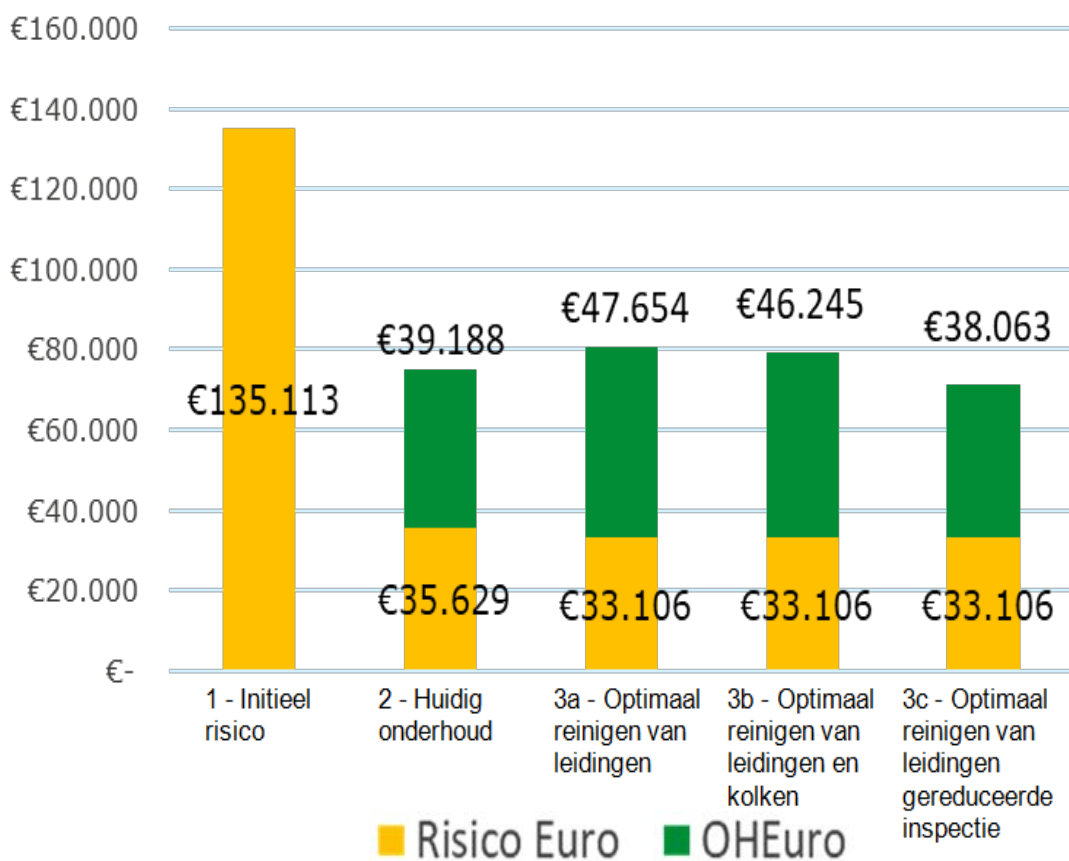
In het scenario 3b - Optimaal reinigen van leidingen en kolken, is in overweging genomen dat het frequenter reinigen van de kolken doelmatiger is dan frequenter reinigen van leidingen. Dit houdt in dat voor de leidingen met een schoonspoelfrequentie T99 besloten is om de huidige onderhoud frequentie (1x in de 12 jaar) aan te houden en dat kolken 2 x per jaar worden gereinigd in plaats van 1 x per jaar. De gemiddelde jaarlijkse risico kosten blijven hierbij gelijk met het scenario 3a. Er blijft nog €33.106 euro over door €46.245 euro uit te geven aan het onderhoud. Dus een reductie in de kosten van het onderhoud. Hieruit blijkt dat het frequenter reinigen van kolken een positieve invloed heeft op de doelmatigheid. Het rendement per euro wat wordt uitgegeven aan onderhoud bedraagt hierbij €2,2 euro. De totale kosten in dit scenario komen neer op €79.351.

In scenario 3c (Optimaal reinigen van leidingen gereduceerde inspectie), wordt de eerste onderhoudsactie voor het merendeel van de leidingen (m.u.v T99) uitgesteld tot 36 jaar na aanleg. De leidingen T99 worden om de 4 jaar gereinigd. Vervolgens wordt er na 36 jaar verder gegaan met het reinigen van de leiding om de 4 jaar en om de 12 jaar vindt een inspectie inclusief reiniging plaats. De gemiddelde jaarlijkse risico kosten blijven hierbij gelijk met het regulier optimaal onderhoud scenario. Er blijft nog €33.106 euro over door €38.063 euro uit te geven aan het onderhoud. Het rendement per euro wat wordt uitgegeven aan onderhoud bedraagt hierbij €2,7 euro. De totale kosten in dit scenario komen neer op €71.169.

De verschillende scenario's liggen qua kosten dicht tegen elkaar aan. Gelet op alle onzekerheden in de studie en de raming kan gesteld worden dat het verschil in kosten waarschijnlijk kleiner is dan de onzekerheidsmarge. De oorzaak voor het kleine verschil in kosten van de onderheid strategieën is dat de renterisico's gelijk blijven bij drie risico categorieën omdat de risico's al in de laagste categorie vallen. In de praktijk is het aannemelijk dat de risico's bij scenario 3a en 3b lager zijn dan bij 2 maar dit komt niet naar voren uit de berekening.

Figuur 8.2 geeft een overzicht van de uitgewerkte scenario's. De linker as vertegenwoordigt de gemiddelde jaarlijkse reële kosten als gevolg van installatie falen. De reële kosten omvat de herstelkosten. De gemiddelde jaarlijkse onderhoudskosten omvat alleen de kosten voor het periodiek preventief onderhoud. De kosten voor groot onderhoud en vervanging zijn niet meegenomen.

Gemiddelde jaarlijkse risico en onderhoudskosten (reële kosten van falen)



Figuur 8.2 Risicokosten versus onderhoudskosten

9 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 “ Risicogestuurdbeheer bij vervuiling en zetting van hemelwaterriolen ” uitgevoerd. Omdat bij het uitvoeren van de case studie een aantal aannames is gedaan die minder zeker zijn en de resultaten mogelijk sterk beïnvloeden, moeten onderstaande conclusies met enige voorzichtigheid worden gebruikt.

De conclusies op basis van dit onderzoek zijn hieronder opgesomd.

Zettingen

- De zettingen over de jaren heen zijn niet constant, maar variëren in de tijd. Dit geldt zowel voor Muziekwijk als voor Waterwijk.
- De zettingen per wijk kunnen ruimtelijk sterk verschillen. In Muziekwijk is deze variatie het sterkst aanwezig, in Waterwijk in iets mindere mate.
- Zettingen berekend op basis van de door de gemeente gemeten putdekselhoogtes worden het meest betrouwbaar geacht, omdat deze veel meer lijken op zettingen op basis van het AHN dan zettingen op basis van satellietmetingen (SkyGeo).

Effecten van zettingen en vervuiling op de riolering

- Zetting van het maaiveld leidt tot een afname van de drooglegging, hierdoor neemt de kans van water op straat toe. De mate waarin de kans op water op straat toeneemt, verschilt per wijk.
- Vervuiling zorgt voor dichtslibben van de rioolbuizen, waardoor de afvoercapaciteit afneemt, hierdoor neemt de kans van water op straat toe. De mate waarin de kans op water op straat toeneemt, verschilt per wijk.
- Door de combinatie van zetting en vervuiling nemen zowel de afvoercapaciteit als de drooglegging af, waardoor de kans op water op straat versterkt wordt ten opzichte van de afzonderlijke effecten. De mate waarin de kans op water op straat toeneemt, verschilt per wijk.
- De invloed van zetting is kleiner dan de invloed van vervuiling voor de toename in de kans op water op straat.
- Als gevolg van de optredende stroomsnelheden tijdens neerslaggebeurtenissen spoelen delen van het stelsel regelmatig schoon. Met name de “aorta’s” van de stelsels worden schoongespoeld. De doodlopende uiteinden worden niet schoongespoeld.

Kritische elementen en locaties

- Voor het functioneren van de riolering zijn de volgende leidingen het belangrijkste:
 - Leidingen richting gemalen (voor DWA-stelsel).
 - Leidingen richting uitstroompunten (voor RWA-stelsel).
 - Leidingen die, als ze geblokkeerd raken, ertoe leiden dat bepaalde putten of gebieden geïsoleerd raken van uitstroompunten.
- De ontsluitingswegen zijn de meest kritische locaties in de beschouwde wijken. In Muziekwijk zijn meerdere risicolocaties voor stremming van hoofdautowegen en wijkontsluitingswegen.

Beheerstrategieën

- Voor het optimaal laten functioneren van de riolering moet de vervuiling van doodlopende strengen worden tegengegaan. Dit kan door:
 - Aanpassing in de reinigungsstrategie
 - Aangepast beheer van de straatkolken
- Zettingen zorgen enerzijds voor een toename van de kans op water op straat, maar anderzijds voor een afname van de kans op water in woningen en gebouwen.
- Als gezakte straten waterrobuust worden ingericht, kunnen ze worden gebruikt als waterberging. Belangrijke aandachtspunten hierbij zijn:
 - Blijven beschermen van de volksgezondheid door actief tegengaan van foutaansluitingen.
 - Stabiliteit wegen. Het verweken van fundering moet voorkomen worden. Hiermee moet bij de inrichting van de openbare ruimte rekening worden gehouden door te zorgen dat water zo kort mogelijk in de wegfundering blijft staan.
 - De stad moet tijdens extreme neerslag toegankelijk blijven voor hulpdiensten.
- Met het huidige onderhoud vallen alle leidingen in de laagste risicocategorie. De daarbij behorende faalkosten nemen daardoor niet af als het onderhoud wordt aangepast. Door het aanpassen van de onderhoudsstrategie neemt het risico op water op straat af (circa 15% minder putten waar water op straat wordt berekend), maar met de gebruikte methodologie is dit niet te vertalen naar een vermindering van de faalkosten. De onderhoudskosten in combinatie met de faalkosten zijn qua orde van grootte gelijk voor de verschillende strategieën. Als het uitgangspunt minimaal 1 x per 12 jaar inspecteren wordt losgelaten zullen de kosten afnemen met circa 10%.

9.1 Aanbevelingen

Voor het uitvoeren van deze studie was het noodzakelijk om een aantal aannames te doen. De belangrijkste aannames hebben betrekking op de mate van vervuiling van de riolering. Voordat de gemeente de reinigungsstrategie aanpast, wordt sterk aanbevolen om eerst te onderzoeken in hoeverre de slibopbouw in de praktijk overeenkomt met de aangenomen slibopbouw. Dit onderzoek is in de verdrongen rioelstelsels niet mogelijk door eenvoudigweg bij de reiniging vanaf het maaiveld 'waar te nemen'. De inzet van sonar is mogelijk een goede methode om inzicht te krijgen in de aanwezigheid van slib in de riolen. Indien daadwerkelijk slib wordt aangetroffen op de aangegeven plaatsen, kan dezelfde sonar vervolgens worden gebruikt om jaarlijks de reiniging in te plannen.

Andere aandachtspunten en mogelijke vervolgonderzoeken zijn:

1. Bij het uitvoeren van deze studie zijn de effecten van klimaatverandering niet meegenomen. Door klimaatverandering kan de kans op water op straat verder toenemen. Geadviseerd wordt de effecten van klimaatverandering mee te nemen in een vervolgstudie.
2. Water op straat betekent niet automatisch overlast of schade. Inzicht in de gevolgen van water op straat kan worden verkregen door het effect van maaiveldstroming te onderzoeken. De maaiveldstroming kan worden onderzocht met een 1D2D-model.
3. Bij het vergelijken van de reinigungsfrequentie was de meegenomen zetting verschillend. Bij de interpretatie van de resultaten dient hier rekening mee te worden gehouden. Een zuiverder beeld kan worden verkregen door uit te gaan van de zetting in 2050 in combinatie met een verschillend aantal jaren vervuiling (4, 6, 8 en 12 jaar).

4. De schoonspoelfrequentie is afhankelijk van de optredende buien. Deze zouden als een extra stochast meegenomen kunnen worden in berekeningen.
5. De verwachting is dat na zware buien de vervuiling in de riolering minder is. Mogelijk kan hier een indicatie van worden verkregen door het vergelijken van de hoeveelheid slib die uit het riool wordt verwijderd en gestort op “normale” dagen en dagen na zware buien.

9.2 Referenties

[Robamci, 2017a]

Robamci case gerichte rioolreiniging Almere. Deltares, HKV en Fugro. Rapport 1230174-053. November 2017

[Rioned, 2004]

Leidraad Riolering. C2100. Rioned. Augustus 2004.

[HKV & KNMI, 2018]

Neerslagstatistieken voor korte duren. Actualisatie 2018. HKV en KNMI, in opdracht van STOWA. Rapport 2018-12. Februari 2018.

A Risico matrix

Bedrijfswaarden			Kans Effect	≤ 1x / 60 jaar Nihil	> 1x / 60 jaar Zeer laag	> 1x / 30 jaar Laag	> 1x / 10 jaar Geregeld	> 1x / 5 jaar Hoog	> 1x / jaar Zeer Hoog	> 1x / maand Extrem Hoog
Gezondheid	Veiligheid	Wateroverlast								
Minder dan 100 verzuimdagen en maximaal 30 dagen persoon.	Een slachtoffer, blijvend ernstig letsel/ invaliditeit d.m.v. instorten riool, ontbreken putdeksels als gevolg van hoge water standen, grote water dieptes waar auto's doorrijden.	Overlast voor panden waarbij de overlast tot in de panden dringt.	5	Middel	Middel	Middel	Hoog	Hoog	Hoog	Hoog
Minder dan 50 verzuimdagen en maximaal 7 dagen persoon.	Ernstige gewonde d.m.v. instorten riool, ontbreken putdeksels als gevolg van hoge water standen, grote water dieptes waar auto's doorrijden.	Overlast voor hoofdwegen/ routes hulpdiensten en/ of busbanen. Wegen/ banen en/ of routes niet of nauwelijks bereikbaar.	4	Laag	Middel	Middel	Middel	Hoog	Hoog	Hoog
Minder dan 30 verzuimdagen en maximaal 3 dagen persoon.	Gewonde met verzuim d.m.v. instorten riool, ontbreken putdeksels als gevolg van hoge water standen, grote water dieptes waar auto's doorrijden.	Overlast voor wijk ontsluitingswegen. Wegen niet of nauwelijks bereikbaar.	3	Laag	Laag	Middel	Middel	Middel	Hoog	Hoog
Enkele tot meerdere personen met gering letsel (EHO zonder verzuim), ziekte of misselijkheid die dezelfde dag verholpen kan worden.	Bijna ongeval/ gevaarlijke situatie d.m.v. instorten riool, ontbreken putdeksels als gevolg van hoge water standen, grote water dieptes waar auto's doorrijden.	Overlast voor wijkwegen. Wegen niet of nauwelijks bereikbaar voor een periode van meer dan 2 uur.	2	Laag	Laag	Laag	Middel	Middel	Middel	Hoog
geen / nihil impact	geen / nihil impact	geen / nihil impact	1	Laag	Laag	Laag	Laag	Middel	Middel	Middel

Bedrijfswaarden			Kans Effect	≤ 1x / 60 jaar Nihil	> 1x / 60 jaar Zeer laag	> 1x / 30 jaar Laag	> 1x / 10 jaar Geregeld	> 1x / 5 jaar Hoog	> 1x / jaar Zeer Hoog	> 1x / maand Extrem Hoog
Bereikbaarheid	Imago/Politiek	Financiën								
Afzetting/afsluiting (>30 minuten) als gevolg van een defect aan het onderliggend riool. Hoofdwegen/ routes hulpdiensten en/ of busbanen geblokkeerd.	Opstappen wethouder	> € 500.000	5	Middel	Middel	Middel	Hoog	Hoog	Hoog	Hoog
Langdurige afzetting/afsluiting (>24 uur) als gevolg van een defect aan het onderliggend riool. Verkeer moet omgeleid worden.	Wethouder berispt/ meerdere raadsvragen in actualiteitenraad	€100.000 - €500.000	4	Laag	Middel	Middel	Middel	Hoog	Hoog	Hoog
Kortdurige afzetting/afsluiting (<24 uur) als gevolg van een defect aan het onderliggend riool. Verkeer moet omgeleid worden.	Veel negatieve publiciteit in alle media/ raadsvragen / behandeling in actualiteitenraad	€50.000 - €100.000	3	Laag	Laag	Middel	Middel	Middel	Hoog	Hoog
Zichtbaar defect met afzetting/afsluiting maar leidt niet direct tot hinder.	Negatieve publiciteit in kranten en/ of lokaal nieuws	€10.000 - €50.000	2	Laag	Laag	Laag	Middel	Middel	Middel	Hoog
geen / nihil impact	geen / nihil impact	€0 - €10.000	1	Laag	Laag	Laag	Laag	Middel	Middel	Middel

B Analyse zettingen Almere

Samenvattend verslag samenwerking Target Holding en Deltares voor analyse van de data met betrekking tot de zetting in de stad Almere.

1 Introductie

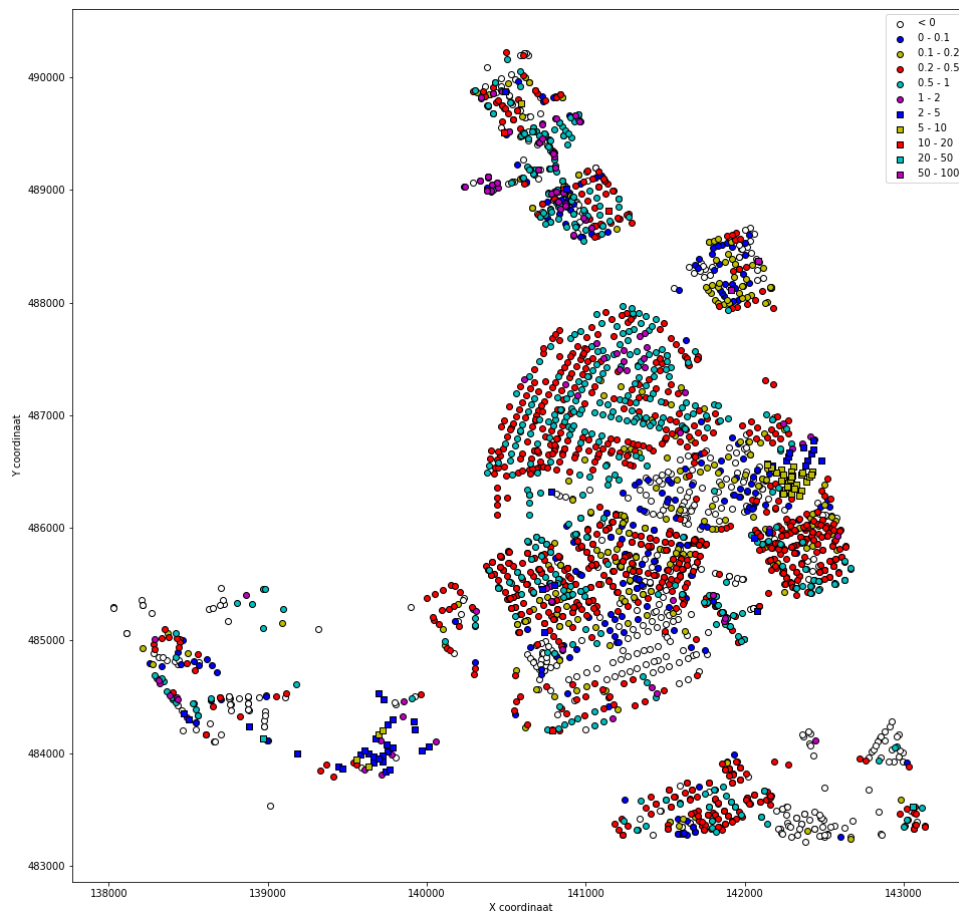
Deltares is in het bezit van drie verschillende datasets betreffende verzakkingen in Almere. In deze datasets is de verzakking in Almere op verschillende manieren gemeten. Target Holding heeft in samenwerking met Deltares een analyse gemaakt van deze datasets om te evalueren wat de overeenkomsten en/of afwijkingen zijn tussen deze datasets wanneer zij gebruikt zouden worden bij het nemen van beslissingen. In dit verslag zal een korte beschrijving van de data sets gegeven worden, gevolgd door een korte uitleg van de analyses die hierop toegepast zijn en de resultaten van deze analyses. In eerste instantie zou er vierde dataset van Kadaster meegenomen worden, maar deze was uiteindelijk niet beschikbaar.

2 De data

Deltares heeft drie datasets van verschillende bronnen in haar bezit. De eerste dataset is afkomstig van de gemeente Almere en bevat metingen die handmatig zijn uitgevoerd. De tweede dataset is afkomstig van het Actueel Hoogbestand (AHN). De derde dataset is afkomstig van SkyGeo. Elke dataset is dusdanig getransformeerd dat de data is omgezet naar een gemiddelde zetting in centimeter/jaar. Van elke dataset volgt een nadere korte omschrijving. In de SkyGeo dataset is enkel een deel van Almere opgenomen, in verband met de route van de satelliet. Om deze reden zijn in de analyses enkel de punten meegenomen waar zowel door de gemeente Almere, als door de satelliet van SkyGeo metingen gedaan zijn. De AHN dataset bevat metingen voor al deze locaties.

2.1 Handmatige metingen Almere

De gemeente Almere heeft door de jaren heen metingen gedaan van de landhoogte binnen de stad. Over de afgelopen 30 jaar, is er een jaarlijkse meting

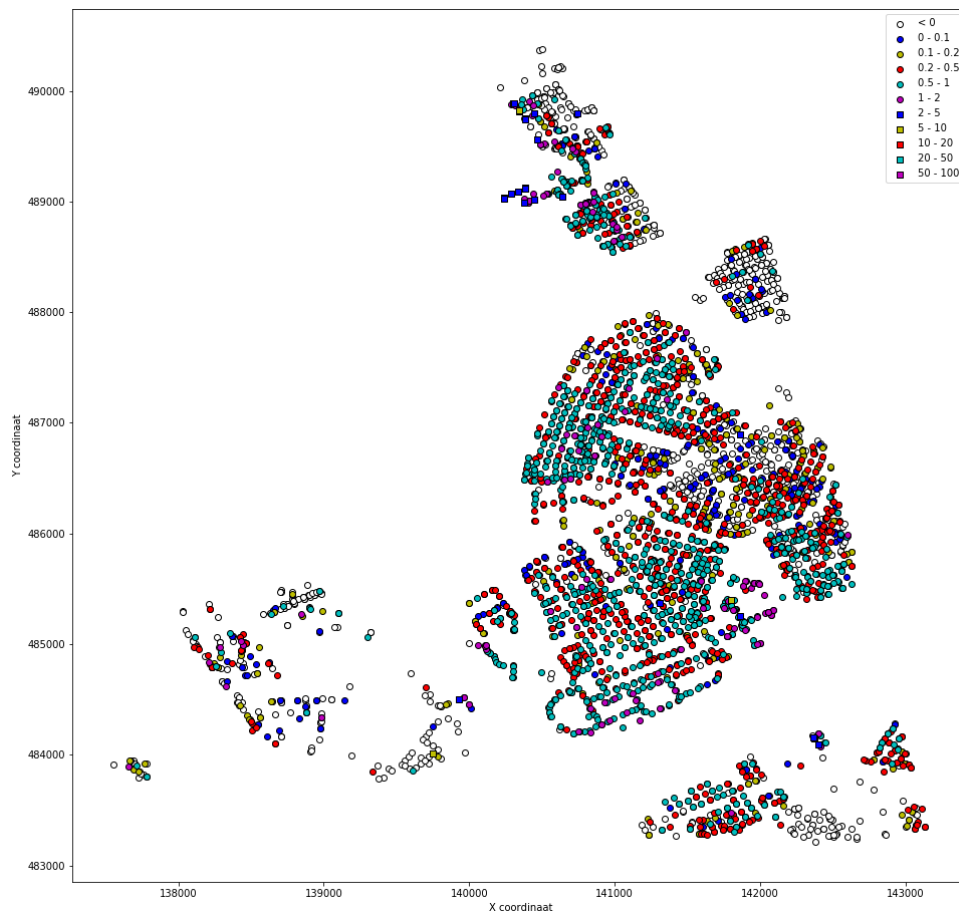


Afbeelding 1: Gemiddelde zetting (cm/jaar) in de handmetingen dataset.

gedaan binnen een aantal wijken in de stad. De wijken waar de metingen gedaan zijn rouleerden per jaar. Door de jaren heen zijn verschillende meetmethodes toegepast (bijvoorbeeld: waterpassen, tachymeter, GPS). De gemiddelde zetting per jaar is berekend door het verschil tussen de eerste en laatste meting van ieder meetpunt te bekijken samen met de tijd tussen de twee metingen.

2.2 Actueel Hoogtebestand

Het AHN is een digitale hoogtekaart van Nederland, verkregen aan de hand van een methode genaamd laseraltimetrie. Hierbij wordt met een vliegtuig of helikopter het landoppervlak afgetast door een laserstraal. De hoogte van het land wordt dan bepaald aan de hand van de tijd die het kost voordat de reflectie van de laser weer terug is bij het vliegtuig. Het AHN heeft haar metingen uit 2009 en 2016 beschikbaar gesteld als open data. Het verschil tussen deze metingen is gebruikt om de gemiddelde, jaarlijkse zetting uit te



Afbeelding 2: Gemiddelde zetting (cm/jaar) in de AHN dataset.

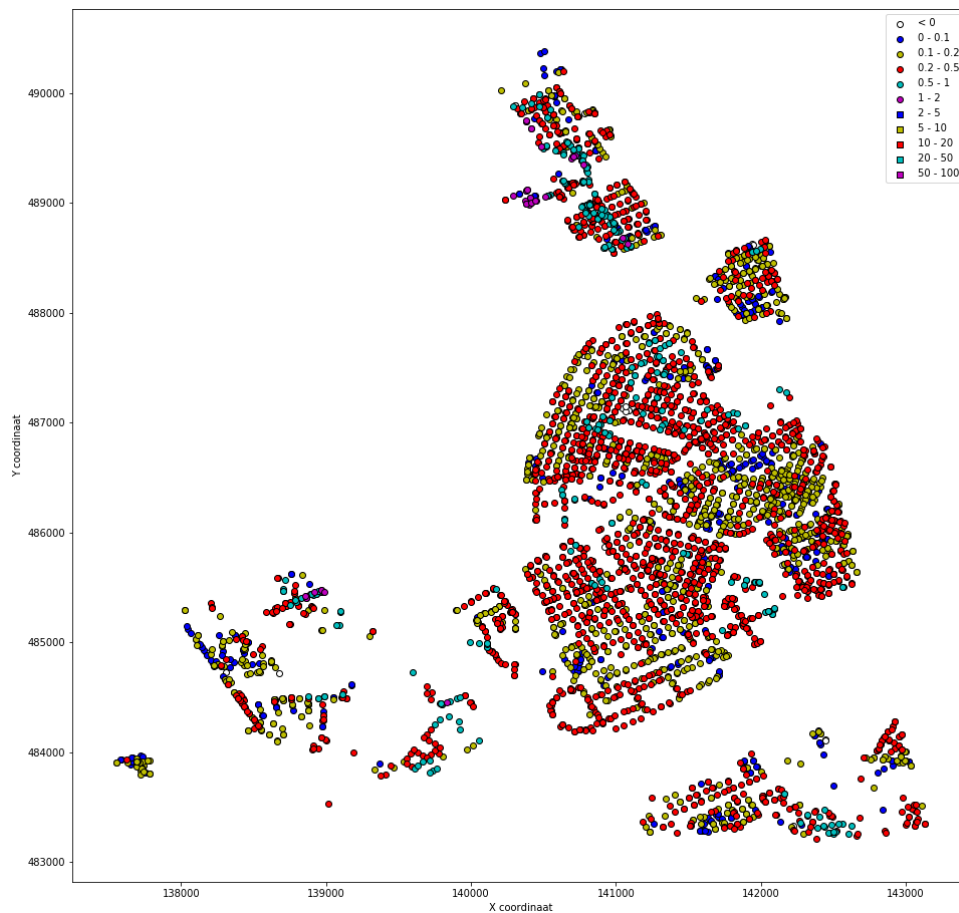
rekenen.

2.3 SkyGeo

De dataset van SkyGeo bevat satelliet data, gemeten door een TerraSAR-X satelliet. Deze dataset bevatte al zettingen in plaats van landhoogtes. De zettingen zijn gemeten over een periode van 6 à 7 jaar. Het is onbekend in welke jaren deze metingen zijn gedaan.

3 Methodes

Om een algemeen inzicht in de data te krijgen zijn er eerst afbeeldingen gemaakt om de zettingen per dataset in kaart te brengen. Vervolgens is er gekeken naar de kansdichtheid van de zetting binnen de dataset. Zo doende is de variantie van de zettingen binnen de datasets bestudeerd en zijn deze spreidingen met elkaar vergeleken. Ten slotte is er gekeken naar



Afbeelding 3: Gemiddelde zetting (cm/jaar) in de SkyGeo dataset.

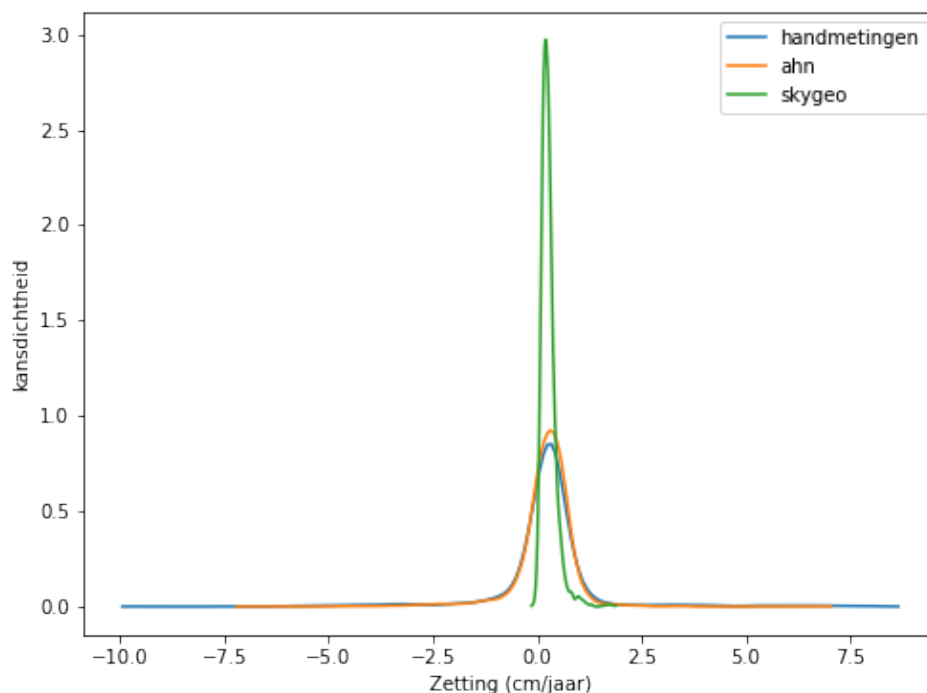
de ruimtelijke variantie voor elke dataset, aan de hand van een Kriging Variogram.

Om te verifiëren dat waargenomen verschillen significant zijn, zijn de sets op zichzelf vergeleken met een student t-test ($p \leq 0.05$). Daarnaast zijn ook de varianties met elkaar vergeleken met een Levene test ($p \leq 0.05$).

4 Resultaten

De zettingen per dataset worden weergegeven in afbeeldingen 1 tot en met 3. Samenvattend kunnen we in deze afbeeldingen het volgende zien:

- De zettingen lijken extremer in de handmetingen van Almere. Dit is de enige dataset met zettingen van meer dan vijf cm per jaar. In deze dataset zitten ook de meeste metingen van een negatieve zetting.
- De zettingen die waargenomen kunnen worden in de AHN dataset



Afbeelding 4: De spreidingsdichtheid voor de drie verschillende datasets.

lijken over het algemeen iets groter te zijn dan de zettingen in de andere datasets.

- De SkyGeo data lijkt erg vlak. Er is weinig variatie tussen de zettingen en de grond lijkt over de gehele stad ongeveer even veel verzakt te zijn. Er zijn vrijwel geen negatieve (of juist erg hoge) zettingen.

Afbeelding 4 geeft de kansdichtheid van de drie data sets weer. In het kort is dit een grafiek die weergeeft wat de kans is op een gemeten zetting als je een willekeurig punt pakt binnen een dataset. De piek van de verdeling geeft weer wat de gemiddelde zetting is in de dataset en een bredere curve betekent dat de varianties tussen de zettingen groter zijn. In deze afbeelding is te zien dat met name de variantie binnen de SkyGeo dataset af lijkt te wijken van de andere twee sets.

Afbeelding 5 geeft de ruimtelijke variantie weer voor alle datasets (per dataset). Dit is gedaan in een Kriging Variogram. De Kriging Variogram geeft weer wat de variantie is tussen alle punten (op de y-as), gegeven de afstand tussen die punten (op de x-as). Dit betekent dat de varianties die links op de x-as liggen betrekking heeft op punten die dichtbij elkaar liggen, terwijl de varianties rechts op de x-as iets zeggen over punten die ver van elkaar af liggen. Over het algemeen hebben punten die dichtbij elkaar liggen minder variantie dan punten die ver van elkaar af liggen. Wat er dus bestudeerd

kan worden in deze afbeeldingen is hoe snel deze variantie veranderd, i.e. hoe snel vlakt deze curve af.

Wat hierin met name opvalt is dat de variantie in de handmetingen set erg fluctueert. Hierdoor is het moeilijker te zien wanneer de curve afvlakt. Dit lijkt echter al op een vrij korte afstand (rond de 200 meter) het geval te zijn. De overige sets hebben een iets duidelijkere afvlakking. Deze afvlakking lijkt voor de AHN set rond de 500 meter te liggen en voor de SkyGeo set rond de 600 meter.

4.1 Statistieken

Tabel 1 geeft de gemiddeldes en standaard afwijkingen in de zettingen per dataset weer. Om te voorkomen dat overige statistisch tests beïnvloed worden door uitschieters hebben we alle metingen van een gemiddelde zetting van meer dan 10 cm/jaar verwijderd uit de data. Voor het complete overzicht zijn de gemiddeldes weergegeven zowel voor de originele datasets, alswel de gecorrigeerde data sets. NB. In de eerdere afbeeldingen zijn de uitschieters nog wel meegenomen. Deze zijn enkel voor de statistische test verwijderd.

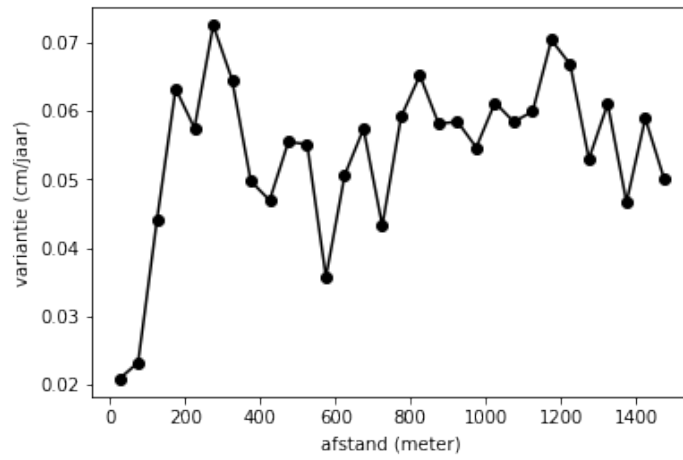
Tabel 1: De gemiddelde zetting en de standaard afwijking binnen de datasets

Dataset	Alle metingen		Alle metingen < 10cm/jaar	
	gemiddelde	standaard afwijking	gemiddelde	standaard afwijking
Handmetingen	0.35	4.62	0.18	1.59
AHN	0.20	0.78	0.20	0.78
SkyGeo	0.27	0.19	0.27	0.19

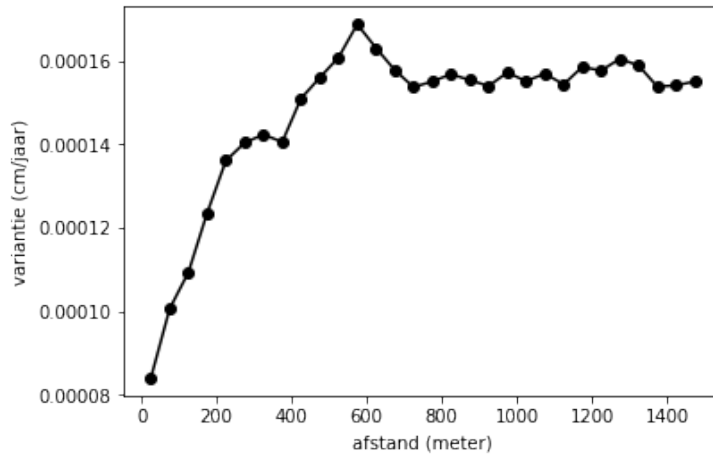
Tabel 2 toont de resultaten van de student t-test en de Levene test. Elke vergelijking is tussen 2 data sets. In deze tabel zien we dat de SkyGeo set statistisch significant verschilt van de andere 2 sets. De handmetingen en de AHN data sets verschillen enkel significant in hun varianties en niet zozeer in de algehele zetting. Dit komt vermoedelijk door de grote variantie binnen de handmetingen.

Tabel 2: Resultaten van de student t-testen en Levene testen per paar. De cursieve resultaten zijn significant ($p \leq 0.05$)

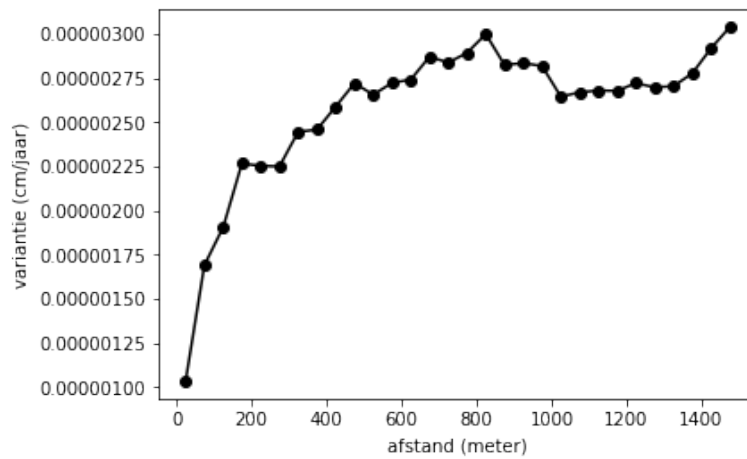
Dataset 1	Dataset 2	t-test		Levene test	
		statistic	p-waarde	statistic	p-waarde
handmetingen	AHN	0.76635	0.443	54.06256	<i>2e-13</i>
handmetingen	SkyGeo	-2.31349	<i>0.020</i>	637.81031	<i>2e-34</i>
AHN	SkyGeo	5.58659	<i>2e-8</i>	924.49284	<i>5e-192</i>



Variogram voor de handmetingen dataset



Variogram voor de AHN dataset



Variogram voor de SkyGeo dataset

Afbeelding 5: Kriging variogrammen voor de 3 datasets

5 Conclusies

De SkyGeo data verschilt erg veel van de andere twee data sets. Daarnaast geeft deze dataset erg weinig gedetailleerde informatie over de gebieden waarin de zetting groter of minder groot is, vanwege de lage variantie binnen de set. Deze informatie wordt duidelijker weergegeven in zowel de handmetingen als de AHN data. Hierdoor lijkt het erop dat de SkyGeo set minder nuttige informatie zal schaffen voor besluitvorming.

Hoewel er tussen de handmetingen en de AHN data wel verschillen te zien zijn op de kaarten zelf, zijn deze verschillen niet significant. Het enige significante verschil is dat er meer spreiding is in de handmetingen. Zonder te weten wat de daadwerkelijke zetting is, kan geen van de datasets dus meer of minder bruikbaar zijn.

C Modelinstrumentarium

Hydraulisch model

Het hydraulisch model (ook sobekmodel genoemd) wordt gebruikt om het hydraulisch functioneren van het HWA-stelsel te modelleren. Voor het hydraulisch model is het bestaande model van de gemeente Almere gebruikt. Dit model is opgebouwd in Sobek Urban 2.14.

Het oorspronkelijke model bestond uit meerdere modellen, elk voor een verschillend stadsdeelgebied. Muziekwijk en Waterwijk zijn uit deze modellen geïsoleerd en in één model geplaatst.

Dit model is een 1D (strengen) model. Maaiveldstroming wordt in dit model niet meegenomen, we nemen dit effect mee door alleen naar totale volumes water op straat te kijken in plaats van waterdiepten. Voor gedetailleerder inzicht zullen maaiveldstromingsanalyses gemaakt moeten worden.

Probabilistic Toolkit

Met de Probabilistic Toolkit (PTK versie 1.8.8) zijn probabilistische berekeningen gemaakt met behulp van Monte Carlo simulaties. De twee stochasten (kansverdelingen) die zijn gedefinieerd zijn de zettingsnelheid en slibaangroei (dikte sliblaag in de leiding).

De PTK stuurt de simulaties aan (maximaal 100) waarbij per ronde (16 stuks) voor elke put / buis zetting / slibaangroei wordt bepaald. Hiervoor zijn trekkingen uit de bijbehorende stochasten gedaan en aangepast in het Sobek-model, waarna het hydraulische effect met Sobek is bepaald.

Sobek berekent voor iedere 2 jaar de waterhoogte per put en de tijdsduur dat de waterhoogte hoger is dan de putdekselhoogte. De aanpassingen (nodes.dat en profile.def) en resultaten (reachseg.his en calcpnt.his) zijn per simulatie per ronde opgeslagen. Zo is het verloop van zetting en vervuiling beschreven van 2018 tot 2050 in stappen van 2 jaar.

Aanvullingen bij zettingsanalyse

De zetting wordt door de PTK opgelegd aan de putten (en daarmee het straatpeil). De bobs van de buizen zakken niet. Of de buizen wel of niet zakken heeft voor de afvoercapaciteitsberekening niet veel effect, omdat Sobek de hydraulische capaciteit bij (in dit geval) volle buizen berekent.

Voor elke simulatie en elke deelwijk trekt de PTK voor elke put en voor elke ronde een onafhankelijke waarde uit de jaarlijkse zettingsnelheidskansverdeling van de betreffende deelwijk, zoals afgeleid in een ander deelonderzoek binnen Robamci fase 3. Dit wordt per ronde 2x gedaan en de jaarlijkse zettingen worden bij elkaar opgeteld (elke ronde staat voor 2 jaar) en toegepast op het sobekmodel.

Aanvullingen bij vervuilinganalyse

Elk HWA-rioleringsstelsel heeft een zelfreinigend vermogen. Maar er is vrij weinig bekend over dit fysische proces. Naarmate de stroomsnelheid in de buis toeneemt, neemt de schuifspanning toe. Bij een bepaalde kritische schuifspanning nemen we aan dat al het slib uit de buis is getransporteerd. Voor de vervuilinganalyse is ook het 'natuurlijke' en 'mechanische' schoonspoelen van de buizen meegenomen. Er is een classificatie gemaakt voor de natuurlijke reinigingsfrequentie van de rioolbuizen. Deze reiniging is in de berekening uitgevoerd door de beheertool.exe die ook aangestuurd wordt door de PTK en wordt gedraaid na afloop van de hydraulische berekening.

Reeksberekening

De maximale uurgemiddelde stroomsnelheden bij gegeven herhalingstijden zijn bepaald met behulp van de 25-jarige neerslagreeks van De Bilt (1955-1979), waarvan voor deze berekening de 869 meest hevige events zijn geselecteerd. Deze gefilterde eventreeks betreft een meetreeks van neerslagvolumen op kwartierbasis en is doorgerekend met het sobekmodel voor de huidige, schone situatie. De uitvoer is gedaan voor uurgemiddelde waarden per tijdstap per event.

Vervolgens is er per jaar (waarin dus gemiddeld $869 / 25 = 35$ events vallen) de maximale absolute, uurgemiddelde stroomsnelheid per jaar bepaald. Met behulp van de methode van steekproefkwantielen zoals beschreven in de Leidraad Riolering module C2100 bijlage 7 zijn herhalingstijden en bijbehorende stroomsnelheden bepaald per buis. Vervolgens is per buis de bijbehorende uurgemiddelde schuifspanning berekend.

Schuifspanning

Het model is doorgerekend met de gefilterde 25-jarige De Bilt reeks. Deze reeks betreft kwartiermetingen van neerslag in de periode 1955-1979 op meetstation De Bilt. Uit de reeks zijn de 869 meest extreme gebeurtenissen gefilterd. Dit zijn gemiddeld 35 gebeurtenissen per jaar ($869/25$). Deze 869 meest extreme events zijn doorgerekend. De berekeningsresultaten zijn uitgevoerd als uurgemiddelde waarden.

Voor elke buis is voor elk jaar de maximale uurgemiddelde stroomsnelheid bepaald. Vervolgens zijn met behulp van de methode van de steekproefkwantielen (conform de beschrijving in de Leidraad Riolering module C2100 bijlage 7, 2004 [Rioned,2004]) de herhalingstijden voor maximale stroomsnelheden afgeleid. Omdat de schuifspanning zich verhoudt met de stroomsnelheid, is ook voor elke buis de bijbehorende schuifspanning bepaald. Hiermee is dus voor elke herhalingstijd een schuifspanning bepaald. De waterstroming brengt slib en sediment in beweging wat vervolgens met het water wordt meegevoerd.

De schuifspanningen zorgen ervoor dat de buizen schoonspoelen. De aanname is dat bij een kritische schuifspanning (τ) van $1,5 \text{ N/m}^2$ gedurende 1 uur de buis volledig is schoongespoeld. Per buis is bepaald hoe vaak deze schuifspanning wordt overschreden. Er zijn 5 schoonspoelklassen gedefinieerd:

1. Schoon: de buis vervuild niet omdat de schuifspanningen ook bij $T=1$ hoger zijn dan de kritische schuifspanning.
2. $T=2$: De buis spoelt elke $T=2$ jaar schoon.
3. $T=5$: De buis spoelt elke $T=5$ jaar schoon.
4. $T=10$: De buis spoelt elke $T=10$ jaar schoon.
5. Mechanische reiniging ($T=12$): De buis spoelt niet of zo laag frequent schoon dat de 12-jaarlijkse reinigings- en inspectieronde vaker optreedt.

Figuur 31 toont welke buizen met welke frequentie schoonspoelen.

De reinigingsfrequenties zijn ingebouwd in het modelinstrumentarium dat voor deze studie is gebruikt. Op basis van deze frequentie wordt de buis diameter teruggezet op oorspronkelijk diameter. (De reinigingen worden uitgevoerd door het de executabel beheer.exe en dit betreft de laatste stap in het modelinstrumentarium.)

De classificatie is gemaakt op basis van de herhalingstijd van de berekende maximaal uurgemiddelde schuifspanningen. Schuifspanning is een maat van de kracht die het water uitoefent op de buiswand en het aanwezige slib.

Deze kracht zorgt voor beweging van het sediment, vervolgens wordt het sediment meegevoerd door het water (transport). Als dit lang genoeg aanhoudt (minimaal 1 uur) nemen we aan dat de buis weer schoongespoeld is. We gaan er vanuit dat het sediment dan verdwenen is naar de watergang (dus ook door de tussenliggende buizen is gespoeld).

De schuifspanning (tau (τ) in N/m²) verhoudt zich tot de stroomsnelheid middels de volgende formules:

$$\tau = \rho g R i_w \text{ en } v = C \sqrt{R i_w}$$

Waaruit volgt:

$$\tau(v) = \rho g \frac{v^2}{C^2}$$

Hierin is:

τ : Schuifspanning [N/m²]

ρ : Dichtheid [kg/ m³] = 1000 kg/ m³

g : Zwaartekrachtversnelling = 9,81 [m/s²]

R : Hydraulische straat [-] = natte oppervlak [m²] / natte omtrek [m]

i_w : Energieverhang [-]

C : Chèzy ruwheidscoëfficiënt [m^{1/2} /s]

v : Stroomsnelheid [m/s]

De gewogen Chezy waarde over alle buizen in het rioelstelsel is 45 m^{1/2}/s, zie Figuur C.1 . Dit is bepaald met behulp van Darcy – Weisbach:

$$C = 18 \log (12R/k)$$

Met:

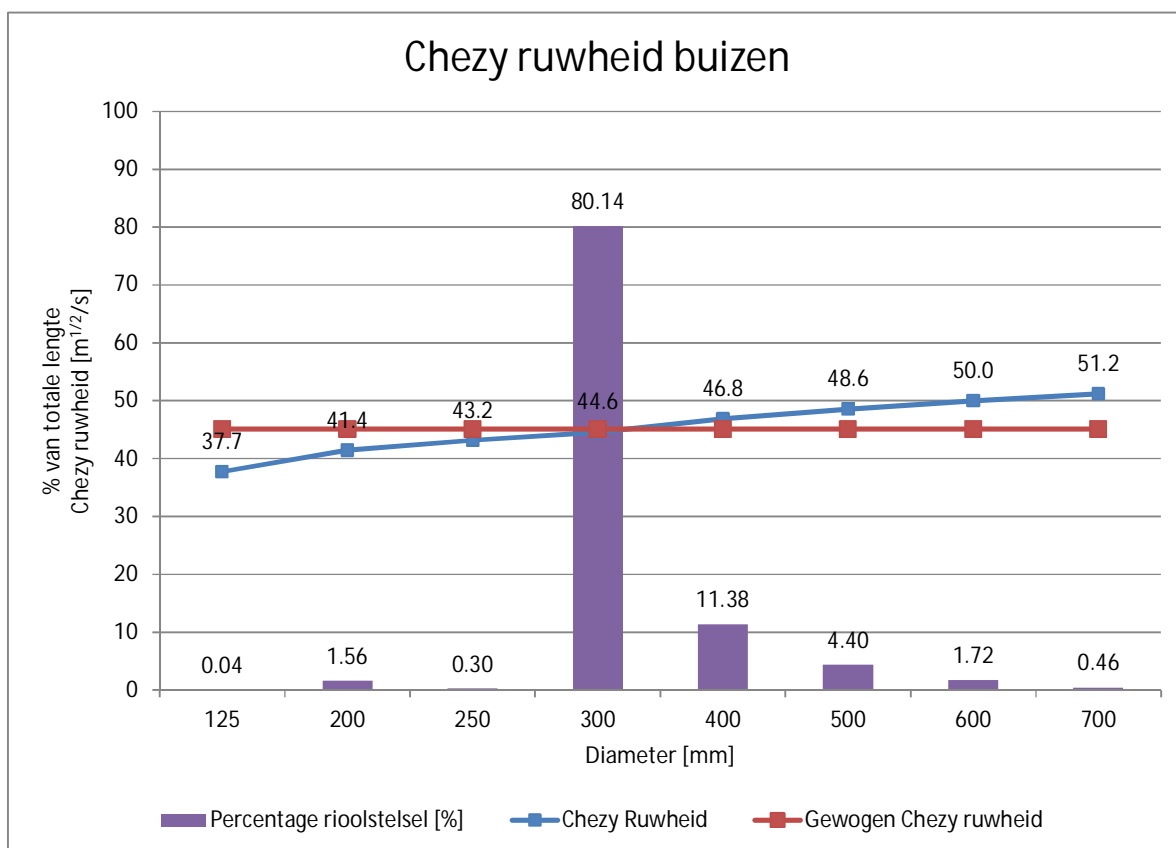
k : ruwheid = 0,003m

Tabel C.1 Overzicht Chezy waardes per leiding diameter

Buisdiameters [mm]	Totaal aantal strengen [-]	Totale lengte [km]	Procentuele bijdrage op basis van lengte [%]	Chezy [m ^{1/2} /s]	ruwheid
125	1	0,03	0,04		37,7
200	25	1,17	1,56		41,4
250	5	0,23	0,30		43,2
300	1244	60,01	80,14		44,6
400	180	8,52	11,38		46,8
500	82	3,30	4,40		48,6
600	32	1,29	1,72		50,0
700	14	0,35	0,46		51,2
Totaal	1583	74,88	100		45,1**

* Chezy waarde berekent met behulp van Darcy Weisbach met $k = 3$ mm

** gewogen gemiddelde Chezy waarde : som (lengte * ruwheid) / som(lengte)



Figuur C.1 Diameteropbouw van het rioolstelsel en de bijbehorende Chezy waarde of ruwheid.

Door de gemiddelde wrijvingsweerstand toe te passen, in plaats van de wrijvingsweerstand als functie van de diameter kunnen er wat kleine verschillen in de classificatie optreden. De verwachting is dat er mogelijke enkele buizen een klasse opschuiven naar vaker of minder vaak reinigen. Dit is niet verder uitgezocht, maar we verwachten hier niet hele grote verschillen in⁵.

Er zijn verschillende kritische schuifspanningen classificaties gemaakt, zie Tabel C.2.

Tabel C.2 % leidingen dat schoon spoelt bij verschillende schuifspanningen

Reinigings-frequentie	Kritische schuifspanning (Tau)						
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Schoon	35%	19%	11%	7%	5%	3%	3%
1/2 jaar (T2)	14%	14%	13%	10%	8%	6%	4%
1/5 jaar (T5)	9%	11%	11%	10%	10%	10%	8%
1/10 jaar (T10)	6%	6%	8%	8%	7%	6%	7%
1/25 jaar (T25)	10%	12%	11%	11%	11%	12%	12%
Nooit	25%	38%	48%	54%	60%	63%	67%

De aanname is dat een schuifspanning van 1,5 N/m² in een schone buis voldoende groot is om sedimenttransport te veroorzaken bij (weinig – cohesief) zandig materiaal.

⁵ 80% van de leidingen heeft een buisdiameter van 300 mm met een Chezy-waarde van 44,6 m^{1/2}/s. Dit ligt in de buurt van de gewogen gemiddelde Chezy-waarde van 45,1 m^{1/2}/s

Naarmate de buis verder dichtslibt en dus de diameter kleiner wordt, neemt de stroomsnelheid en daarmee de schuifspanning toe en wordt de sedimenttransportcapaciteit groter.

Tabel C.3 De schoonspoelfrequentie van het rioolstelsel (in %) bij een gegeven kritische schuifspanning

Reinigings-frequentie	Kritische schuifspanning (Tau)						
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
Schoon	35%	19%	11%	7%	5%	3%	3%
1/2 jaar (T2)	14%	14%	13%	10%	8%	6%	4%
1/5 jaar (T5)	9%	11%	11%	10%	10%	10%	8%
1/10 jaar (T10)	6%	6%	8%	8%	7%	6%	7%
1/25 jaar (T25)	10%	12%	11%	11%	11%	12%	12%
Nooit	25%	38%	48%	54%	60%	63%	67%

Tenslotte is een classificatie van de “natuurlijke” schoonspoelfrequentie voor ieder buis gemaakt (Figuur C.2.): Schoon, in deze buizen treedt jaarlijks een schuifspanning groter dan 1,5 N/m² op verder T = 2 jaar, T = 5 jaar (dit is gemodelleerd met T=6 in de PTK) of 10 jaar. Voor buizen met (zeer) lage stroomsnelheden geldt dat de kritische schuifspanning nooit wordt overschreden en dus nooit “natuurlijk” schoonspoelen. Voor deze buizen is aangenomen dat deze elke 12 jaar mechanisch worden gereinigd door gemeente Almere. Dit betekent dat het totale systeem wordt gereinigd in 2018, 2030 en 2042. Voor de situatie in 2050 is sprake van een rioleringsysteem met 8 jaar vervuilingophoping.



Figuur C.2 Natuurlijke reinigingsfrequentie buizen volgens de methode van steekproefkwantielen met de 25jarige De Bilt reeks bij een kritische schuifspanning van 1,5N/m²

Voor alle klassen (excl. de klasse $<T=2$) is een uniforme kansverdeling van 0 tot 3 cm slibaangroei per jaar opgelegd (de slibaangroei).

Voor elke buis wordt per simulatie per ronde 2 (want 2 jaar per ronde) onafhankelijke waarde getrokken uit deze stochast en toegepast op het Sobekmodel door de buisdiameter te verkleinen.

Statistische analyse resultaten (post-processing)

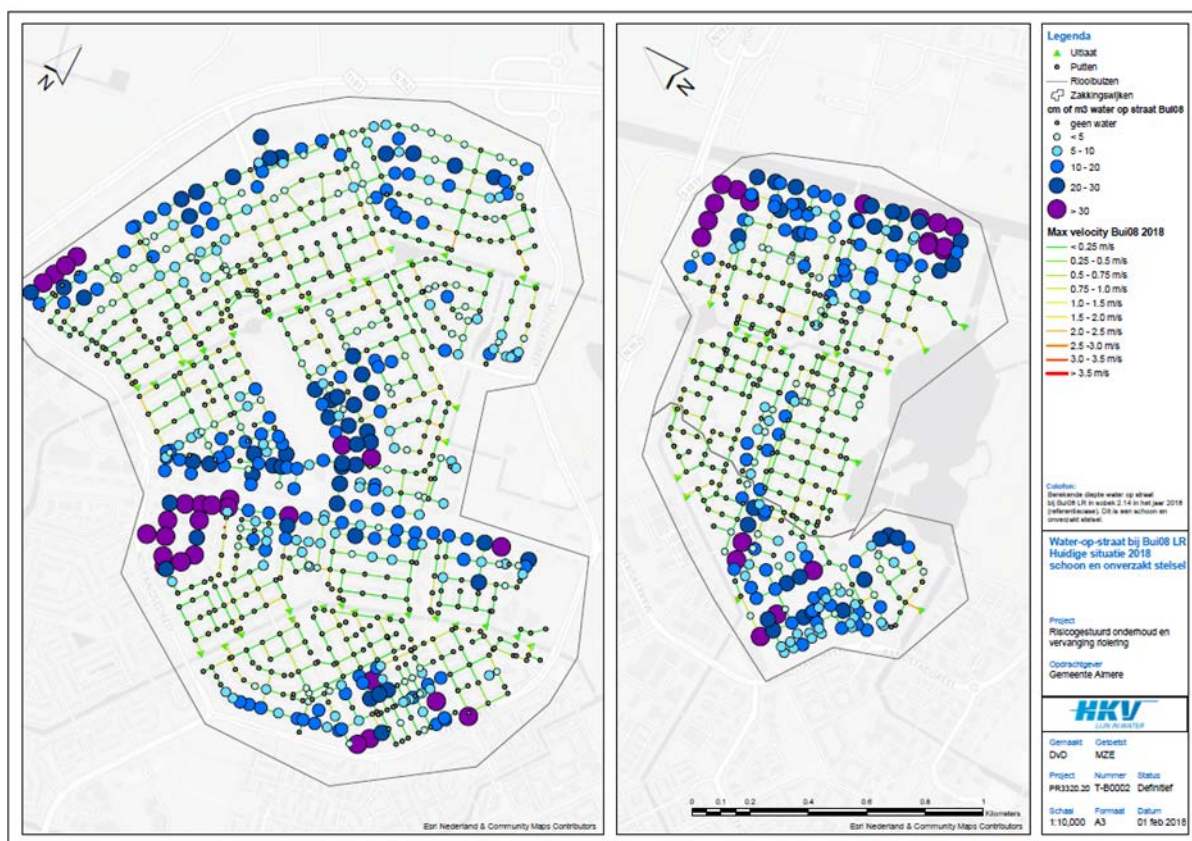
In een nabewerking op de resultaten is voor de gewenste ronde (bijvoorbeeld 2050) per put de gemiddelde en standaarddeviatie van de waterhoogte berekend (dus voor alle 100 simulaties).

Er is een vergelijking gemaakt met het huidige systeem en het aangepaste systeem. Merk op dat 1 cm water op straat gelijk is aan 1 m^3 water op straat (bijbehorend straatoppervlak is 100 m^2).

- Extra water op straat (diepte en volume)
- Extra locaties met water op straat
- Standaarddeviatie van de uitkomsten per put
- Grafieken met verloop van mate van water op straat per gebied in 2018 en 2050 (incl 90%-onzekerheidsinterval)

D Resultaten referentie situatie

In de huidige situatie (2018) is het hemelwaterstelsel schoon. De opgetreden zettingen na aanleg van het stelsel zijn verwerkt. De referentiesituatie geeft een beeld waar in de huidige situatie sprake is van water op straat bij een bui met een herhalingstijd van 2 jaar (Bui 08). Zowel voor Waterwijk als Muziekwijk wordt voor een derde van de putten water op straat berekend, variërend van 5 m³ tot meer dan 30 m³ water met een gemiddelde duur tussen de 15 en 60 minuten. Figuur D.1. toont de waterhoogte voor iedere put. In Figuur D.2. wordt de duur dat water op straat staat (putten / punten) en de maximale stroomsnelheid (buizen / lijnen) gepresenteerd.



Figuur D.1 Water op straat (waterhoogte) – Bui 08 huidige situatie 2018



Figuur D.2 Water op straat (duur) en maximale stroomsnelheid in buizen (m/s) – Bui 08 huidige situatie 2018

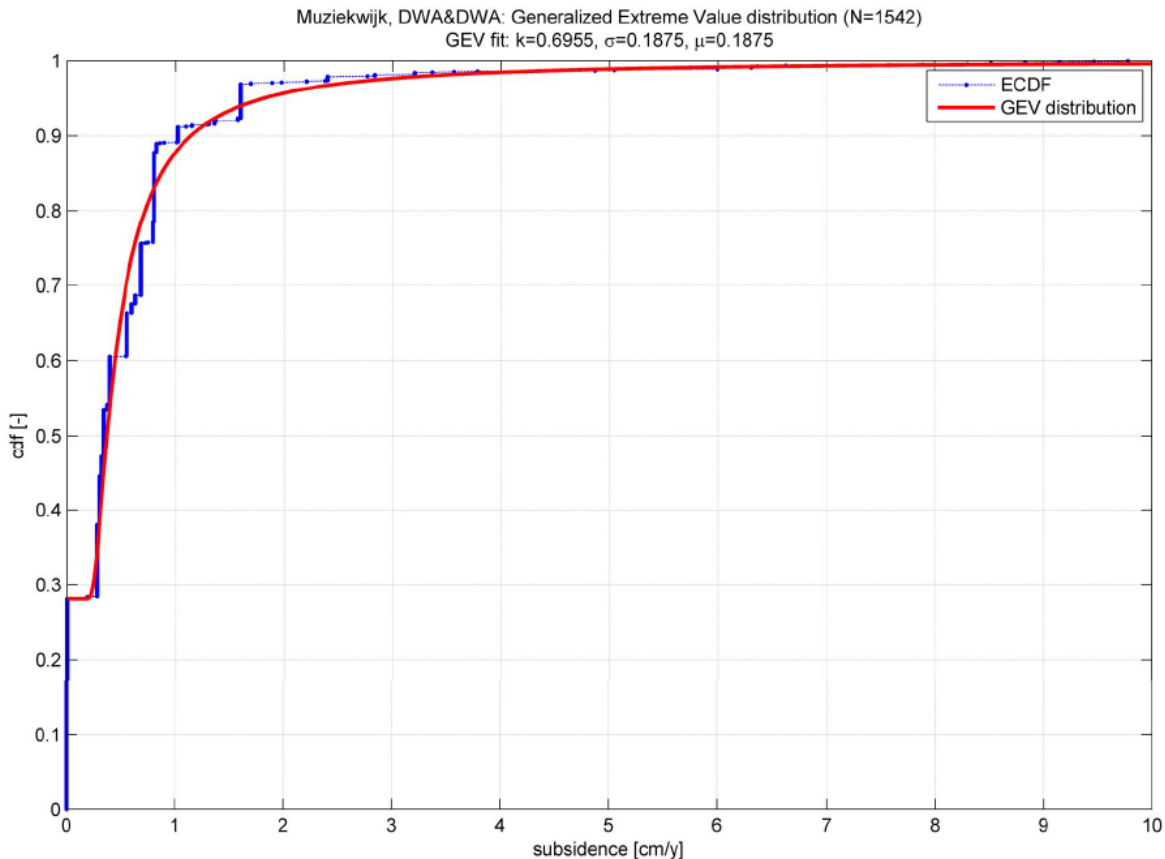
E Geresampelde kansverdelingen

Voor 3 deelgebieden is een kansverdeling afgeleid die de kans op de jaarlijkse zettingssnelheid per putdeksel beschrijft. Deze kansverdeling betreft een aangepaste Gegeneraliseerde Extreme Waarde verdeling. Deze is aangepast omdat uit onderzoek bleek dat ook een groot gedeelte van de putten niet zakt gedurende een jaar (zie hoofdstuk 3).

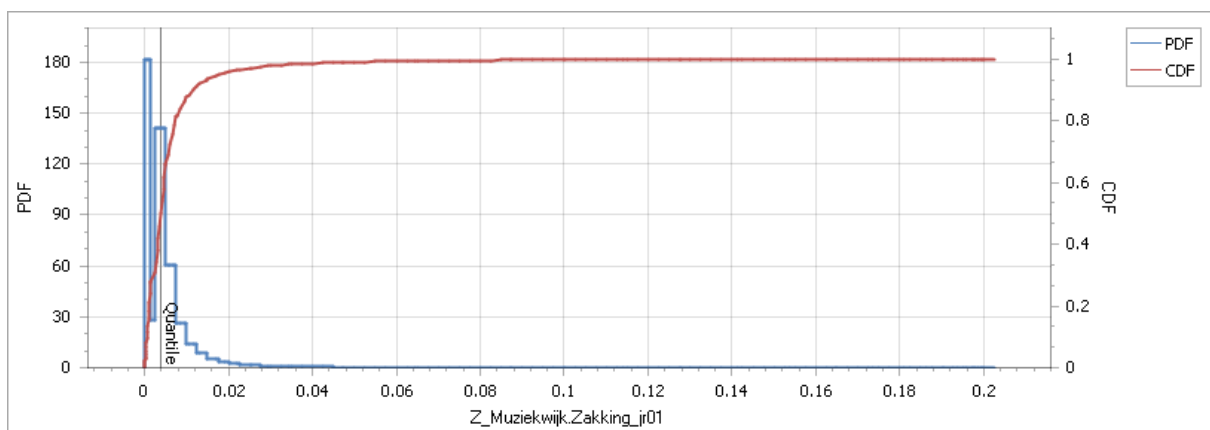
Voor de berekeningen met de PTK zijn de afgeleide kansverdelingen in het modelinstrumentarium gebracht. Dit kon niet 1 op 1 omdat de invoer niet een CDF (cumulatieve kansdichtsheidsfunctie) maar een PDF (kansdichtsheidsfunctie) dient te zijn. Daarbij had de beschrijving een resolutie van 0.001mm zettingsnelheid /jaar. Dit bleek een te hoog detailniveau voor de werkbaarheid met de PTK. Daarom is de aangeleverde cumulatieve (continue) kansdichtsheidsfunctie vertaald naar een discrete kansdichtsheidsfunctie met een stapgrootte van 0.25mm. Waarbij rekening is gehouden met het percentage putten dan niet zakt (zetting = 0mm/jaar). Het domein van de zetting is 0 tot 20cm zetting per jaar. De kans dat een zetting groter is dan 20cm volgens deze kansverdeling is $1 - 0.998518$. In de praktijk achten wij zulke zettingen niet realistisch. Daarom is deze bovengrens gekozen. De gekozen stapgrootte is arbitrair, maar er is gekozen om een zo hoog mogelijk detailniveau in de functie te houden, waarbij ook aan reken-(en verwerkings-)snelheid door de PTK niet wordt ingeboet. Hieronder is per deelwijk getoond:

- De oorspronkelijk grafiek van de cumulatieve kansdichtsheidsfunctie (CDF) (voor toelichting zie figuur 10-12)
- De plot vanuit de PTK met de ingevoerde PDF en de - door de PTK afgeleide - CDF (cumulatieve kansdichtsheidsfunctie)
- Een tabel met de gesampelde input van de PTK tot een zetting van 5cm/jaar. Deze bovengrens is gekozen ivm de leesbaarheid van dit rapport.

Muziekwijk



Figuur E.1 Afgeleide cumulatieve kansdichtheidsfunctie voor de zettingssnelheid per put in cm/jaar voor Muziekwijk (voor toelichting zie hoofdstuk 3)

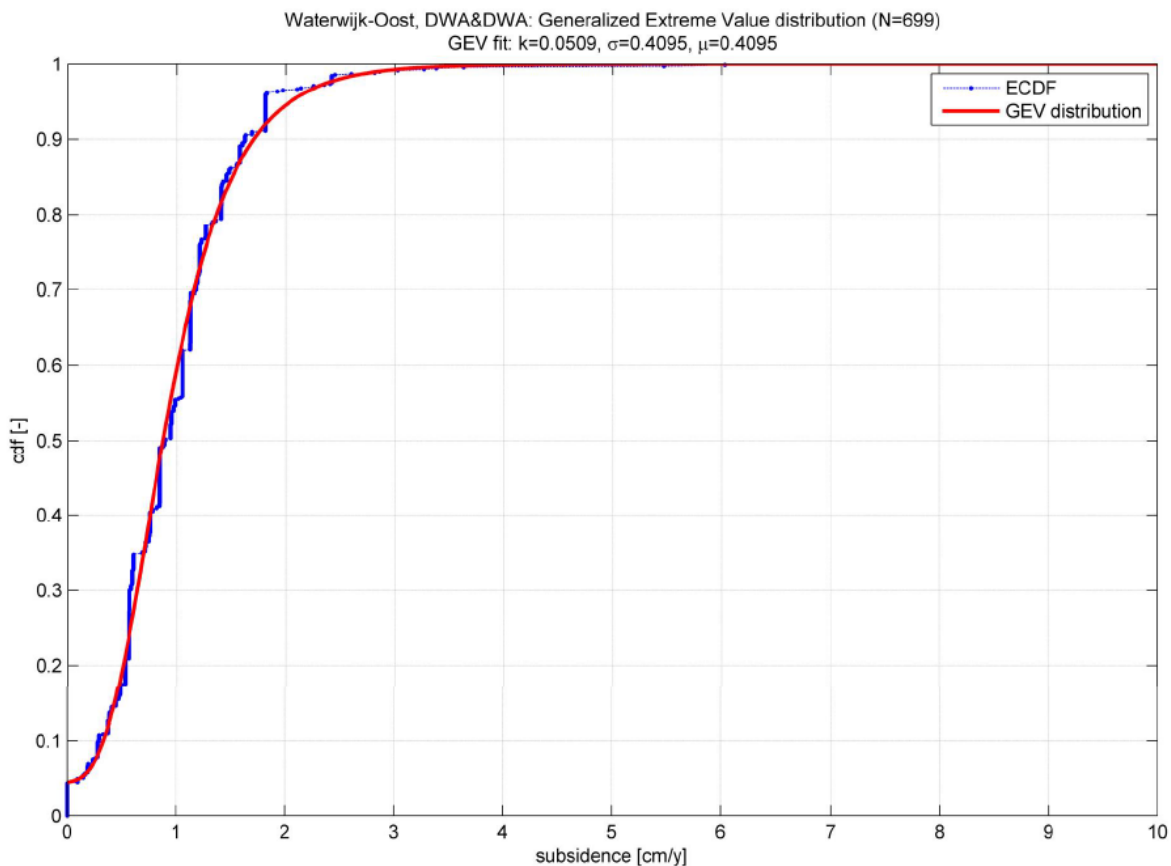


Figuur E.2 Ingevoerde kansdichtheidfunctie (PDF) en resulterende cumulatieve kansdichtheidfunctie (CDF) in PTK voor Muziekwijk

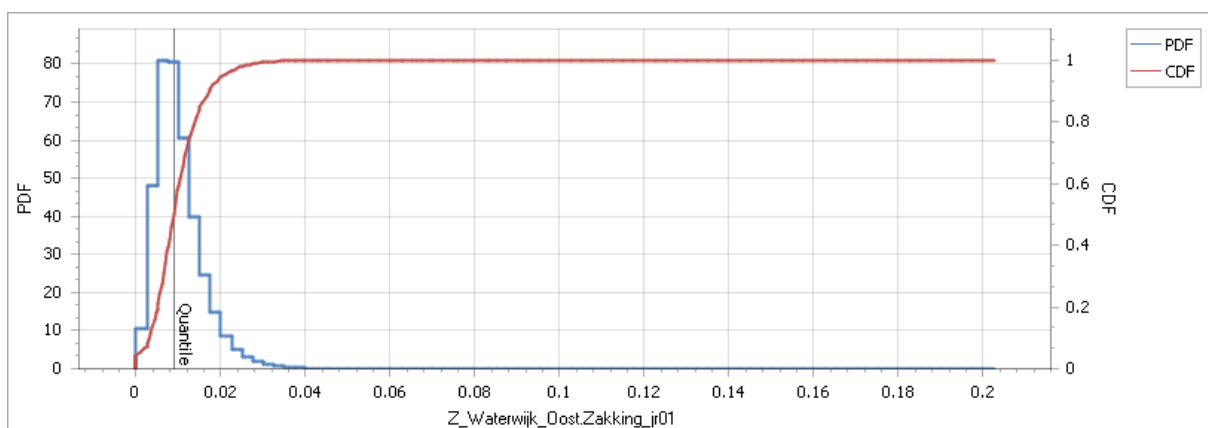
Tabel E.1 discrete kansdichtheidsbeschrijving en cumulatieve kansdichtheidsbeschrijving voor zettingsnelheid putten in Muziekwijk in m/jaar.

zetting ondergrens	(m/jaar)	zetting bovengrens	(m/jaar)	pdf(x)	cdf
	0		0.00155	0.281624501	0.281625
	0.00155		0.0025	0.026435686	0.30806
	0.0025		0.005	0.352158677	0.660219
	0.005		0.0075	0.151627327	0.811846
	0.0075		0.01	0.06606216	0.877908
	0.01		0.0125	0.03488096	0.912789
	0.0125		0.015	0.020921134	0.93371
	0.015		0.0175	0.013682354	0.947393
	0.0175		0.02	0.009520052	0.956913
	0.02		0.0225	0.006938343	0.963851
	0.0225		0.025	0.005241871	0.969093
	0.025		0.0275	0.004075368	0.973168
	0.0275		0.03	0.003243404	0.976412
	0.03		0.0325	0.002631915	0.979044
	0.0325		0.035	0.00217101	0.981215
	0.035		0.0375	0.001816097	0.983031
	0.0375		0.04	0.00153773	0.984569
	0.04		0.0425	0.001315884	0.985884
	0.0425		0.045	0.001136589	0.987021
	0.045		0.0475	0.000989877	0.988011
	0.0475		0.05	0.000868498	0.988879

Waterwijk –Oost



Figuur E.3 Afgeleide cumulatieve kansdichtheidsfunctie voor de zettingssnelheid per put in cm/jaar voor Waterwijk - Oost (voor toelichting zie hoofdstuk 3)

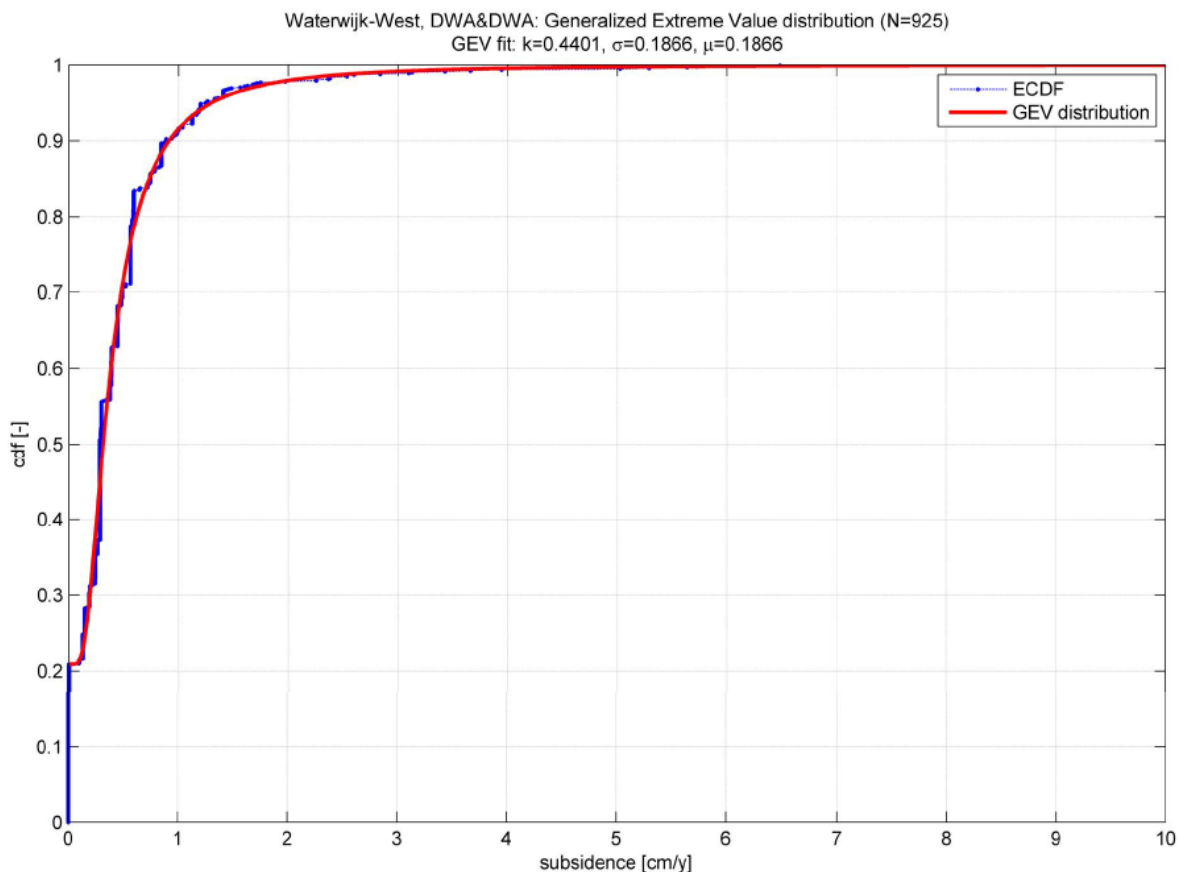


Figuur E.4 Ingevoerde kansdichtheidfunctie (PDF) en resulterende cumulatieve kansdichtheidfunctie (CDF) in PTK voor Waterwijk-Oost

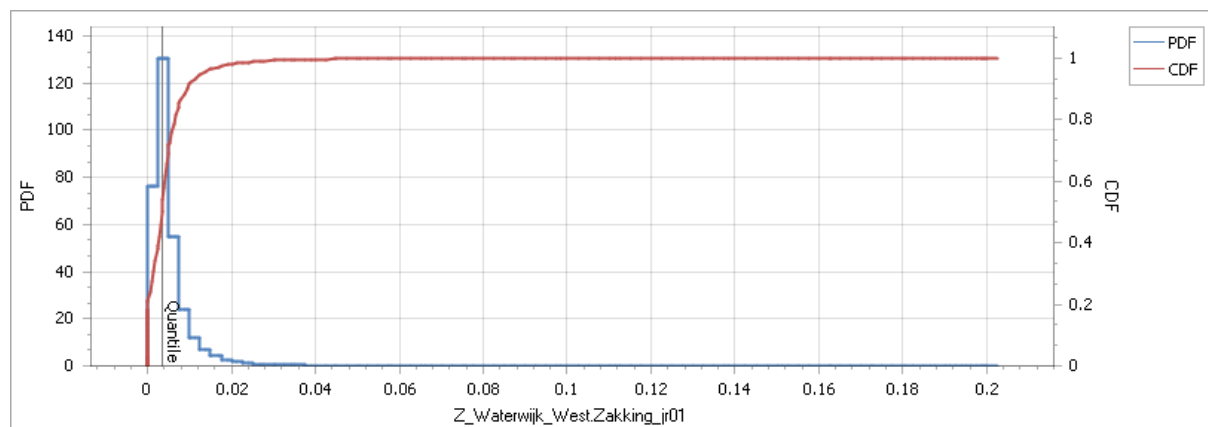
Tabel E.2 discrete kansdichtheidsbeschrijving en cumulatieve kansdichtheidsbeschrijving voor zettingssnelheid putten in Waterwijk-Oost in m/jaar.

zetting (m/jaar) ondergrens	zetting (m/jaar) bovengrens	pdf(x)	cdf (x)
0	0	0.044754	0.044754
0.00001	0.00001	0.0025	0.07151
0.0025	0.0025	0.005	0.191879
0.005	0.005	0.0075	0.394501
0.0075	0.0075	0.01	0.595602
0.01	0.01	0.0125	0.747381
0.0125	0.0125	0.015	0.84721
0.015	0.015	0.0175	0.908668
0.0175	0.0175	0.02	0.945427
0.02	0.02	0.0225	0.967207
0.0225	0.0225	0.025	0.980122
0.025	0.025	0.0275	0.987827
0.0275	0.0275	0.03	0.992464
0.03	0.03	0.0325	0.995282
0.0325	0.0325	0.035	0.997013
0.035	0.035	0.0375	0.998087
0.0375	0.0375	0.04	0.99876
0.04	0.04	0.0425	0.999187
0.0425	0.0425	0.045	0.99946
0.045	0.045	0.0475	0.999636
0.0475	0.0475	0.05	0.99975

Waterwijk – West



Figuur E.5 Afgeleide cumulatieve kansdichtheidsfunctie voor de zettingssnelheid per put in cm/jaar voor Waterwijk - West (voor toelichting zie hoofdstuk 3)



Figuur E.6 Ingevoerde kansdichtheidfunctie (PDF) en resulterende cumulatieve kansdichtheidfunctie (CDF) in PTK voor Waterwijk-West

Tabel E.3 discrete kansdichtheidsbeschrijving en cumulatieve kansdichtheidsbeschrijving voor zettingsnelheid putten in Waterwijk-West in m/jaar.

zetting (m/jaar) ondergrens	zetting (m/jaar) bovengrens	pdf(x)	Cdf (x)
0	0	0.20915	0.20915
0.0001	0.0001	0.0025	0.391566
0.0025	0.0025	0.005	0.718241
0.005	0.005	0.0075	0.855716
0.0075	0.0075	0.01	0.915725
0.01	0.01	0.0125	0.945815
0.0125	0.0125	0.015	0.962674
0.015	0.015	0.0175	0.972939
0.0175	0.0175	0.02	0.979599
0.02	0.02	0.0225	0.984139
0.0225	0.0225	0.025	0.987358
0.025	0.025	0.0275	0.989717
0.0275	0.0275	0.03	0.991491
0.03	0.03	0.0325	0.992856
0.0325	0.0325	0.035	0.993928
0.035	0.035	0.0375	0.994782
0.0375	0.0375	0.04	0.995474
0.04	0.04	0.0425	0.996041
0.0425	0.0425	0.045	0.996511
0.045	0.045	0.0475	0.996905
0.0475	0.0475	0.05	0.997238

F Achtergrond bij de analyse

Verschillende schaalniveaus

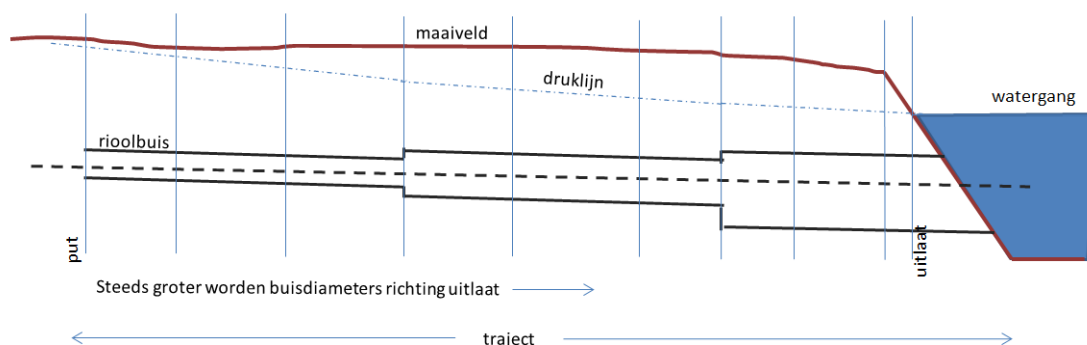
De analyse is uitgevoerd op twee ruimtelijke schaalniveaus. Allereerst is voor iedere put binnen een wijk onderzocht waar water op straat staat in de referentiesituatie en waar extra water op straat kan ontstaan door zetting en/of vervuiling.

Vervolgens is op wijkniveau onderzocht in welke mate de kans van water op straat verandert door zetting en/of vervuiling. Hier kunnen we meer generieke inzichten krijgen in de vorm van toename in volumes water op straat en toename van het aantal putten met water op straat. Op dit niveau zijn de putten als losstaande objecten binnen een wijk beschouwd. De onderlinge afhankelijkheden zijn hier niet meer expliciet vastgelegd.

Effecten op zetting en vervuiling voor water op straat

In de volgende figuren zijn de effecten van zetting en vervuiling op water op straat beschreven.

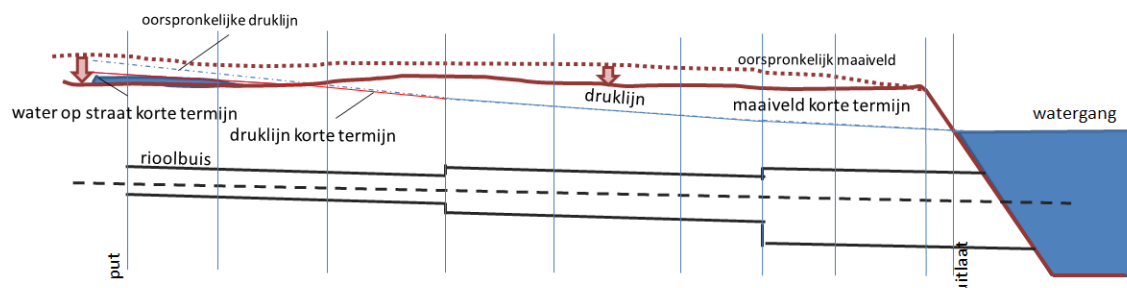
Referentiesituatie:



Figuur F.1 Situatie 1 - Ontwerpsituatie

Dit is een uitgangssituatie na de aanleg of vervanging van een rioelstelsel. De diameters van de rioelbuizen nemen toe richting de watergang (uitlaat). Bij het ontwerpevent (Bui 08) stijgen de drukhoogtes (waterstanden in de putten) tot ca. 10 tot 20 cm onder maaiveld [Rioned, 2004]. Er komt geen water op straat en de rioelbuizen zijn schoon.

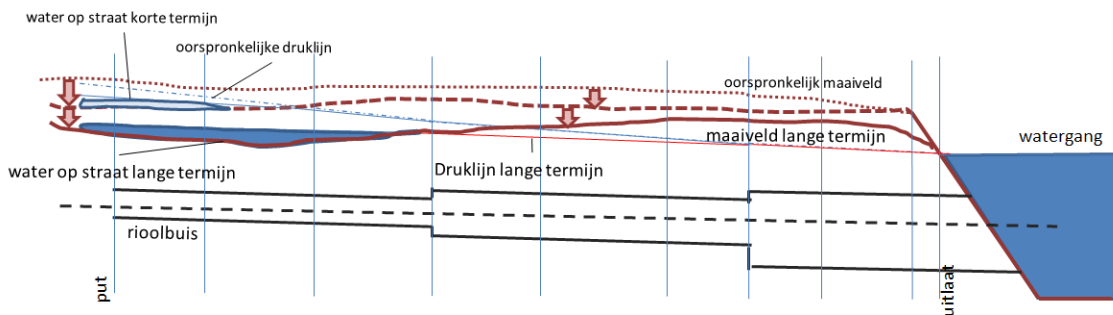
Zetting enkele jaren na aanleg of vervanging:



Figuur F.2 Situatie 2 - enkele jaren zetting

Het maaiveld is ongelijkmatig gezakt. Het nieuwe maaiveld ligt overal lager. Door het zakken is de waakhogte tussen de maaiveld en maximale waterstand verkleind. Aan het einde van het stelsel (waar de waakhogte het kleinste was) is water op straat ontstaan bij (extreme) neerslag. Deze situatie komt in gemeente Almere in de huidige situatie al voor.

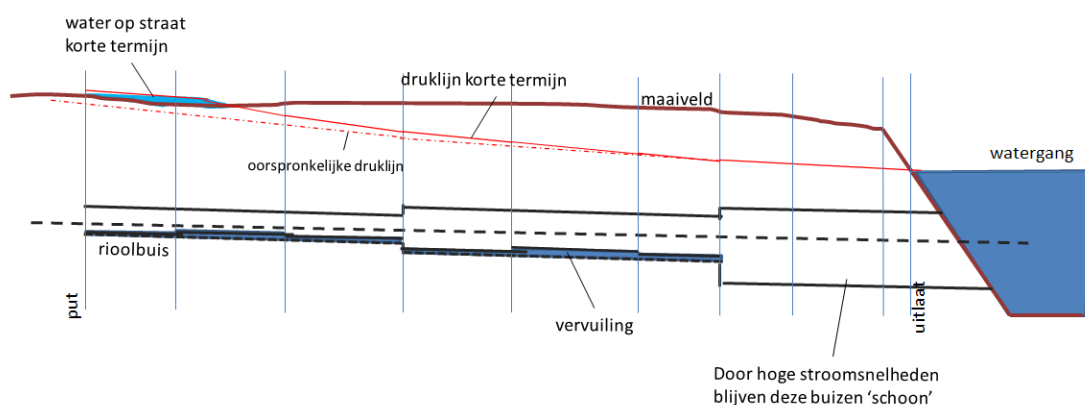
Situatie na langere termijn zetting:



Figuur F.3 Situatie 3 - Vele jaren zetting

Wanneer het maaiveld in de loop van de tijd nog verder zakt, neemt de waakhogte tussen maximale waterstand en maaiveld nog verder af. Het gevolg is dat er op meer locaties water op straat ontstaat en ook een groter volume water op straat. In de putten die het verst van de uitlaat afliggen neemt mogelijk de totale hoeveelheid water op straat af. Vergelijk de waterdiepte tussen 'korte termijn' en 'lange termijn' water op straat. Dit komt omdat de druklijn lager komt te liggen, doordat er meer water op straat kan worden geborgen. Dit noemen we in dit rapport herverdeling van het water.

Effecten van vervuiling:



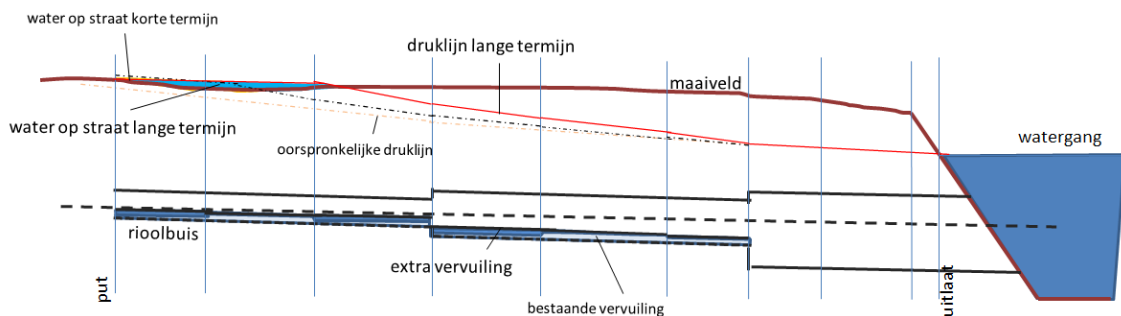
Figuur F.4 Situatie 4 - Lichte mate van vervuiling in de buizen

Doordat straatvuil in de riolering spoelt ontstaat er slib en/of vuilophoping in de riolering. Het slib of vuilophoping spoelt weg als de stroomsnelheden hoog genoeg zijn. In sommige buizen, veelal dicht bij de uitlaat, zijn de stroomsnelheden zo vaak hoog, dat we deze als 'schoon' beschouwen. De buizen die niet 'schoon' blijven, spoelen eens in de zoveel jaar schoon of worden eens per 12 jaar mechanisch gereinigd door de gemeente. Deze effecten komen later aan bod.

Figuur F.4 toont de effecten van ongelijkmatige slibaangroei in het rioolstelsel. Doordat de buis vervuult raakt neemt de afvoercapaciteit van de buis af en verloopt de druklijn steiler (zie 'korte termijn' en 'oorspronkelijke' druklijn).

Hierdoor zijn de waterstanden in de putten hoger, neemt de waakhoogte af en kan er water op straat ontstaan. Water op straat ontstaat meestal bij putten die het verste vanaf de uitlaat zijn gelegen (en voldoende laag liggen).

Effecten van toenemende vervuiling:

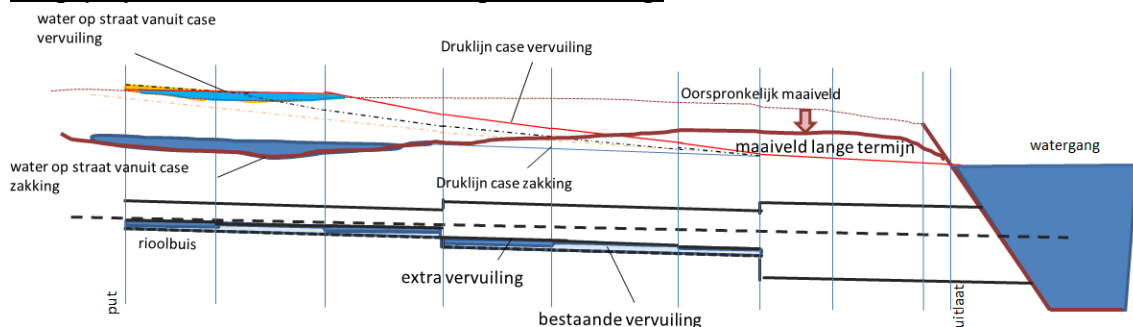


Figuur F.5 Situatie 5 - behoorlijke mate van vervuiling in de buizen

Wanneer de vervuiling in de buizen verder toeneemt, worden de buisdiameters effectief gezien steeds kleiner. Doordat de afvoercapaciteit afneemt, verloopt de druklijn steiler. Hierdoor komt er meer water op straat (vergelijk 'oorspronkelijke' en 'lange termijn' druklijn) en vaak op meerdere locaties (zie Figuur 9). Wat bovendien kan gebeuren is dat de stromingsrichtingen van het stelsel veranderen door kleinere diameters; het water neemt bijvoorbeeld een andere route in een stelsel of stroomt minder snel naar naastgelegen buizen en putten.

Wat kan gebeuren is dat het maximale volume water op straat bij sommige putten afneemt naarmate er meer vervuiling ontstaat. Dit komt doordat het water een andere route neemt of doordat het water tijdelijk wordt geborgen bij nieuwe water op straat locaties in beide gevallen loopt de druklijn minder snel op. Ook nu is er sprake van herverdeling van water. Dit noemen we ook herverdeling van water.

De geprojecteerde effecten van zetting en vervuiling:

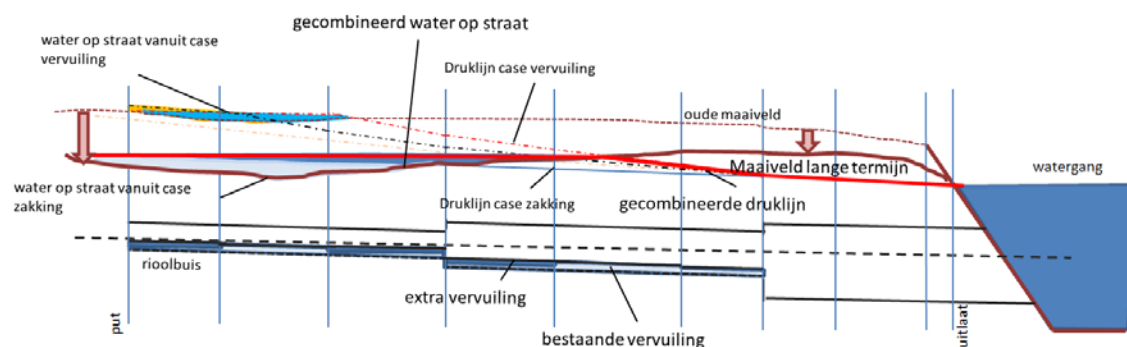


Figuur F.6 Situatie 6a - Projecteerde effecten van zetting en vervuiling

In Figuur F.6 zijn de effecten van zetting (Figuur F.3) en de effecten van vervuiling (Figuur F.5) op elkaar geprojecteerd. De getoonde effecten zijn onafhankelijk van elkaar. Wat opvalt is dat er in beide situaties water op straat voorkomt. Welk effect tot meer water op straat leidt, heeft te maken met de specifieke situatie buiten zoals de overcapaciteit van de riolering (buisdiameters) om de vervuiling op te vangen en de beschikbare waakhoogte (drooglegging tussen maximale waterstand en maaiveld) om de zetting op te vangen.

In dit voorbeeld (Figuur F.6) ontstaat er meer water op straat als gevolg van zetting. Echter, als de vervuiling dominant is, dan ontstaat er meer water op straat door capaciteitsafname.

De gecombineerde effecten van zetting en vervuiling:



Figuur F.7 Situatie 6b - gecombineerde effecten van zetting en vervuiling

De gecombineerde effecten van zetting en vervuiling leiden ertoe dat er dichterbij de uitlaat water op straat ontstaat dan in beide onafhankelijke cases het geval was. Dit komt doordat het maaiveld gezakt is, en de druklijn steiler verloopt. Hierdoor ontstaan er dus op meer locaties water op straat. Ook hier geldt dat – doordat er op meerdere locaties water op straat ontstaat – op al bestaande locaties, het volume water op straat kan afnemen.

G Berekeningsresultaten case 2 vervuiling

Onderhoudsfrequentie van 8 jaar:

Het effect van maximaal 8 jaar slibaangroei (zoals berekend in 2050) op de toegenomen kans op water op straat is te zien in Figuur G.1. Voor de gebieden Waterwijk-West en Muziekwijk neemt het volume water op straat met orde 5 m^3 voor vrijwel alle putten toe waarbij in 2018 ook al water op straat is berekend. Het aantal putten waar water op straat is berekend stijgt met 8 tot 10%.

In Waterwijk-Oost volgt uit de berekening dat het minimale water op straatvolume met 5 m^3 stijgt in 50 putten (stijging van 15 naar 20 m^3) en met 8 m^3 stijgt in 100 putten (stijging van 2 naar 10 m^3). Hier neemt het aantal putten met water op straat toe met circa 33%. Uit de resultaten blijkt dat de afvoercapaciteit afneemt, doordat vooral de buizen aan de bovenstroomse uiteinden van de stelsels dichtslibben.



Figuur G.1 Maximale water op straat situatie ([cm] / volume [m³]) bij bui 08 in 2050 als gevolg van maximaal 8 jaar slibophoping op basis van het gemiddelde van alle simulaties voor 2050.

In Figuur G.3 is de extra hoeveelheid water op straat getoond ten opzichte van een schoon stelsel (2018). Op veel plaatsen is er geen verandering. Dat zijn de gele bolletjes. Dit zijn met name de putten dicht bij de uitlaten. In de uiteinden van de trajecten – de putten die het verst van de uitlaten afliggen – is een toename van water op straat te zien. Dit komt dus door de afname van de transportcapaciteit van de rioolbuizen als gevolg van dichtslibben. Doordat aan de uiteinden meer water op straat blijft staan, nemen de extreme waterstanden in de tussenliggende putten iets af (dat zijn de rode bollen). Deze afname is dus een gevolg van herverdeling van water, zie Figuur F.4 en Figuur F.5 .

In Figuur G.2 is de spreiding in uitkomsten over 100 simulaties getoond. Deze spreiding is bepaald aan de hand van de standaarddeviatie en is een maat voor de bandbreedte van de uitkomsten. Hoe roder, hoe groter de spreiding.

Door het dichtslibben van buizen ontstaat op een aantal nieuwe locaties water op straat (zie Figuur G.3). De extra locaties zijn hier aangegeven met rood. De groene locaties hebben geen water op straat in schone toestand en niet na maximaal 8 jaar vervuiling. Op de gele locaties is in beide gevallen water op straat berekend.



Figuur G.2 Spreiding (standaarddeviatie) in uitkomsten van het maximaal berekend water op straat bij Bui 08 bij max 8 jaar slibophoping voor alle simulaties

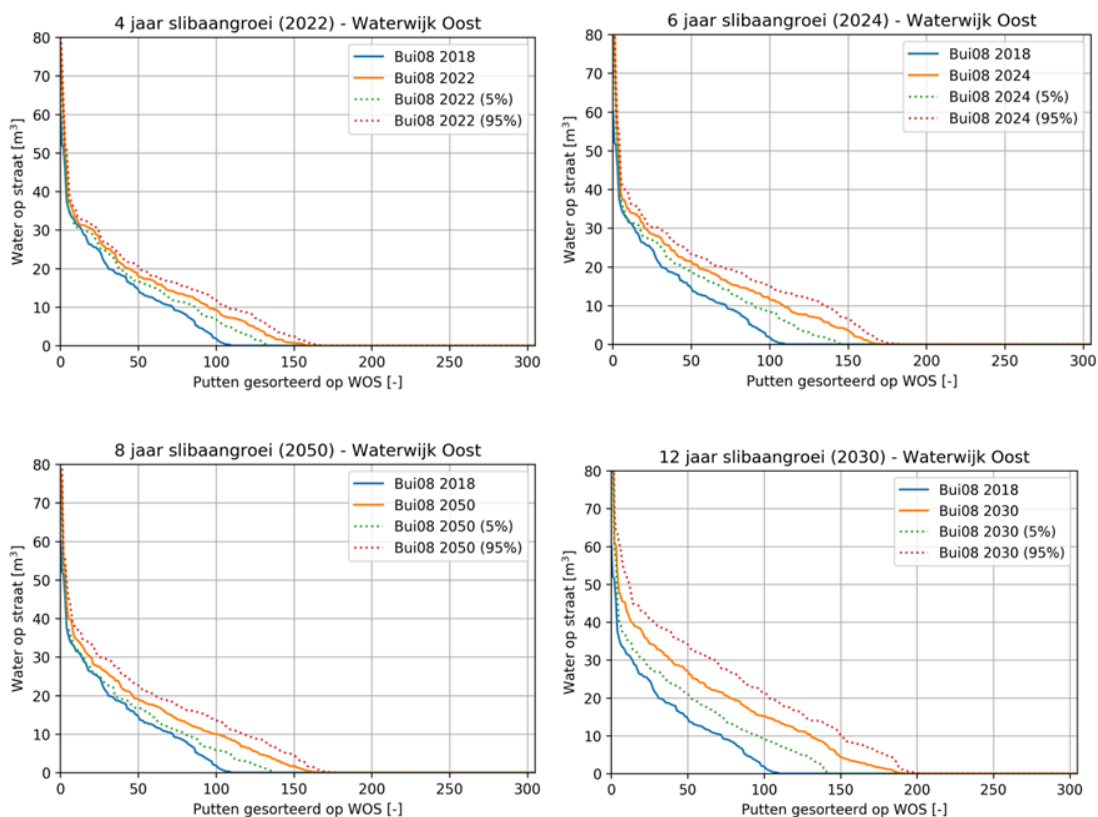


Figuur G.3 Gemiddelde van de maximaal berekende extra locaties water op straat (rode bollen) bij Bui 08 bij maximaal 8 jaar vuilophoping voor alle simulaties

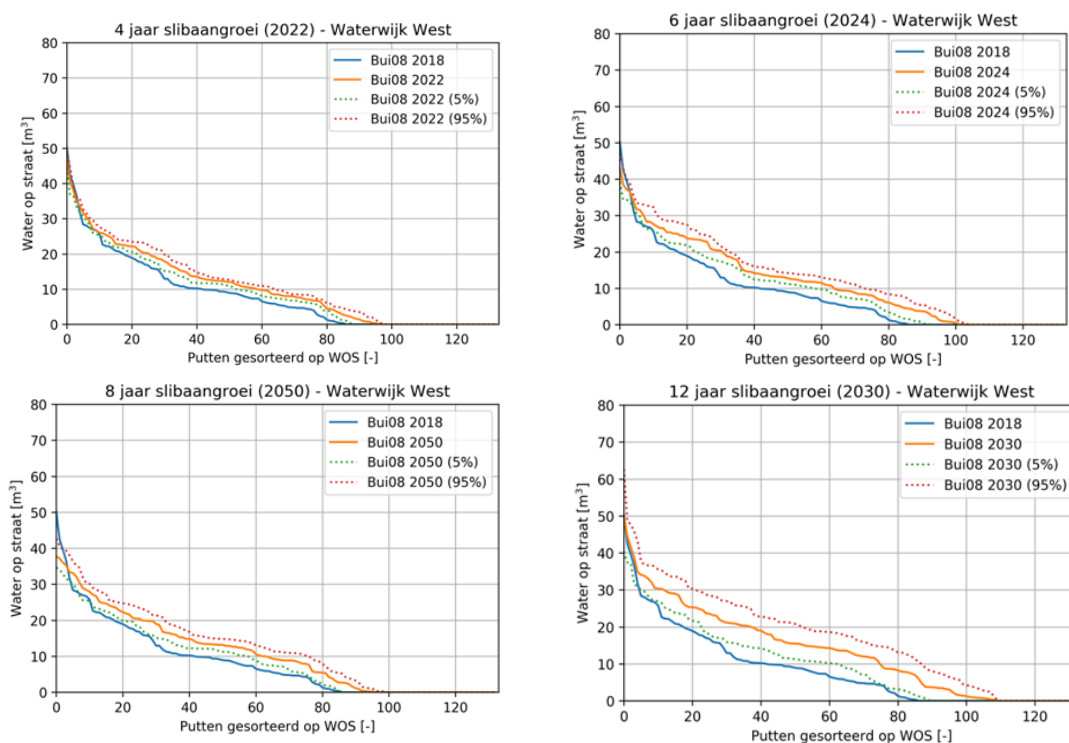
Vergelijking water op straat bij verschillende onderhoudsfrequenties

In Figuur G.4, Figuur G.5 en Figuur G.6 zijn de effecten op kan op water op straat bij van verschillende onderhoudsfrequenties weergegeven voor respectievelijk Waterwijk-Oost, -West en Muziekwijk. In alle gevallen neemt de hoeveelheid water op straat door vervuiling toe ten opzichte van de huidige situatie (2018). Naarmate de onderhoudsfrequentie afneemt, neemt de kans op water op straat verder toe. Dit is verklaarbaar omdat de buizen steeds erger vervuild raken.

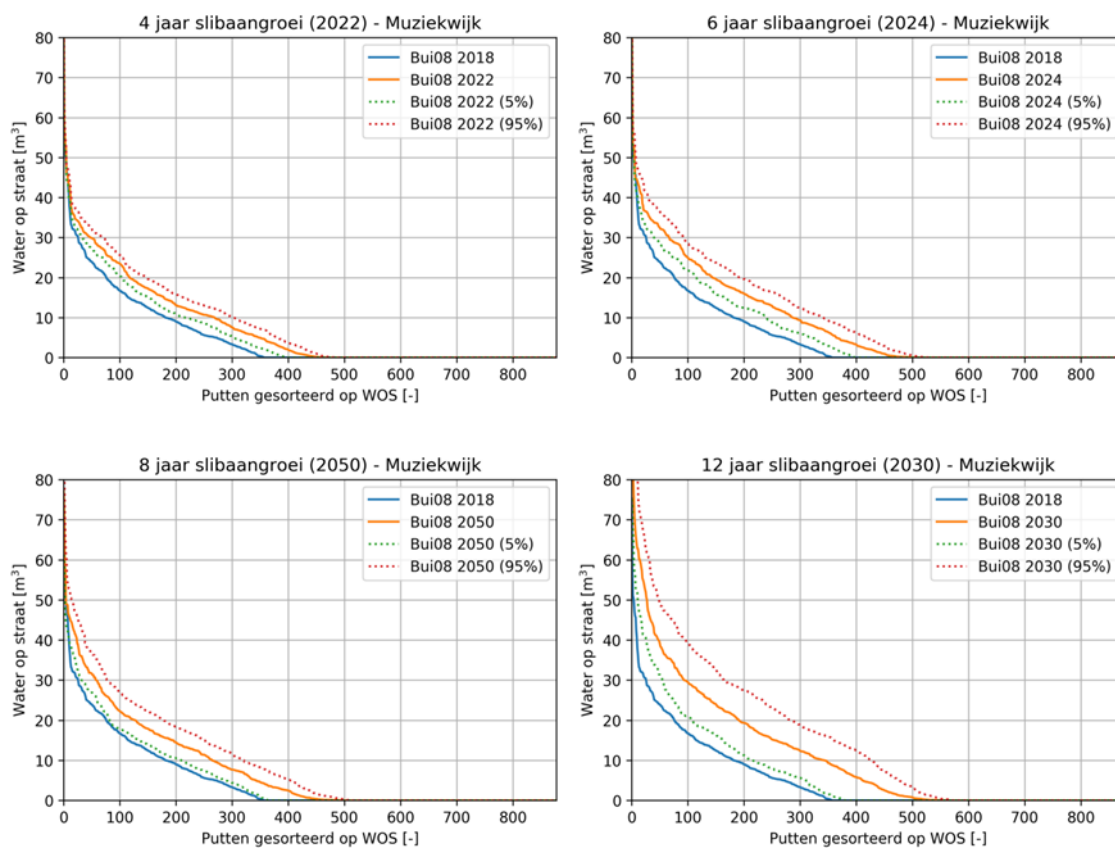
Het betrouwbaarheidsinterval – of beter gezegd de onzekerheidsbandbreedte - wordt groter met het afnemen van de onderhoudsfrequentie (het betrouwbaarheidsinterval is smaller bij 4-jaarlijks dan bij 12-jaarlijks onderhoud). Dit is verklaarbaar omdat het onzeker is hoe snel een buis vervuult. Daardoor kan het meer of minder gevolgen hebben op water op straat.



Figuur G.4 Gesorteerde berekend gemiddelde van de maximaal berekende waterdiepten bij Bui 08 voor Waterwijk-Oost voor een schoon stelsel (2018) en vervuilde stelsels van maximaal 4, 6, 8 en 12 jaar.



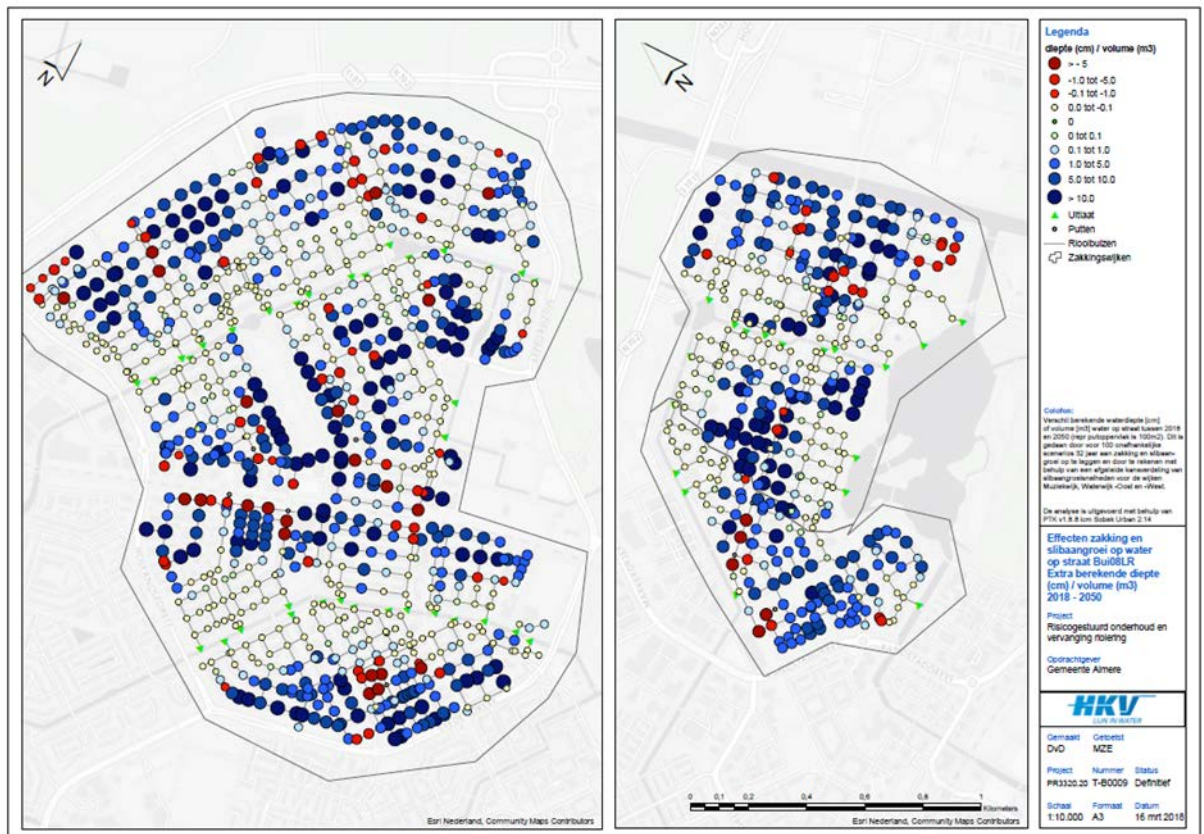
Figuur G.5 Gesorteerde berekend gemiddelde van de maximaal berekende watervolumen bij Bui 08 voor Waterwijk-West voor een schoon stelsel (2018) en vervuilde stelsels van maximaal 4, 6, 8 en 12 jaar.



Figuur G.6 Gesorteerde berekende gemiddelde van de maximaal berekende waterdiepten voor Muziekwijk voor een schoon stelsel (2018) en vervuilde stelsels van maximaal 4, 6, 8 en 12 jaar.

H Berekeningsresultaten case 3, combinatie zetting en vervuiling

In de kaartfiguren is de situatie in 2050 geplot. In 2050 is er sprake van 32 jaar zetting en maximaal 8 jaar vervuiling, zie Figuur H.1, Figuur H.2 en Figuur H.3.



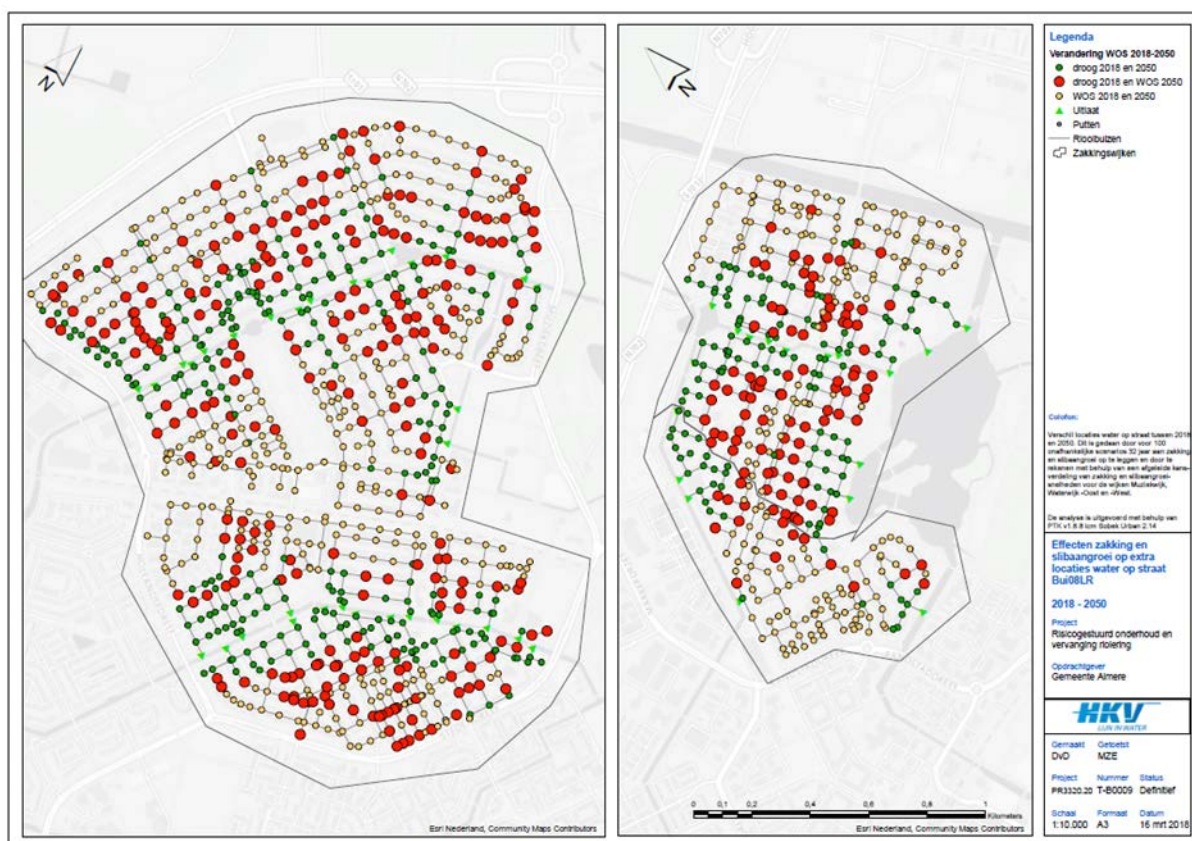
Figuur H.1 Gemiddelde van de maximaal berekend volume extra water op straat bij Bui 08 in 2050 (met een onderhoudsfrequentie van 8 jaar) ten opzicht van een schoon stelsel in 2018

Figuur H.1 toont het extra verwachte water op straat als gevolg van zetting en vervuiling in 2050. Vergeleken met enkel de zetting (Figuur 4.2) en de vervuiling (Figuur G.1), is het gecombineerde effect groter. De afname van water op straat (rode bollen) is ook nu het gevolg van herverdeling van water, zie de uitleg in Figuur F.7.



Figuur H.2 van de maximaal berekende extra water op straat bij Bui 08 in 2050 (met een onderhoudsfrequentie van 8 jaar) ten opzicht van een schoon stelsel in 2018 van alle simulaties.

Figuur H.2 toont voor Muziekwijk een grotere spreiding van de uitkomsten dan voor Waterwijk. Waarom er een grotere spreiding is in toename van water op straat in Muziekwijk dan in Waterwijk is niet verder onderzocht.



Figuur H.3 Gemiddelde van de maximaal berekende extra locaties (rode bollen) met water op straat bij Bui 08 in 2050 (met 8-jaarlijkse onderhoudsfrequentie) ten opzichte van een schoon stelsel in 2018

Figuur H.3 toont op meer locaties water op straat in vergelijking met 2018. De extra locaties zijn deels een optelling van extra locaties als gevolg van zetting (Figuur 4.4) en extra locaties als gevolg van vervuiling (Figuur G.1). Er ontstaan ook op nieuwe locaties water op straat die nog niet eerder zijn berekend bij de onafhankelijke zetting en vervuilingscase. Dit is het gevolg van het gecombineerde effect van capaciteitsafname van de riolering. Op een aantal locaties is bij de zettingscase wel water op straat berekend, terwijl dit in de gecombineerde case niet het geval is. Deze putten liggen aan het bovenstroomse einde van de strengen. Een mogelijke verklaring is dat in de gecombineerde case meer water wordt vastgehouden als gevolg van het dichtslibben van deze buizen. Hierdoor treedt bovenstrooms het water niet meer uit het systeem.

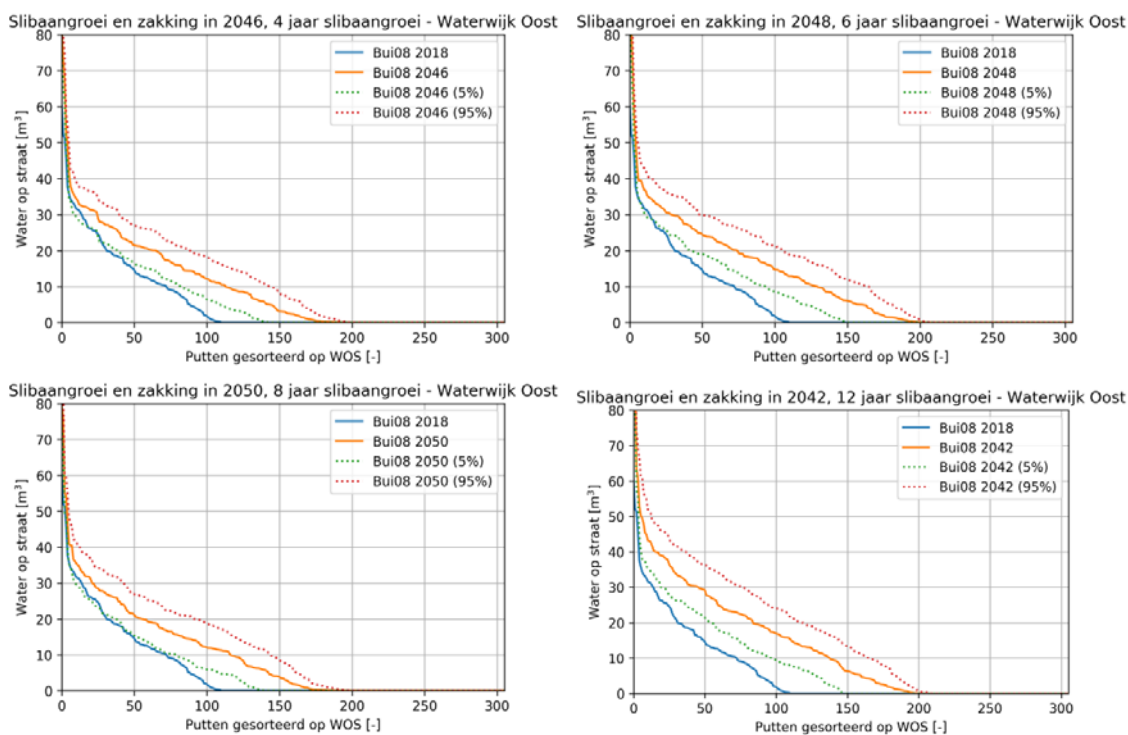
Vergelijk water op straat bij verschillende reinigingsfrequenties:

Op basis van de beschikbare set met berekeningen is getracht inzicht te krijgen in het effect van verschillende reinigingsfrequenties. Het doel is om de effecten van vaker reinigen in beeld te krijgen. Er zijn drie reinigingsfrequenties onderzocht: 4 jaar, 6 tot 8 jaar en 12 jaar (huidige onderhoudsfrequentie). Er zijn vier voorbeeldjaren gebruikt:

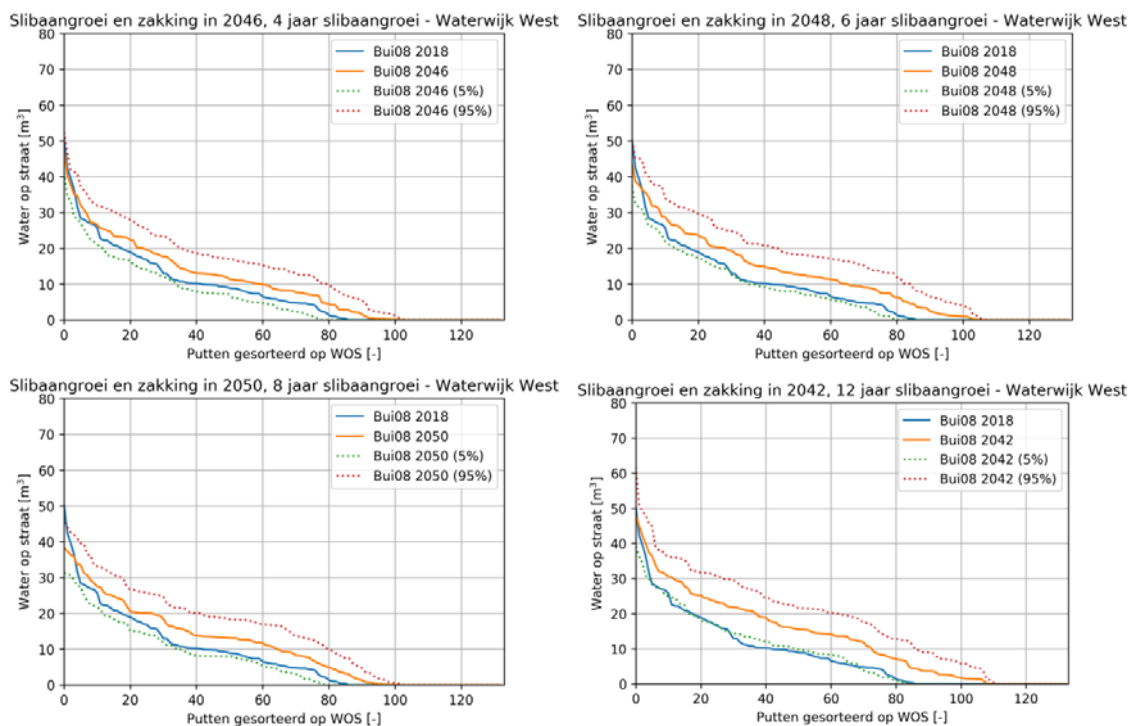
Voorbeeldjaar	Aantal jaar zetting	Aantal jaar vervuiling	Onderhoudsfrequentie
2042	24 jaar zetting	12 jaar vervuiling	1/12x jaar
2046	28 jaar zetting	4 jaar vervuiling	1/4x jaar
2048	30 jaar zetting	6 jaar vervuiling	1/6x jaar
2050	32 jaar zetting	8 jaar vervuiling	1/8x jaar

We merken op dat in de periode 2042 en 2050 het maaiveld verder zakt. Bij de interpretatie van de resultaten dient hier rekening mee te worden gehouden. We bevelen aan deze analyse uit te breiden met berekeningen voor de zetting in 2050 (32 jaar) in combinatie met verschillend aantal jaren vervuiling (4, 6, 8 en 12 jaar). Dit valt buiten de scope van dit onderzoek.

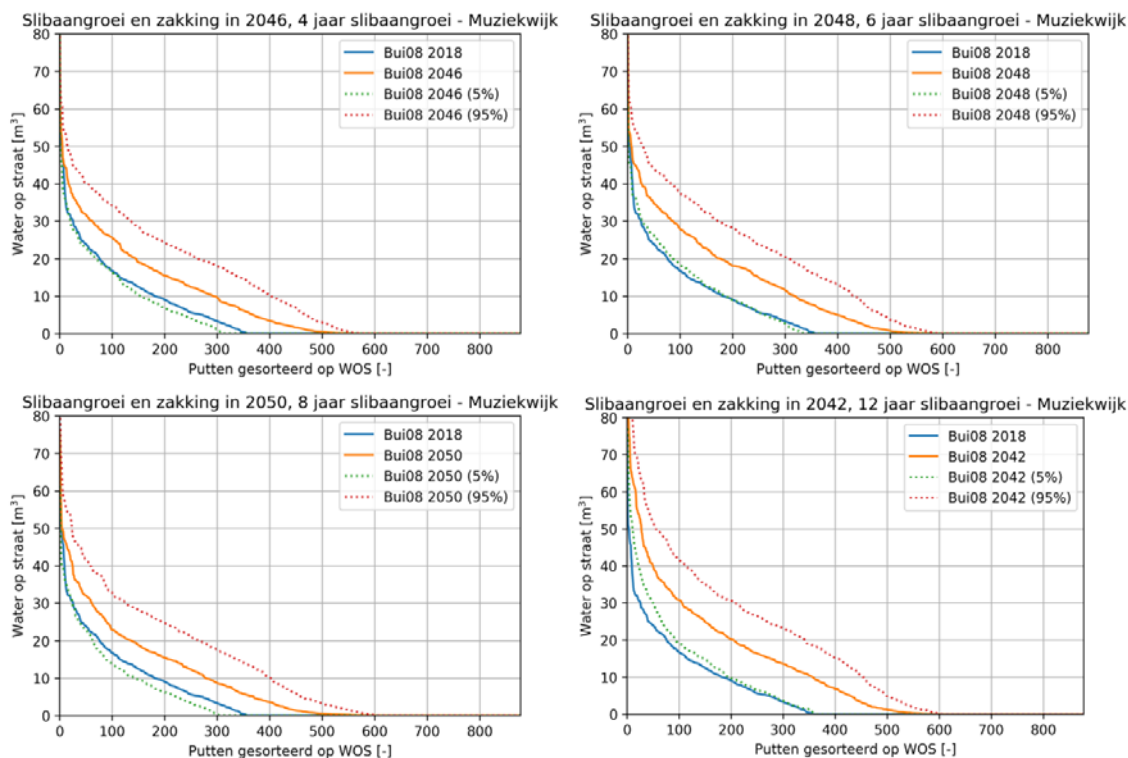
In Figuur H.4, Figuur H.5 en Figuur H.6 zijn de effecten van verschillende reinigingsfrequenties op water op straat weergegeven. In alle gevallen neemt de hoeveelheid water op straat door zetting en vervuiling toe ten opzichte van de huidige situatie (2018). Naarmate de onderhoudsfrequentie afneemt, neemt de kans op water op straat verder toe. Dit is verklaarbaar omdat de buizen steeds heviger vervuult raken. Kortom, hoe viezer de buis en hoe minder vaak deze wordt schoongemaakt, hoe groter de kans op water op straat.



Figuur H.4 Gesorteerd berekend gemiddelde van de maximaal berekende waterdiepten bij Bui 08 voor Waterwijk-Oost voor een schoon stelsel (2018) en verzakte en vervuilde stelsels van maximaal 4 (2046), 6 (2048), 8 (2050) en 12 jaar (2042)



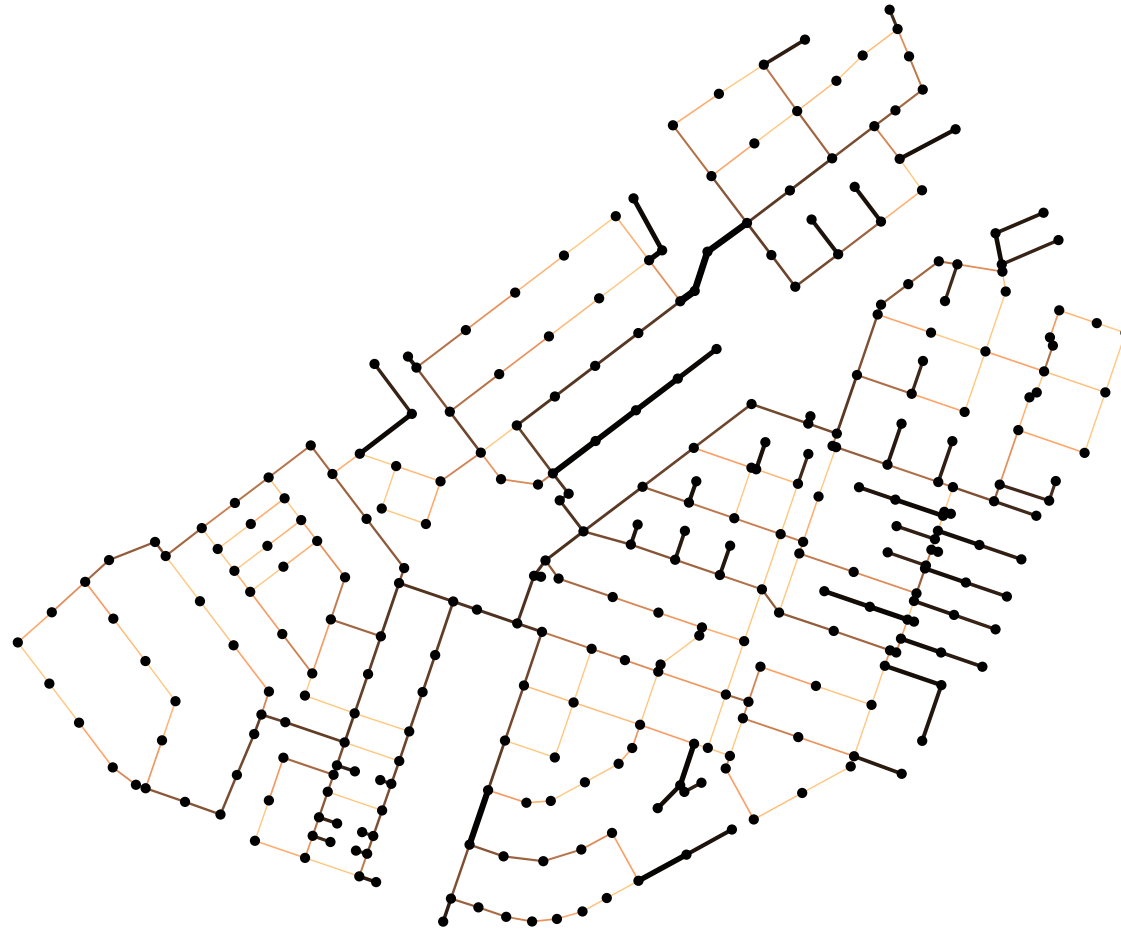
Figuur H.5 Gesorteerd berekend gemiddelde van de maximaal berekendewaterdiepten bij Bui 08 voor Waterwijk West voor een schoon stelsel (2018) en verzakte en vervuilde stelsels van maximaal 4 (2046), 6 (2048), 8 (2050) en 12 jaar (2042)



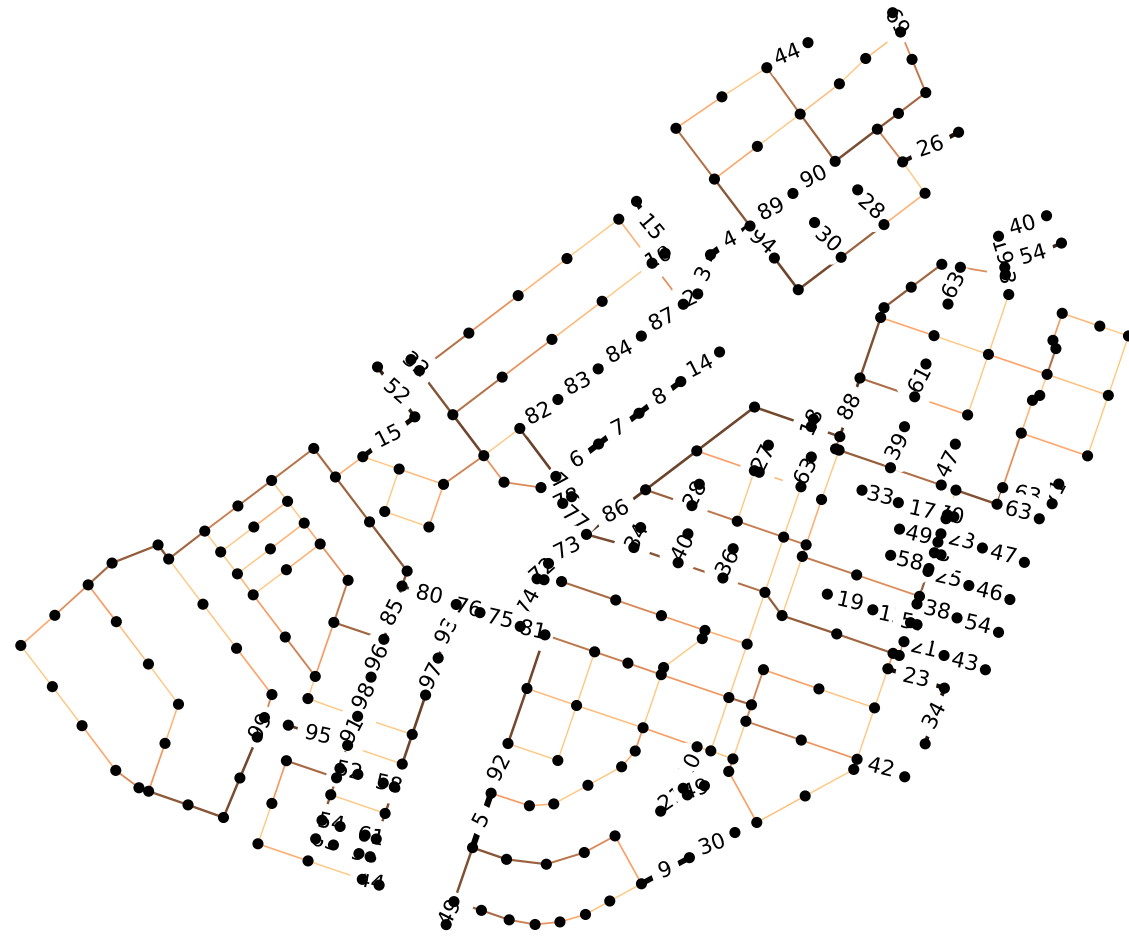
Figuur H.6 Gesorteerd berekend gemiddelde van de maximaal berekendewaterdiepten bij Bui 08 voor Muziekwijk voor een schoon stelsel (2018) en verzakte en vervuilde stelsels van maximaal 4 (2046), 6 (2048), 8 (2050) en 12 jaar (2042)

I Belangrijkheid van de verschillende leidingen

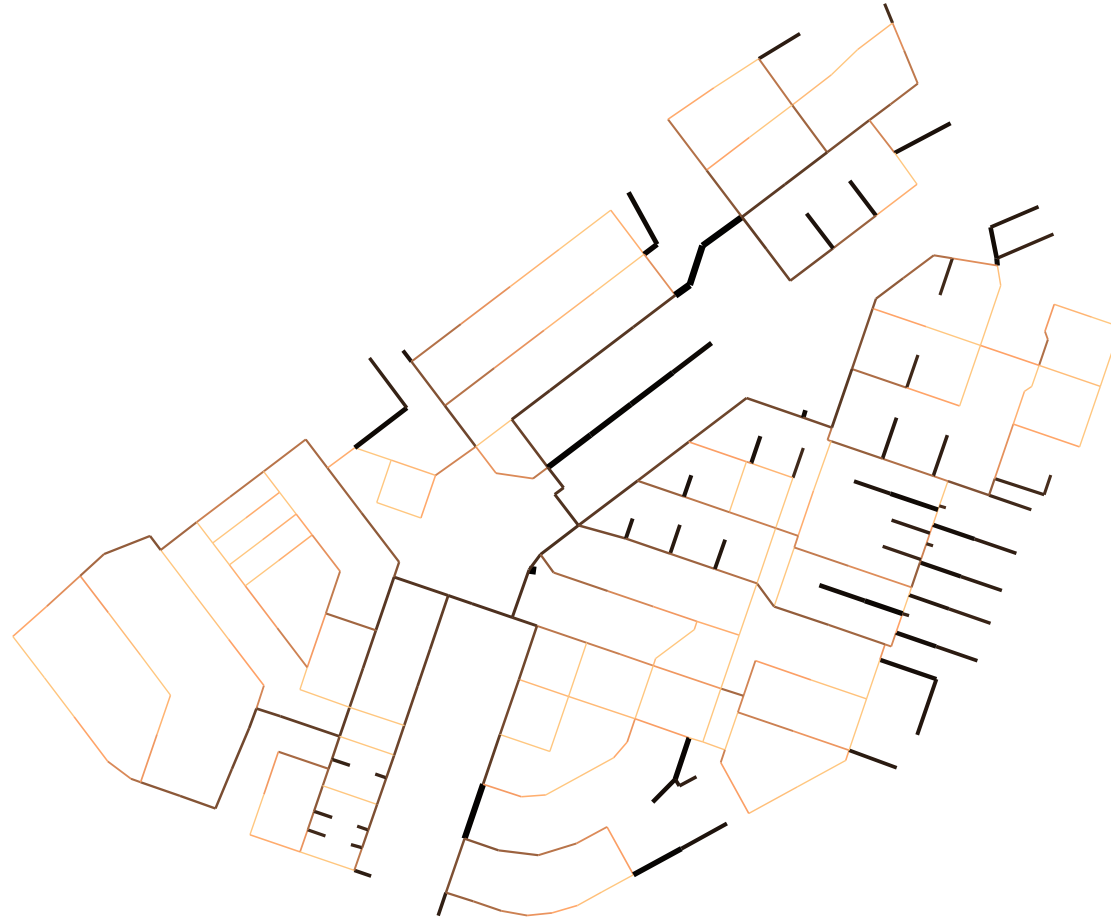
Almere_West G_8



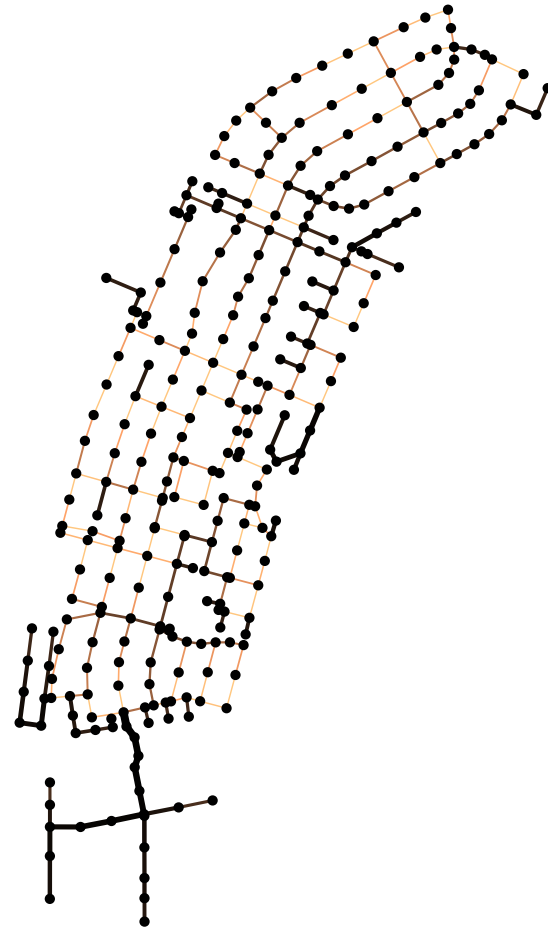
Almere_West G_8



Almere_West G_8



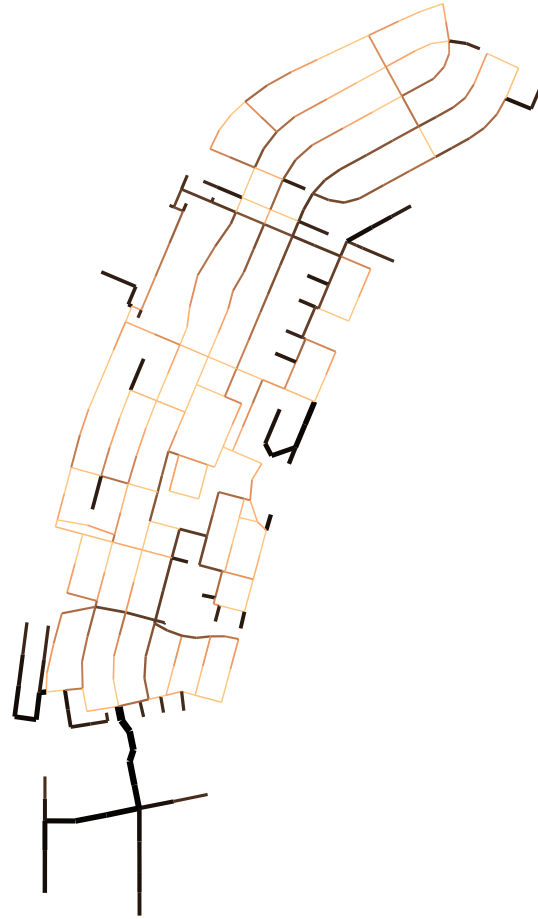
Almere_West G_9



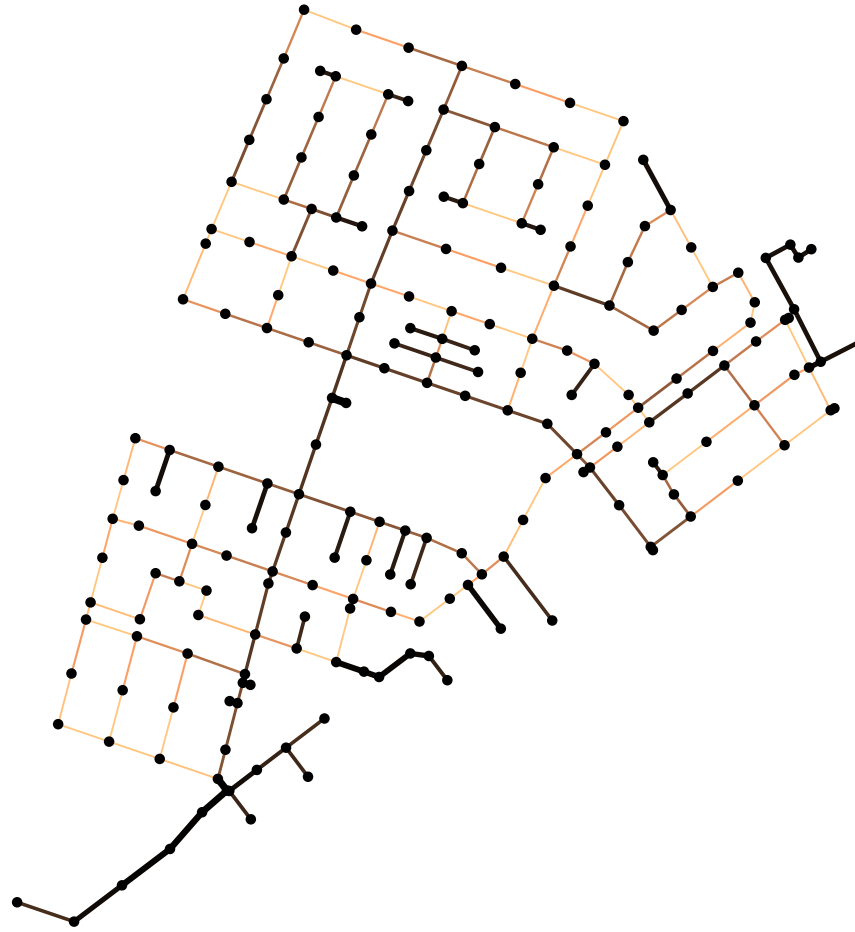
Almere_West G_9



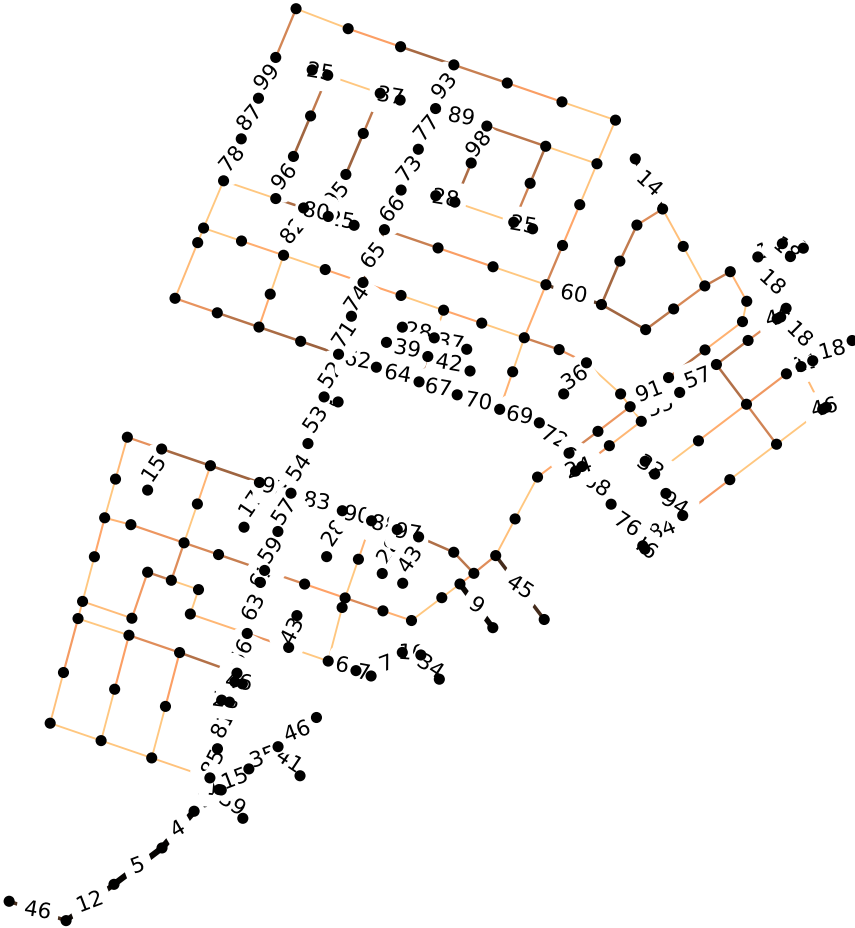
Almere_West G_9



Almere_West G_10



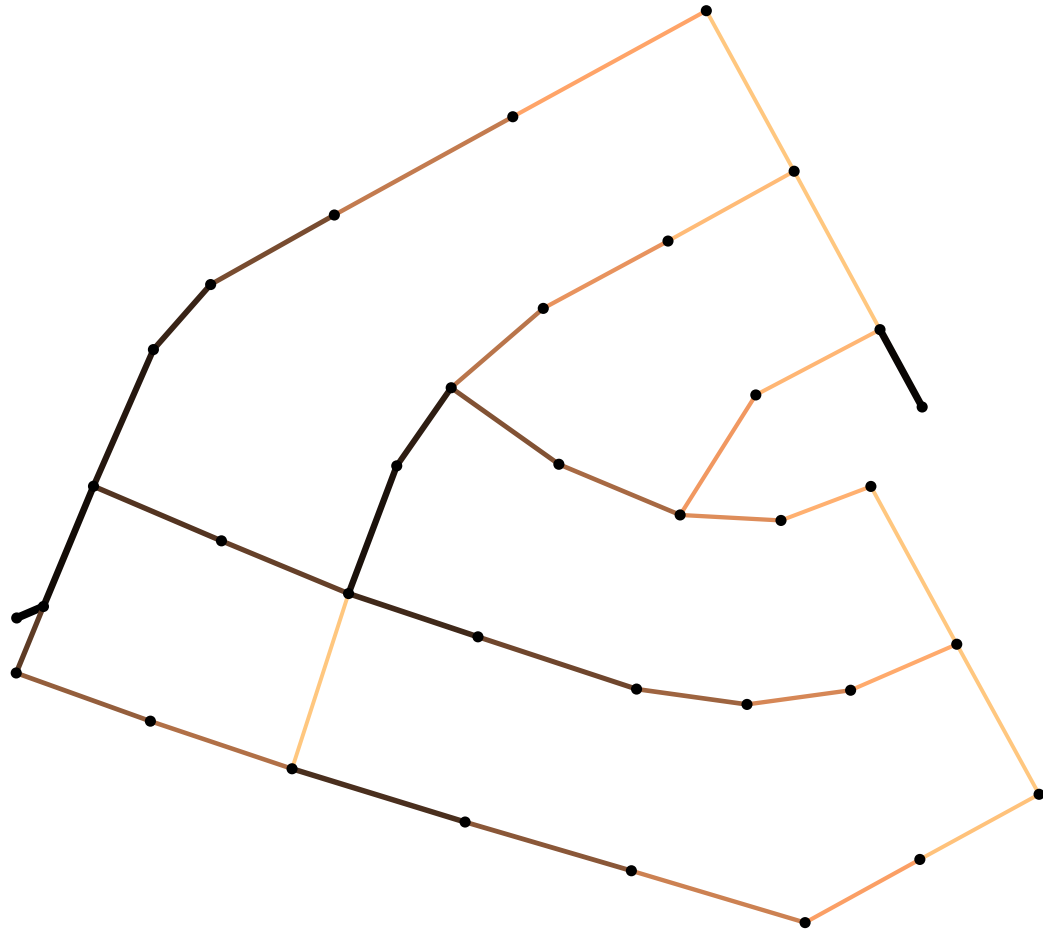
Almere_West G_10



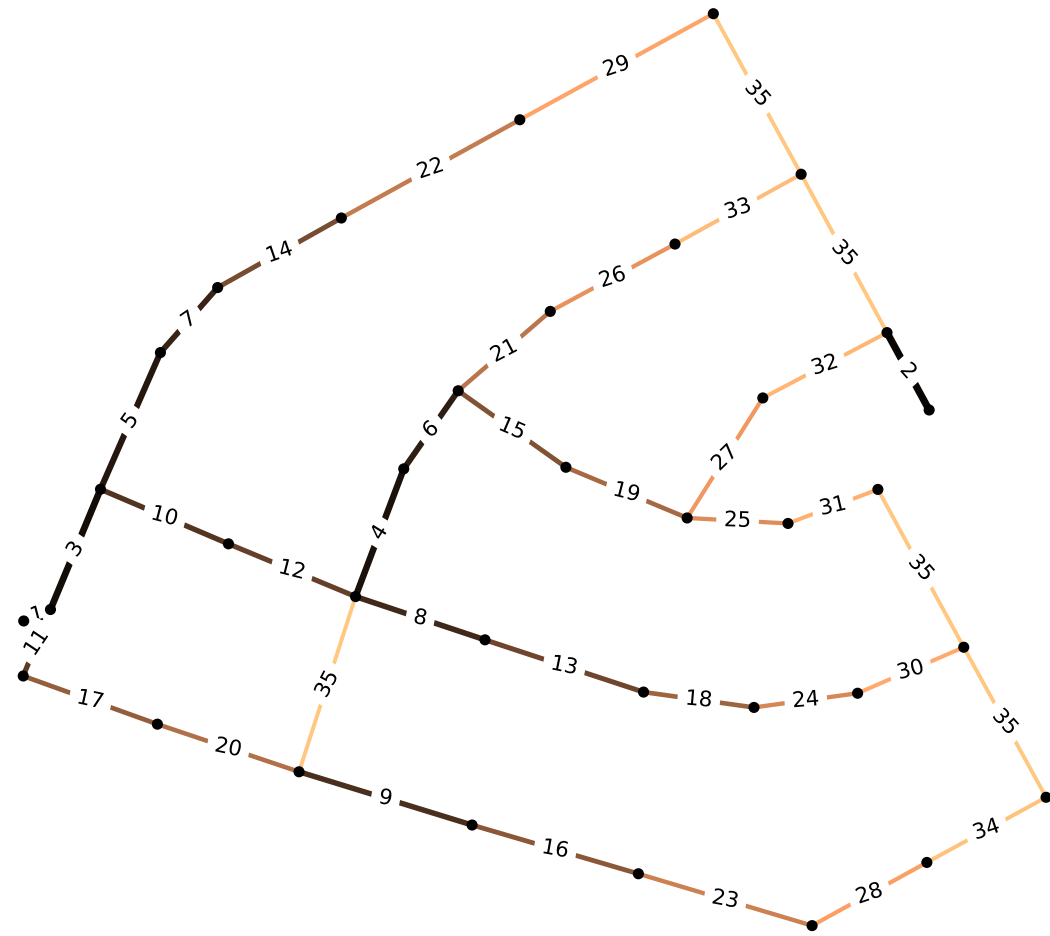
Almere_West G_10



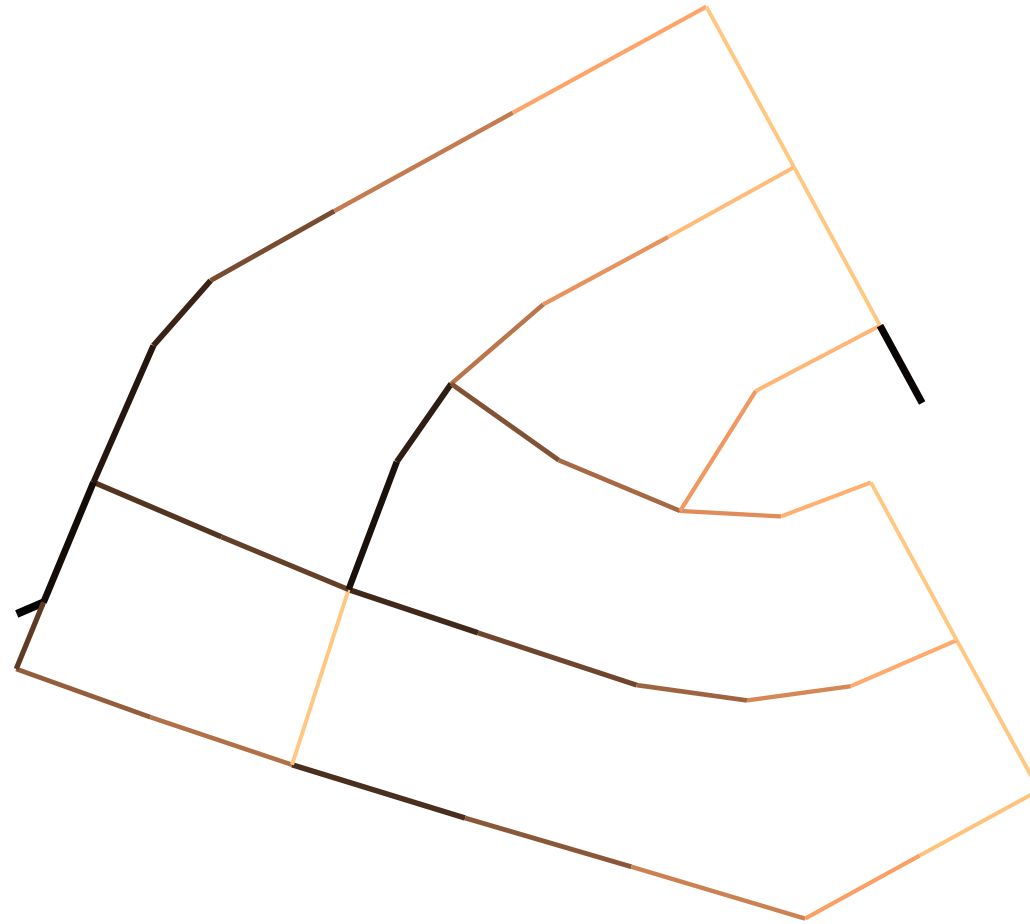
Almere_West G_11



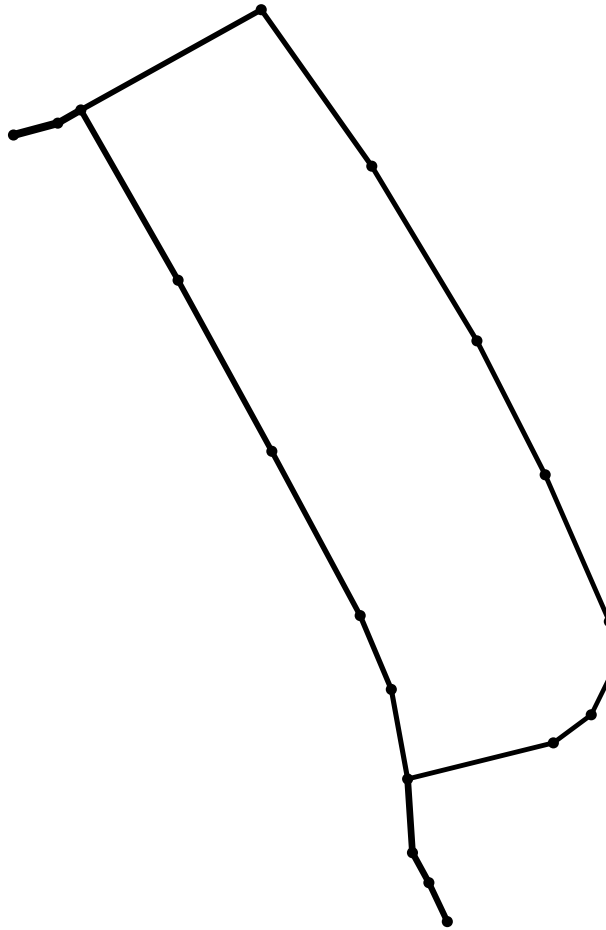
Almere_West G_11



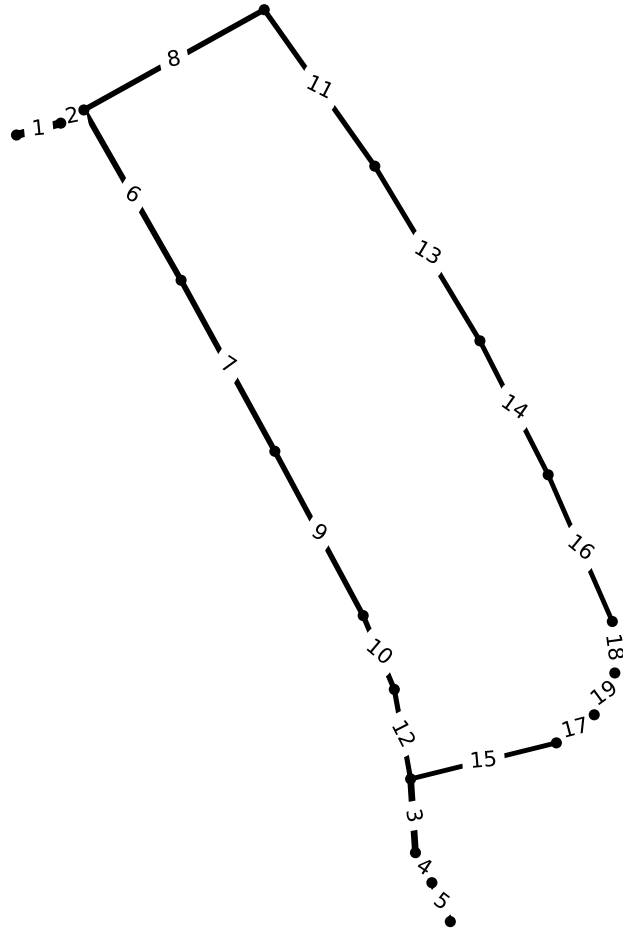
Almere_West G_11



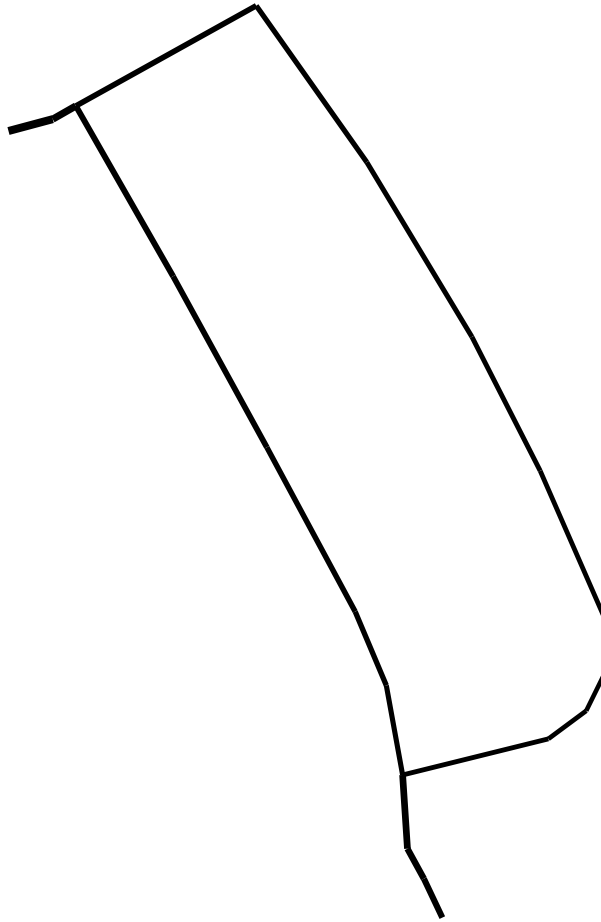
Almere_West G_12



Almere_West G_12



Almere_West G_12

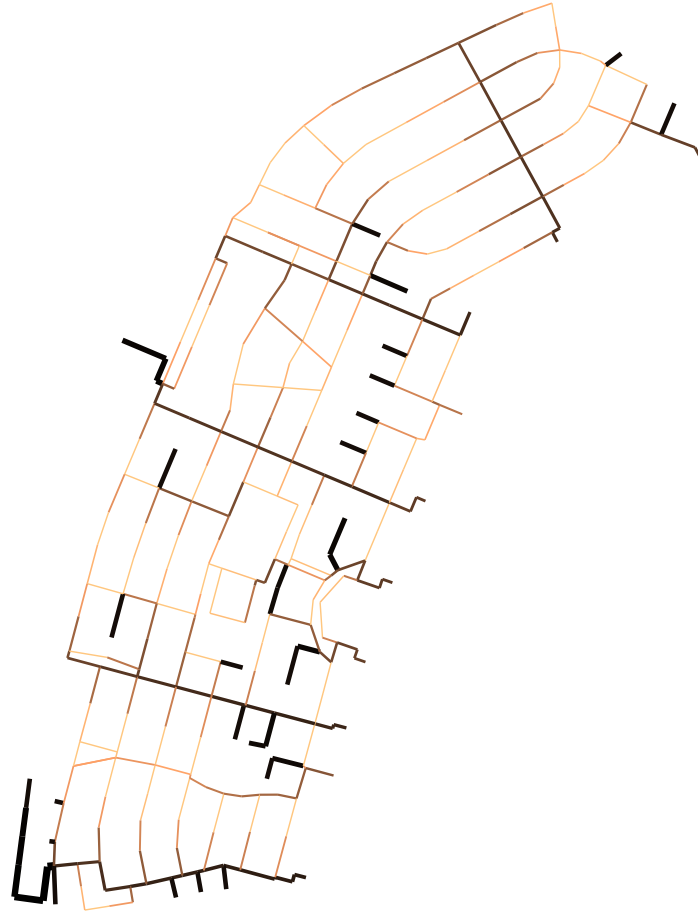


Bijlage 1b, Almere Muziekwijk, HWA-stelsels

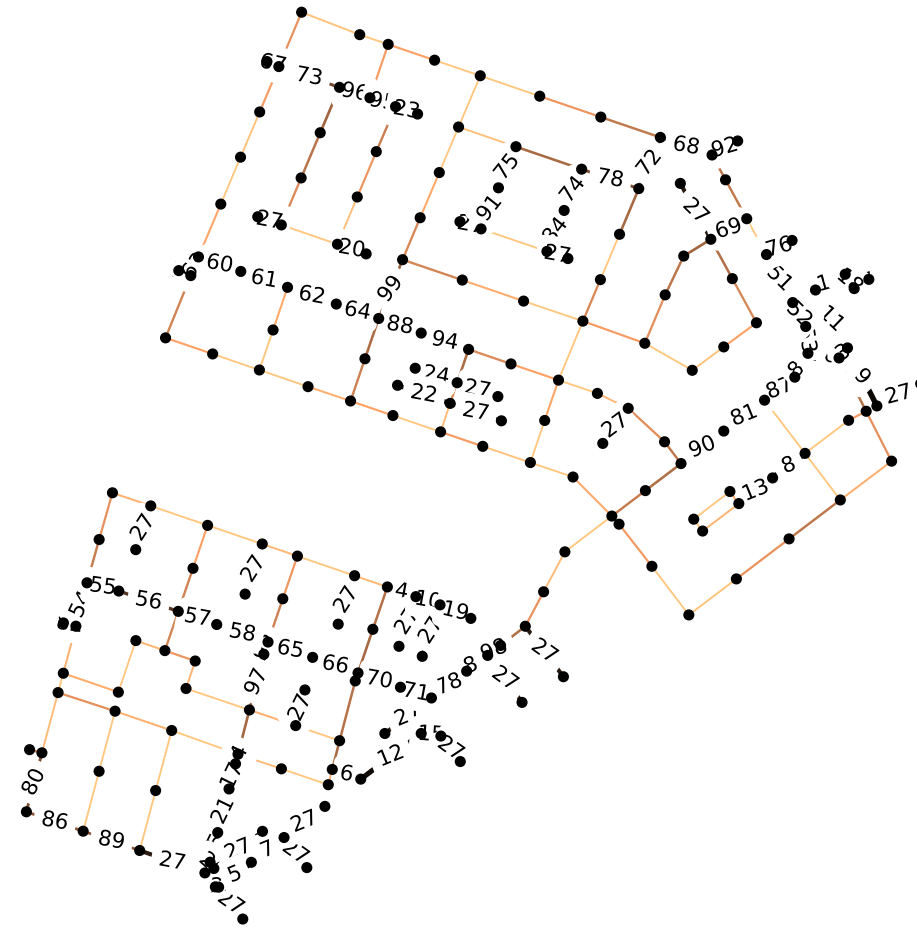
Almere G_0



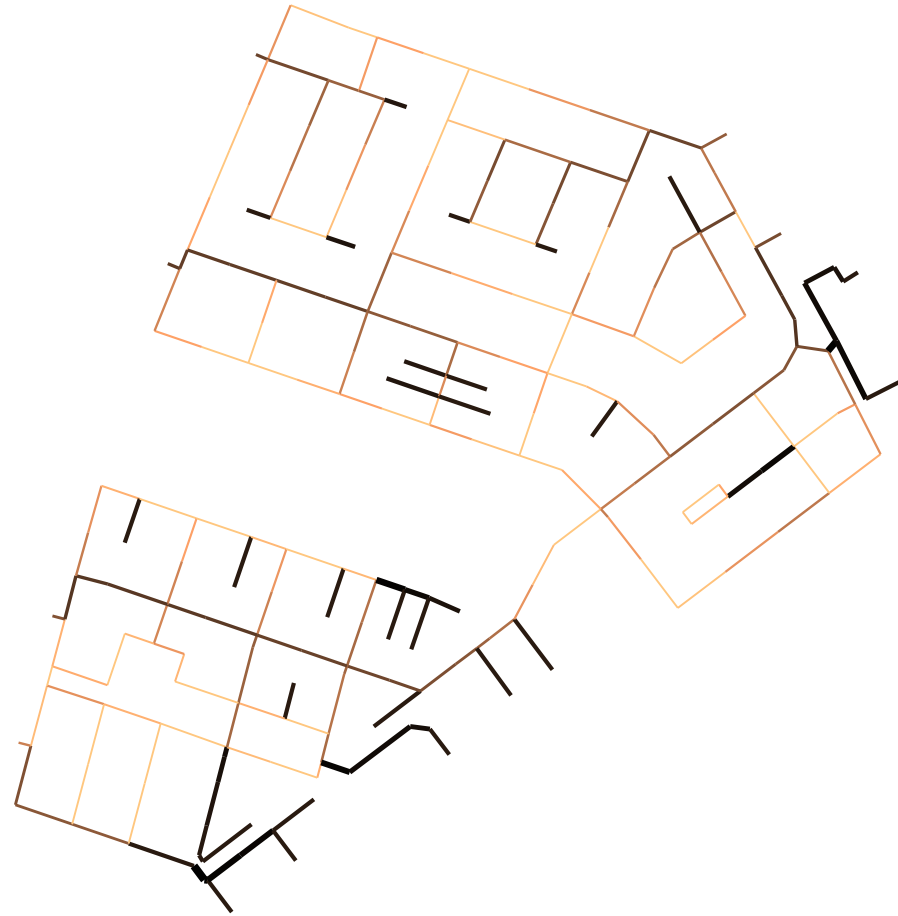
Almere G_0



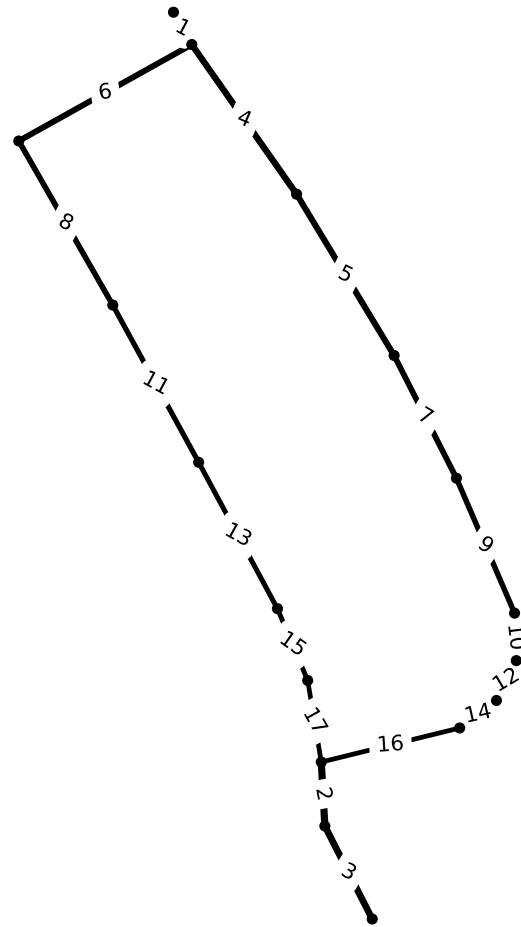
Almere G_1



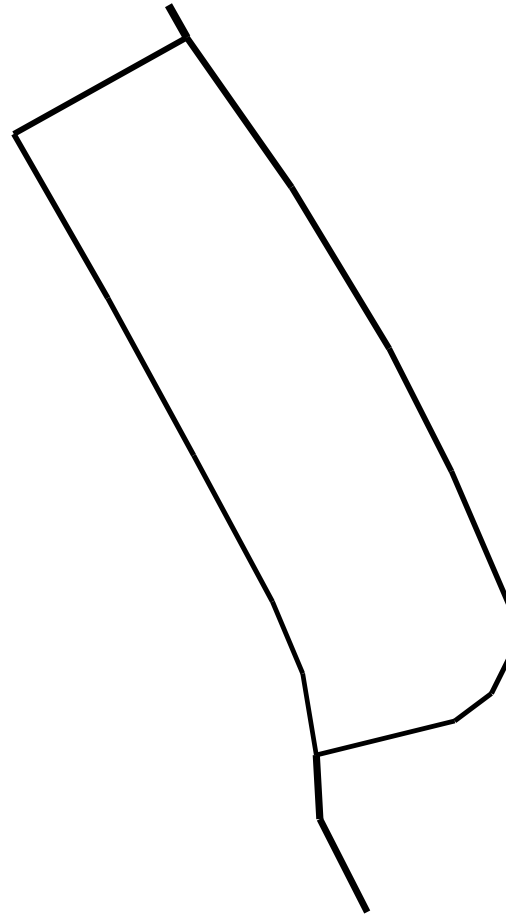
Almere G_1



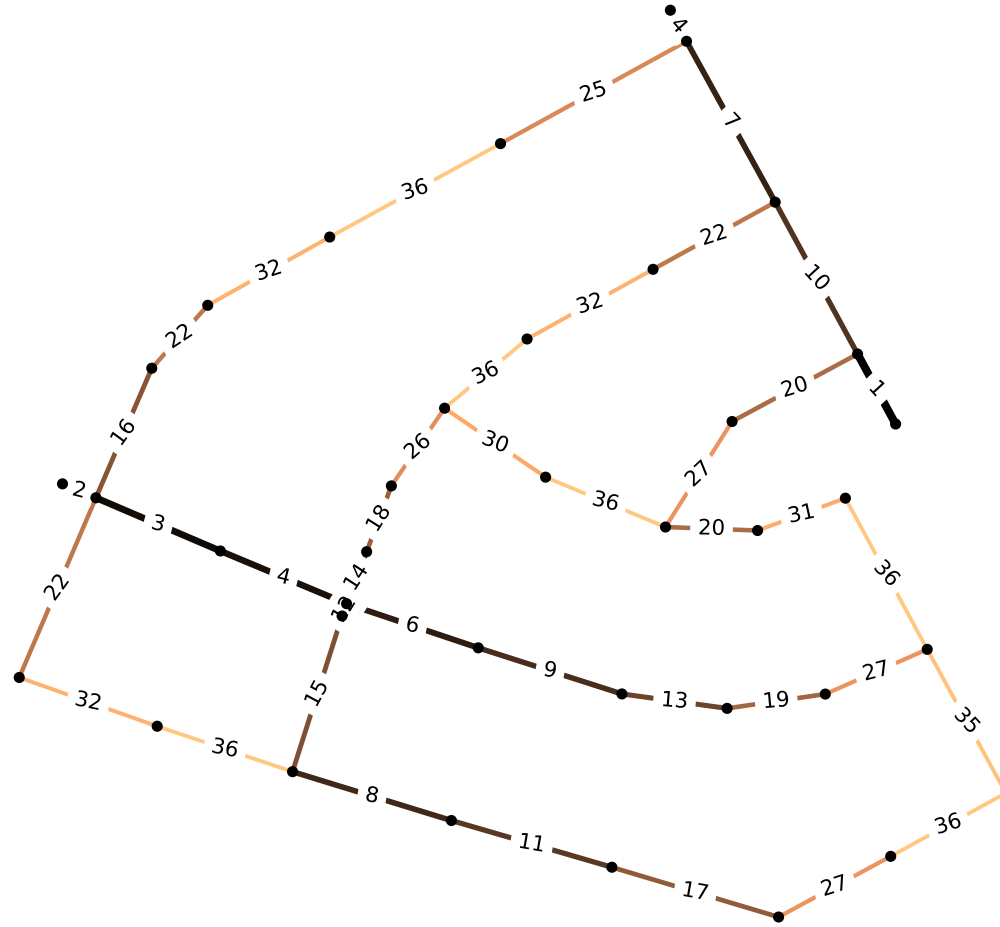
Almere G_2



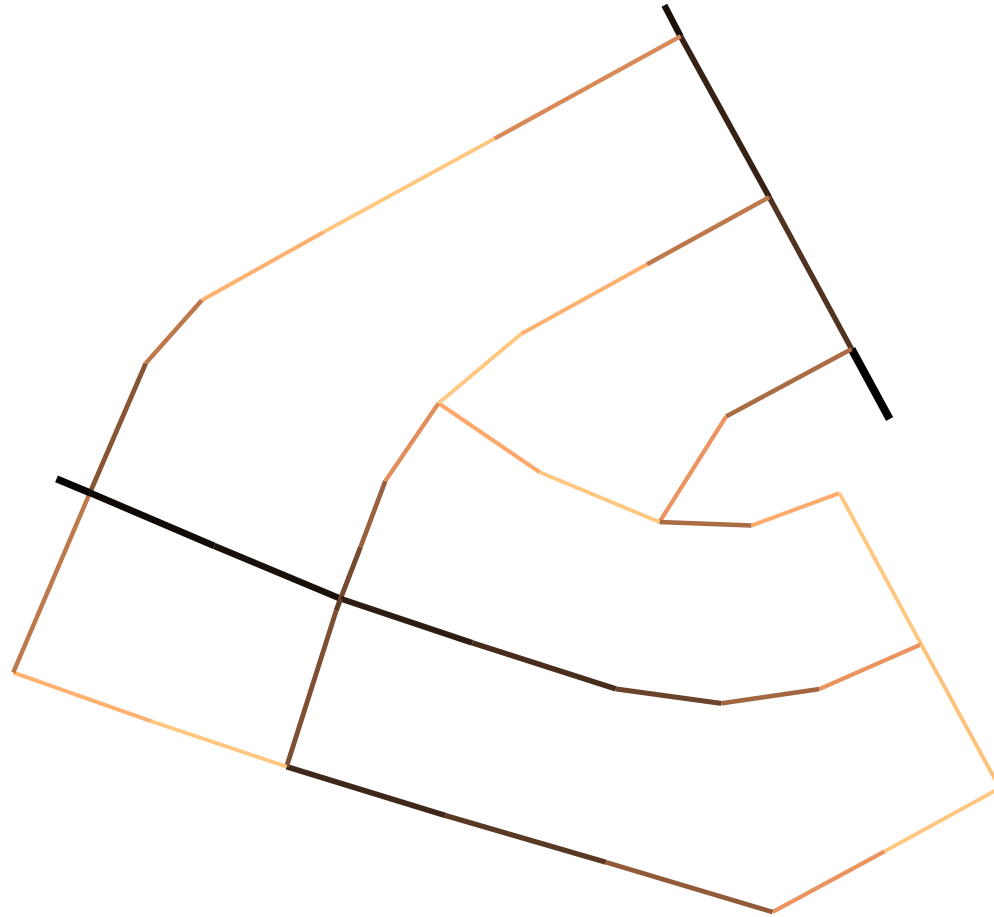
Almere G_2



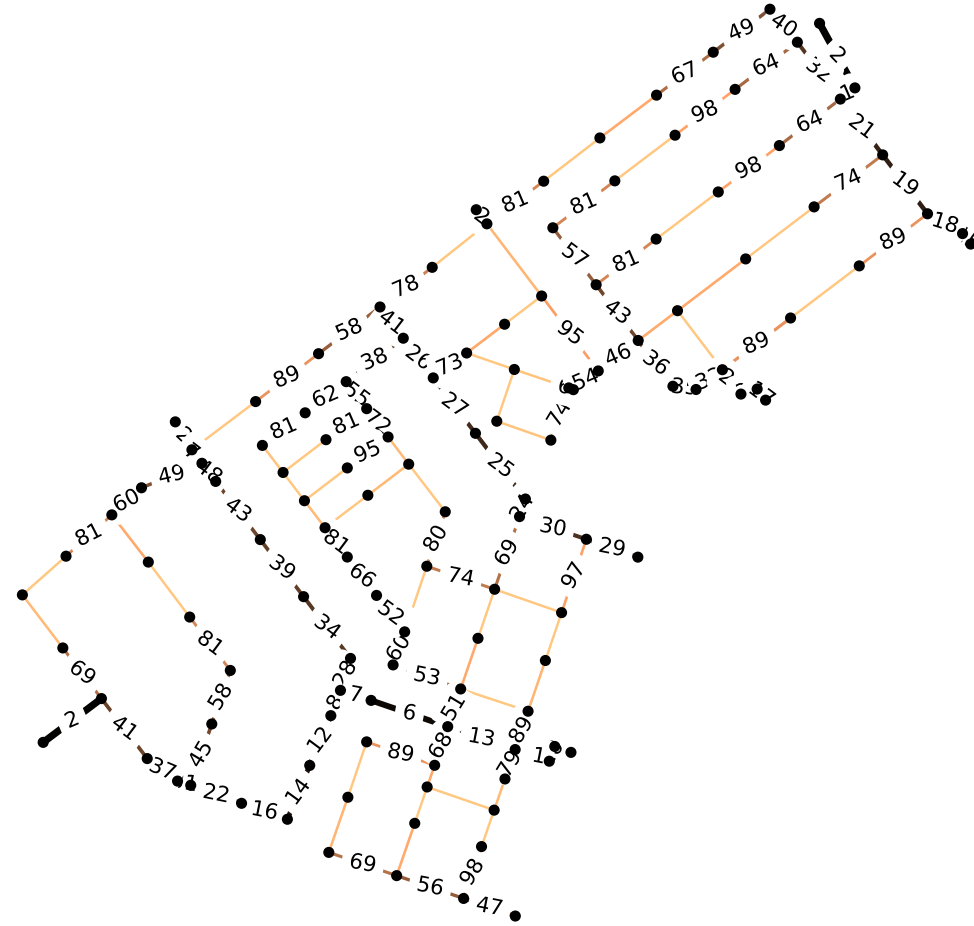
Almere G_3



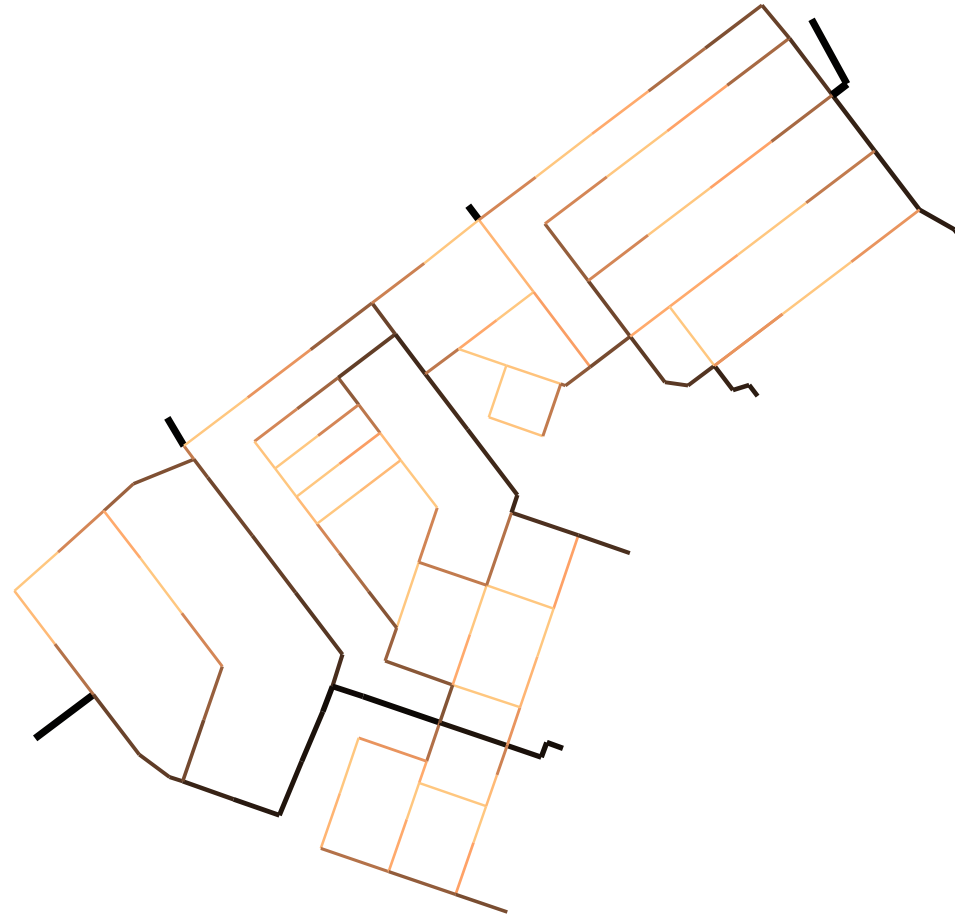
Almere G_3



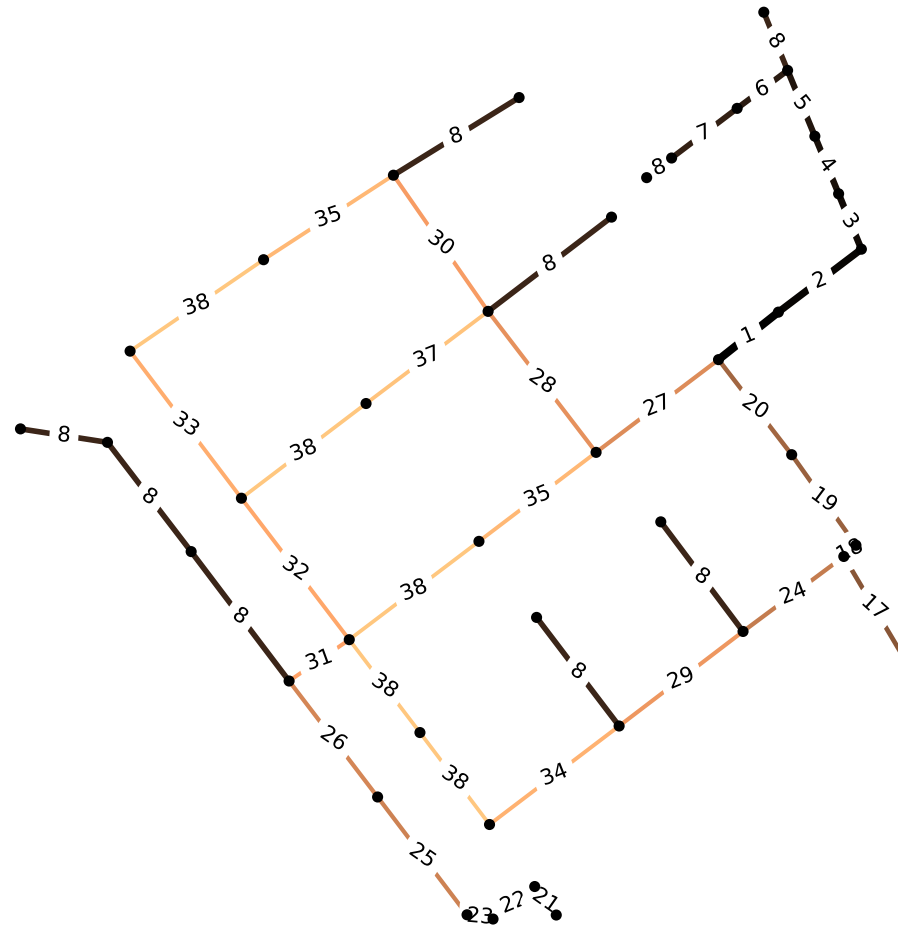
Almere G_8



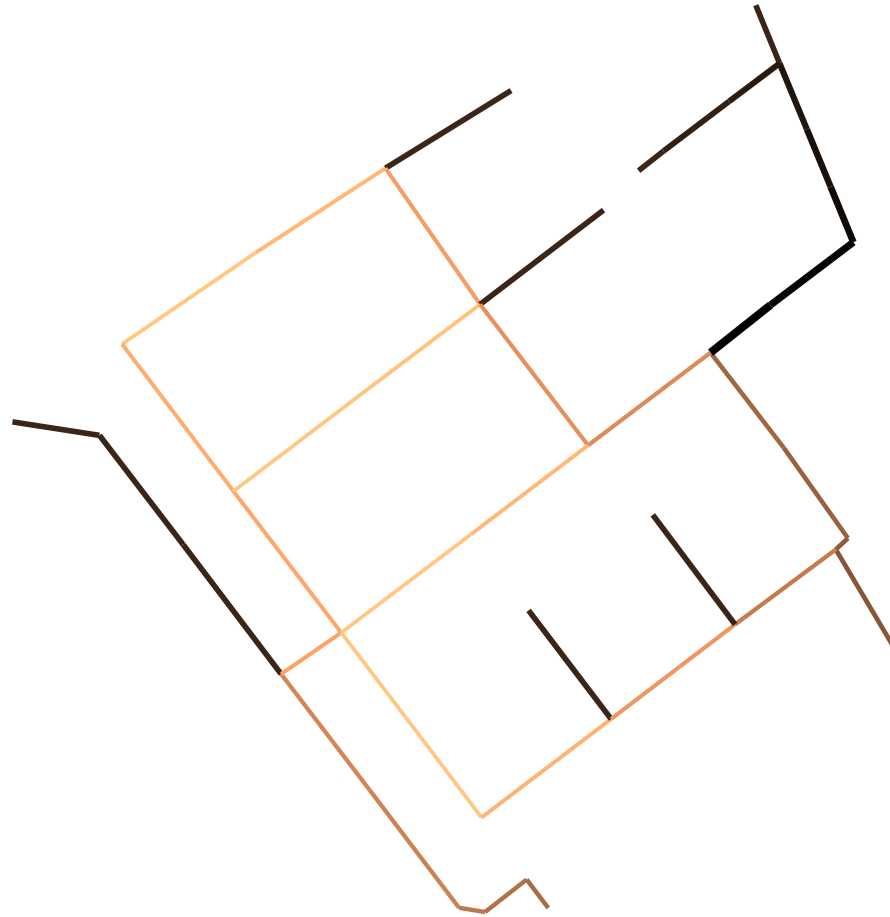
Almere G_8



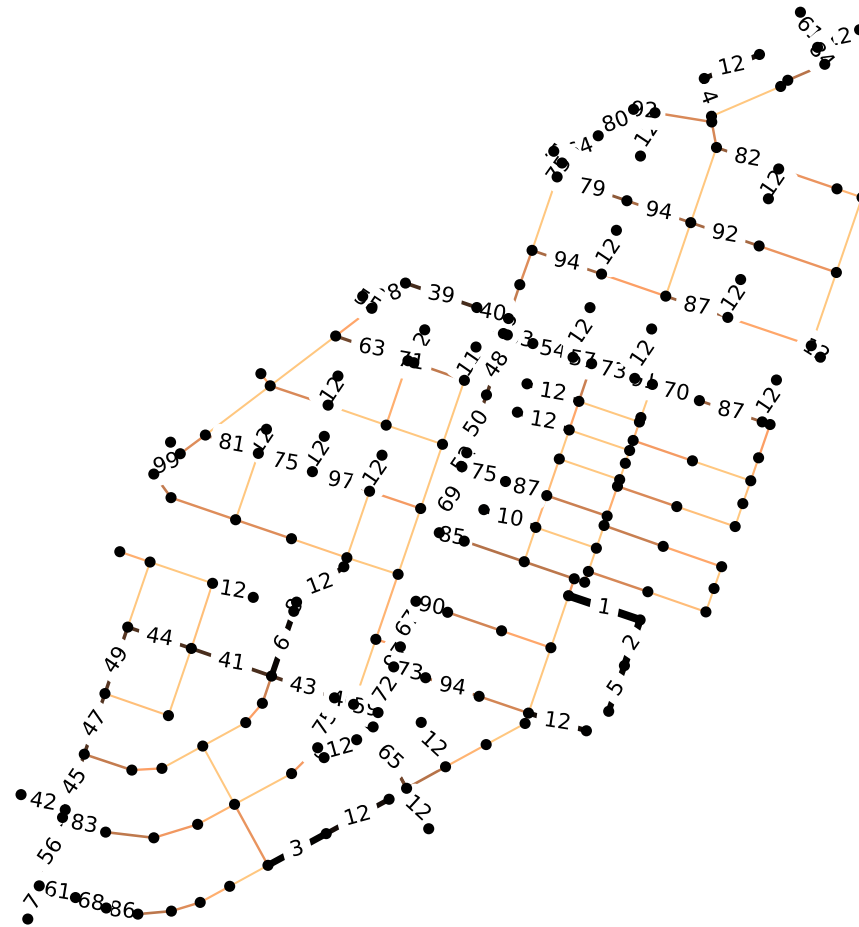
Almere G_9



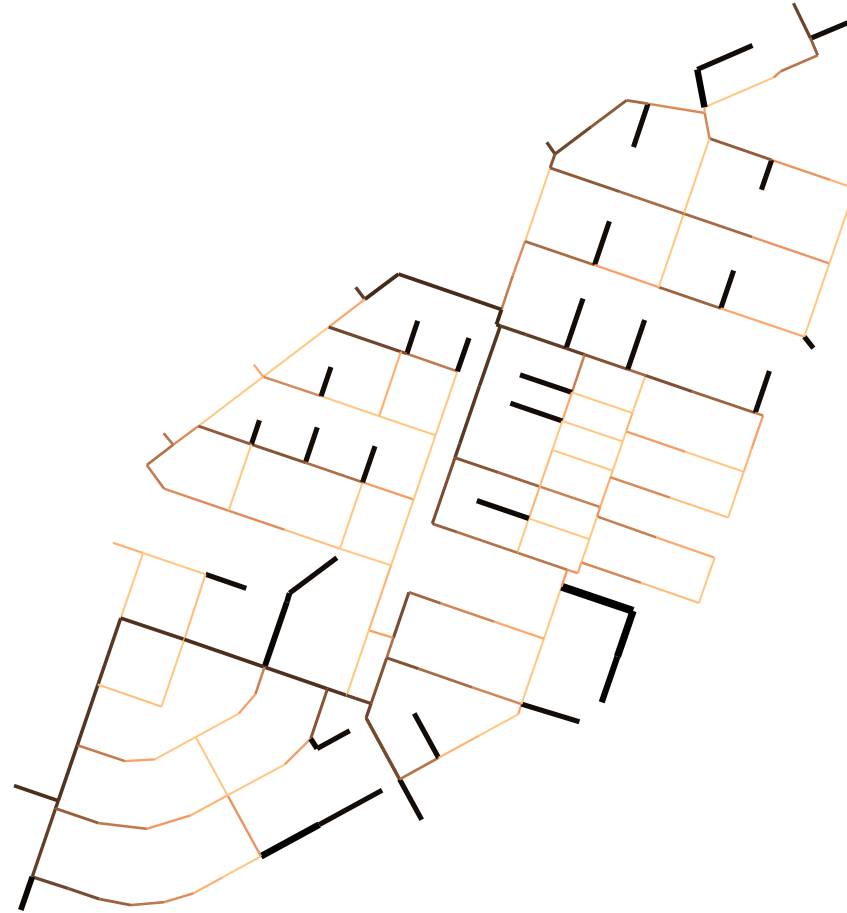
Almere G_9



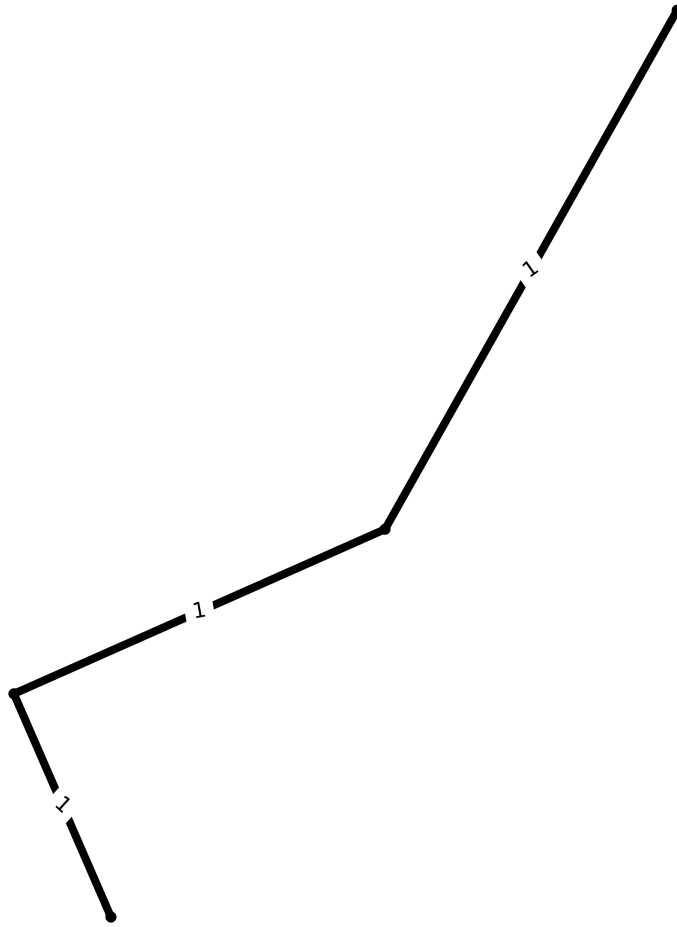
Almere G_10



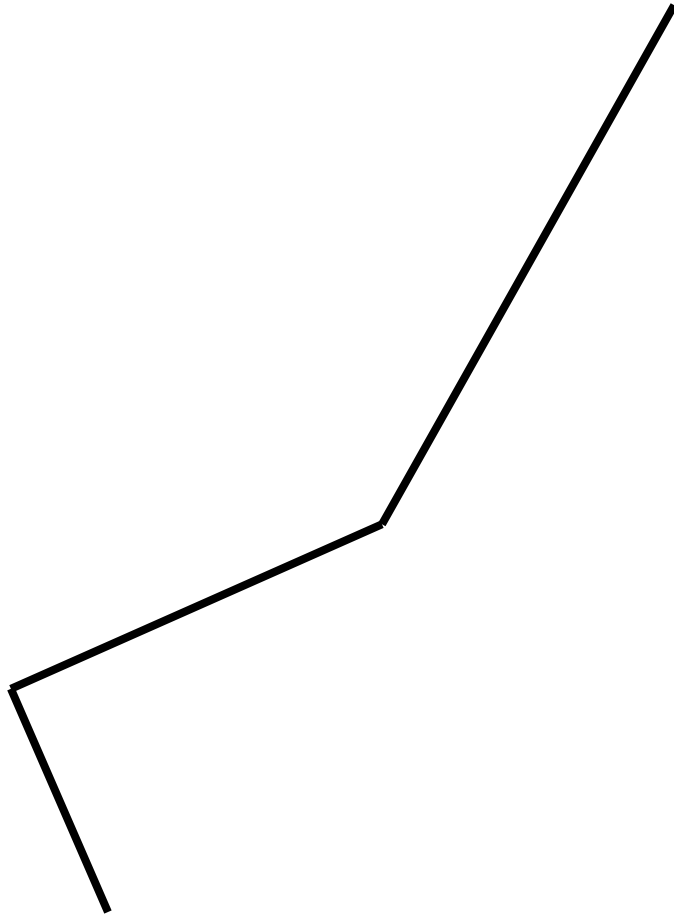
Almere G_10



Almere G_11

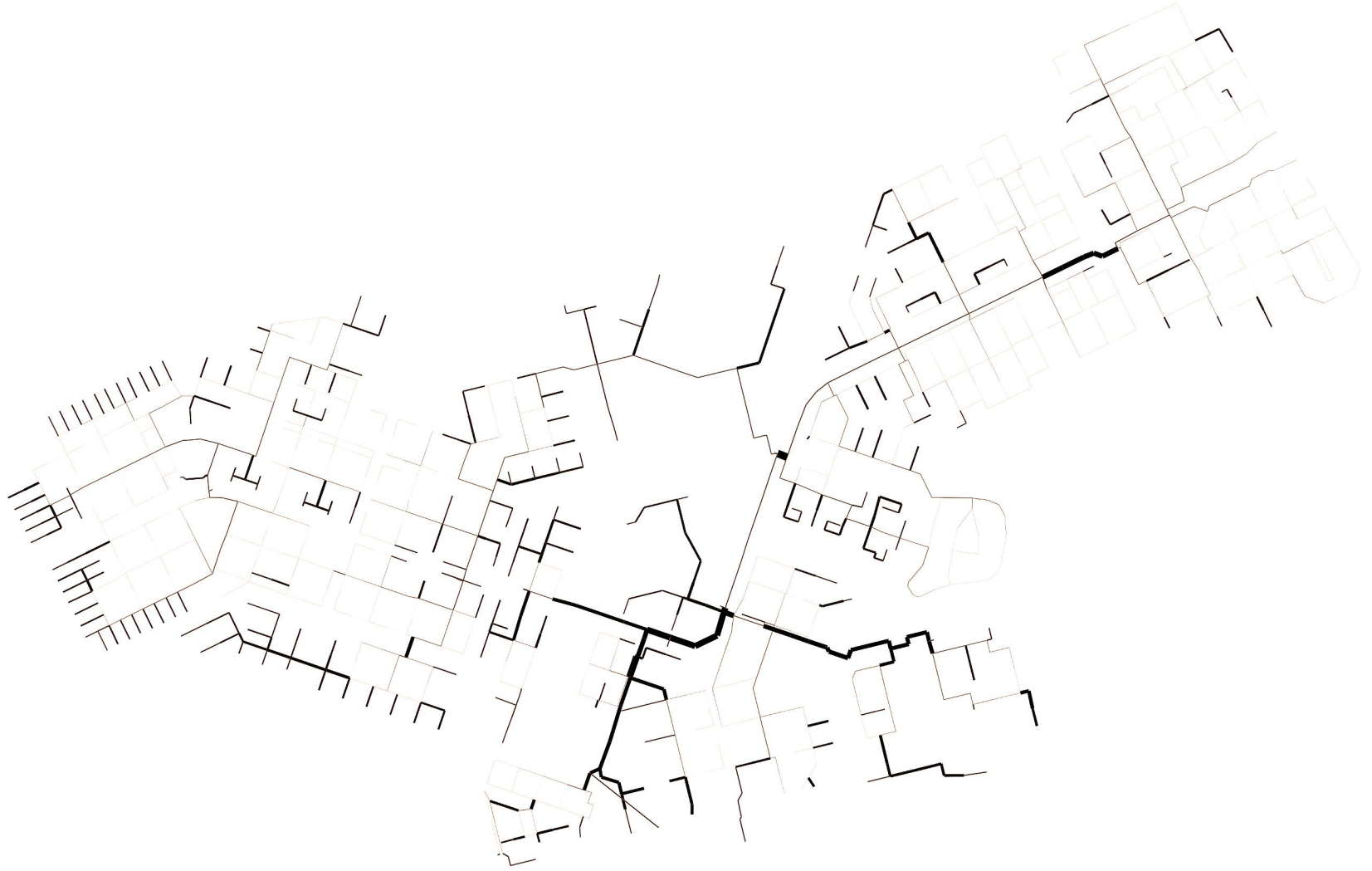


Almere G_11

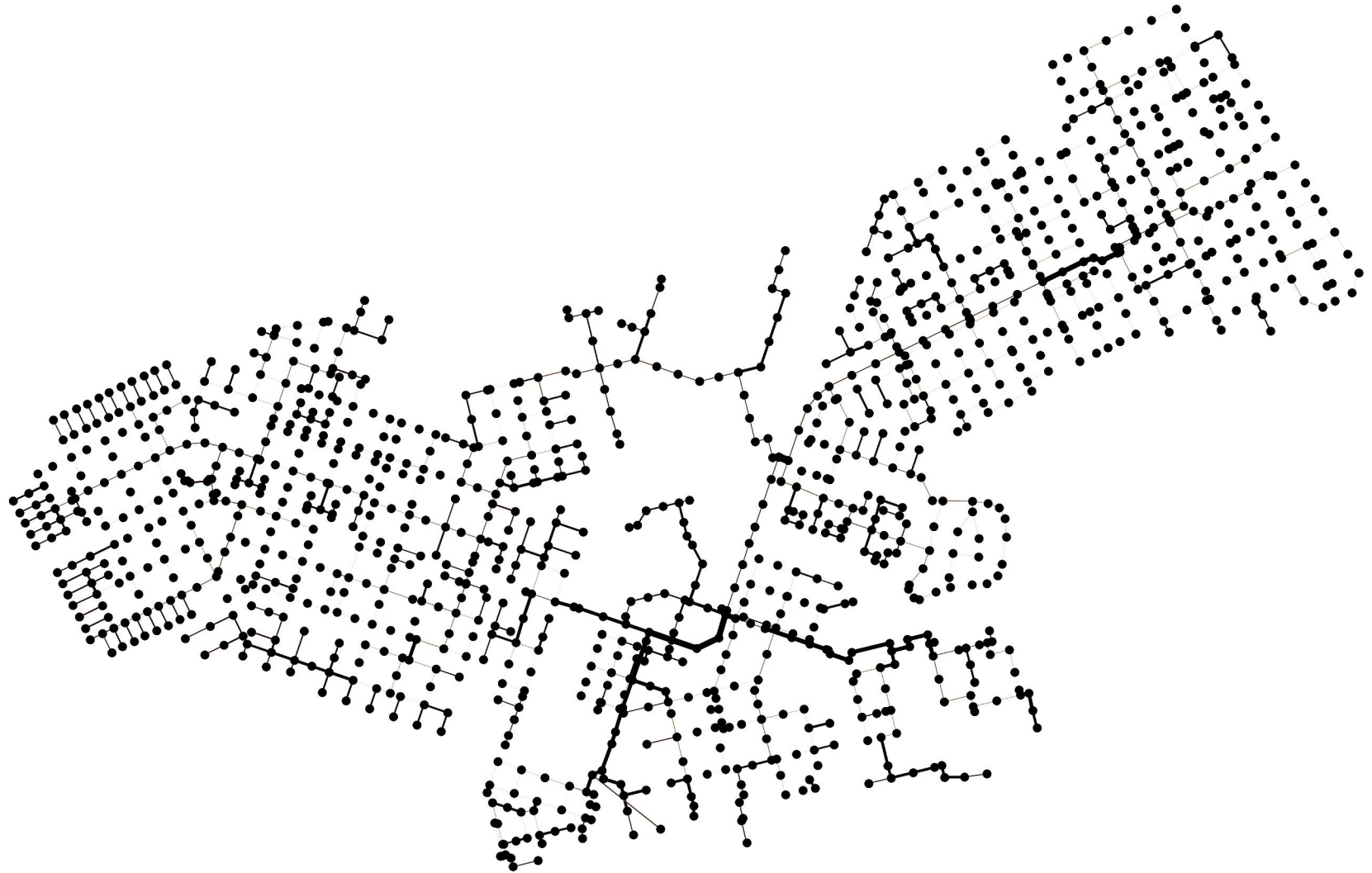


Bijlage 1c, Almere Waterwijk, DWA-stelsels

Almere_Centrum G_0

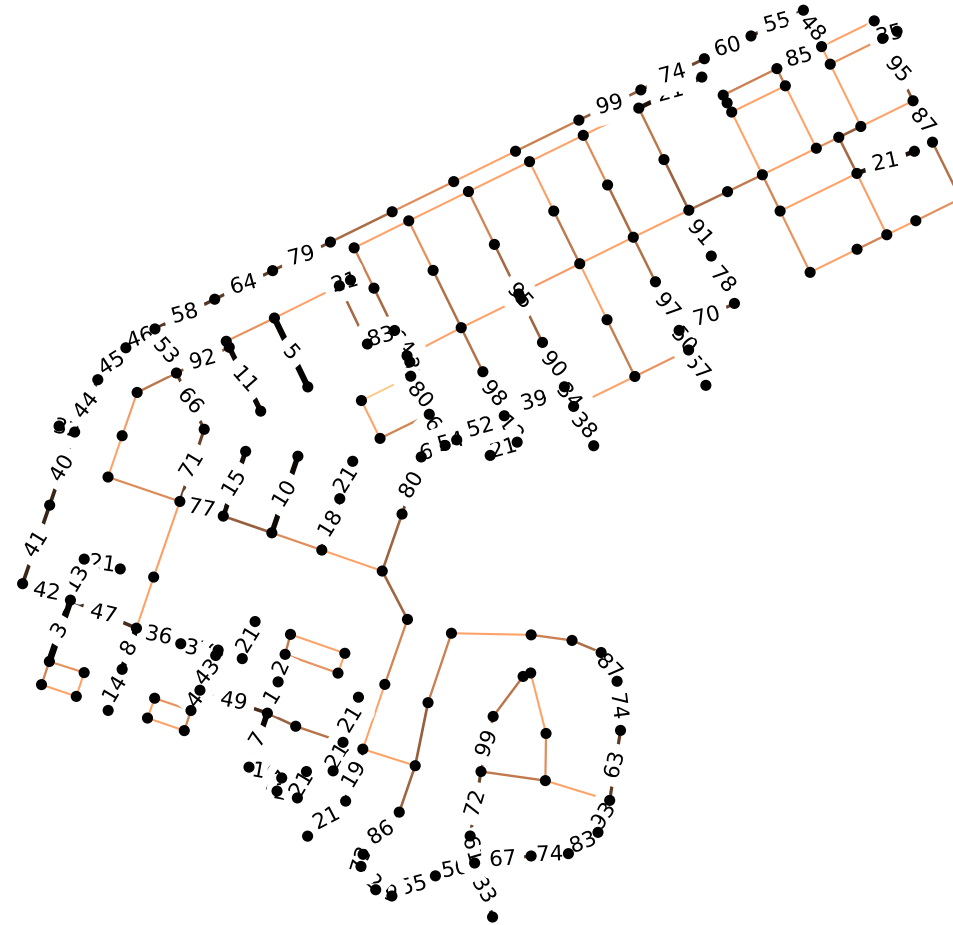


Almere_Centrum G_0

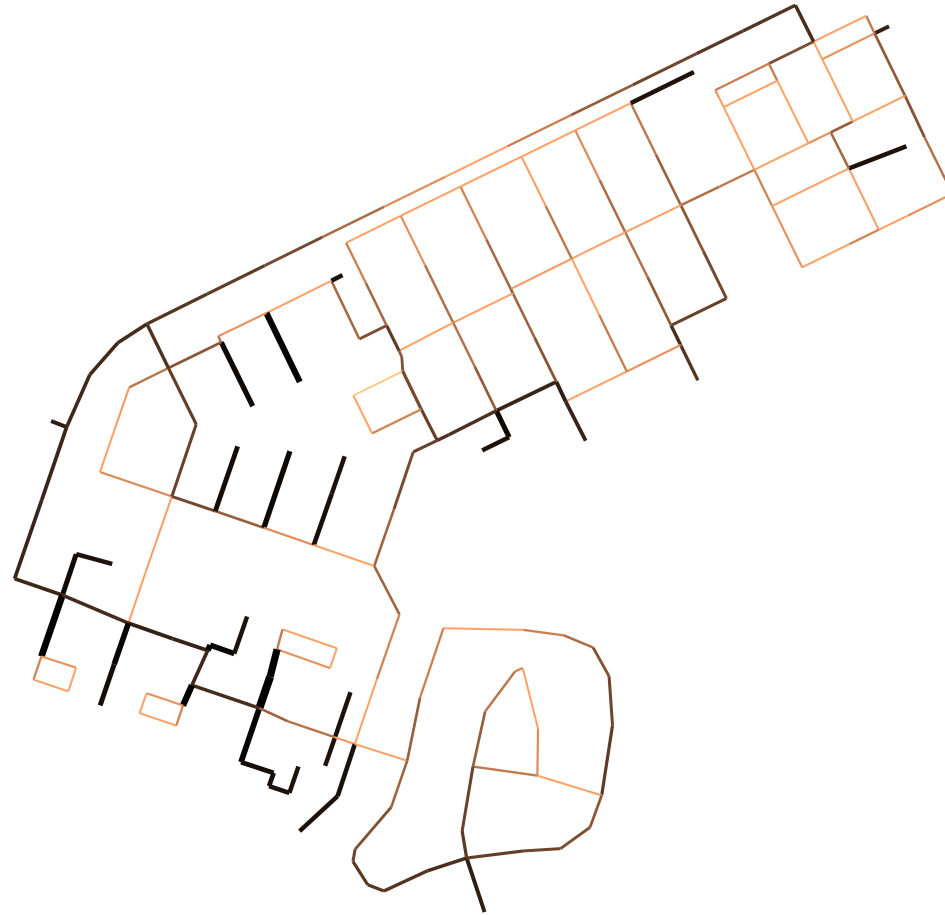


Bijlage 1d, Almere Waterwijk, HWA-stelsels

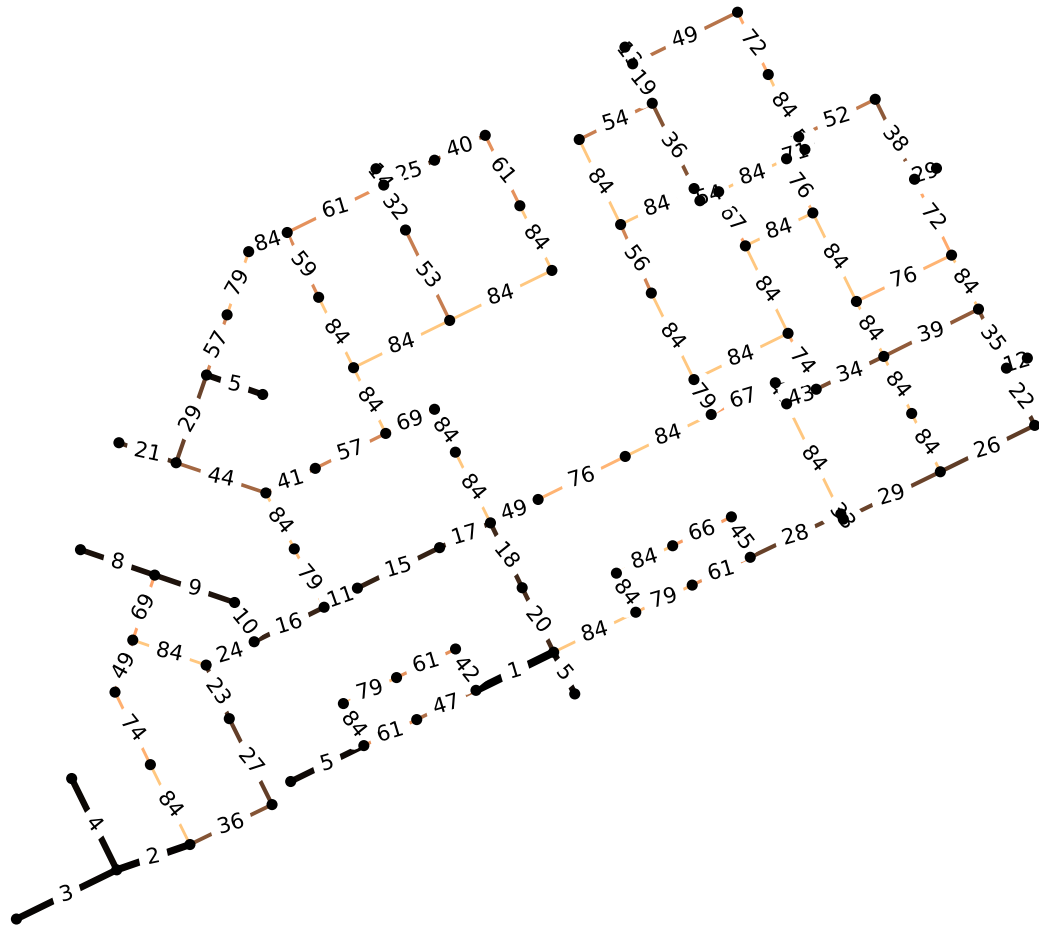
Almere G_4



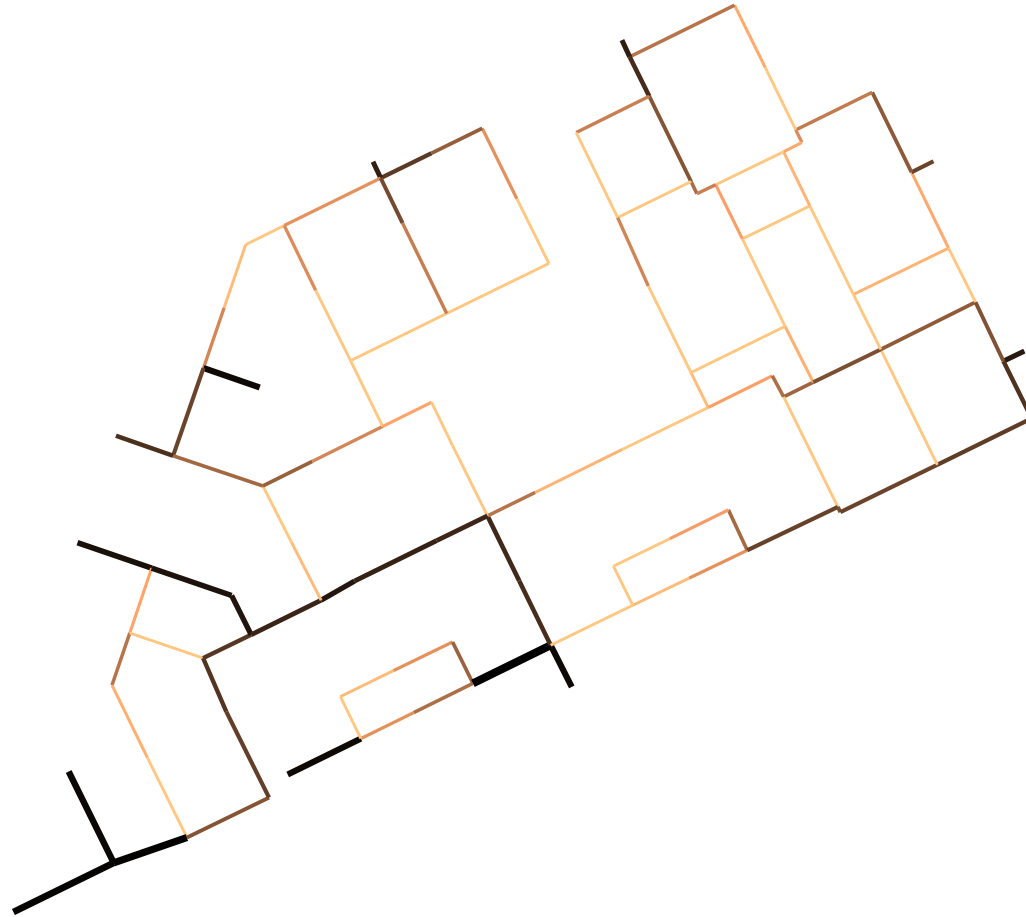
Almere G_4



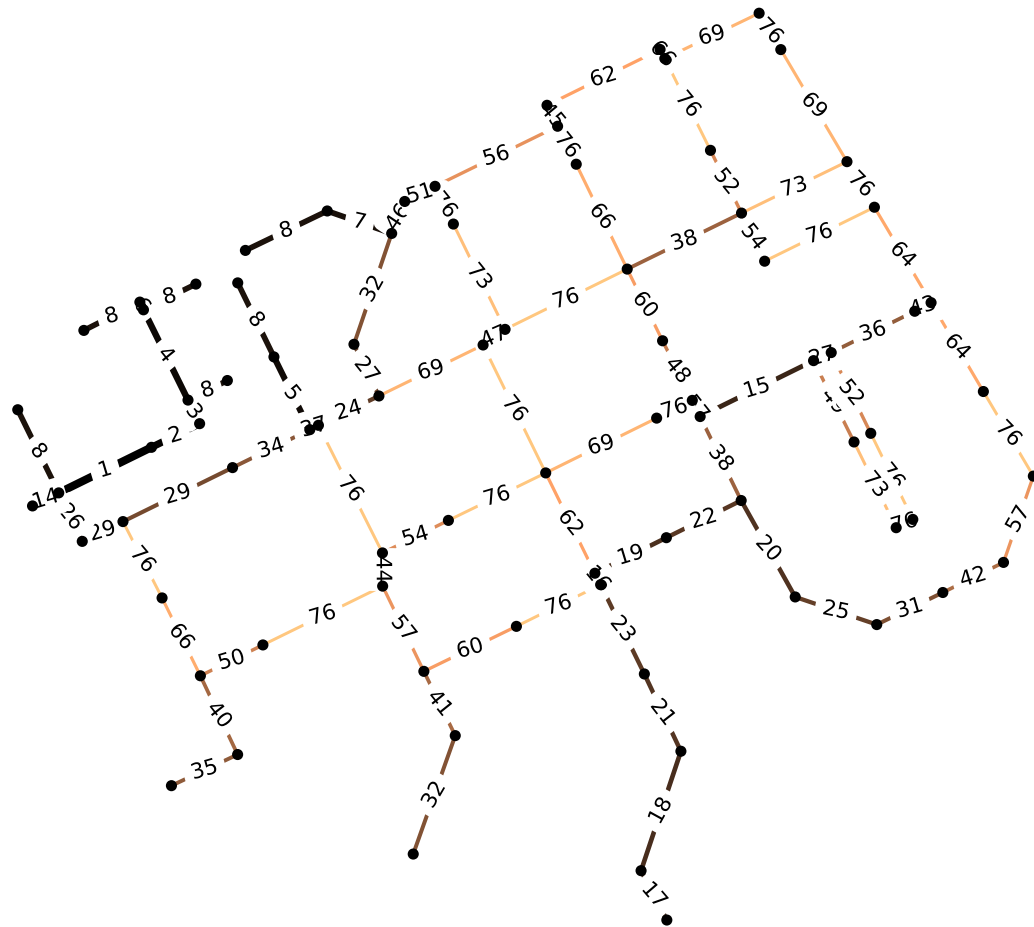
Almere G_5



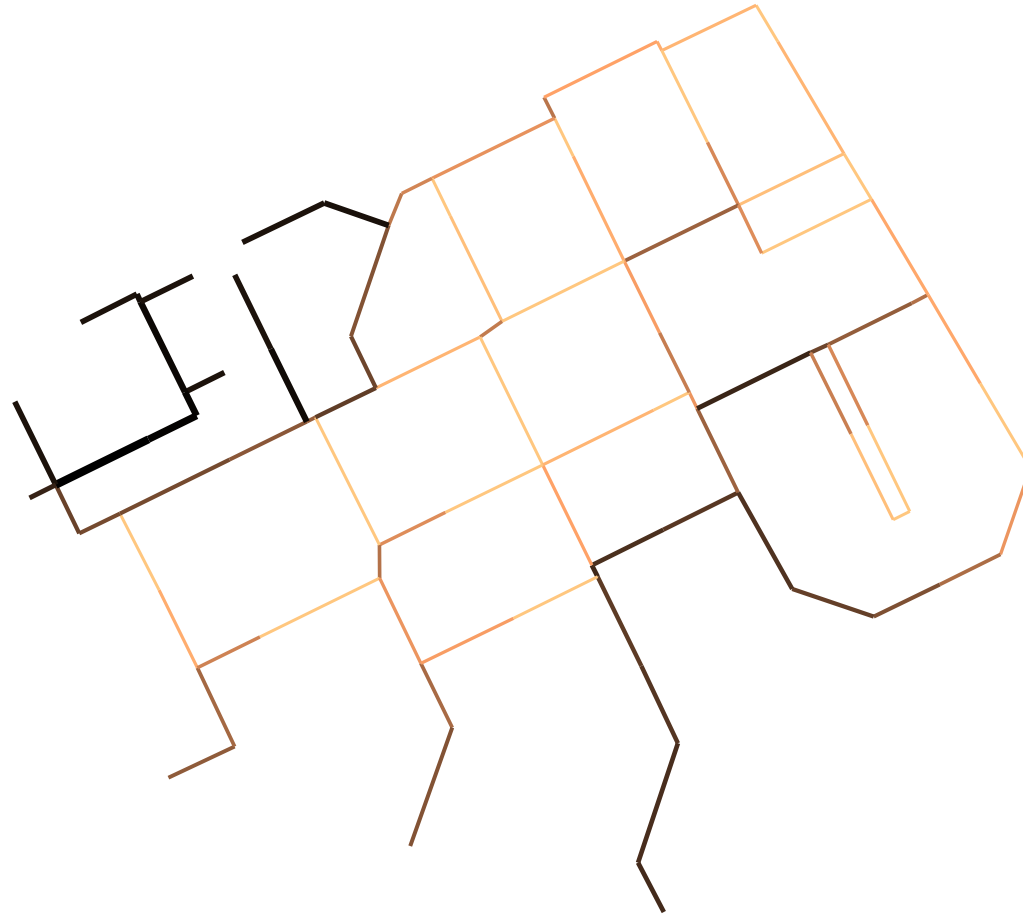
Almere G_5



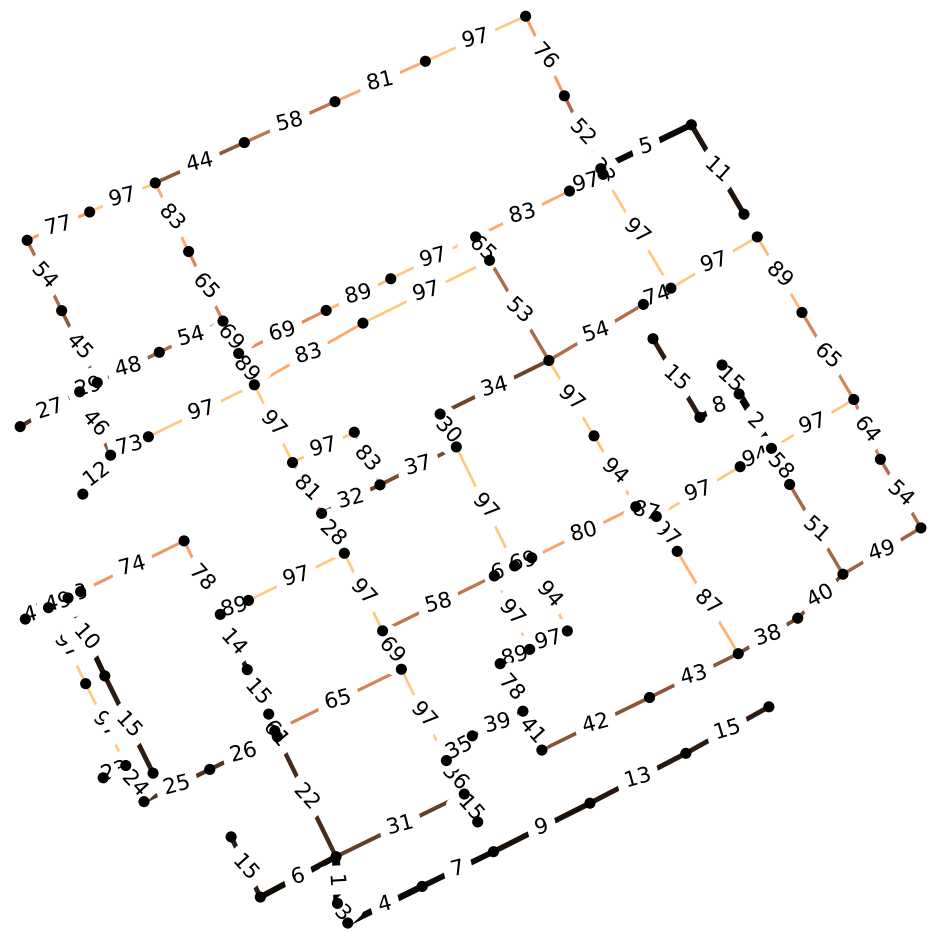
Almere G_6



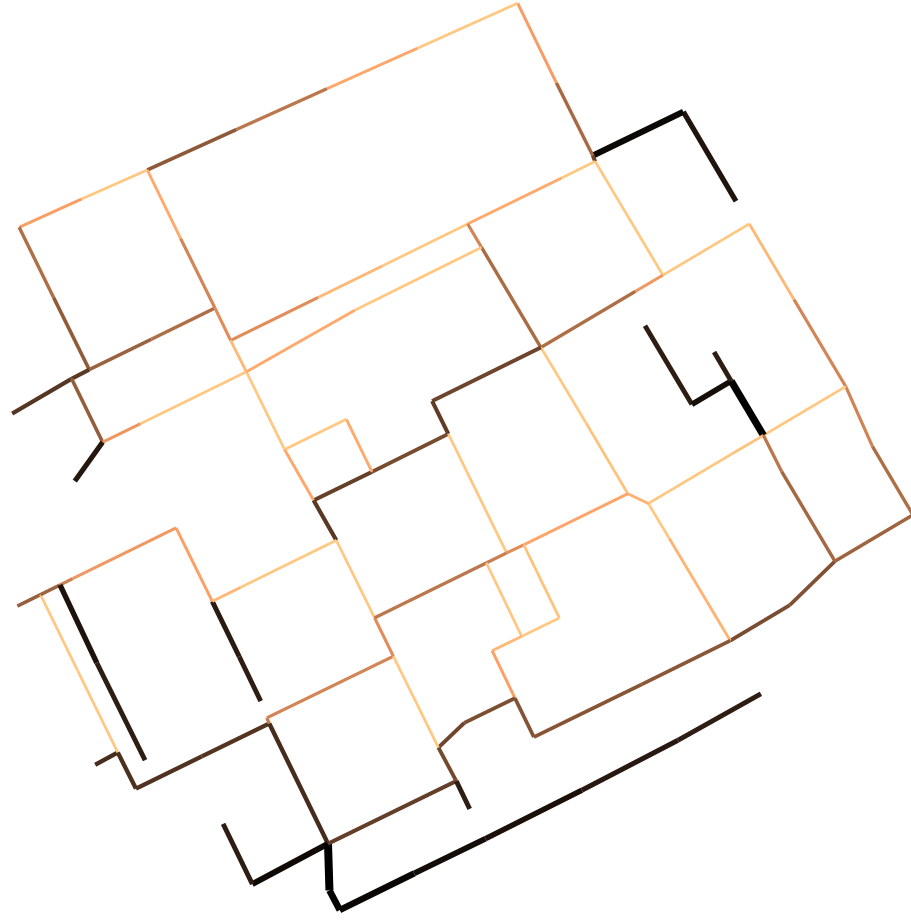
Almere G_6



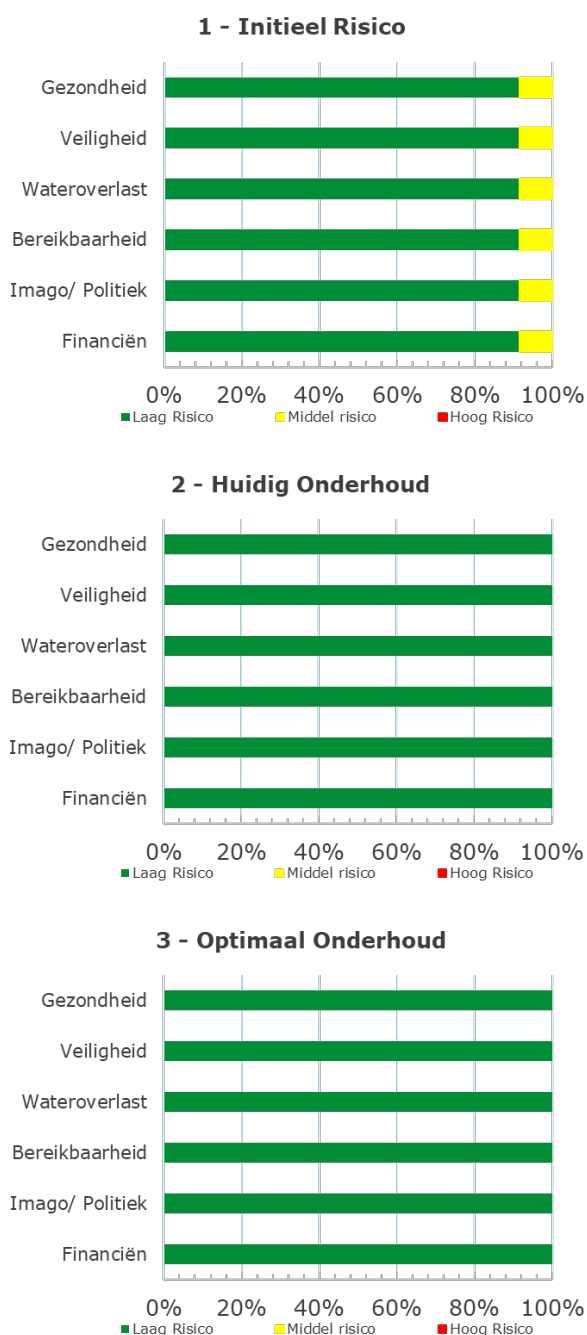
Almere G_7



Almere G_7



J Risico per bedrijfswaarde



Figuur J.1 Risico per bedrijfswaarde