

Samenvatting proefschrift Johan Post

Beheer van kolken en rioolaansluitingen

Beheer van kolken en rioolaansluitingen

Voorwoord

Dit is de Nederlandstalige samenvatting van het proefschrift '*A statistical approach to guide the management of the anterior part of the sewer system*' van Johan Post. Met zijn promotie op 21 november 2016 is Post de derde promovendus uit het Kennisprogramma Urban Drainage.

Het Kennisprogramma Urban Drainage is in 2010 gestart om de leerstoel riolering aan de TU Delft te versterken. Naast het ontwikkelen van nieuwe kennis moet het zorgen voor voldoende nieuwe aanwas van ingenieurs en promovendi op het vakgebied riolering. Beide zijn nodig om het hoofd te bieden aan de uitdagingen waarvoor de sector staat, zoals klimaatverandering, doelmatigheid, hergebruik, verouderende infrastructuur, verantwoording en transparantie, en het vinden van kwalitatief hoogwaardig personeel.

In het kennisprogramma staan vier thema's centraal:

- assetmanagement met accent op rioolvervanging;
- assetmanagement met accent op operationeel beheer;
- inzicht in dynamisch functioneren van afvalwatersystemen;
- waterketen van de toekomst en nieuwe sanitatie.

Op alle thema's zijn promovendi aan de slag gegaan om te werken aan wetenschappelijke ontwikkeling en innovaties. Om de ontwikkelde kennis binnen de sector zo goed mogelijk te delen, hebben Stichting RIONED en STOWA besloten een Nederlandstalige samenvatting van de proefschriften uit te geven.

In deze samenvatting van het proefschrift van Johan Post staan de resultaten van zijn onderzoek naar het functioneren en het operationeel beheer van kolken, kolkaansluitleidingen en huisaansluitingen. Welke invloed heeft het functioneren van deze objecten op de werking van het rioolsysteem als geheel? Wat is de effectiviteit van proactieve maatregelen? Hoe is het beheer verder te optimaliseren, zodat de maatschappelijke doelmatigheid verbetert? In het volledige (Engelstalige) proefschrift vindt u meer informatie over de toegepaste statistische methoden, modellen en technieken. Het proefschrift '*A statistical approach to guide the management of the anterior part of the sewer system*' van Johan Post kunt u downloaden via: <http://repository.tudelft.nl/>.

Wij wensen u veel leesplezier en inspiratie toe.

Hugo Gastkemper, Stichting RIONED
Joost Buntsma, STOWA

November 2016

Inhoud

Voorwoord 5

1 Inleiding 7

- 1.1 Aanleiding 7
- 1.2 Uitdagingen 8
- 1.3 Doel onderzoek en samenvatting 8
- 1.4 Leeswijzer 9

2 Faalmechanismen van huisaansluitingen: wat kan misgaan en hoe vaak gaat het mis? 10

- 2.1 Verstoppingsdata 10
- 2.2 Faalmechanismen 10
- 2.3 De onderliggende oorzaak 11
- 2.4 Gevolgen voor dienstverleningsniveau 11

3 Welke huisaansluitingen zijn gevoelig voor verstopping? 13

- 3.1 Verstoppingsgevoelige gebieden identificeren 13
- 3.2 Variabelen die verschillen in aantal verstoppingen verklaren 13
- 3.3 Modelprestaties en theoretische doelmatigheid 14

4 Hoe effectief is periodieke kolkenreiniging? 16

- 4.1 Meldings- en reinigingsdata 16
- 4.2 Kolkgerelateerde meldingen in de tijd 16

5 Hoe verloopt de slibopbouw in kolken? 18

- 5.1 Meetopzet 18
- 5.2 Meetresultaten 19
- 5.3 Relatie tussen ontwerp en slibopbouw 20

6 Proactief beheer van kolkaansluitleidingen 22

- 6.1 Inspecties prioriteren 22
- 6.2 Effectiviteit van maatregelen meten 23

7 Conclusies en aanbevelingen 25

- 7.1 Conclusies 25
- 7.2 Aanbevelingen 26
- 7.3 Meerwaarde voor rioleringsbeheerders 26

Dankwoord 27

Literatuur 28

Wetenschappelijke publicaties over het onderzoek 29

Colofon 30

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Een riolsysteem bestaat uit een stelsel van rioolbuizen, rioolputten, kolken, kolkaansluitleidingen, huisaansluitingen, gemalen en overstorten. De prestaties van het riolsysteem en daarmee het geleverde dienstverleningsniveau zijn direct gerelateerd aan de toestand en het functioneren van al deze objecten. In de wetenschappelijke wereld en de praktijk gaat veel aandacht uit naar het hoofdriool: de rioolbuizen, rioolputten, gemalen en overstorten. De 'voorkant' van de riolering (kolken, kolkaansluitleidingen en huisaansluitingen) kreeg tot nu toe veel minder aandacht. Het proefschrift van Johan Post richt zich specifiek op het functioneren en het operationeel beheer van de voorkant van de riolering.



Figuur 1.1 Vervanging huisaansluitingen (links) (foto: Van der Meer B.V.)



Figuur 1.2 Afstromend water richting kolk (rechts) (foto: BvBeeld/Stichting RIONED)

Huisaansluitingen

De totale lengte van huisaansluitingen is vergelijkbaar met de lengte van het benedenstroomse hoofdriool. Vaak beheert de huiseigenaar de huisaansluiting (gedeeltelijk). Dit komt in de praktijk neer op het inschakelen van een ontstoppingsbedrijf zodra de afvoer niet meer goed werkt. Door deze beheersituatie hebben de meeste rioleringsbeheerders geen goed zicht op het functioneren van huisaansluitingen. Wel is het evident dat het disfunctioneren van huisaansluitingen direct gevolgen heeft, terwijl dit bij een hoofdriool in een vermaasd rioolstelsel niet zo is. De gevolgen van een verstopping kunnen variëren van het niet goed kunnen afvoeren van huishoudelijk afvalwater tot in pandige wateroverlast. Daarnaast kan de toestand van huisaansluitingen gevolgen hebben voor het functioneren van het benedenstroomse riolsysteem. Zo zijn de huisaansluitingen verantwoordelijk voor de ontluchting van riolen en hebben ze een aandeel in de totale hoeveelheid grondwaterinfiltratie, dat kan oplopen tot 55% (Sullivan *et al.*, 1977). Vanwege de behoefte aan doelmatig integraal beheer van het riolsysteem is in het Verenigd Koninkrijk het eigendom van huisaansluitingen in de openbare ruimte recentelijk overgedragen aan de waterbedrijven (Defra, 2011).

Kolk(aansluitleidingen)

Uit eerder onderzoek (Ten Veldhuis & Clemens, 2011) blijkt dat kolkverstoppingen de dominante oorzaak zijn van wateroverlast in de openbare ruimte en niet hevige neerslag (herhalings-tijd groter dan twee jaar) of rioolverstoppingen. Hieruit is te concluderen dat de toestand van kolken vaak de lokale hydraulische capaciteit van het riolsysteem beperkt. Dit betekent dat de werkelijke kans op wateroverlast veel groter is dan volgt uit reguliere hydraulische

berekeningen, want daarbij blijft het functioneren van kolken immers buiten beschouwing. Daarnaast hebben kolken invloed op het milieutechnisch functioneren van de riolering vanwege de zandvang waarin deeltjes met daaraan gehechte verontreinigingen bezinken, zoals polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), polychloorbifenylen (PCB) en zware metalen.

1.2 Uitdagingen

Gemeenten beheren de voorkant van de riolering voornamelijk reactief. Dat wil zeggen dat ze pas overgaan tot reparatie of vervanging als zich een calamiteit voordoet. Hierdoor worden bewoners blootgesteld aan de negatieve gevolgen van een defect, zoals hinder, schade en gezondheidsrisico's. Bovendien is het volledig reactief beheren van een systeem duurder dan meer proactieve beheervormen (Fenner, 2000). Bij proactief beheer neemt de gemeente maatregelen voordat een defect ontstaat.

Informatiebehoefte

Om te kunnen inschatten wanneer preventieve maatregelen noodzakelijk zijn, is informatie over de toestand van een object nodig. Voor riolen zijn bijvoorbeeld camera-inspectie, buisleeftijd en zettingsgraad belangrijke informatiebronnen. Maar voor de voorkant van de riolering is dit soort informatie schaars, waardoor proactief beheer van deze objecten moeilijk is. Daarnaast zijn verstoppingen in kolkaansluitleidingen en huisaansluitingen het resultaat van complexe processen die beïnvloed worden door meerdere variabelen. Deze variabelen kunnen compleet onafhankelijk zijn van de constructieve toestand van een object, waardoor het lastig is verstoppingen met computermodellen te voorspellen.

Periodieke kolkenreiniging

Gemeenten beheren kolken wel proactief in de vorm van periodieke reiniging. Jaarlijks besteden de Nederlandse gemeenten circa 26 miljoen euro aan kolkenreiniging. Ondanks deze inspanningen zijn kolkgerelateerde defecten nog steeds de voornaamste reden van wateroverlastmeldingen in de openbare ruimte. Beheerders geven de volgende argumenten voor het gekozen reinigingsinterval (meestal een half jaar of een jaar):

- expert judgement;
- beschikbaar budget;
- de kwetsbaarheid van de openbare ruimte voor de gevolgen van een verstopping (winkelstraten, hoofdwegen).

Data en risicogestuurd beheer

Kwantitatieve data vormen de basis van risicogestuurd beheer. Data zijn van belang om de geleverde inspanning te onderbouwen die nodig is om de prestaties te waarborgen. Zo is de effectiviteit van periodieke reiniging afhankelijk van het verwachte aantal kolkgerelateerde wateroverlastsituaties binnen het reinigingsinterval.

1.3 Doel onderzoek en samenvatting

Doel van het onderzoek

Nederland telt naar schatting 7 miljoen kolken met aansluitleiding en 7,2 miljoen huisaansluitingen. Om het rioleringsbeheer aan de voorkant verder te verbeteren, is inzicht nodig in de mechanismen die het dienstverleningsniveau kunnen doen afnemen. Daarnaast kan kennis van faalmechanismen helpen om het ontwerp van deze objecten te verbeteren door de relatie tussen ontwerpkeuzes en onderhoudsbehoefte duidelijk te maken. Als gemeenten het operationeel beheer van de voorkant van de riolering optimaliseren, ontstaat een balans tussen proactieve en reactieve beheerinspanningen die de maatschappelijke doelmatigheid verbetert. Maar hiervoor is kennis nodig over de effectiviteit van maatregelen en informatie om deze te prioriteren. Het doel van dit promotieonderzoek is dan ook om methoden te ontwikkelen die het operationeel beheer van de voorkant van de riolering verder kunnen helpen verbeteren.

Samenvatting

Vanwege de complexe faalmechanismen en beperkte beschikbaarheid van data is gekozen voor een statistische aanpak. Deze samenvatting concentreert zich voornamelijk op de resultaten van de toegepaste technieken op enkele casestudies. Hierdoor is dit rapport ook goed leesbaar voor vakgenoten zonder een nadrukkelijk statistische achtergrond. Hoewel sommige resultaten specifiek zijn voor de gepresenteerde cases, zijn de meeste bevindingen waardevol voor de gehele beroepspraktijk. Alle cases zijn afkomstig uit Nederland.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 verkent de faalmechanismen voor huisaansluitingen en kwantificeert de bijdrage aan het aantal meldingen van verstoppingen.

Hoofdstuk 3 gaat in op de vraag welke huisaansluitingen gevoelig zijn voor verstoppingen.

Hoofdstuk 4 gaat specifiek over periodieke kolkenreiniging en de relatie met het aantal kolkgerelateerde meldingen.

Hoofdstuk 5 beschrijft een uitgebreide meetcampagne om de ophoping van slib in kolken in beeld te brengen.

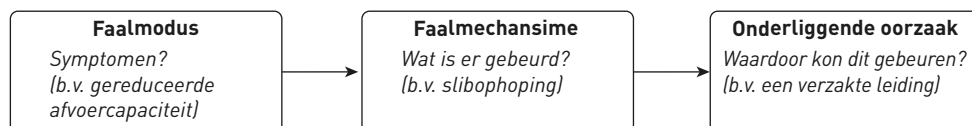
Hoofdstuk 6 kijkt of proactief beheer van kolkaansluitleidingen zin heeft en of het effect van maatregelen is vast te stellen.

Hoofdstuk 7 zet de conclusies en aanbevelingen op een rij.

2 Faalmechanismen van huisaansluitingen: wat kan misgaan en hoe vaak gaat het mis?

Een huiseigenaar merkt een defecte huisaansluiting meestal op als de afvoer naar het riool wordt belemmerd. Dit hoofdstuk brengt de onderliggende faalmechanismen van deze verstoppingen in beeld. Daarnaast is aan de hand van literatuur en interviews met experts uit de rioleringspraktijk onderzocht of er factoren zijn die deze faalmechanismen bevorderen (zie figuur 2.1).

Figuur 2.1 Hiërarchie in analyse faalmechanismen



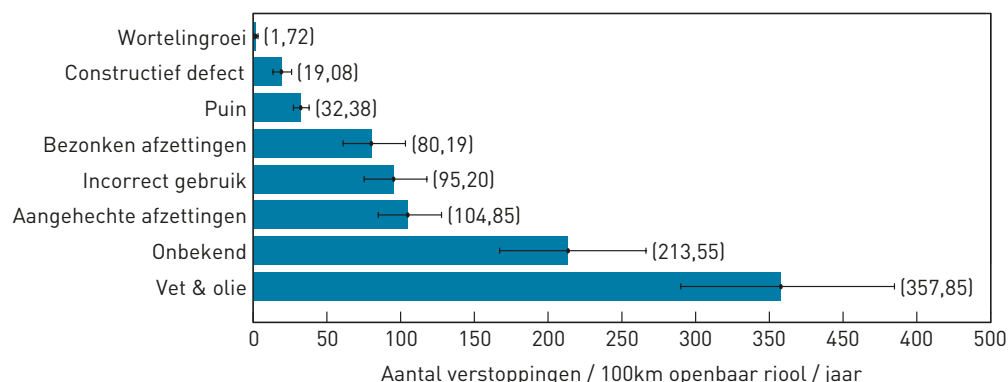
2.1 Verstoppingsdata

Voor dit deelonderzoek zijn de data van verstoppingen in huisaansluitingen van een commercieel reinigingsbedrijf gebruikt. Dit bedrijf is gespecialiseerd in het verwijderen van verstoppingen in kleine riolen op particulier terrein. Hierdoor zijn deze gegevens een aanvulling op gemeentelijke databases, die vaak niet alle gebeurtenissen met huisaansluitingen dekken. Om reparaties door concurrerende bedrijven zo veel mogelijk uit te sluiten, zijn alleen huisaansluitingen van woningbouwverenigingen met een servicecontract geselecteerd. Voor één casegebied waren na validatie in totaal meer dan 4.300 gebeurtenissen beschikbaar. Deze meldingen besloegen een periode van twee jaar. Tijdens de reparatie verzamelde het bedrijf onder andere informatie over de oorzaak van de verstopping (ofwel faalmechanisme), de datum van de melding en het type leiding.

2.2 Faalmechanismen

Uit een tijdreeksanalyse blijkt dat het aantal gemelde verstoppingen in twee jaar niet is toe- of afgenomen. Dit betekent dat er geen directe tekenen van veroudering zijn. In figuur 2.2 ziet u het aandeel van de verschillende faalmechanismen aan verstoppingen in huisaansluitingen. De meeste verstoppingen zijn toe te schrijven aan de ophoping van vet en olie. Wortelingroei is het minst voorkomende faalmechanisme. Het relatief grote aandeel 'onbekend' geeft aan dat niet altijd een duidelijk faalmechanisme is vast te stellen.

Figuur 2.2 Bijdrage verschillende faalmechanismen aan verstoppingen huisaansluiting met 95%-betrouwbaarheidsintervallen (zie kader)



Betrouwbaarheidsinterval

Het betrouwbaarheidsinterval zegt iets over de onzekerheid waarmee een bepaalde waarde geschat is. Als we een analyse herhalen met nieuwe data, in hoeverre zal de uitkomst dan hetzelfde zijn? Vanzelfsprekend is dit interval van groot belang bij besluitvorming waarmee grote investeringen zijn gemoeid. Er bestaat namelijk een risico dat de beoogde investeringen onvoldoende zijn of misschien zelfs overbodig.

2.3 De onderliggende oorzaak

Aan de hand van literatuur is gekeken welke factoren de gevonden faalmechanismen bevorderen (zie tabel 2.1). Er is een duidelijke relatie tussen verstoppingen veroorzaakt door vetten en incorrect gebruik van het riool. Maar een verstopping door vet kan ook ontstaan door stilstaand water in een verzakte leiding en is daardoor niet altijd het resultaat van het lozingsgedrag van de gebruiker.

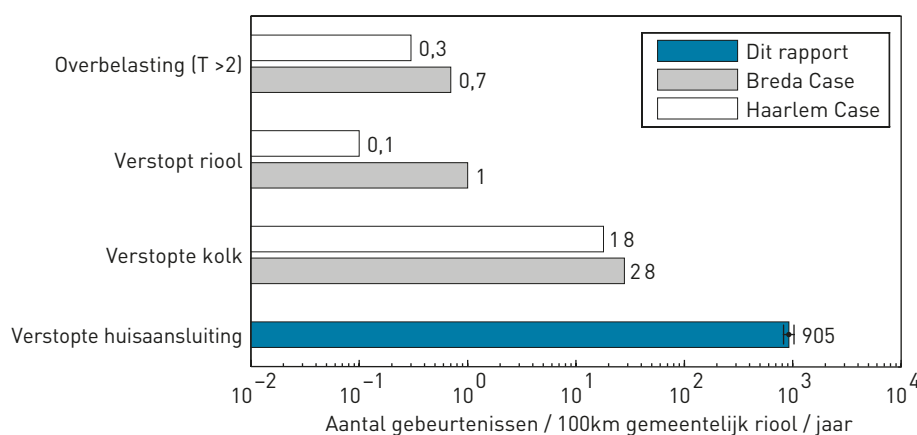
Wortelingroei	Constructief defect	Vet / Aangehechte afzettinnen	Bezonken afzettingen / Puin	Incorrect gebruik
	<i>(b.v. instorting, defect verbindingssstuk)</i>	<i>(b.v. vetafzetting)</i>	<i>(b.v. blad, kiezelstenen, slib)</i>	<i>(b.v. maandverband, keukenafval)</i>
Kwaliteit van de aanleg	Werkzaamheden derden	Verzakte leiding	Verzakte leiding	Lozingsgedrag gebruiker
Bodemdaling	Verkeersbelasting	Lozingsgedrag gebruiker	Lozingsgedrag gebruiker	
Afstand tot vegetatie	Bodemdaling		Kwaliteit van de aanleg	
Vochtgradiënt	Kwaliteit van de aanleg		Buisdiameter	
	Grondwater-infiltratie		Spoelvolumen	
	Materiaal			

Tabel 2.1 Relatie faalmechanismen en onderliggende factoren die deze bevorderen

De relatie met de kwaliteit van de aanleg is meerdere keren genoemd. Hoewel het ontstaan van een verstopping compleet kan losstaan van de constructieve toestand van een huisaansluiting, beïnvloedt deze toestand vaak wel de mate waarin een object kan omgaan met bijvoorbeeld kleine spoelvolumes of incorrect gebruik. Daarnaast lijken moderne materialen (zoals pvc) minder gevoelig voor faalmechanismen (zoals wortelingroei) dan gres. Ontwikkelingen in de verbindingen tussen buizen spelen hierin ook een rol.

2.4 Gevolgen voor dienstverleningsniveau

Figuur 2.3 laat zien dat het aantal meldingen van verstopte huisaansluitingen veel groter is dan verstoppingen van andere rioolobjecten. Daarbij zijn de gevolgen van een verstopping ook verschillend. Bij een kolkverstopping kan de straat het water nog bergen of kan het water mogelijk naar een nabijgelegen kolk stromen. Een huisaansluiting heeft niet zo'n buffer. Dit is ook terug te vinden in de schadebeelden. Zo beschreef *Spekkers et al. (2014)* dat van alle verzekeringsclaims 18% gerelateerd was aan verstopte huisaansluitingen en binnenhuisriolering, terwijl maar 1,5% te maken had met verstoppingen in de openbare riolering.



Figuur 2.3 Vergelijking meldingen huisaansluitingen en andere rioolobjecten (bron: Ten Veldhuis & Clemens, 2010)

Reparatiekosten

Ook zijn er verschillen in de benodigde reparatiekosten. In tabel 2.2 ziet u dat de kosten om een verstopping in een huisaansluiting te verhelpen lager zijn dan die voor een riool. Maar door het relatief grote aantal gebeurtenissen zijn de totale kosten wel veel hoger. Bovendien dragen de huiseigenaren een deel van deze kosten, waardoor ze onzichtbaar zijn voor de gemeente.

**Tabel 2.2 Overzicht
reparatiekosten voor
verschillende objecten**

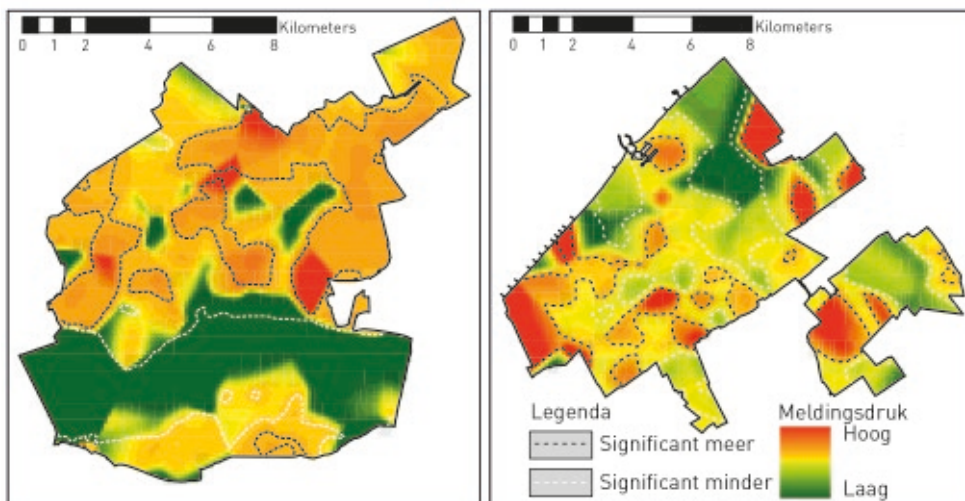
Type verstopping	Kosten per gebeurtenis	Kosten per 100 km riool per jaar
Huisaansluiting	€ 90 tot € 200	€ 80.000 tot € 180.000
Kolk	€ 150	€ 3.000 tot € 4.000
Riool	€ 300	€ 30 tot € 300

3 Welke huisaansluitingen zijn gevoelig voor verstopping?

Verstoppingen van huisaansluitingen zijn niet gelijkmatig over een gebied verdeeld. Sommige huisaansluitingen hebben meer kans op verstopping dan andere. Alleen met goede informatie hierover is doelmatig proactief beheer mogelijk. Maar inspectie van alle aansluitingen vergt een flinke investering. Dit hoofdstuk presenteert de resultaten van een statistisch model om meldingen van verstoppingen te modelleren. Hiervoor is in totaal 10 jaar aan meldingsdata gebruikt. Met dit model zijn de huisaansluitingen te selecteren waar de kans op problemen het grootst is.

3.1 Verstoppingsgevoelige gebieden identificeren

Zijn er aanwijzingen dat de kwaliteit van huisaansluitingen in bepaalde gebieden minder goed is? Modellen die oorspronkelijk ontwikkeld zijn om de verspreiding van ziekten in ruimte en tijd te modelleren, zijn bijzonder geschikt om hierin inzicht te geven. Maar het is wel van belang dat u voor toepassingen in de riolering het aantal meldingen in een gebied corrigeert voor het aantal huisaansluitingen. In een gebied met meer woningen zijn tenslotte ook meer verstoppingen te verwachten.



Figuur 3.1 Ruimtelijke analyse van meldingen

De resultaten van twee ruimtelijke analyses van meldingen ziet u in figuur 3.1. De rode vlekken geven gebieden aan met relatief veel meldingen, de gestippelde lijnen de hotspots waar significant meer of minder meldingen zijn. De figuur laat zien dat in beide cases gebieden zijn met veel meer meldingen dan gemiddeld. Bovendien geven simulaties aan dat deze verschillen significant zijn en dus niet zomaar aan toeval (ofwel pech) zijn toe te schrijven.

3.2 Variabelen die verschillen in aantal verstoppingen verklaren

Een vervolganalyse geeft inzicht in welke variabelen de verschillen in het aantal meldingen tussen deze gebieden kunnen verklaren. De verklarende variabelen zijn ingedeeld in drie klassen:

- Eigenschappen van het riool, zoals stelseltype en aanlegjaar.
- Externe factoren, zoals bodemdaling, graafwerkzaamheden in de buurt en bouwjaar van het huis.
- Sociaal-economische factoren, zoals buurtgemiddeld inkomen van het huishouden.

In tabel 3.1 ziet u een overzicht van de voornaamste variabelen en de relatie met de verstoppingskans in een huisaansluiting. Voor beide cases is er een verband tussen het stelseltype en de kans op een verstopping. In gescheiden stelsels zijn er minder verstoppingen. Neerslag lijkt dus gemengde huisaansluitingen niet voldoende te kunnen reinigen om verstoppingen te voorkomen. Verder lijken oude woningen sneller last te hebben van een verstopping. Maar het is niet bekend of dit komt door veroudering of door ander materiaalgebruik en aanlegprincipes tijdens de aanleg. In het geval van veroudering is wel een stijging van het aantal verstoppingen te verwachten. De sterke relatie met de bodemdaling is te verklaren doordat huisaansluitingen het verschil tussen onderheide woningen en het dalende riool moeten opvangen.

Tabel 3.1 Relatie kans op verstopping en verschillende variabelen

Variabele	Verband met het aantal verstoppingen
Bouwjaar woning (nieuwer)	Minder verstoppingen
Gescheiden stelsel	Minder verstoppingen
Bodemdaling	Meer verstoppingen
Weg in slechte staat	Meer verstoppingen
Graafwerkzaamheden buurt	Meer verstoppingen
Inkomen huishouden (hoger)	Minder verstoppingen

Relatie met inkomen

De relatie tussen de kans op een verstopping en het inkomen van een huishouden is mogelijk te verklaren door verschillen in eetgewoonten en de bereiding van voedsel. In buurten met lage inkomens wonen vaak meer personen van buitenlandse komaf (Lautenbach & Otten, 2007), die andere manieren van voedselbereiding kennen. Aangezien deze variabele onafhankelijk is van de constructieve toestand van een leiding, is het aannemelijk dat verstoppingen ook willekeurig voorkomen gedurende de levensduur van een huisaansluiting.

Relatie met graafwerkzaamheden

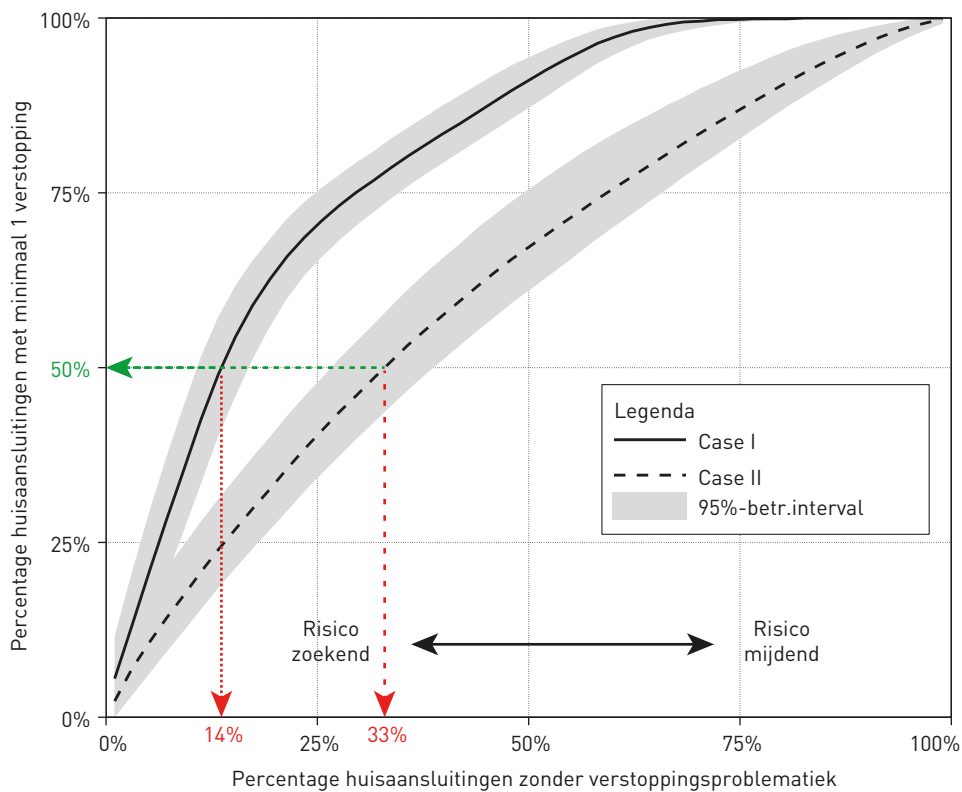
In gebieden met veel graafwerkzaamheden door andere netbeheerders zijn significant meer meldingen. Dit kan betekenen dat incidenteel sprake is van schade tijdens deze werkzaamheden, zoals riooldoorboringen (Oosterom & Gastkemper, 2012). Er is ook een relatie met de kwaliteit van de weg, wat aangeeft dat er wellicht een verband is tussen de toestand van beide infrastructuren.

Wat betekent een relatie tussen variabelen?

Een relatie tussen twee variabelen betekent dat sprake is van causaliteit of correlatie. Causaliteit geeft een oorzaak-gevolgverband weer: 'Als de zon schijnt, verbranden meer mensen.' Bij correlatie is er niet per se een oorzaak-gevolgrelatie: 'Als er meer ijs wordt verkocht, verbranden meer mensen.' Dit is geen oorzaak-gevolgrelatie, de zon veroorzaakt beide fenomenen. Hoewel vrijwel alle gevonden relaties in deze samenvatting geen oorzaak-gevolgrelaties zijn, bieden ze wel waardevolle informatie als indicatorvariabelen.

3.3 Modelprestaties en theoretische doelmatigheid

Het in dit onderzoek geformuleerde model kunt u als beheerder gebruiken om risicogestuurd beheer van huisaansluitingen vorm te geven. Het model geeft namelijk aan welke huisaansluitingen een grotere kans op falen hebben. Door deze huisaansluitingen gericht aan te pakken, kunt u het aantal verstoppingen effectief beperken. Naarmate het model de risicovollere huisaansluitingen scherper kan duiden, kunt u gericht werken. Zo is het mogelijk alleen huisaansluitingen met een zeer hoge verstoppingskans de diagnose 'verstoppingsgevoelig' te geven en alleen deze aan te pakken. Dit is een risicozoekende beheervorm, aangezien slechts een klein deel van alle verstoppingen proactief verholpen wordt en er meer reactieve meldingen te verwachten zijn. Het tegenovergestelde is risicomijdend, waarbij huisaansluitingen met een lagere verstoppingskans al de diagnose 'verstoppingsgevoelig' krijgen. Hierdoor worden meer huisaansluitingen proactief aangepakt, waardoor het aantal meldingen verder afneemt. De gevolgen van beide beheervormen zijn grafisch weergegeven in figuur 3.2.



Figuur 3.2 Overzicht te vervangen probleemvrije huisaansluitingen om verstoppingsgevoelige huisaansluitingen te verbeteren

Toelichting

Wanneer huisaansluitingen met een lagere verstoppingskans de diagnose verstoppingsgevoelig krijgen, kan het gebeuren dat het model de verkeerde diagnose stelt. Een percentage huisaansluitingen zonder verstoppingsproblematiek wordt dan ook aangepakt, zoals te zien is op de x-as van figuur 3.2. Dit resulteert in onnodige extra kosten. Om het model bijvoorbeeld 50% van de huisaansluitingen met verstoppingsproblemen correct te laten identificeren, krijgt bij case I ook 14% van alle probleemloze huisaansluitingen de diagnose verstoppingsgevoelig van het model. Het model voor case II presteert slechter, aangezien daar 33% van alle probleemloze huisaansluitingen onterecht de diagnose verstoppingsgevoelig krijgt. In essentie geeft figuur 3.2 inzicht in de fractie van investeringen die gaat naar probleemloze huisaansluitingen in plaats van naar huisaansluitingen met een verstoppingshistorie. Naarmate u in deze grafiek verder naar rechts beweegt, neemt de efficiëntie van besluiten verder af omdat het aantal overbodige investeringen in probleemvrije huisaansluitingen snel toeneemt. Daarentegen is wel te verwachten dat het aantal reactieve meldingen verder afneemt.

4 Hoe effectief is periodieke kolkenreiniging?

Als de gemeente kolken niet tijdig reinigt, kunnen zand, straatafval en bladeren zich ophopen en de afvoer naar het riool blokkeren (zie figuur 4.1). De effectiviteit van kolkenreiniging hangt nauw samen met het risico op kolkgerelateerde wateroverlastsituaties binnen het reinigingsinterval. Vanuit een hydraulisch perspectief is het meest kosteneffectieve reinigingsinterval het moment vlak vóór een verstopping ontstaat. Maar de onvoorspelbaarheid van regen en de complexiteit van de processen die tot een verstopping leiden, maken het lastig om dit tijdstip betrouwbaar vast te stellen. Dit hoofdstuk geeft inzicht in het effect van periodieke kolkenreiniging op het hydraulisch functioneren van kolken.

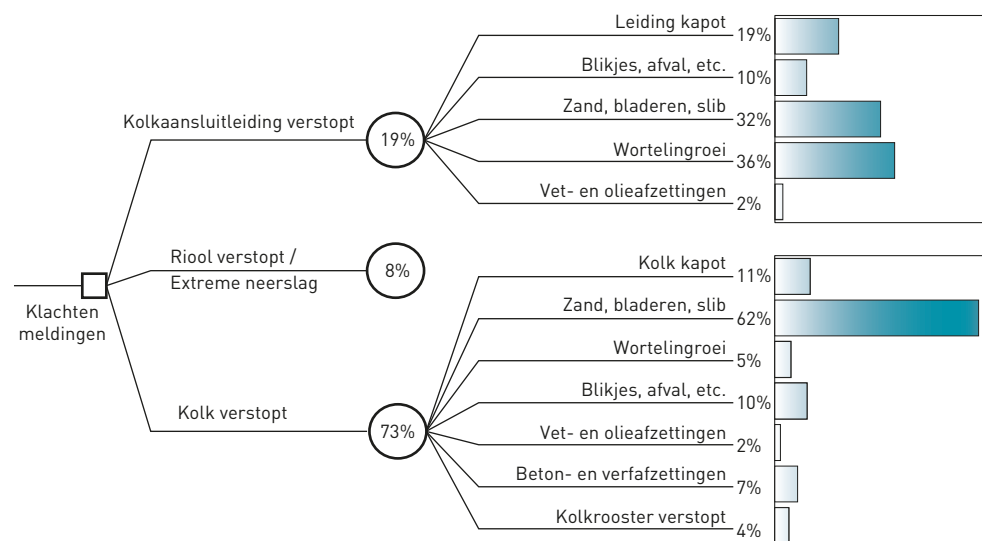
Figuur 4.1 Van een werkende kolk naar een verstopte kolk



4.1 Meldings- en reinigingsdata

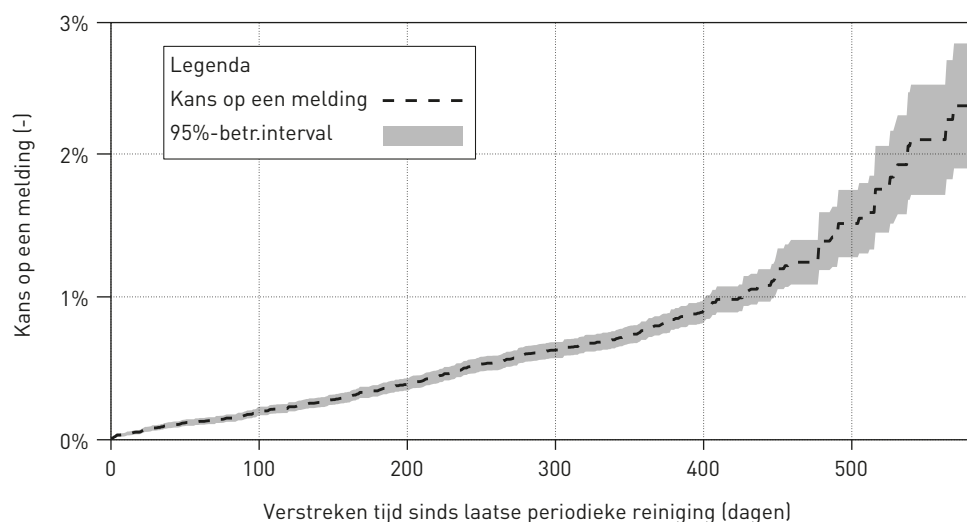
In dit deelonderzoek is voor een casegebied drieënhalp jaar aan reinigingsdata en meldingen van wateroverlast geanalyseerd. Meldingen zijn de voornaamste reden om reactief onderhoud te initiëren. Figuur 4.2 specificeert voor een deel van deze meldingen welk object en mechanisme verantwoordelijk waren voor wateroverlast. De meeste meldingen (73%) zijn gerelateerd aan het functioneren van kolken. Hiervan heeft weer 72% te maken met mechanismen die potentieel te voorkomen zijn door reguliere reiniging. Er lijkt dus ruimte te zijn om het aantal meldingen verder te reduceren.

Figuur 4.2 Bijdrage verschillende mechanismen aan wateroverlastmeldingen voor casegebied



4.2 Kolkgerelateerde meldingen in de tijd

Per kolk is gekeken hoe lang het duurde voor deze gelegeerd werd en of dit het gevolg was van periodieke reiniging of een melding. Vervolgens is dit vertaald naar een verstoppingskans op stadsniveau en gecorrigeerd voor het resterende kolkenareaal. De resultaten ziet u in figuur 4.3.



Figuur 4.3 Kans op melding verstopte kolk voor casegebied

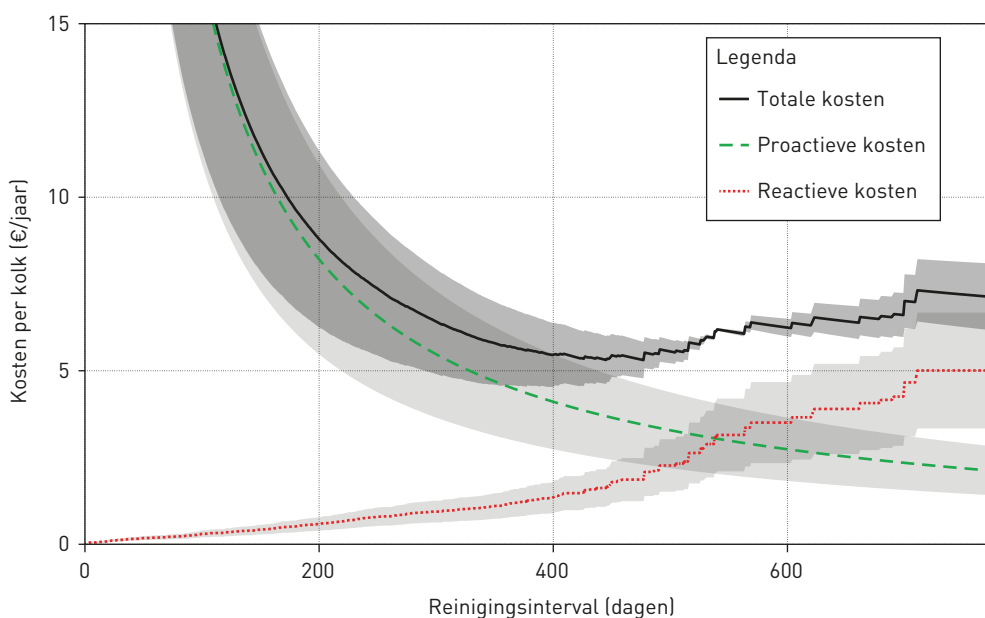
Door de data in figuur 4.3 te vergelijken met een model dat uitgaat van een constant aantal meldingen, is vastgesteld dat de meldingsdruk significant stijgt naarmate de tijd sinds de laatste reiniging verstrijkt. Dit levert direct bewijs dat kolkenreiniging effectief is om het aantal kolkgerelateerde meldingen te verminderen.

Onderhoudsbalans

Daarnaast levert figuur 4.3 informatie over de balans tussen proactieve onderhoudsinspanningen (reguliere reiniging) en de daarbij benodigde reactieve onderhoudsinspanningen (melding oplossen door calamiteitendienst). Behalve de keuze voor het acceptabele risico op wateroverlast, zijn de benodigde kosten ook van belang bij de keuze voor een reinigingsinterval. Zo is een wekelijkse reiniging van alle kolken misschien wel effectief om wateroverlast te voorkomen, maar door de vereiste kosten waarschijnlijk niet doelmatig.

Kosten bij verschillende reinigingsintervallen

Uitgaande van € 3 tot € 6 per kolk voor reguliere reiniging en van € 100 tot € 200 per kolk bij een melding geeft figuur 4.4 een schatting van de kosten bij verschillende reinigingsintervallen. Voor kleine reinigingsintervallen zijn de totale kosten relatief hoog door het aandeel van reguliere reiniging. Maar door de hoge kosten om een individuele melding te verhelpen, is een snelle daling te zien. De totale verwachte kosten per kolk zijn voor dit casegebied het laagst bij een reinigingsinterval tussen de 12 en 16 maanden. Maar dit moet u zien als een bovengrens voor het reinigingsinterval, aangezien het aantal geregistreerde meldingen het daadwerkelijke dienstverleningsniveau overschat. Zo kunnen sommige gebeurtenissen gemist zijn, omdat er op de locatie of het tijdstip niemand aanwezig was. Daarnaast kan een gebeurtenis het gevolg zijn van meerdere verstopte kolken. Ook is niet iedere burger bereid om een gebeurtenis te melden.



Figuur 4.4 Geschatte kosten bij verschillende intervallen tussen reguliere reiniging

5 Hoe verloopt de slibopbouw in kolken?

De taken van een kolk zijn tegenstrijdig. Aan de ene kant moet de kolk in de zandvang zo veel mogelijk slib en deeltjes laten bezinken om het onderliggende systeem te ontzien. Deze deeltjes hebben een negatief effect op de berging in het stelsel, de werking van pompen en de efficiëntie van de rwzi. Bovendien kunnen aangehechte verontreinigingen via overstortingen of regenwateruitlaten de oppervlaktewaterkwaliteit negatief beïnvloeden. Aan de andere kant kan het effectief afvangen van deeltjes in een kolk leiden tot een verstopping, wat nadelig is voor het hydraulisch functioneren. Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van een meetcampagne om de slibopbouw in de zandvang van kolken in kaart te brengen. Deze metingen bieden ook de kans om de invloed van ontwerpkeuzes voor kolken inzichtelijker te maken.

Figuur 5.1 Verstopte kolk



5.1 Meetopzet

Om inzicht in de slibopbouw te krijgen, is in een stedelijk bemalingsgebied van 10,5 ha een steekproef gedaan bij 300 van de circa 800 beschikbare trottoirkolken. Een grote steekproef, omdat de praktijkervaring leert dat er nogal wat variatie in slibopbouw te verwachten is.

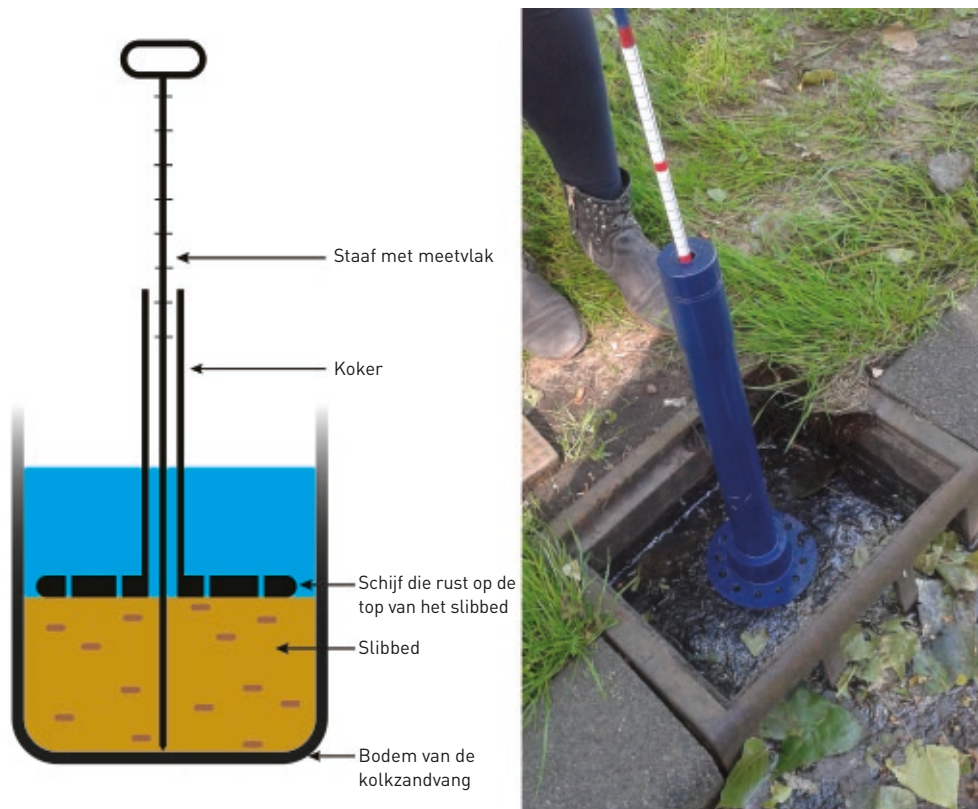
Bij de willekeurige kolkenselectie is rekening gehouden met de volgende variabelen:

- De diepte van de kolk.
- Aanwezigheid van een stankscherm (ja/nee).
- Positie van de kolkaansluitleiding (voor-/achter-/zijkant).

De kolken zijn vóór de meetcampagne gereinigd en gecontroleerd op het hydraulisch functioneren en potentiële defecten.

Meetapparaat

In figuur 5.2 ziet u het principe van het gebruikte meetapparaat. De werking ervan is enigszins vergelijkbaar met een schuifmaat. Het apparaat meet de hoogte van het slibbed met een nauwkeurigheid van ongeveer 0,5 cm.



Figuur 5.2 Meetapparaat slibopbouw in kolken

Meetperiode

Om de seizoensvariatie in het aanbod van straatvuil (zoals bladeren en zand) mee te nemen, is besloten langer dan een jaar te meten. Dit gaf ook de mogelijkheid om verder te kijken dan het standaardreinigingsinterval van een half jaar tot een jaar.

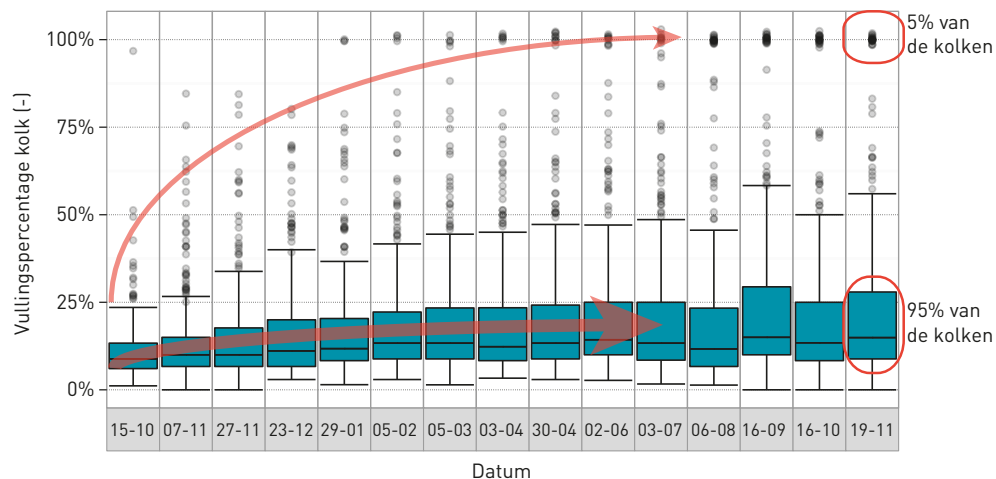
Aantal metingen

Aan het eind van de meetcampagne waren ruim 4.500 metingen over vijftien maanden beschikbaar. Aanvankelijk werden slibniveaus elke drie weken gemeten, maar dat interval is aangepast naar vier weken aangezien de opbouw van de sliblaag traag bleek te verlopen.

5.2 Meetresultaten

Figuur 5.3 geeft de meetresultaten grafisch weer. Een vullingspercentage van 100% geeft aan dat de zandvang van de kolk vol zit en het hydraulisch functioneren in het gedrang komt. De rode pijlen geven de twee waargenomen regimes weer:

- Regime I: stabiele vullingsgraad na circa zes maanden (circa 95% van de kolken).
- Regime II: continu vullende zandvang die uiteindelijk verstopt (circa 5% van de kolken).



Figuur 5.3 Metingen vullingsgraad 300 kolken tijdens meetcampagne

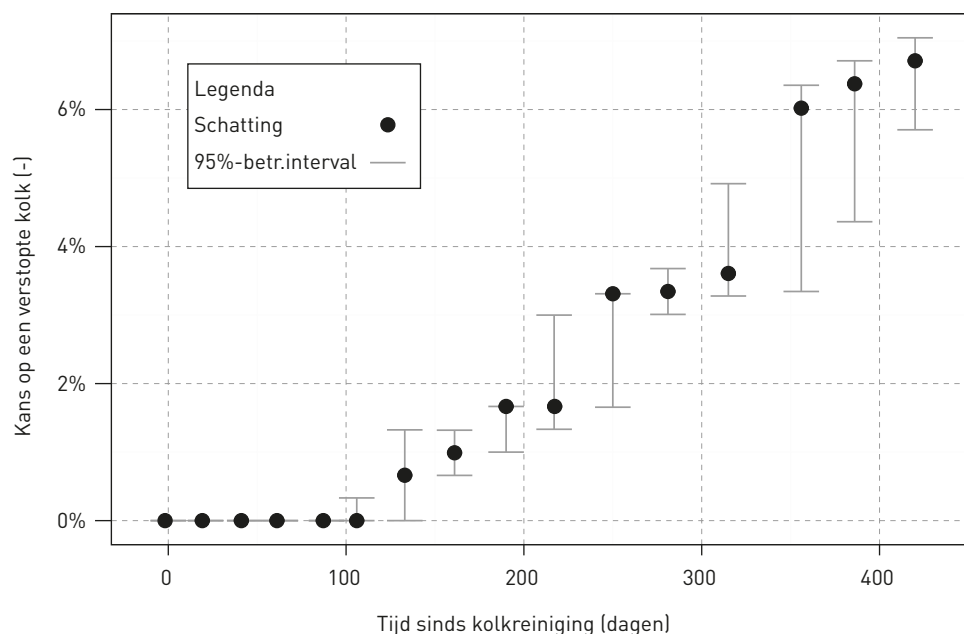
Regime I

Een stabiele vulling van de zandvang impliceert dat vuil en andere deeltjes van de straat niet meer bezinken en doorspoelen naar het onderliggende riool. Voor de retentie van verontreinigingen is dus een hoge reinigingsfrequentie nodig. Als er meer dan circa zes maanden tussen twee reinigingsronden zit, kan de kolk nauwelijks meer zand en slib verwijderen en stroomt het inkomende sediment door naar het riool.

Regime II

Het continu bezinken van vuildeeltjes in een kolk leidt uiteindelijk tot een verstopping (regime II). Figuur 5.4 laat zien dat de kolken in het casegebied de eerste honderd dagen na reiniging probleemvrij zijn. Daarna beginnen de eerste verstoppingen op te treden. Maar de kans op een verstopping is vele malen groter (ongeveer een factor zes) dan de kans op een melding (vergelijk met figuur 4.3 in hoofdstuk 4). Aangezien in het gebied tijdens de meetperiode geen meldingen zijn geregistreerd, is het mogelijk dat burgers niet altijd bereid zijn een verstopping te melden. Een andere optie is dat niet alle verstoppingen resulteren in water op straat, omdat bijvoorbeeld nabijgelegen kolken nog beschikbaar zijn. Na verder onderzoek is gebleken dat deze theorie aannemelijk is; er was geen direct bewijs dat bij een verstopte kolk gelijksoortige kolken in de buurt ook sneller verstopt waren.

Figuur 5.4 Kans op verstopte kolk



5.3 Relatie tussen ontwerp en slibopbouw

Wat is het verband tussen bepaalde ontwerpkeuzes en de slibopbouw in de zandvang? Om te analyseren of bepaalde ontwerpkenmerken bepalen of bij een kolk sprake is van regime I (stabil) of van regime II (continu vullend), is een statistisch model gebruikt. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen eigenschappen van de kolk (diepte zandvang, stankscherm en positie van de aansluitleiding) en eigenschappen van de openbare ruimte (afstromend verhard oppervlak, helling en wegtype). In tabel 5.1 ziet u de resultaten van deze analyse.

Tabel 5.1 Relatie kans op verstopping met verschillende variabelen

Variabele	Relatie met de verstoppingskans
Diepte van de kolk (dieper)	Minder verstoppingen
Positie aansluitleiding: voorkant	Meer verstoppingen
Positie aansluitleiding: achterkant	Minder verstoppingen
Positie aansluitleiding: zijkant	Meer verstoppingen
Wegtype: hoofdroute	Meer verstoppingen
Wegtype: erftoegangsweg	Minder verstoppingen
Hoeveelheid afstromend verhard oppervlak (meer)	Meer verstoppingen

Toelichting resultaten

Hoewel tijdens reiniging meer slib wordt verwijderd uit kolken met een diepere zandvang, verstoppert deze diepe kolken toch minder snel. Dit betekent dat een diepere kolk beter is voor het milieutechnisch en hydraulisch functioneren dan een minder diepe kolk. Deze bevindingen staan haaks op de trend dat kolken steeds kleiner en ondieper ontworpen worden.

Verder lijken kolken aan een hoofdroute sneller te verstoppert. Dit kan te maken hebben met het aanbod van vuildeeltjes (bijvoorbeeld door verkeersintensiteit) of de transporteerbaarheid van vuildeeltjes bij verschillende typen verharding (klinkers/asfalt).

Het verband tussen de ophoping van vuildeeltjes in kolken en de positie van de kolkaansluitleiding kan voortkomen uit verschillen in de stromingspatronen in een kolk. Hierdoor ontstaat extra turbulentie, wat bezinking verhindert (*Faram & Harwood, 2003*).

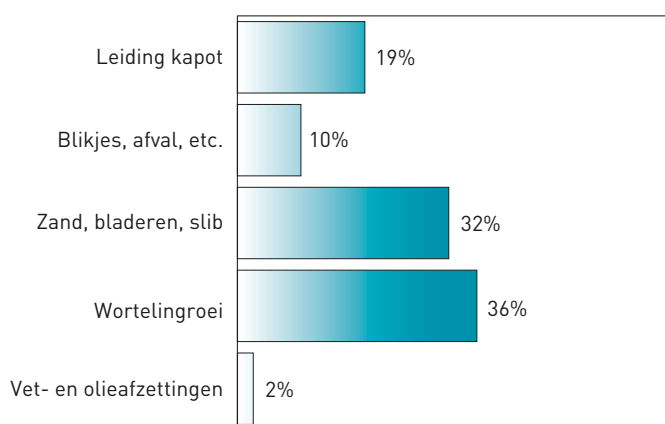
6 Proactief beheer van kolkaansluitleidingen

Voor riolen zijn data over objectkarakteristieken (zoals aanlegjaar, materiaal en bodemdaling) beschikbaar om zo groepen riolen te identificeren waarvan de kwaliteit mogelijk problemen kan geven. Voor kolkaansluitleidingen zijn deze data zelden aanwezig, deze objecten worden ook niet routinematig geïnspecteerd. Hierdoor is het minder duidelijk waar proactieve maatregelen nodig zijn om de prestaties van het systeem te waarborgen of verbeteren. Dit hoofdstuk belicht het gebruik van meldingen om inspecties te plannen en beschrijft twee cases waarin meldingen zijn gebruikt om de effectiviteit van proactieve maatregelen te meten.

6.1 Inspecties prioriteren

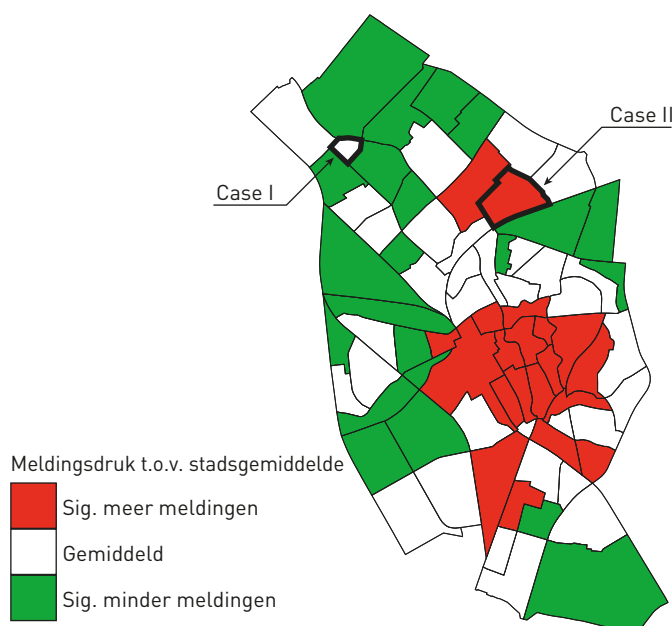
In figuur 6.1 ziet u een detail van figuur 4.2 in hoofdstuk 4 met alle meldingen die gerelateerd zijn aan de kolkaansluitleiding. Opvallend is dat ruim 55% van de meldingen (kapotte leidingen en wortelingroei) is te classificeren als constructieve defecten. Op basis van deze bevindingen lijkt de combinatie inspectie en vervanging van kolkaansluitleidingen effectiever dan reiniging.

Figuur 6.1 Faalmechanismen kolkaansluitleidinggerelateerde meldingen voor casegebied



Meldingen zijn te gebruiken om inspecties te plannen. Hiermee zijn gebieden te identificeren waar kolkaansluitleidinginspecties de meeste potentie hebben om effectief te zijn. Door het aantal meldingen per kolkaansluitleiding in een gebied te vergelijken met het stads-gemiddelde, ontstaat een beeld van de meldingsdruk. Vervolgens kan een statistische analyse uitwijzen of sprake is van echt significante verschillen. In figuur 6.2 ziet u de resultaten van een dergelijke analyse voor een stad. De figuur laat duidelijk zien dat in deze stad nogal wat lokale verschillen in de meldingsdruk zitten.

Figuur 6.2 Meldingsdruk per buurt



6.2 Effectiviteit van maatregelen meten

Om uitgaven te onderbouwen en toekomstige maatregelen beter te plannen, moet bekend zijn hoe effectief maatregelen zijn. Het is niet eenvoudig om hiervoor meldingen te gebruiken. Het ligt het meest voor de hand om te monitoren of in een gebied minder meldingen binnenkomen nadat een maatregel is uitgevoerd. Maar dit kan een vertekend beeld geven, aangezien de gevolgen van een (gedeeltelijk) defect vaak pas zichtbaar zijn na een bui. Zo zou een periode van hevige neerslag na de maatregel zelfs het beeld kunnen geven dat de situatie slechter is. Dit is te voorkomen door te onderzoeken hoe de meldingsdruk zich ontwikkelt ten opzichte van het stadsgemiddelde (of omliggende gebieden). Als de maatregel daadwerkelijk de prestaties in een gebied verbetert, is dit te zien in een daling van de meldingsdruk ten opzichte van het stadsgemiddelde.

Twee casebuurten

Het hierboven beschreven principe is toegepast op de twee casebuurten in figuur 6.2. Enkele karakteristieken van deze buurten ziet u in tabel 6.1. Beide gebieden hebben riolering uit dezelfde periode. Case I is met 4.000 inwoners een stuk groter dan case II. Dit heeft ook effect op het aantal kolken in het gebied. In beide gebieden zijn alle kolken en kolkaansluitleidingen proactief gereinigd en met camera's geïnspecteerd. Uit deze inspecties is naar voren gekomen dat een groot deel (respectievelijk 26% en 50%) van alle kolkaansluitleidingen van onvoldoende kwaliteit was. Een meerderheid van deze leidingen had last van wortelingroei of leidingbreuken. Leidingen waarvan de kwaliteit onvoldoende was, zijn binnen een jaar vervangen.

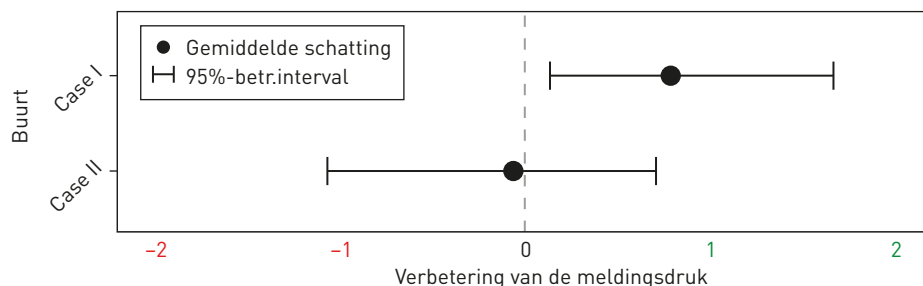
		Buurt	
		Case I	Case II
Aantal inwoners		4.000	1.135
Aantal kolken		951	278
Toestand kolkleiding onvoldoende		26%	50%
Leeftijd riool (modus)		55 jaar	60 jaar
Materiaal	pvc	38%	34%
	gres	62%	66%

Tabel 6.1 Karakteristieken twee casebuurten

Meldingendatabases

Voor de meldingen waren twee databases beschikbaar:

- Periode A met alle meldingen vóór de getroffen maatregelen.
- Periode B met alle meldingen uit de tijd na de getroffen maatregelen.
- Analyse van de verschillen in de meldingsdruk tussen deze perioden leverde de resultaten in figuur 6.3 op.



Figuur 6.3 Verbetering in meldingsdruk na proactief vervangen kolkaansluitleidingen

Toelichting resultaten

Voor case I is door de maatregelen een significante afname in de meldingsdruk te zien. Voor case II is geen bewijs voor een vergelijkbare afname. Bij nader onderzoek van de meldingen blijkt dat voor case II in de periode na de werkzaamheden geen enkele melding is geregistreerd. Voor dit gebied was periode B met 11 maanden te kort om vast te stellen of het ontbreken van meldingen is toe te schrijven aan de verbeterde toestand van de kolkaansluitleidingen of dat het slechts toeval was. Er was dus geen sprake van een aantoonbare verbetering. Hieruit is te concluderen dat de beschikbaarheid over voldoende meldingen een voorwaarde is om uitspraken te kunnen doen over het effect van een maatregel. Dit betekent dat het gebied voor een dergelijke analyse niet te klein moet zijn of dat de onderzoeksperiode langer moet zijn dan een jaar.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

7.1.1 Huisaansluitingen

Het opstellen van effectieve beheerstrategieën voor huisaansluitingen vraagt om kennis van de onderliggende mechanismen die tot een verstopping kunnen leiden. Hoewel de wetenschappelijke literatuur over deze objecten schaars is, was het wel mogelijk inzicht te krijgen in de onderliggende oorzaken van een verstopping via interviews met experts uit de rioleringspraktijk en literatuur over riolen.

Impact op dienstverleningsniveau

Hoewel verstoppingen door vet of bezonken afzettingen kunnen losstaan van de constructieve toestand van een object, is vaak wel sprake van een verband. De constructieve toestand bepaalt namelijk in grote mate hoe kwetsbaar een huisaansluiting is voor andere faalmechanismen. De literatuur noemt herhaaldelijk de aanlegkwaliteit als onderliggende oorzaak van een verstopping. Uit de analyse van een verstoppingsdatabase is naar voren gekomen dat het aantal verstoppingen in huisaansluitingen enkele factoren groter is dan het aantal verstoppingen in riolen en kolken. Daarnaast kunnen de gevolgen van een verstopping variëren van financiële lasten door schade en reparaties tot gezondheidsrisico's. Huisaansluitingen hebben dus een substantiële impact op het dienstverleningsniveau van een rioolsysteem. In het onderzoek waren vetafzettingen verantwoordelijk voor meer dan een derde van alle geregistreerde verstoppingen en daarmee het dominante faalmechanisme.

Modelleren van verstoppingen

Niet iedere bewoner heeft dezelfde kans op een verstopping. Uit dit onderzoek blijkt dat dit te verklaren is uit een aantal variabelen, zoals leeftijd van het riool en bodemdaling. Het is dus te verwachten dat het aantal verstoppingen toeneemt met de tijd. De relatie met meer tijdconstante variabelen (zoals het inkomen van een huishouden) suggereert dat verstoppingen ook willekeurig voorkomen gedurende de levensduur van een huisaansluiting. Beheermaatregelen zijn beter te prioriteren door verstoppingen met behulp van deze variabelen te modelleren. Hiermee zijn gebieden te identificeren waar proactieve inspanningen waarschijnlijk het meest effectief zijn. Daarbij is de nauwkeurigheid van het model van grote invloed op de doelmatigheid van mogelijke maatregelen.

7.1.2 Kolken en kolkaansluitleidingen

Kolkenreiniging

Verstopte kolken door een overvolle zandvang zijn verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van alle geregistreerde meldingen. Dit onderzoek wijst uit dat het aantal kolkgerelateerde verstoppingen met periodieke reiniging is te reduceren. Door rekening te houden met de onderhoudskosten, is op basis van de balans tussen proactief en reactief onderhoud de doelmatigheid van een gekozen reinigingsinterval te schatten.

Slibopbouw

Bij de meeste kolken (95%) bereikt het slibniveau in de zandvang na enkele maanden een 'evenwichtsdiepte'. Dit betekent dat na deze periode vuil en andere deeltjes niet meer bezinken en doorspoelen naar het riool. Bij de rest (5%) is sprake van een zich continu vullende zandvang tot de kolk verstopt. Verschillende variabelen hebben invloed op de slibopbouw in kolken. Karakteristieken van de openbare ruimte (zoals wegtype en afstromend oppervlak) beïnvloeden de snelheid waarmee de zandvang zich vult. Kolkkarakteristieken als de locatie van de aansluitleiding en de diepte van de zandvang zijn ook relevant. Ondiepe kolken blijken niet alleen sneller te verstopten, maar ook minder slib te vangen. Diepere zandvangen hebben dus een positief effect op zowel het hydraulisch als het milieutechnisch functioneren van de kolk. Dit staat haaks op de trend dat kolken in de praktijk steeds kleiner en ondieper worden.

Via meldingen is inzicht te krijgen in de prestatieverbeteringen na inspectie en eventuele vervanging van kolkaansluitleidingen. Een rechtstreekse vergelijking van het aantal meldingen vóór een na een maatregel kan leiden tot onjuiste conclusies, het is beter om het aantal meldingen in de omgeving te vergelijken. Bovendien geeft een dergelijke analyse informatie over de meldingsdruk in verschillende gebieden, die is te gebruiken om bijvoorbeeld proactieve kolkaansluitleidinginspecties te prioriteren. Voor een buurt waar de kolkaansluitleidingen veel constructieve defecten vertoonden, was na vervanging een significante afname van het aantal meldingen waar te nemen. Voor een kleinere buurt waren nog niet voldoende meldingen geregistreerd om een effect te constateren. Het is dus noodzakelijk om voldoende data te verzamelen.

7.2 Aanbevelingen

Algemeen

- De onderzochte verbanden tussen verstoppingen in huisaansluitingen zijn voornamelijk indirect. Met meer data over de karakteristieken van deze objecten en een verder verfijnde dataverzameling tijdens reparaties, zijn verstoppingen wellicht beter te verklaren.
- Het is bekend dat het aantal meldingen het daadwerkelijke aantal gebeurtenissen onderschat. Als de mate van onderschatting bekend is, zijn meldingen een betere motivatie voor operationele besluitvorming.
- Met de huidige modellen zijn de twee slibregimes in kolken niet volledig te verklaren. Aangezien deze regimes bepalen in welke mate vuildeeltjes tijdens buien bezinken, verdient dit onderwerp meer aandacht.

Rioleringsbeheerders

- In de openbare ruimte worden de dimensies van toegepaste kolken steeds kleiner. Om dezelfde kolkprestaties te behouden, kunt u hierop inspelen door uw proactieve beheer aan te passen. Andersom kunt u ook de gewenste reinigingsfrequentie meenemen als u de kolkdimensies specificeert.
- Met name bij het beheer van huisaansluitingen liggen kansen om de rioleringszorg in brede zin te verbeteren. Huisaansluitingen zijn de zwakke schakels in het rioolsysteem, waarbij proactiever beheer waarschijnlijk voordelig kan uitpakken.
- Het GegevensWoordenboek Stedelijk Water (GWSW) geeft een basis om objecten en beheeractiviteiten eenduidig vast te leggen. Door deze data te combineren met meldingen, kunt u de rioleringszorg verder professionaliseren en tot goed onderbouwde beheerstrategieën komen.

7.3 Meerwaarde voor rioleringsbeheerders

Het doel van dit promotieonderzoek was om methoden te ontwikkelen die het operationeel beheer van de voorkant van de riolering verder kunnen helpen verbeteren. Dat doel is gerealiseerd:

- er zijn nu methoden beschikbaar om de relatie tussen de geleverde inspanning en de daarbij behaalde resultaten inzichtelijk te maken;
- het onderzoeksrapport biedt handvatten om deze inspanningen te prioriteren.

In het volledige (Engelstalige) proefschrift vindt u meer informatie over de toegepaste statistische methoden, modellen en technieken.

Dankwoord

Dit promotieonderzoek is tot stand gekomen met de steun en inzet van de partners in het Kennisprogramma Urban Drainage (in alfabetische volgorde): ARCADIS, Deltares, Evides, de gemeenten Almere, Arnhem, Breda, 's-Gravenhage en Utrecht, Gemeentewerken Rotterdam, GMB Rioleringsstechniek, KWR Watercycle Research Institute, Royal HaskoningDHV, Stichting RIONED, STOWA, Sweco, Tauw, vandervalk+degroot, Waterschap De Dommel, Waternet en Witteveen+Bos.

- Defra (2011). *The private sewers transfer regulations: Provisional non-statutory guidance on private sewers transfer regulations*. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Faram, M.G., & Harwood, R. (2003). *A method for the numerical assessment of sediment interceptors*. Water Science & Technology, 47(4), 167-174.
- Fenner, R.A. (2000). *Approaches to sewer maintenance: a review*. Urban Water Journal, 2(4), 343-356. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00065-0](http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00065-0)
- Lautenbach, H., & Otten, F. 2007. *Inkomen allochtonen blijft achter door lage opleiding*. Voorburg, Nederland: CBS.
- Oosterom, G.E., & Gastkemper, H.J. (2012). *Doorboringen van riolen door kabels en leidingen: omvang, aard en oplossingen*. Ede, Nederland: Stichting RIONED.
- Spekkers, M.H., Clemens, F.H.L.R., & Ten Veldhuis, J.A.E. (2014). *Decision tree analysis of processes generating water-related building damage: a case study in Rotterdam, the Netherlands*. Paper presented at the 11th International Conference on Hydroinformatics, New York City, NY, 17-24 August 2014.
- Sullivan, R.H., Gemmell, R.S., Schafer, L.A., & Hurst, W.D. (1977). *Economic analysis, root control, and backwater flow control as related to infiltration/inflow control*. Cincinnati, OH: Environmental Protection Agency.
- Ten Veldhuis, J.A.E., & Clemens, F.H.L.R. (2010). *Flood risk modelling based on tangible and intangible urban flood damage quantification*. Water Science & Technology, 62(1), 189-195. doi: <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2010.243>
- Ten Veldhuis, J.A.E., & Clemens, F.H.L.R. (2011). *The efficiency of asset management strategies to reduce urban flood risk*. Water Science & Technology, 64(6), 1317-1324. doi: <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2011.715>

Wetenschappelijke publicaties over het onderzoek

Peer-reviewed wetenschappelijke artikelen

- Post, J.A.B., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2016). *Quantifying the effect of proactive management strategies on the serviceability of gully pots and lateral sewer connections*. Structure and Infrastructure Engineering, in press.
- Post, J.A.B., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2016). *Analysing spatial patterns in lateral house connection blockages to support management strategies*. Structure and Infrastructure Engineering, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2016.1245761>
- Post, J.A.B., Pothof, I.W.M., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2016). *Monitoring and statistical modelling of sedimentation in gully pots*. Water Research, 88:245-256, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.10.021>
- Post, J.A.B., Pothof, I.W.M., Ten Veldhuis, J. A. E., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2016). *Analysis of lateral house connection failure mechanisms*. Urban Water Journal, 13(1):69-80, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/1573062X.2015.1057175>
- Van Riel, W.A.P., Post, J.A.B., Langeveld, J.G., Herder, P.M., and Clemens, F.H.L.R. (2016). *A gaming approach to networked infrastructure management*. Structure and Infrastructure Engineering, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2016.1212902>

Conferentieartikelen

- Post, J.A.B., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2016). *Identifying factors that influence lateral house connection failures using random forests*. Artikel gepresenteerd tijdens de 8e International Conference on Sewer Processes and Networks, Rotterdam, Nederland, 31 augustus-2 september 2016.
- Post, J.A.B., Pothof, I.W.M., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2015). *Modelling progressive sediment accumulation in gully pots: a Bayesian approach*. Artikel gepresenteerd tijdens de 10e International Urban Drainage Modelling Conference, Quebec City, Canada, 20-23 september 2015.
- Post, J.A.B., Pothof, I.W.M., Ten Veldhuis, J.A.E., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2014). *The impact of lateral house connections on the serviceability of sewer systems*. Artikel gepresenteerd tijdens de 13e IWA/IAHR International Conference on Urban Drainage, Sarawak, Malaysia, 7-11 september 2014.

Workshops

- Post, J.A.B., Pothof, I.W.M., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2015). *Statistical modelling of sediment accumulation in gully pots*. Artikel gepresenteerd tijdens de European Sewer Asset Management Workshop (ESAM), Amsterdam, Nederland, 4-5 juni 2015.
- Post, J.A.B., Pothof, I.W.M., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2015). *Monitoring sediment accumulation in street inlets to support maintenance strategies*. Artikel gepresenteerd tijdens de European Junior Scientist Workshop (EJSW), Chichilianne, France, 18-22 mei 2015.
- Post, J.A.B., Pothof, I.W.M., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2013). *The serviceability of lateral house connections: The contribution of different failure mechanisms*. Artikel gepresenteerd tijdens de Junior Scientist Workshop: Sewer Asset Management, Wateringen, Nederland, 20-22 november 2013.

Nederlandstalige publicaties

- Post, J.A.B. (2014). *Promotieonderzoek operationeel beheer voorkant riolering*. RIONEDnieuws, februari 2014.

STOWA en Stichting RIONED in het kort

Stichting RIONED is de koepelorganisatie voor de riolering en het stedelijk waterbeheer in Nederland. In RIONED participeren alle partijen die bij de rioleringszorg betrokken zijn: overheden (gemeenten, waterschappen, rijk en provincies), bedrijven (leveranciers, adviesbureaus, inspectiebedrijven en aannemers) en onderwijsinstellingen. De belangrijkste taak van Stichting RIONED is het beschikbaar stellen van kennis aan de vakwereld. Dit doet RIONED door onderzoek, het bundelen van bestaande kennis en het op vele manieren informeren en bij elkaar brengen van professionals.

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

© 2016 Stichting RIONED en STOWA

Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Disclaimer

Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van deze publicatie.

Promotoren

François Clemens (hoogleraar Riolering TU Delft en promotor)
Jeroen Langeveld (directeur Kennisprogramma Urban Drainage en copromotor)

auteur

dr.ir. Johan Post (TU-Delft, per 1-11-2016 Partners4UrbanWater)

tekstadvies

Karlijn Kunst

omslagfoto

Wim van Hof, www.gaw.nl

vormgeving

Jeroen Brugman, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

druk

Drukkerij Modern b.v., Bennekom

rapportnummer

2016-29

isbn/ean

978 90 73645 59 2

Het proefschrift 'A statistical approach to guide the management of the anterior part of the sewer system' van Johan Post kunt u downloaden via: <http://repository.tudelft.nl/>

Dit is de Nederlandstalige samenvatting van het proefschrift '*A statistical approach to guide the management of the anterior part of the sewer system*' van Johan Post, de derde promovendus uit het Kennisprogramma Urban Drainage. Deze samenvatting geeft de resultaten van zijn onderzoek naar het functioneren en het operationeel beheer van kolken, kolkaansluitleidingen en huisaansluitingen. Aan de orde komen de invloed van aansluitingen op het rioolsysteem, de effectiviteit van maatregelen en aanbevelingen voor het beheer.

ISBN/EAN 978 90 73645 59 2

