

Samenvatting proefschrift Matthijs Rietveld

Sedimentopbouw in straatkolken
(On the build-up of storm water
solids in gully pots)

Sedimentopbouw in straatkolken (On the build-up of storm water solids in gully pots)

Voorwoord

Dit is de Nederlandstalige samenvatting van het proefschrift 'On the build-up of storm water solids in gully pots'. De samenvatting beschrijft de praktische resultaten van een onderzoek naar sedimentophoping in straatkolken door Matthijs Rietveld. Hij is de zesde promovendus die binnen het Kennisprogramma Urban Drainage met succes een promotie-onderzoek afrondt. Dit door de afvalwatersector gefinancierde meerjarig onderzoeksprogramma levert wetenschappelijke kennis voor belangrijke vraagstukken uit de praktijk én wetenschappelijk geschoolde vakkrachten voor stedelijk waterbeheer.

Het onderzoek beoogde inzicht te krijgen in de opbouw van sediment in straatkolken om op basis daarvan het ontwerp en beheer ervan te kunnen verbeteren. Hiertoe is een serie van veldexperimenten uitgevoerd in de gemeenten Den Haag en Rotterdam en zijn gedetailleerde experimenten uitgevoerd in het Hydro lab van Deltares.

Het onderzoek laat zien dat schone kolken behoorlijk effectief deeltjes afvangen, maar dat dit na enkele maanden sediment vangen snel vermindert. Hoe snel dit proces verloopt ligt zowel aan de omgeving, de regenval die deeltjes transporteert en de afvang efficiëntie van de kolk. Niet alleen de hoeveelheid, maar ook de samenstelling van de deeltjes blijkt sterk te variëren in tijd en plaats.

Zowel de keuze voor een reinigingsfrequentie, als het kolkontwerp en de aanleg kan de afvang efficiëntie verhogen. Hierdoor kan het achterliggende stelsel worden beschermd voor verstopping en de omgeving voor verontreiniging.

Deze samenvatting presenteert de voor de praktijk meest relevante resultaten van het promotieonderzoek. In het volledige (Engelstalige) proefschrift vindt u meer informatie over de toegepaste (statistische) methoden, modellen en experimentele opstellingen. Het proefschrift met de detailinformatie en de wetenschappelijke onderbouwing van de resultaten kunt u via <http://repository.tudelft.nl/> vrij downloaden.

Wij wensen u veel leesplezier en inspiratie toe.

Hugo Gastkemper, Stichting RIONED
Joost Buntsma, STOWA
Maart 2021

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Achtergrond en aanleiding	7
1.2	Doel van het onderzoek	8
1.3	Leeswijzer	8
2	Sedimentaanvoer naar de kolk	9
2.1	Onderzoeksdoel	9
2.2	Meetopzet	9
2.3	Meetresultaten	10
2.3.1	Hoeveelheid	10
2.3.2	Het effect van straatvegen	11
2.3.3	Samenstelling	12
3	Sedimentophoging in de kolk	15
3.1	Onderzoeksdoel	15
3.2	Meetopzet	15
3.3	Resultaten	16
4	Afvangefficiëntie van een kolk	17
4.1	Onderzoeksdoel	17
4.2	Meetopzet	17
4.3	Resultaten	18
5	Straatkolkhydraulica	20
5.1	Onderzoeksdoel	20
5.2	Meetopzet	20
5.3	Resultaten	20
6	Conclusies en aanbevelingen	23
6.1	Sedimentaanvoer naar de kolk	23
6.2	Sedimentophoping in de kolk	23
6.3	Afvangefficiëntie en hydraulica van een kolk	24
6.4	De uitdaging voor de praktijk	25
	Literatuur	26
	Colofon	27

1 Inleiding

Goed functionerende riolering is een essentiële voorwaarde voor een gezond leefklimaat in steden en dorpen. Ten eerste levert riolering een bijdrage aan de volksgezondheid door het zorgen voor de afvoer van afvalwater. Hierdoor wordt het contactrisico met ziekteverwekkende organismen beperkt. Ten tweede zorgt de riolering door het verwerken van hemelwater voor 'droge voeten', waarbij de oppervlaktewaterkwaliteit zo veel mogelijk wordt ontzien. Straatkolken vormen de verbinding tussen het afvoerend verhard oppervlak van wegen en de onderliggende riolering of hemelwatervoorziening. Het goed functioneren van straatkolken is van groot belang voor het goed kunnen functioneren van de riolering als geheel.

1.1 Achtergrond en aanleiding

Overlastmeldingen van burgers zijn een belangrijke prestatie-indicator van het rioleringsstelsel, vooral als weergave van het hydraulisch functioneren van het netwerk. Ten Veldhuis en Clemens (2011) toonden aan dat een groot deel van deze meldingen betrekking had op wateroverlast door verstopte straatkolken.

Nederland telt naar schatting 7 miljoen kolken. Deze zichtbare elementen van de riolering vervullen twee functies:

1. Regenwater naar het achterliggende stelsel afvoeren met zo min mogelijk hydraulische verliezen.
2. Zoveel mogelijk deeltjes uit dat regenwater afvangen door bezinking op de bodem van de kolk. Dit gedeelte van de kolk wordt zandvang genoemd en bevindt zich onder de aansluitleiding. Bij een hoge afvangefficiëntie loopt deze zandvang snel vol, waarna de zandvang zijn functie niet meer kan vervullen. Het gevolg is verstopping of doorspoelen van sediment naar het achterliggende stelsel.

Om burgers te beschermen tegen wateroverlast en gezondheidsrisico's door verstopte kolken worden straatkolken meestal jaarlijks gereinigd. De jaarlijkse kolkenreiniging is een vorm van proactief onderhoud. Caradot et al. (2011) laten zien dat het proactief reinigen vaak niet genoeg is en dat de meeste reactieve onderhoudsactiviteiten aan het riool alsnog gerelateerd zijn aan straatkolken. Om tot een goede balans tussen proactief en reactief onderhoud te komen is het noodzakelijk om te weten hoe snel de zandvang volloopt. Een eerste indicatie volgt uit het onderzoek van Johan Post naar factoren die verstoppingen veroorzaken in kolken. Uit zijn onderzoek bleek dat in 15 maanden een klein deel van de straatkolken verstopt raakte, terwijl in het grootste deel na 3 tot 4 maanden een stabiele dikte van de sedimentlaag (het sedimentbed) werd bereikt in de zandvang. Hieruit blijkt dat instromend sediment doorstroomt naar het riool erachter en de afvangefficiëntie sterk afneemt over de tijd.

Kolken die slecht in staat zijn om sediment af te vangen, raken minder snel vol. Dit sediment spoelt dan echter door naar het benedenstroomse systeem. Dit is meestal een riolering maar steeds vaker zijn dit ook infiltratievoorzieningen. In beide systemen zorgt het sediment voor een vermindering van het functioneren, zoals afname van de hydraulische capaciteit door bezinking, verstoring van pompen, vermindering van de efficiëntie van zuiveringen, verontreiniging van het grondwater door infiltratie, of verontreinig van oppervlaktewater bij overstorten.

1.2 Onderzoek

Om zowel verstopping als vermindering van het afvangrendement te voorkomen en daarmee het beheer van kolken te verbeteren, is het noodzakelijk de opbouw van het sedimentbed in de straatkolk beter te begrijpen en te kwantificeren. Dit is relevant omdat een aanzienlijk deel van het onderhoudsbudget van gemeenten wordt besteed aan kolkenreiniging. Zo rapporteerde Ten Veldhuis et al. (2009) bijvoorbeeld dat de gemeenten Breda en Haarlem ongeveer 15% van het onderhoudsbudget uitgeven aan preventieve kolkreiniging en 5% aan reactieve reiniging.

In deze samenvatting van het proefschrift leest u de voor de praktijk meest relevante conclusies en de aanpak waarmee de conclusies tot stand zijn gekomen. Als u interesse heeft in meer gedetailleerde informatie en onderbouwing, dan kunt u dit lezen in het vrij te downloaden proefschrift: <http://repository.tudelft.nl>.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft allereerst de aanvoer van deeltjes naar de straatkolk in termen van hoeveelheid en samenstelling. Vervolgens beschrijft hoofdstuk 3 welke factoren bijdragen aan de ophoping van deeltjes in straatkolken. Hoofdstuk 4 zoomt in op wat de afvangefficiëntie van een straatkolk is, terwijl hoofdstuk 5 de achterliggende hydraulica analyseert. Tot slot geeft hoofdstuk 6 de gecombineerde conclusies en aanbevelingen weer.

2 Sedimentaanvoer naar de kolk

2.1 Onderzoeksdoel

Uit de literatuur (o.a. Pratt et al. 1987) blijkt dat de aanvoer van sediment naar kolken sterk varieert per plaats en over de tijd. Om een goed beeld te krijgen van de hoeveelheid en samenstelling van het aangevoerde sediment is het daarom noodzakelijk om een groot aantal straatkolken over langere tijd te monitoren.

2.2 Meetopzet

In de wijk Nesselande in Rotterdam zijn 104 straatkolken gemonitord gedurende 2 jaar. In deze kolken zijn nylon filters geplaatst met een diameter van 18 cm, een lengte van 50 cm en een maaswijdte van 50 μm . Figuur 2.1 toont een gemonitorde straatkolk en de daarin geplaatste filter.



Figuur 2.1 (a) Straatkolk in een van de gemonitorde straten; (b) Filter in de kolk.

Gemiddeld eens per 3 tot 4 weken is de massa van de aangevoerde deeltjes bepaald. Op locatie is de natte massa bepaald en achteraf is in het lab de gemiddelde vochtigheid van meerdere monsters bepaald, zodat een schatting kon worden gemaakt van de droge massa per kolk. In het lab is elke meetronde ook de deeltjesgrootteverdeling en het organisch gehalte bepaald. Tot slot is van een aantal monsters de valsnelheid (dat is de snelheid waarmee deeltjes in stilstaand water bezinken) bepaald met een speciaal daarvoor gebouwde opstelling.



Figuur 2.2 Boomfases: (a) Bladgroeifase; (b) Volle capaciteitsfase; (c) Bladvalfase; (d) Bladloze fase.

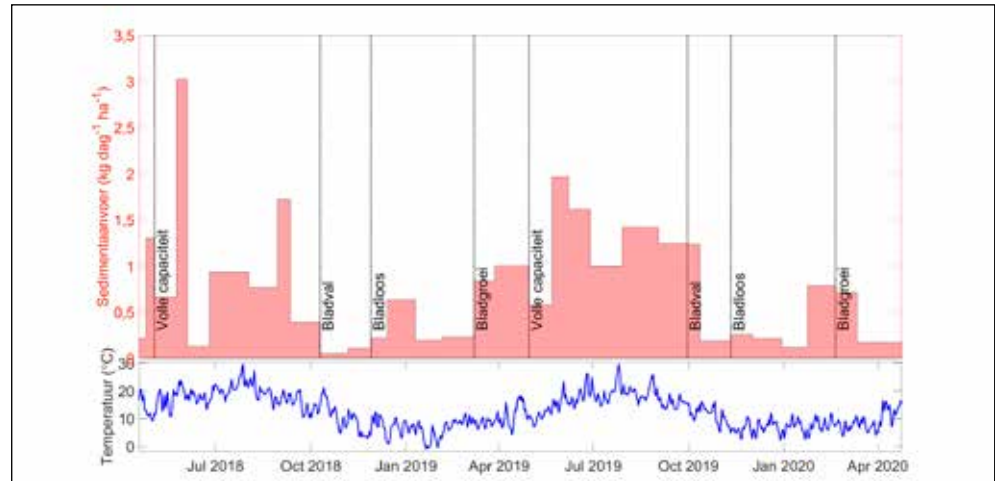
Gedurende het jaar werd een seizoensvariatie verwacht, vooral door bladval. Daarom is de meetperiode ingedeeld in vier 'boomfases' in lijn met Halverson et al. (1985). De begin- en einddatum zijn daarmee niet gekoppeld aan de daadwerkelijke vier seizoenen, maar aan de staat van de bomen die tijdens elke meetronde is bepaald. De vier onderscheiden boomfases zijn: bladgroei, volle capaciteit, bladval en bladloos, zoals getoond in Figuur 2.2.

2.3 Meetresultaten

2.3.1 Hoeveelheid

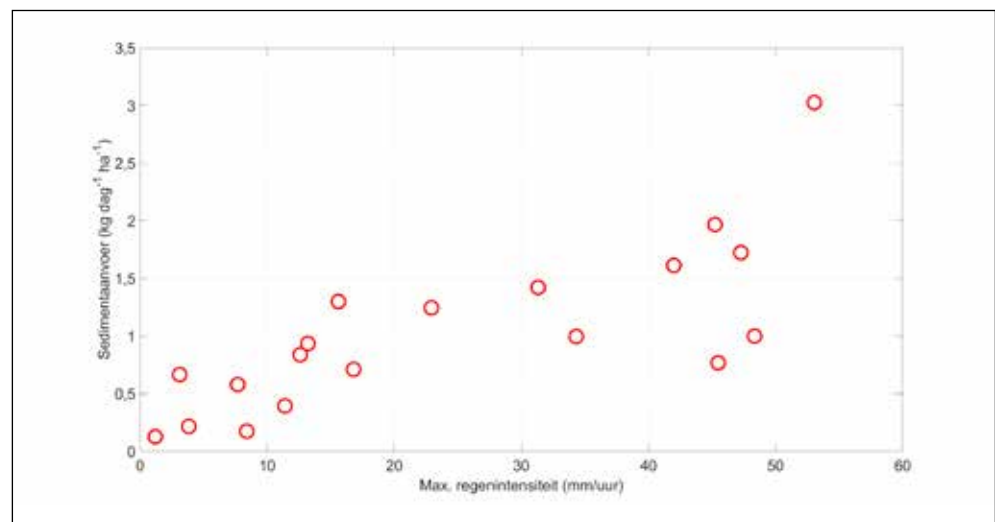
De aanvoer van deeltjes is vooral hoog tijdens de boomfases ‘bladgroei’ en ‘volle capaciteit’ (zoals te zien is in Figuur 2.3), wat grofweg overeenkomt met de lente en de zomer. Dit is opmerkelijk, want algemeen wordt aangenomen dat de aanvoer het hoogst is in het najaar door bladval. In de volgende paragraaf ziet u dat dit wel een effect heeft op de fractie organisch materiaal. Het verschil tussen 1) de fases ‘bladgroei’ en de ‘volle capaciteit’ en 2) de fases ‘bladval’ en ‘bladloos’ wordt mogelijk veroorzaakt door de hogere temperatuur, die ervoor zorgt dat deeltjes op het wegdek droger zijn en daardoor gemakkelijker geërodeerd kunnen worden. Tijdens de eerstgenoemde periode is de maximale regenintensiteit gecorreleerd aan (dat wil zeggen heeft invloed op) de getransporteerde hoeveelheid deeltjes, zoals getoond in Figuur 2.4.

Figuur 2.3 De deeltjesaanvoer, boomfase en de gemiddelde dagtemperatuur.



Over de gehele meetperiode wordt gemiddeld $0,80 \text{ kg} \cdot \text{dag}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ deeltjes aangevoerd. Dit is lager dan de $1,4$ tot $4,5 \text{ kg} \cdot \text{dag}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$ die Philippe en Ranchet (1987) hebben gemeten voor de deeltjesdepositie (dat is de hoeveelheid deeltjes die op het wegdek terechtkomt). Dit verschil wordt veroorzaakt door de verwijdering van deeltjes van de straat door andere manieren dan regen, zoals wind.

Figuur 2.4 De deeltjesaanvoer tijdens de fases ‘bladgroei’ en ‘volle capaciteit’ wordt beïnvloed door de maximale regenintensiteit.

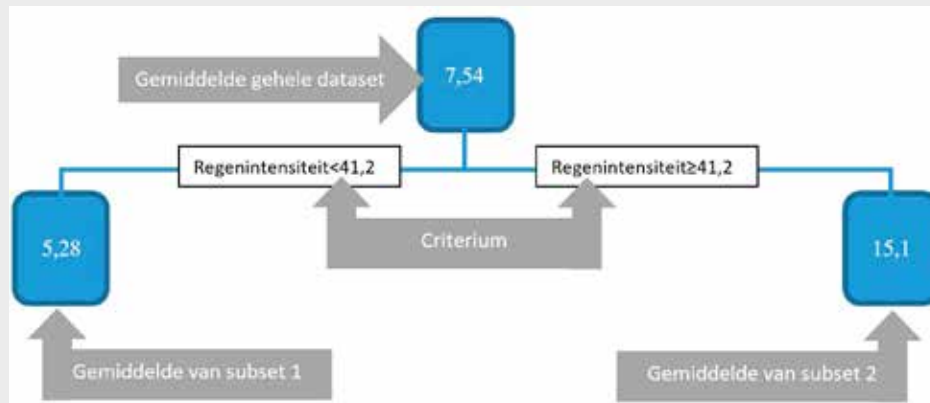


Om de verbanden verder te analyseren is een zogenaamde ‘regressieboom’ gemaakt. Deze statistische methode kan op basis van een grote dataset (zoals die van dit onderzoek) bepalen welke processen invloed hebben op de variatie van de aangevoerde massa deeltjes.

Wat is een regressieboom?

Grote datasets die bestaan uit een onderzochte variabele (de afhankelijke variabele) en de processen die hier mogelijk invloed op hebben (de onafhankelijke variabelen) kunnen worden geanalyseerd met een regressieboom. Deze statistische techniek zoekt naar criteria in de onafhankelijke variabelen, die de afhankelijke variabele dusdanig opsplijt dat het gemiddelde van de afhankelijke variabele in de 2 subsets een zo relevant mogelijk verschil bevatten.

Hieronder ziet u een voorbeeld van de eerste splitsing van de regressieboom die gebruikt is in dit hoofdstuk. Bovenaan wordt begonnen met de gemiddelde waarde van de afhankelijke variabele in de hele dataset. Daaronder staat het opgestelde splitsingscriterium die de dataset heeft opgeknipt in subsets met hogere (rechts) en lagere gemiddelde waardes (links). Het criterium geeft in dit geval aan dat een hoge regenintensiteit leidt tot een hogere aanvoer van deeltjes. De gevonden subsets kunnen vervolgens ook weer worden opgesplitst.



Uit de analyse blijkt dat het regenvolume, de regenintensiteit, de temperatuur, en de straatveegfrequentie de grootste invloed hebben. Deze factoren verhogen alle vier de aanvoer van deeltjes naar de straatkolk.

- De regenintensiteit beïnvloedt zowel het loskomen van deeltjes op de straat als het daarop volgende transport van deeltjes over straat. Het regenvolume heeft alleen invloed op het transport van deeltjes over de straat.
- De temperatuur beïnvloedt de erodeerbaarheid van de deeltjes omdat bij hoge temperaturen de deeltjes droger zijn en daardoor gemakkelijker geërodeerd worden. Tevens zorgt hogere activiteit van mieren en andere insecten voor loswerking van aarde en zand.
- Straatvegen maakt mogelijk deeltjes die vastgeplakt zitten aan het wegooppervlak los, waardoor de aanvoer toeneemt.

Het aangesloten oppervlak per kolk, het debiet en het watervolume dragen ook positief (maar minder sterk) bij aan de aangevoerde hoeveelheid deeltjes, waarbij:

Debiet = afvoerend oppervlak op een kolk vermenigvuldigd met de regenintensiteit

Watervolume = afvoerend oppervlak vermenigvuldigd met de neerslaghoogte.

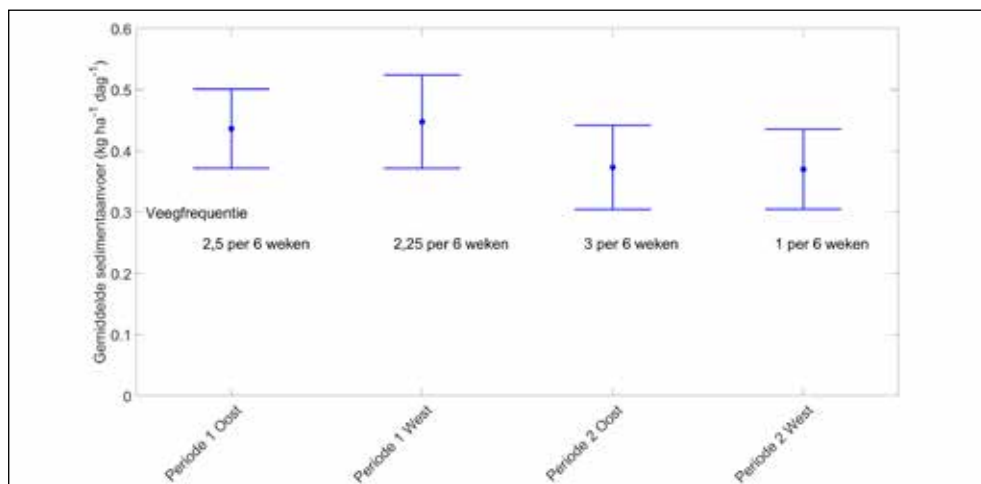
2.3.2 Het effect van straatvegen

Om de invloed van het straatvegen nader te bestuderen heeft de gemeente op verzoek de frequentie van het straatvegen gevarieerd in het onderzochte gebied. Hierdoor kon het effect van straatvegen over een langere periode worden bestudeerd. Allereerst is er vijf maanden gewerkt met een (vrijwel) gelijke frequentie in de gehele wijk en een jaar later is er vijf maanden gewerkt met een verschillende frequentie.

Figuur 2.5 laat zien dat er geen significant verschil (een verschil groter dan de meetonzekerheid) in de deeltjesaanvoer is tussen zowel de twee deelgebieden en de twee meetperiodes. Dit bevestigt de conclusie van Walker et al. (1999) dat straatvegen een verwaarloosbaar effect heeft op de aanvoer van deeltjes naar straatkolken. Mogelijk reinigen de frequente regenbuien de straat beter dan het straatvegen, zoals Bender en Terstriep (1984) schreven.

Het is opvallend dat de regressieboom wel aangeeft dat straatvegen invloed heeft. Het is mogelijk dat de gekozen periode in deze paragraaf achteraf gezien wat ongelukkig is geweest, aangezien het plaatsvond in een periode met een relatief lage deeltjesaanvoer (winter). Het is mogelijk dat het effect sterker is wanneer de aanvoer groter is (bijvoorbeeld in de zomer). Dit is iets voor vervolgonderzoek.

Figuur 2.5
Straatveegfrequentie en deeltjesaanvoer (met de bandbreedte van de meetonzekerheid) gedurende de twee meetperiodes en twee deelgebieden. Het verschil in frequentie heeft geen significante invloed op de deeltjesaanvoer.



2.3.3 Samenstelling

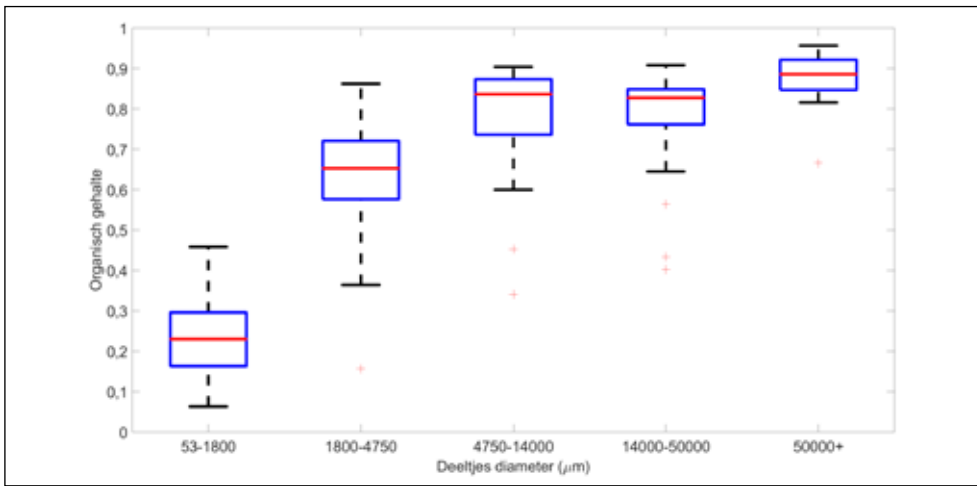
De samenstelling van de deeltjes is bepaald aan de hand van de deeltjesgrootte, het organisch gehalte en de valsnelheid. Er is een verband tussen het organisch gehalte en de D50 (de mediaan ofwel de middelste waarde van de op grootte gesorteerde meetwaarden van de deeltjesdiameter). Dit komt doordat de grootste deeltjes vooral bestaan uit organisch materiaal (blaadjes, takjes etc.), zoals ook te zien is in de boxplot van Figuur 2.6.

Wat is een mediaan?

De mediaan van een set getallen is die waarde waarvoor geldt dat 50% van de waarnemingsuitkomsten kleiner is. Bij het op volgorde van grootte rangschikken van de waarnemingsuitkomsten, is de mediaan bij een oneven aantal waarnemingsuitkomsten gelijk aan de middelste waarnemingsuitkomst. In het geval van een even aantal waarnemingsuitkomsten is de mediaan gelijk aan het gemiddelde van beide middelste waarnemingsuitkomsten. Het voordeel van de mediaan ten opzichte van het gemiddelde is dat deze minder gevoelig is voor uitschieters, zowel naar boven als naar beneden.

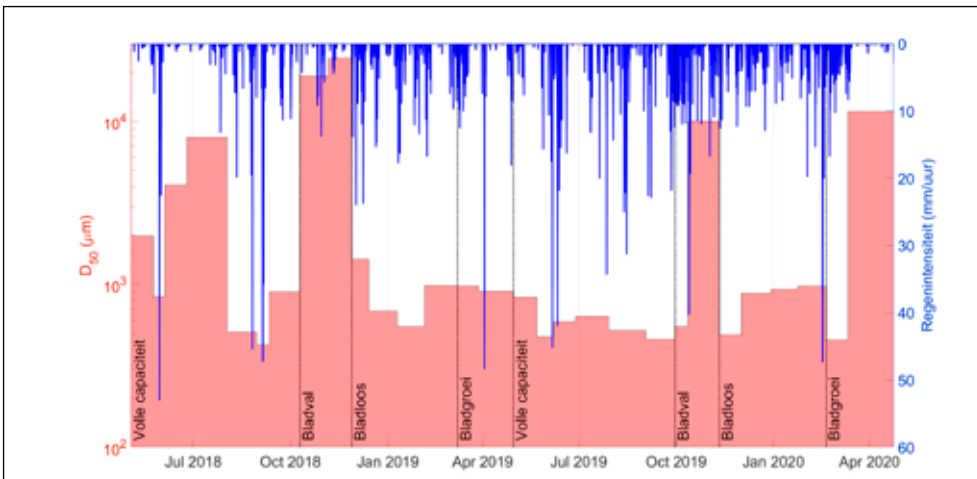
Wat is een boxplot?

Een boxplot geeft grafisch de spreiding van een variabele aan. Een boxplot bestaat uit een box (de blauwe rechthoekjes in Figuur 2.6) waarbinnen de helft van de waarnemingen valt. De rode verticale lijn die de box in twee delen verdeelt, is de mediaan. De zwarte lijnen die lopen vanaf de beide uiteinden van de box en die worden begrensd door de zwarte verticale lijnen geven de spreiding weer van de rest van de waarnemingen. Alle waarnemingen die niet als een uitschieter worden beschouwd, vallen hierbinnen. Uitschieters in de waarnemingen zijn afgebeeld als een rood plusteken. Met behulp van een boxplot ontstaat inzicht in de verdeling van de metingen.

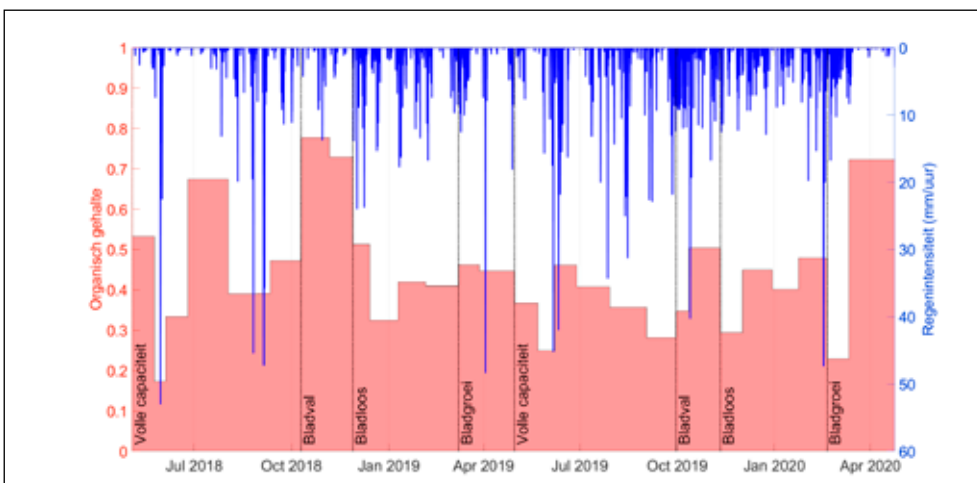


Figuur 2.6 Het organisch gehalte hangt af van de diameter van de deeltjes.

In Figuur 2.7 en Figuur 2.8 is te zien dat zowel het organisch gehalte als de D_{50} een maximum vertonen tijdens de herfst, in de zomer van 2018, en in april 2020. Naast de gebruikelijke bladval in de herfst, was er ook aanzienlijke bladval in de zomer van 2018 door de lange droogte. Bovendien is regen het belangrijkste transportmiddel voor fijn anorganisch materiaal, terwijl groter en lichter organisch materiaal mogelijk ook op een andere manier wordt verplaatst, zoals door wind of verkeer. Hierdoor is er een relatief grote fractie organisch materiaal in april 2020 en is de fractie in de 'bladval' periode van 2018 groter dan in dezelfde periode in 2019.



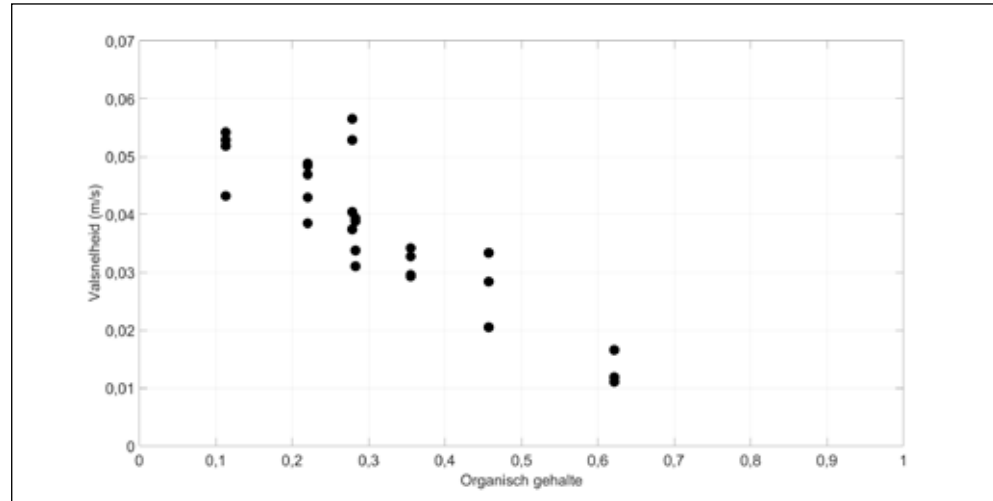
Figuur 2.7 Het verloop van de D_{50} , regenintensiteit en boomfase over de tijd.



Figuur 2.8 Het verloop van het organisch gehalte, regenintensiteit en boomfase over de tijd.

De valsnelheid van monsters met deeltjes $<1800\ \mu\text{m}$ is bepaald in een speciaal daarvoor ontwikkelde valkolom (grotere deeltjes verstoren de metingen en zijn daarom niet geanalyseerd). Deze deeltjes vormen een groot deel van de massa die de straatkolken binnenkomt. De (mediaan van de) valsnelheid van de monsters bevond zich tussen de 0,01 en 0,06 m/s en was sterk gecorreleerd met het organisch gehalte van de deeltjes, zoals getoond in Figuur 2.9. Dit beïnvloedt immers zowel de dichtheid als de vorm van de deeltjes. Deze valsnelheden zijn van belang om samen met de resultaten van de proeven in hoofdstuk 4 te schatten hoe hoog de afvang efficiëntie van een straatkolk in de praktijk is.

Figuur 2.9 Het organisch gehalte heeft invloed op de valsnelheid van de geanalyseerde monsters. Hoe hoger het gehalte, hoe kleiner de valsnelheid.



3 Sedimentophoping in de kolk

3.1 Onderzoeksdoel

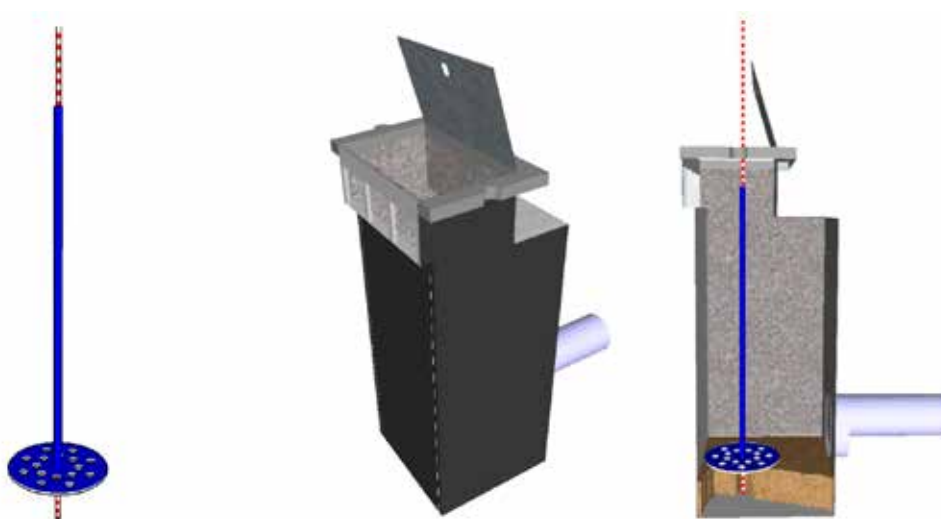
Terwijl in het vorige hoofdstuk de aanvoer van sediment naar de straatkolk is bestudeerd, wordt in dit hoofdstuk bepaald welke factoren bijdragen aan de ophoping van sediment in de kolk. Er is onderzoek gedaan naar factoren die onderdeel uitmaken van drie processen, namelijk de ophoping van deeltjes op de straat, het transport van deze deeltjes naar de kolk en het afvangen van de deeltjes door de kolk.

3.2 Meetopzet

Gedurende ruim een jaar is met een gemiddeld tijdsinterval van 3 tot 4 weken de dikte van het sedimentbed bepaald in ongeveer 400 straatkolken verspreid over Den Haag en Rotterdam. De gemonitorde straten (aangegeven in Figuur 3.1) verschillen sterk in vegetatiedichtheid, verkeersintensiteit en bestrating om een goede afspiegeling te vormen van de Nederlandse straatbeelden. Het meetinstrument en de methode ziet u in Figuur 3.2.



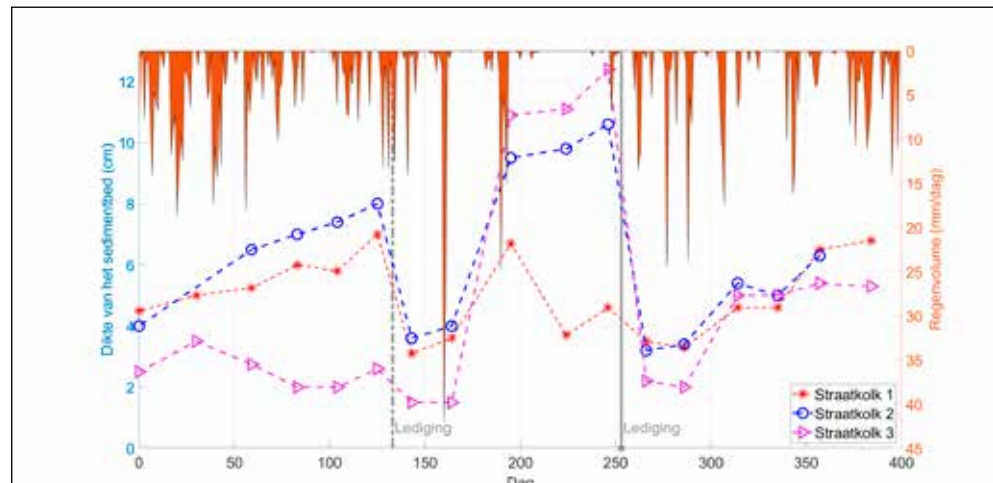
Figuur 3.1 Locaties van de gemonitorde straten.



Figuur 3.2 (a) Meetinstrument voor de dikte van het sedimentbed bestaande uit een horizontale schijf met een verticale holle cilinder en een beweegbare stok in deze cilinder; (b) Straatkolk; (c) Zijaanzicht van meetopstelling. De schijf wordt op de sedimentlaag gedruwd en de stok erdoorheen. Markeringen op de stok geven aan wat de dikte van de sedimentlaag is.

3.3 Resultaten

Figuur 3.3 Verloop van de dikte van het sedimentbed in 3 verschillende straatkolken. De kolken zijn enkele keren gereinigd wanneer er kolken vol dreigden te raken.



In Figuur 3.3 wordt voor een aantal kolken het verloop van de dikte van het sedimentbed weergegeven. Die dikte neemt meestal toe, maar kan ook afnemen door uitspoeling. Aan de hand van deze metingen is het groeivolume per dag bepaald, wat gemiddeld uitkwam op 18 ml/dag.

Om te bepalen welke factoren die groeisnelheid beïnvloeden is onder andere een ‘regressie-boom’ gemaakt op dezelfde manier als voor de aanvoer van de deeltjes. Uit deze analyse blijkt dat de vegetatiedichtheid positief bijdraagt aan de groeisnelheid. Dit neemt nog verder toe in de fase van ‘bladval’ en ‘bladgroei’. In het vorige hoofdstuk werd geconcludeerd dat de massa deeltjes juist sterk toeneemt tijdens de fase van ‘bladgroei’ en ‘volle capaciteit’. Dit toont aan dat de massa en het volume niet direct aan elkaar gekoppeld zijn. Het volume wordt mogelijk sterker beïnvloed door het grote en lichte organische materiaal, terwijl de massa sterker wordt beïnvloed door klein anorganisch materiaal.

De regenintensiteit en de vullingsgraad (dikte sedimentbed gedeeld door kolkdiepte) verminderen (over het algemeen) de groeisnelheid. Een hoge regenintensiteit kan immers leiden tot uitspoeling van het aanwezige sediment in de kolk en de kans op uitspoelen wordt ook vergroot wanneer de kolk meer gevuld is. Het regenvolume kan zowel positief als negatief bijdragen, omdat dit zowel invloed heeft op de transportcapaciteit op straat als uitspoeling in de kolk. Terwijl het debiet (dat is de regenintensiteit maal het aangesloten oppervlak) dat over het stroomgebied van de kolk stroomt enkel positief bijdraagt en mogelijk vooral invloed heeft op de verhoogde transportcapaciteit van deeltjes op straat. Deze aan het sedimenttransport gerelateerde factoren kunnen dus op verschillende manieren het groeiproces beïnvloeden, wat het moeilijk maakt om vooraf in te schatten of de netto bijdrage vooral positief of negatief zal zijn.

De invloed van straatvegen is positief gecorreleerd met de groeisnelheid. Dat betekent dat vaker vegen leidt tot een snellere groei. Dit kan worden veroorzaakt door het losmaken van vastzittend vuil, wat vervolgens verplaatst kan worden naar de kolken. De grootte van het aangesloten oppervlak per kolk draagt ook positief bij aan de groeisnelheid, er zijn daardoor immers meer deeltjes voor de betreffende kolk beschikbaar. Tot slot draagt ook de dwarsdoorsnede van de kolk zelf positief bij aan de groei. Een grotere kolk leidt tot een rustiger stroming en een toegenomen bezinking van deeltjes, maar door de toegenomen ruimte raakt de zandvang wel minder snel vol.

4 Afvang efficiëntie van een kolk

4.1 Onderzoeksdoel

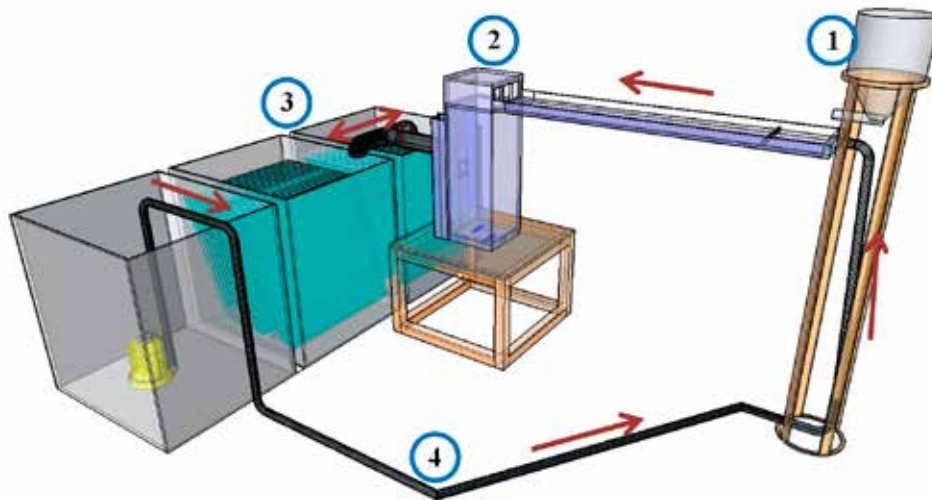
Het nut van de zandvang van een straatkolk wordt bepaald door de efficiëntie van het afvangen van deeltjes. Vanuit eerdere onderzoeken zijn hiervoor enkele vergelijkingen opgesteld, waarvan de bekendste die van Butler en Karunaratne (1995) is. Zij beschouwen het afvangen als een balans tussen de valsnelheid van de deeltjes (dat is de snelheid waarmee deeltjes in stilstaand water bezinken, zie ook paragraaf 2.3.3) en de gemiddelde stroomsnelheid (waarop het specifieke stromingspatroon geen invloed heeft en waardoor de vergelijking uit slechts enkele variabelen bestaat):

$$\varepsilon = (\alpha w_s) / (\alpha w_s + Q/A) \quad (1)$$

Hierin is w_s de valsnelheid, A de horizontale dwarsdoorsnede, Q het debiet en α een correctiefactor om de valsnelheid te compenseren voor de turbulente stroming. Butler en Karunaratne (1995) kozen een waarde van 0,6 voor α en berekenden de valsnelheid met behulp van de wet van Stokes.

Behalve dat de specifieke stroming geen invloed heeft op de efficiëntie in deze vergelijking, heeft ook de (over de tijd toenemende) dikte van het sedimentbed geen invloed. Uit andere literatuur (Post et al. 2016; Langeveld, Liefing en Schilperoort 2016) blijkt dat dit wel het geval is. Om te bepalen in welke situaties de vergelijking kan worden gebruikt en in welke mate de stroming en de opbouw van het sedimentbed de efficiëntie beïnvloedt, zijn labmetingen verricht in een transparante schaal 1:1 straatkolk.

4.2 Meetopzet



Figuur 4.1 De experimentele opstelling waarin met pijlen de stromingsrichting wordt aangegeven. 1. Zandtoevoer 2. Straatkolk 3. Bezinktanks 4. Retourslang met debietmeter.

In Figuur 4.1 ziet u de belangrijkste onderdelen van de experimentele opstelling. Water wordt in een goot gepompt, waar er zand aan wordt toegevoegd, en stroomt richting de transparante straatkolk. In de straatkolk bezinkt een deel van het zand. De massa van het bezonken zand wordt continu bepaald met een weegschaal die zich onder de kolk bevindt. Het water met de rest van het zand stroomt naar de bezinktanks, waar de rest van het zand bezinkt en het schone water met een pomp geretourneerd wordt naar het begin van de opstelling.

Doordat bekend is hoeveel zand er per tijdseenheid aan het water wordt toegevoegd en er gemeten wordt hoeveel zand er in de straatkolk bezinkt, kan worden uitgerekend wat de afvang efficiëntie is en hoe deze over de tijd verandert. Deze afvang efficiëntie is bepaald voor verschillende debieten (ofwel regenintensiteiten), zandkorrelgroottes, zandvangdieptes en kanten van de aansluitleiding.

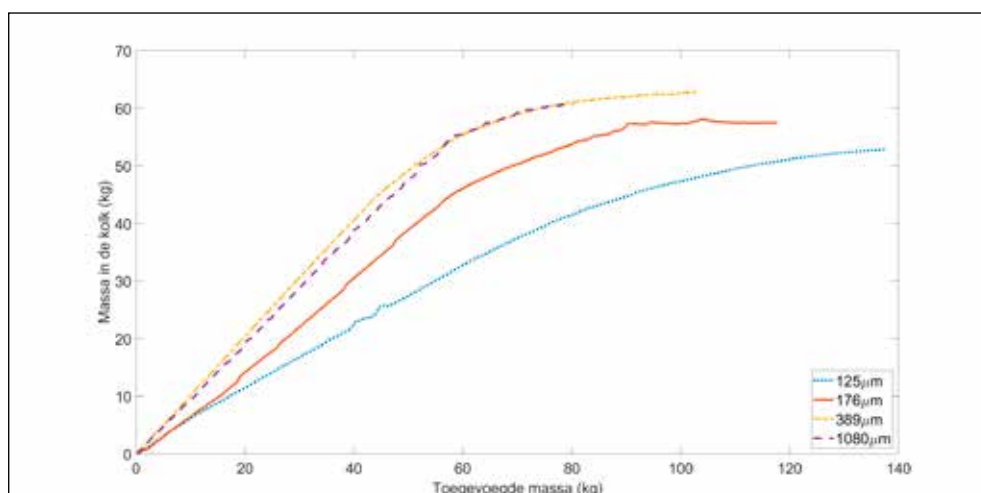
4.3 Resultaten

In eerste instantie wordt de vorming van het sedimentbed in de kolk alleen bepaald door de bezinking van deeltjes. Het sedimentbed is niet vlak, maar de vorm wordt bepaald door de plek waar de stralen vanuit de inlaat in de kolk vallen, de valsnelheid van de deeltjes en het stromingspatroon en -snelheid. In sommige gevallen leidt dit tot een dikkere laag onder de aansluitleiding, en in andere gevallen tot een dikkere laag aan de zijde van de inlaat. In de praktijk zal het sedimentbed vlakker zijn, omdat de intensiteit van regenbuien en de deeltjesgrootte sterk varieert, terwijl deze binnen een labtest constant werden gehouden. Dit verandert echter niets aan de gevonden verbanden die besproken worden.

Als de dikte van het sedimentbed flink is toegenomen, begint deze de stroming en de afvang efficiëntie te beïnvloeden. De stroomsnelheid boven het sedimentbed neemt toe, waardoor minder deeltjes bezinken of deeltjes weer los kunnen raken uit het bed. Uiteindelijk bereikt dit een punt waarin er netto geen deeltjes meer worden toegevoegd aan het sedimentbed. Op welke hoogte van het sedimentbed dit punt bereikt wordt, hangt af van de valsnelheid van de deeltjes en het stromingspatroon en -snelheid.

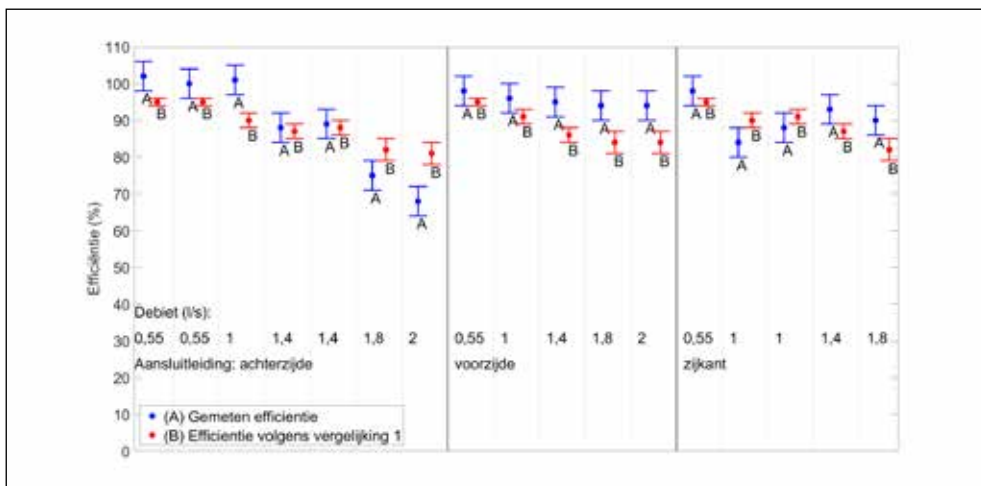
In Figuur 4.2 blijkt hoe kleiner de zandkorrels (dat wil zeggen hoe lager de valsnelheden) zijn, hoe lager de afvang efficiëntie en hoe lager de totale massa die in de straatkolk kan worden opgeslagen (de maximale waarde op de y-as).

Figuur 4.2 De massa zand die afgevangen wordt in de straatkolk is in eerste instantie lineair verbonden met de massa toegevoegd aan het water. Na verloop van tijd buigen de lijnen af doordat het sedimentbed invloed uit gaat oefenen op de efficiëntie. De pijlen geven een vermindering van de initiële efficiëntie en een vermindering van de maximale opgeslagen massa zand aan onder invloed van de deeltjesgrootte. De testen zijn uitgevoerd bij een debiet van 1,0 l/s, zandvangdiepte van 0,21 m en met de aansluitleiding aan de achterzijde.



Als de straatkolk op tijd geleegd wordt kan de opbouw steeds opnieuw in het eerste lineaire gedeelte plaatsvinden, voordat de efficiëntie vermindert. Dit kan in de loop van de tijd zorgen voor een sterke vermindering van de vuillast naar het achtergelegen stelsel ten opzichte van die situatie waarin de kolk gereinigd wordt terwijl diens afvang efficiëntie sterk verminderd was.

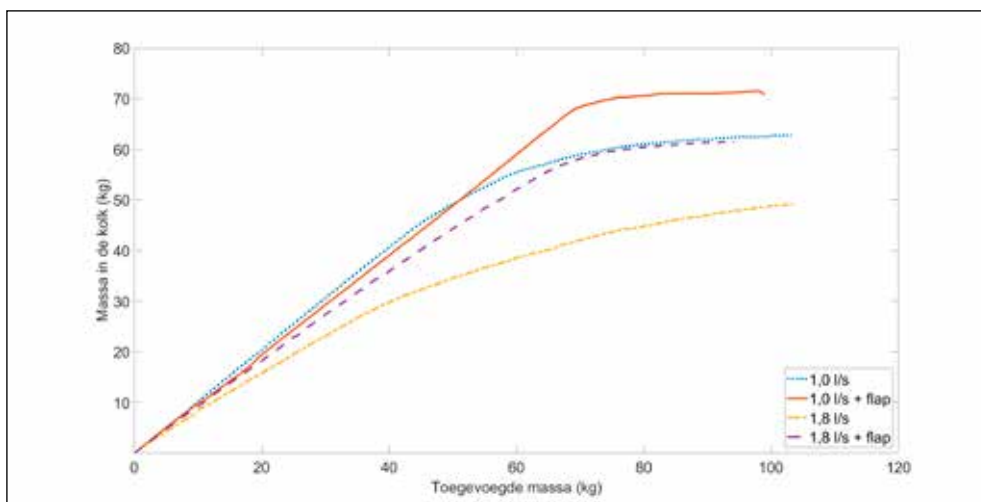
Uit vergelijking 1 volgt dat de initiële afvang efficiëntie (dus het lineaire deel in Figuur 4.2) geen invloed ondervindt van het stromingspatroon. Dit blijkt echter ingewikkelder te liggen, blijkt uit Figuur 4.3 waarin de initiële efficiëntie wordt weergegeven voor verschillende kolkgeometrieën die het stromingspatroon beïnvloeden. De figuur toont de efficiëntie voor een kolk met de aansluitleiding aan de achterkant, voorkant en zijkant bij verschillende debieten. Als de aansluitleiding aan de achterzijde zit, neemt de efficiëntie af bij een toenemend debiet, terwijl de efficiëntie nauwelijks afneemt wanneer de aansluitleiding zich aan de voorzijde bevindt en het verband nog complexer is bij een aansluitleiding aan de zijkant.



Figuur 4.3 Gemeten efficiëntie (blauw) en efficiëntie volgens vergelijking 1 (rood). Niet alleen het debiet, maar ook het stromingspatroon door middel van de aansluitleiding heeft invloed op de afvang efficiëntie. De testen zijn uitgevoerd met een zandvangdiepte van 0,21 m en zand met een korrelgrootte van 389 μm .

Uit Figuur 4.3 blijkt dat er naast het debiet een andere factor bestaat die de efficiëntie beïnvloedt. Dit is de afstand tussen de plaats waar het water vanaf de inlaat op het watervlak invalt en de plaats waar de aansluitleiding zich bevindt. Naarmate het debiet toeneemt valt het water verder naar achter in de kolk. Daardoor neemt de afstand tot de aansluitleiding toe wanneer deze zich aan de voorzijde bevindt, en neemt de efficiëntie in dat geval niet significant af (dat wil zeggen een verschil groter dan de meetonzekerheid zoals ook staat weergegeven in Figuur 4.3). Wanneer de aansluitleiding zich aan de zijkant bevindt is de afstand minimaal bij een debiet van ongeveer 1,0 l/s, waardoor voor zowel hogere als lagere debieten een hogere efficiëntie kan worden behaald.

Om dit duidelijker aan te tonen zijn ook testen uitgevoerd waarin op korte afstand achter de inlaat een metalen flap was geplaatst die ervoor zorgde dat het water altijd aan de voorzijde in de kolk viel. Dit zorgt voor een vergrote afstand tot de aansluitleiding wanneer die zich aan de achterzijde bevindt. Figuur 4.4 laat zien dat door deze flap zowel de initiële efficiëntie als de totale massa die in de straatkolk past toenemen.



Figuur 4.4 Niet alleen het debiet dat door de kolk stroomt, maar ook de wijze waarop dit gebeurt is van belang voor de afvang-efficiëntie. De toevoeging van een metalen flap achter de inlaat verhoogt de afvang-efficiëntie voor een kolk met de aansluitleiding aan de achterzijde. De testen zijn uitgevoerd met een zandvangdiepte van 0,21 m en zand met een korrelgrootte van 389 μm .

5 Straatkolkhydraulica

5.1 Onderzoeksdoel

In hoofdstuk 4 wordt aangetoond dat het stromingspatroon invloed heeft op de afvang efficiëntie van de straatkolk, waardoor de vergelijking van Butler en Karunaratne (1995) niet altijd opgaat. Daarom is informatie over het stromingspatroon en de interactie met het sedimentbed nodig om de bezink- en uitspoelprocessen beter te begrijpen en in een later stadium de modellen voor de afvang efficiëntie te verbeteren.

5.2 Meetopzet

Onder andere met behulp van Particle Image Velocimetry (PIV) is het stromingspatroon van een straatkolk in kaart gebracht. Het stromingspatroon is bepaald voor verschillende debieten (ofwel regenintensiteiten), zandvangdieptes en kanten van de aansluitleiding.

Wat is Particle Image Velocimetry (PIV)?

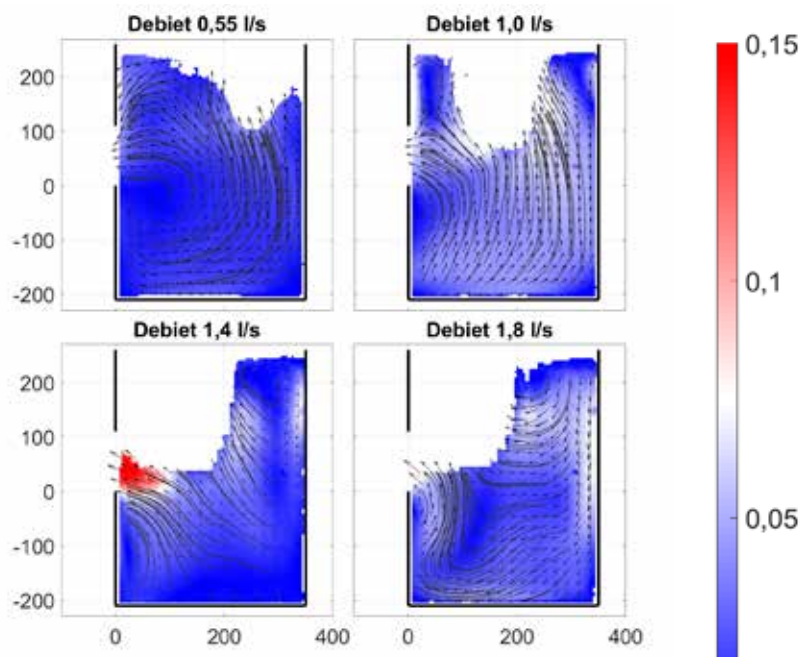
PIV is een meettechniek waarmee bepaald kan worden hoe de stroming door bijvoorbeeld een straatkolk verloopt. In het water worden kleine deeltjes opgelost met dezelfde dichtheid als het water, zodat de deeltjes de stroming precies volgen. Vervolgens wordt een foto gemaakt van het te onderzoeken gebied dat tegelijk kort wordt verlicht met een laser. Door vlak achter elkaar een tweede foto te maken, kan bepaald worden hoe de opgeloste deeltjes zijn verplaatst. Daarmee kan worden teruggerekend wat de lokale stromingsrichting en snelheid is.

PIV werkt niet in combinatie met andere deeltjes (zoals zand) in het water. Daarom is het stromingspatroon in een lege kolk en in een kolk met een kunstmatig sedimentbed in kaart gebracht. Deze kunstmatige bedden representeren het originele sedimentbed in verschillende fases van het ophopingsproces. Het originele bed is met behulp van stereofotografie in kaart gebracht en vervolgens met een 3D-printer omgezet in een kunstmatig bed.

5.3 Resultaten

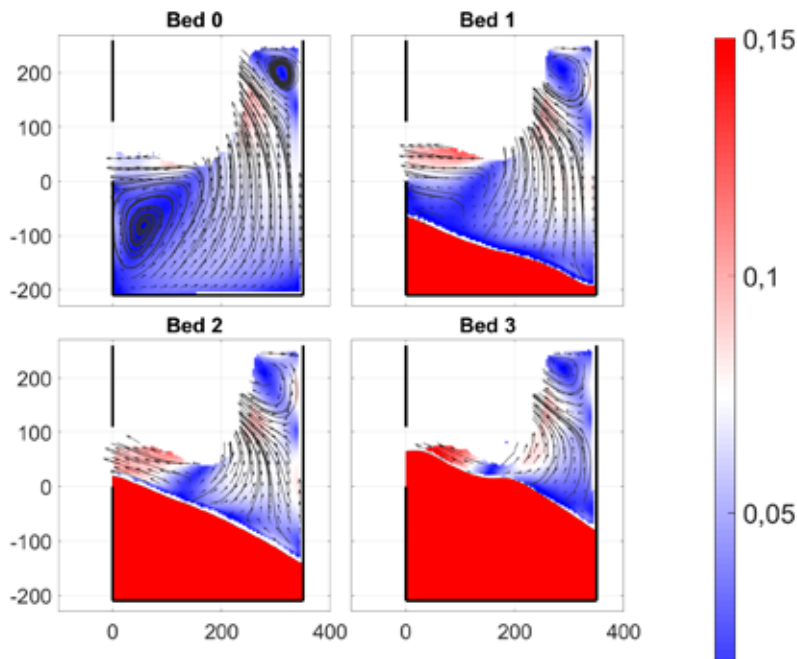
Figuur 5.1 toont het effect van een toenemend debiet op het stromingspatroon. De luchtballen veroorzaakt door het invallende water verstoren het camerabeeld, waardoor de stroming op die plaats niet kan worden bepaald. Wel is te zien dat de stroming aan de rechterzijde van het invallende water naar het invallende water en het wateroppervlak toe is gericht. Dit wordt mogelijk veroorzaakt door een aanzuigend effect van de opstijgende luchtballen.

Figuur 5.1 Het effect van het debiet op het stromingspatroon. Aan de linkerzijde bevindt zich de aansluitleiding en het water valt de kolk in vanaf de rechterzijde (boven het uitgelichte gebied). De afmetingen zijn in mm en de snelheidsbalk in m/s.



Het invallende water stroomt vooral naar de linkerzijde, de kant waar zich ook de aansluitleiding bevindt in deze figuur. De stroming wordt daardoor voornamelijk bepaald door twee locaties met lage waterdruk, namelijk bij de aansluitleiding en aan de rechterzijde van het invallende water, en een locatie met hoge waterdruk aan de linkerzijde van het invallende water.

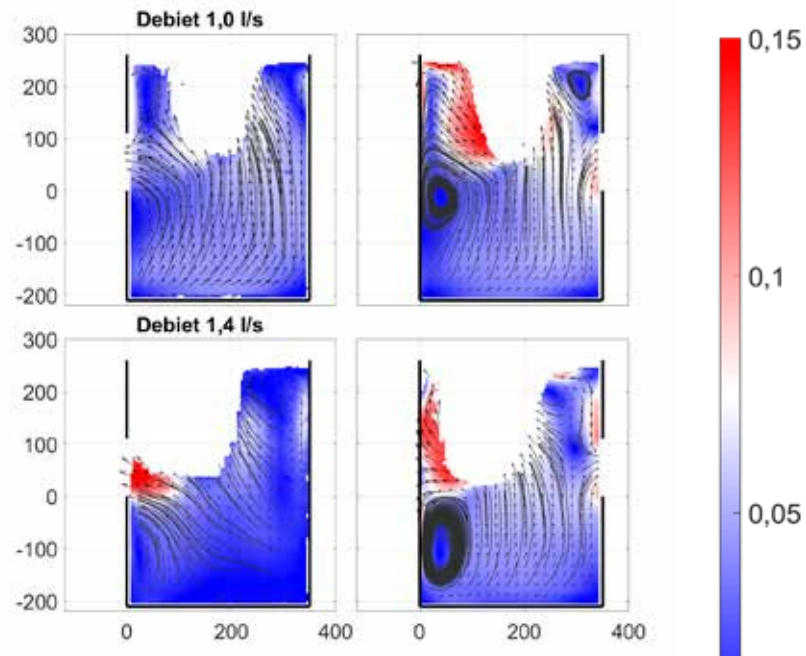
Het invallende water verplaatst zich naar links, naarmate het debiet toeneemt in Figuur 5.1. Hierdoor verplaatsen zich ook de bovengenoemde gebieden. Dit zorgt er bijvoorbeeld voor dat bij de lagere debieten de stromingsrichting aan de bodem naar rechts is en bij het hoogste debiet naar links is. Bovendien kunnen zanddeeltjes direct naar de uitlaat worden getransporteerd in het geval van het hoogste debiet, doordat het invallende water daar zo dichtbij is. Dergelijke kortsluitstromen leiden tot een lagere afvang efficiëntie zoals bepaald is in hoofdstuk 4.



Figuur 5.2 Het effect van een groeiend sedimentbed op het stromingspatroon bij een debiet van 1,0 l/s. De zandvang is respectievelijk gevuld voor 0%, 24%, 62%, en 91% met een kunstmatig sedimentbed. De afmetingen zijn in mm en de snelheidsbalk in m/s.

Figuur 5.2 laat het effect van een groeiend sedimentbed op het stromingspatroon zien. Het water valt bij dit debiet in het midden van de kolk en de stroming is vooral naar links gericht (waar de aansluitleiding zich bevindt). Daardoor ontstaat het dikste sedimentbed aan de linkerzijde. Bij 'bed 1' is de stroomsnelheid bij het bed nog relatief laag en daarom is de stroming bij het bed nog niet zo belangrijk voor de vorm van het bed. Maar wanneer de stroomsnelheid hoger wordt en vergelijkbaar wordt met de valsnelheid van het zand, kunnen deeltjes (bij een echt sedimentbed) worden verplaatst over het bed en uiteindelijk ook uit de kolk worden getransporteerd. Deze verschijnselen zorgen voor de vormverandering bij 'bed 3' ten opzichte van 'bed 1' en 'bed 2'. 'bed 3' representeert ook het bed waar bij een vermindering van de afvang efficiëntie optreedt.

Figuur 5.3 Het effect van de zijde van de aansluitleiding op het stromingspatroon. In de linker figuren bevindt de aansluitleiding zich aan de linkerkzijde, en voor de rechter figuren aan de rechterzijde. De afmetingen zijn in mm en de snelheidsbalk in m/s.



In hoofdstuk 4 ziet u dat de afvangefficiëntie wordt beïnvloed door de zijde waar zich de afsluitleiding bevindt. Figuur 5.3 laat zien welk effect dit heeft op het stromingspatroon. Het invallende water stroomt (in eerste instantie) vooral naar de linkerkzijde en omhoog. Dit zorgt voor een scheiding van het inkomende water en de deeltjes wanneer de aansluitleiding zich aan de voorzijde (in de plaatjes rechts) bevindt, wat voor de getoonde debieten de afvangefficiëntie verhoogt. Bij een lager debiet kan dit effect omslaan, omdat de afstand tussen het invallende water en de aansluitleiding dan afneemt.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Sedimentaanvoer naar de kolk

De toevoer van sediment naar de straatkolk varieert sterk in tijd en plaats, zowel in massa als in samenstelling. De regenintensiteit, het regenvolume en de temperatuur hebben de sterkste invloed op de sedimentmassa. De regenintensiteit en het volume beïnvloeden de erosie van deeltjes op de straat en het transport van deze deeltjes over de straat. De manier waarop de temperatuur invloed heeft is niet zeker, mogelijk beïnvloedt het de erodeerbaarheid van de deeltjes op het wegdek. Een hogere temperatuur kan leiden tot drogere deeltjes en die spoelen gemakkelijker weg. Door de invloed van de gemiddelde temperatuur ontstaat er een zeker seizoensgebonden patroon in de aanvoer van deeltjes naar de kolken.

De D_{50} en het organisch gehalte van deze deeltjes zijn aan elkaar gekoppeld doordat de grotere deeltjes voornamelijk bestaan uit organisch materiaal. De valsnelheid (dat is de snelheid waarmee deeltjes in stilstaand water bezinken) van monsters met deeltjes $<1800\ \mu\text{m}$ ligt tussen 0,01 en 0,06 m/s en wordt sterk beïnvloed door het organisch gehalte.

6.2 Sedimentophoping in de kolk

De volgende processen dragen bij aan de variatie in de ophoping van deeltjes in een straatkolk:

1. Factoren gelinkt aan de opbouw van deeltjes op straat (de vegetatiedichtheid, het seizoen en het aangesloten oppervlak per kolk).
2. Transport over de straat (het regenvolume en het debiet).
3. Afvangen door kolken (de vullingsgraad, de regenintensiteit en de dwarsdoorsnede).

Alle drie de processen moeten worden meegenomen in de overweging van een (lokale) aanpassing van het kolkenreinigingsbeleid.

Frequenter straatvegen bleek zowel in de analyses over de aanvoer van deeltjes en over de ophoping van deeltjes de hoeveelheid deeltjes niet te verminderen. In een aantal gevallen zorgde straatvegen zelfs voor meer deeltjes. Het is mogelijk dat het aantal deeltjes wel afneemt wanneer de effectiviteit van het straatvegen kan worden verbeterd, bijvoorbeeld door burgers te informeren over geplande veegwerkzaamheden en hun auto's aan één zijde van de weg te laten parkeren om daarmee ruimte te geven voor veegwagens. In dit onderzoek is in ieder geval geconstateerd dat straatvegen niet zomaar gezien kan worden als een eenvoudige manier om de deeltjesinstroom te beperken.

Een vergelijkbare aanpak kan gekozen worden om kolkenreiniging effectiever te maken. In het onderzoek van hoofdstuk 2 is namelijk regelmatig geconstateerd dat kolken waren overgeslagen bij de reiniging, vooral vanwege geparkeerde auto's. Dit zorgt ervoor dat een sedimentbed blijft zitten en de deeltjesdoorvoer naar het achterliggende stelsel toeneemt.

De exact benodigde kolkenreinigingsfrequentie om het deeltjestransport naar het achtergelegen stelsel te beperken is afhankelijk van de lokale omstandigheden van de hiervoor genoemde drie processen en menselijk misbruik van de kolk als afvalbak. Over het algemeen kan wel worden gesteld dat een reinigingsinterval van enkele maanden beter is dan het gebruikelijke interval van een jaar.

6.3 Afvangefficiëntie en hydraulica van een kolk

De afvangefficiëntie van een kolk is in eerste instantie relatief constant. Door het voortdurend afvangen van de deeltjes ontstaat er een sedimentbed in de kolk. Na verloop van tijd begint dit sedimentbed het stromingspatroon te beïnvloeden en vervolgens ook de afvangefficiëntie te verminderen. Deze efficiëntievermindering is niet alleen in het laboratorium gevonden, maar is ook bewezen met de veldtesten uit paragraaf 6.1.

Wanneer de kolk voller raakt, kunnen nieuwe deeltjes minder goed bezinken door de verhoogde stroomsnelheden en turbulentie. Daarnaast kunnen deeltjes uit het bed los worden gewoeld en uit de kolk worden getransporteerd. Uiteindelijk bereikt dit een evenwicht waarin er netto geen massa meer wordt toegevoegd aan het sedimentbed. Dit punt (en de initiële efficiëntie) is afhankelijk van het debiet, de geometrie van de kolk en de deeltjeseigenschappen.

De deeltjeseigenschappen kunnen in de praktijk niet beïnvloed worden, maar het debiet en de kolkgeometrie wel. Het debiet kan in een nieuw aan te leggen stelsel worden beïnvloed door de keuze van het aantal straatkolken. Voor de geometrie zijn meerdere mogelijkheden.

Uit de testen bleek dat de diepte van de zandvang weinig invloed heeft op de initiële efficiëntie. Maar uiteraard wel op het punt waarop de efficiëntie begint af te nemen en er dus meer sediment kan worden opgeslagen. Diepere kolken kunnen worden gebruikt om minder vaak de zandvang te hoeven legen, terwijl de efficiëntie behouden blijft. Kolken met een grotere dwarsdoorsnede hebben waarschijnlijk zowel een hogere afvangefficiëntie en een grotere opslagcapaciteit en kunnen dus ook worden gebruikt om het deeltjestransport naar het achtergelegen stelsel te verminderen. Tot slot kan overwogen worden om het ontwerp van kolken aan te passen, bijvoorbeeld door het toevoegen van een flap achter de inlaat om het invallende water weg te houden bij de aansluitleiding (wanneer deze zich aan de achterzijde bevindt). De afstand tussen een dergelijke flap en de inlaat moet wel zo gekozen worden dat alle deeltjes die door de inlaat passen niet vast komen te zitten door de flap.

Om te bepalen wat de efficiëntie van een schone straatkolk in de praktijk is, moet een aanname worden gedaan over het te verwachten debiet, de deeltjeseigenschappen en het kolktype. In Nederland hebben veel kolken een zijinlaat met een aansluitleiding aan de achterzijde (zoals onderzocht in bijvoorbeeld Figuur 4.2). Deze kolken kunnen gemakkelijk aan de zijkant van de straat worden geplaatst. Bovendien worden in dit geval twee bochten gebruikt in de aansluitleiding om de kolk met het riool in het midden van de straat te verbinden, waardoor extra flexibiliteit ontstaat en er minder kans is op een breuk door verzakking of belasting.

De bovengrens van het debiet wordt geschat op 1,8 l/s. Dit debiet correspondeert met een regenintensiteit van ongeveer 60 mm/uur (wanneer het debiet wordt gedeeld door een aangesloten oppervlak van 106 m², wat het gemiddelde was in het meetgebied van hoofdstuk 3). Deze regenintensiteit komt ongeveer 1 keer per jaar gedurende 10 minuten voor in Nederland (Beersma en Versteeg 2019).

Hoofdstuk 4 laat zien dat de valsnelheid van een monster met deeltjes <1800 µm ligt tussen 0,01 en 0,06 m/s. Dit komt overeen met zanddeeltjes met een diameter tussen de 110 en 400 µm.

De combinatie van de laagste valsnelheid en de bovengrens van het debiet leidt (volgens de testen uit hoofdstuk 4) tot een efficiëntie van ongeveer 30%. De meeste regenbuien hebben echter een aanzienlijk lagere intensiteit. Een regenbui van 20,8 mm/uur met de lengte van een half uur komt ongeveer tweemaal per jaar voor en correspondeert met een debiet van 0,6 l/s. Zelfs voor de deeltjes met de laagste valsnelheid kan in dat geval een efficiëntie van ongeveer 65% worden verwacht. Daarom kan worden geconcludeerd dat, wanneer de kolken op tijd worden gereinigd, ze een groot deel van de instromende deeltjes kunnen tegenhouden.

Tot slot moet worden opgemerkt dat de testen in het laboratorium zijn uitgevoerd onder een constant debiet. In werkelijkheid zal het debiet sterk variëren, zowel tussen verschillende regenbuien als binnen dezelfde regenbui. De grootste invloed hiervan is mogelijk op de vorm van het sedimentbed. Dit zal vlakker zijn dan te zien is in Figuur 5.2. De gevonden verbanden tussen de besproken factoren en de afvangefficiëntie zal naar verwachting niet of nauwelijks wijzigen.

6.4 De uitdaging voor de praktijk

De besproken proeven geven inzicht in de processen die de ophoping van deeltjes in de kolk en het transport van deeltjes naar het achterliggende stelsel beïnvloeden. Hieruit komt naar voren dat een kolkreinigingsfrequentie van ten minste 3 maal per jaar nodig is als u maximaal gebruik wilt maken van de sedimentafvangcapaciteit van straatkolken. De gangbare jaarlijkse kolkreiniging lijkt, op basis van eerder onderzoek, wel afdoende om het aantal verstoppingen onder controle te houden, maar is dus onvoldoende om ook zoveel mogelijk sediment op te vangen.

De uitdaging voor de praktijk is dan ook om te bepalen op welke plek het economisch het meest rendabel en milieutechnisch verantwoord is om de deeltjes te verwijderen.

Hiervoor zijn immers verschillende mogelijkheden:

- *Vaker reinigen van alle straatkolken*

Verhoging van de reinigingsfrequentie (met waarborgen dat dit ook lukt voor alle kolken), leidt op jaarbasis tot afvang van ruim 3 maal zoveel sediment in de kolken. Met name waarborgen dat alle kolken elke ronde worden meegenomen, vraagt om een flinke, kostenverhogende inspanning. Een groter deel zal als ‘handkolken’ aanvullend moeten worden gereinigd.

- *Vaker reinigingen van het rioolstelsel*

Het vaker reinigen van rioolstelsels kan evenals bij de kolken leiden tot meer verwijdering van sediment. Onduidelijk is echter bij welke reinigingsfrequentie de aanvullende sedimentopbrengst nog in verhouding staat tot de kosten.

- *Blijven benutten van de zandvang van de rwzi*

De Nederlandse rwzi's verwijderen jaarlijks een aanzienlijke vracht aan sediment in de zandvang. Het vaker reinigen van kolken zal op termijn resulteren in een afname van deze vracht.

- *Baggeren van oppervlaktewater*

Rioolstelsels lozen een deel van het sediment op het oppervlaktewater. Om de watergang op diepte te houden, wordt regelmatig gebaggerd.

Aan u de keuze waar u het sediment het liefste terugziet!

- Beersma, J. and Versteeg, R. (2019). *Basisstatistiek voor Extreme Neerslag in Nederland*. Amersfoort: STOWA.
- Bender, G.M. and Terstriep, M.L. (1984). "Effectiveness of Street Sweeping in Urban Runoff Pollution Control." *Science of the Total Environment* 33 (1-4): 185-192. doi:10.1016/0048-9697(84)90392-9.
- Butler, D., and Karunaratne, S.H.P.G. (1995). "The Suspended Solids Trap Efficiency of the Roadside Gully Pot." *Water Research* 29 (2): 719-729. doi:10.1016/0043-1354(94)00149-2.
- Caradot, N., Granger, D., Chapgier, J., Cherqui, F., and Chocat, B. (2011). "Urban Flood Risk Assessment Using Sewer Flooding." *Water Science & Technology* 64 (4): 832-840. doi:10.2166/wst.2011.611.
- Halverson, H.G., Gleason, S.B., and Heisler, G.M. (1985). "Leaf Duration and the Sequence of Leaf Development and Abscission in Northeastern Urban Hardwood Trees." *Urban Ecology* 9: 323-335. doi:10.1016/0304-4009(86)90007-0.
- Langeveld, J. G., E. Liefing, and R. Schilperoort. (2016). *Regenwaterproject Almere*. Amersfoort: Stichting RIONED en STOWA.
- Philippe, J. P. and Ranchet, J. (1987). *Pollution des Eaux de Ruissellement Pluvial en Zone Urbaine. Synthèse des Mesures sur Dix Bassins Versants en Région Parisienne*. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- Pratt, C.J., Elliot, G.E.P., and Fulcher, G.A. (1987). "Suspended Solids Discharge from Highway Gully Pots in a Residential Catchment." *Science of the Total Environment* 59: 355-364. doi: 10.1016/0048-9697(87)90459-1.
- Post, J.A.B., Pothof, I.W.M., Dirksen, J., Baars, E.J., Langeveld, J.G., and Clemens, F.H.L.R. (2016a). "Monitoring and Statistical Modelling of Sedimentation in Gully Pots." *Water Research* 88: 245-256. doi:10.1016/j.watres.2015.10.021.
- Rietveld, M.W.J., Clemens, F.H.L.R., Langeveld, J.G. (2020). "Monitoring and Statistical Modelling of the Solids Accumulation Rate in Gully Pots." *Urban Water Journal* 17 (6): 549-559. doi:10.1080/1573062X.2020.1800760.
- Rietveld, M.W.J., Clemens, F.H.L.R., Langeveld, J.G. (2020). "Solids Dynamics in Gully Pots." *Urban Water Journal* 17 (7): 669-690. doi:10.1080/1573062X.2020.1823430.
- Rietveld, M.W.J., De Rijke, D., Langeveld, J.G., Clemens, F.H.L.R. (2020). "Sediment Morphology and the Flow Velocity Field in a Gully Pot: An Experimental Study." *Water* 12 (10). doi:10.3390/w12102937.
- Rietveld, M.W.J., Clemens, F.H.L.R., Langeveld, J.G. (2020). "Monitoring and Characterising the Solids Loading Dynamics to Drainage Systems." Submitted to *Urban Water Journal*.
- Rietveld, M.W.J., Clemens, F.H.L.R., Langeveld, J.G. (2020). "The Mismatch between Long Term Monitoring Data and Modelling of Solids Wash-off to Gully Pots." Submitted to *Urban Water Journal*.
- Swanson, L. (2001). "Linking Maintenance Strategies to Performance." *International Journal of Production Economics* 70 (3): 237-244. doi:10.1016/S0925-5273(00)00067-0.
- Ten Veldhuis, J.A.E., and 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:10.2166/wst.2011.715.
- Ten Veldhuis, J.A.E., Clemens, F.H.L.R., and Gelder, P.V. (2009). "Fault Tree Analysis for Urban Flooding." *Water Science & Technology* 59 (8): 1621-1629. doi:10.2166/wst.2009.171.
- Walker, T.A., and Wong, T.H.F. (1999). *Effectiveness of Street Sweeping for Stormwater Pollution Control*. Melbourne: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.

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.

© 2021 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)

Jeroen Langeveld (directeur Kennisprogramma Urban Drainage TU Delft)

auteur

Matthijs Rietveld (promovendus TU Delft)

omslagfoto

Matthijs Rietveld (promovendus TU Delft)

vormgeving

Marieke Eijt, gaw ontwerp+communicatie b.v., Wageningen

druk

Drukkerij Modern, Bennekom

rapportnummer

2021-08

isbn/ean

978-90-73645-74-5

Dit is de Nederlandstalige samenvatting van het proefschrift 'On the build-up of storm water solids in gully pots' waarop Matthijs Rietveld aan de TU Delft promoveerde. Matthijs onderzocht de sedimentopbouw in straatkolken. Schone kolken vangen effectief deeltjes af, maar na enkele maanden vermindert dit snel. Reinigingsfrequentie, kolkontwerp en de aanleg kan de afvang efficiëntie verhogen om het achterliggende stelsel te beschermen voor verstopping en de omgeving voor verontreiniging.