

Als een meer betrouwbare meting van het hoogteverschil beschikbaar is, dan kan deze gebruikt worden om de resultaten van de hellingmeting te corrigeren. Vaak wordt hiervoor gewezen op de eerder genoemde BOB meting. Echter, voor de meeste riolen (fout van hellingmeting is afhankelijk van de lengte) zal de hellingmeting een nauwkeuriger resultaat opleveren.

## 5. Conclusie en aanbevelingen

Met een elektronisch waterpas geïntegreerd in een inspectie camera is het mogelijk om het bodemprofiel van een riool te meten. Door voorzichtige installatie van de camera in het riool is het mogelijk om afstand te meten met een nauwkeurigheid van een paar centimeter. De willekeurige fouten met de IBAK KRA85 camera heeft een standaard deviatie van  $s=0,05\%$ . Echter als de wielparen zich in verschillende buizen bevinden wordt de willekeurige fout groter:  $s=0,14\%$ . Naast een willekeurige fout is er ook sprake van een systematische fout met standaard deviatie  $s=0,09\%$ . Deze systematische fout is het gevolg van de noodzakelijke handmatige kalibratie. Omdat de fouten in dezelfde orde grootte zijn als de resolutie van het apparaat lijkt het zinvol de resolutie te vergroten van 0,1% naar 0,01%.

De hellingmeter is zeer geschikt voor het meten van een verschil in helling tussen rioolbuizen, doordat de willekeurige meetfouten klein zijn en elkaar opheffen. De hellingmeter is minder geschikt voor het meten van het verschil in hoogte tussen begin en eind van een riool vanwege de systematische fout. Deze fout kan worden verkleind door de kalibratiemethode verder te verbeteren. ■

# Kwaliteit en samenstelling regenwater en kosteneffectiviteit van zuivering

## Concentraties, bindingspercentages, valsnelheden en bezinkingsmogelijkheden van verontreinigingen in regenwater

Boogaard F.C.<sup>1,2 en 3</sup>, Graaf E.R.T. de<sup>4 en 5</sup>

1. Delft university of Technology. Department of Sanitary Engineering, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, P.O. Box 5048, NL-2600 GA, Delft, the Netherlands
2. TAUW, zekeringstraat 43g P.O. Box 20748 Amsterdam, the Netherlands
3. Hanze University of Applied Sciences, Groningen (Hanze UAS), Zernikeplein 7, 9747 AS Groningen
4. Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard, Rotterdam, the Netherlands
5. Watergraaf wateradvies, Amsterdam, the Netherlands

**Trefwoorden:** Regenwater database, regenwaterbezinkvoorziening, korrelgrootteverdeling, valsnelheid, bindingspercentage, valsnelheden bepaling

*Afstromend hemelwater kan verontreinigingen bevatten zoals zware metalen van daken, PAK's van uitlaatgassen, nutriënten uit dierenuitwerpselen en bladval. Inzicht in de samenstelling van afstromend hemelwater is gewenst om het effect van deze verontreinigingen op ons milieu te bepalen en/of inzicht te krijgen in de kosteneffectiviteit van eventuele maatregelen.*

*In dit onderzoek is een vergelijking gemaakt tussen (inter)nationale praktijkmetingen naar de aard en samenstelling van regenwater. Om de effectiviteit van regenwaterbezinkvoorzieningen te beoordelen, is naast de chemische samenstelling ook gekeken naar de korrelgrootteverdeling, bindingseigenschappen en valsnelheden. De voor een goede waterkwaliteit meest bepalende stoffen in Nederland zijn koper, zink en nutriënten. De concentratie van deze stoffen is relatief laag in vergelijking met internationaal onderzoek. Ook zijn deze stoffen hoofdzakelijk gebonden aan de moeilijk bezinkbare fracties. Op basis van dit vergelijkend onderzoek wordt een theoretisch aangenomen bezinkrendement van meer dan 50% nauwelijks haalbaar geacht. In combinatie met de lage valsnelheid is een rendement van orde grootte 25% meer waarschijnlijk. Bovendien is sprake van een sterk wisselende samenstelling van het regenwater in tijd en ruimte. Het rendement van een regenwaterbezinkvoorziening zal hierdoor sterk kunnen variëren in ruimte en tijd. Bij een hoge ambitie voor waterkwaliteit zal in veel gevallen een aanvullende filtratie- en of adsorptiestap wenselijk zijn om te voldoen aan de kaderrichtlijn water en of de MTR (maximaal toelaatbaar risico) voor oppervlaktewater.*

## Inleiding

In Nederland komt een groot deel van het afstromend hemelwater in de riolering terecht. Vaak gaat dit water samen met het huishoudelijke afvalwater naar een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). De laatste jaren is het hemelwater van veel verharde oppervlakken afgekoppeld van het gemengde stelsel

en worden nieuwbouwwijken met gescheiden rioolstelsels aangelegd. Veel afstromend hemelwater gaat daardoor niet meer naar een RWZI, maar komt direct in het oppervlaktewater terecht.

Naast de positieve effecten van afkoppelen op het regionale watersysteem en de RWZI kan er een risico van verontreiniging bij een lozingspunt optreden. Regenwater kan verontreinigingen bevatten zoals zware metalen van daken, PAK's van uitlaatgassen, nutriënten uit dierenuitwerpselen en bladval. Inzicht in de samenstelling van afstromend hemelwater is gewenst om het effect van deze verontreinigingen op ons milieu te bepalen en/of inzicht te krijgen in de kosteneffectiviteit van eventuele maatregelen.

De laatste jaren is relatief veel (internationaal) onderzoek verricht naar de kwaliteit en samenstelling van afstromend hemelwater. Deze onderzoeken richtten zich voornamelijk op de concentratie verontreinigingen en binding daarvan aan onopgeloste bestanddelen.

De laatste jaren is in diverse gemeenten in Nederland, uit het oogpunt van afvang van de verontreinigde deeltjes, onderzoek gedaan naar de korrelgrootteverdeling, binding van verontreinigingen en de valsnelheid van de aanwezige deeltjes. Hoe hoger de valsnelheid (grotere en zwaardere deeltjes) en de mate van binding van verontreinigingen aan zwevende stoffen, des te beter het regenwater te zuiveren is. Een groot deel van deze nationale metingen is uitgevoerd door Tauw al dan niet in samenwerking met de Technische Universiteit Delft. Met name de metingen mbt valsnelheid en korrelgrootteverdeling zijn nog nieuw en niet eerder gepubliceerd. Voor het meten van de valsnelheden is gebruik gemaakt van een nieuw type meetinstrument de Sedimet.

In Nederland worden veel bezinkvoorzieningen toegepast zoals bezinkbakken, bezinkvijvers, lamellen- en olieafscidders. Voor waterschappen, gemeenten en adviesbureaus is inzicht in juist deze karakteristieken van belang om de effectiviteit van zuiverende maatregelen te beoordelen en/of (beheer) maatregelen optimaliseren.



**Afbeelding 1: Voorbeeld van een regenwaterbezinkvoorziening in Nederland (Julianapark Amsterdam).**



**Afbeelding 2: Afgevangen hoeveelheid slib in regenwaterbezinkvoorziening Julianapark.**

Ook in het buitenland is de laatste jaren veel kennis opgedaan omtrent de samenstelling van afstromend hemelwater. In dit artikel vergelijken de auteurs internationaal onderzoek met nieuwe metingen in Nederland en de geupdate database regenwater van STOWA. Op basis van de beschikbare data worden vervolgens conclusies getrokken over de eigenschappen van verontreinigingen in afstromend regenwater en de implicaties hiervan voor de behandelbaarheid.

Dit artikel gaat kort in op:

- de onderzoeksmethoden van regenwater;
- de eigenschappen die de behandelbaarheid van afstromend regenwater bepalen;
- de belangrijkste conclusies en aanbevelingen van het onderzoek.

Onderzoeksmethoden

Onderzoek naar de eigenschappen van verontreinigingen in afstromend regenwater bestaat grofweg uit drie stappen:

1. Monstername.
2. Monsteranalyse.
3. Interpretatie van de resultaten.

De monsternamemethodiek en -analyse heeft invloed op de resultaten.

Om goed de effectiviteit van een zuiverende voorziening te kunnen bepalen, worden in ideale situatie hoogfrequent, integrale monsters genomen die direct geanalyseerd worden en waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen korrelgrootte en/of valsnelheid. In de praktijk is dit vaak niet te realiseren vanwege hoge analysekosten, de complexiteit van integrale monsternamen en de benodigde analysetijd

### Monsternamen in het kort

In praktijk worden bij de diverse onderzoeken vaak verschillende methoden gebruikt. De locatie en het moment van monsternamen zijn hierbij van groot belang.

### Representatieve locatie

Vaak wordt bij onderzoeken gekozen om watermonsters te nemen in het regenwaterriool vlak voor de uitlaat naar het oppervlaktewater. Dit geeft het beeld van de belasting op het oppervlaktewater en is ook het meest representatief voor de eventuele implementatie van een zuiverende voorziening.

Eén van de grootste uitdagingen is de verdeling van verontreinigingen over de waterkolom. De meeste onopgeloste bestanddelen bevinden zich rond de bodem of drijven juist. Als met een pomp monsters genomen worden is een juiste hoogte daarom cruciaal. In veel gevallen wordt 1/3 van de waterdiepte aangehouden. In hoeverre dit representatief is, is sterk afhankelijk van de locatie in het stelsel, de stromingskarakteristieken (bv turbulentie) en de bezinkingskarakteristieken van onopgeloste bestanddelen.

### Goed monstername moment

Bij onderzoeken met beperkte budgetten is het niet altijd mogelijk om volautomatisch en continue te bemonsteren met behulp van meetapparatuur. Met steekmonsters is het echter moeilijk om een representatief moment voor monstername te vinden: de vuilconcentraties kunnen namelijk fors verschillen aan het begin, midden of einde van de bui. Bij handmatige en automatische bemonstering dienen de meetomstandigheden zo goed mogelijk te worden vastgelegd. Hierbij zijn de volgende zaken van belang:

- moment van monstername in relatie tot optreden bui en afvoer karakteristiek;
- de weersomstandigheden in voorgaande dagen;
- seizoensinvloeden;
- de omvang en karakteristieken van het afstromingsgebied;
- dimensies en staat en belasting van afvoerstelsel (bv de aanwezigheid van foutieve aansluitingen);
- incidentele lozingen (bv de aanwezigheid van bouwactiviteiten);
- de stroomsnelheid tijdens monstername.

### Monsteranalyse

Met de analyse wordt in de meeste onderzoeken alleen de chemische samenstelling bepaald. Voor een gedetailleerd inzicht in de samenstelling en hiermee de zuiveringsmogelijkheden van regenwater zijn echter de volgende aanvullende analyses gewenst:

- 1 Het bindingspercentage.
- 2 De korrelgrootteverdeling.
- 3 De valsnelheid.

### Bindingspercentage

Om de binding van verontreinigingen aan onopgeloste bestanddelen te bepalen, wordt de totale verontreinigingslast gesplitst in een opgeloste en een gebonden fractie. Het verschil tussen de totale concentratie en het opgeloste deel is het aandeel van de gebonden verontreiniging (deeltjes groter dan  $0,45 \mu\text{m}$ ).

### Korrelgrootteverdeling

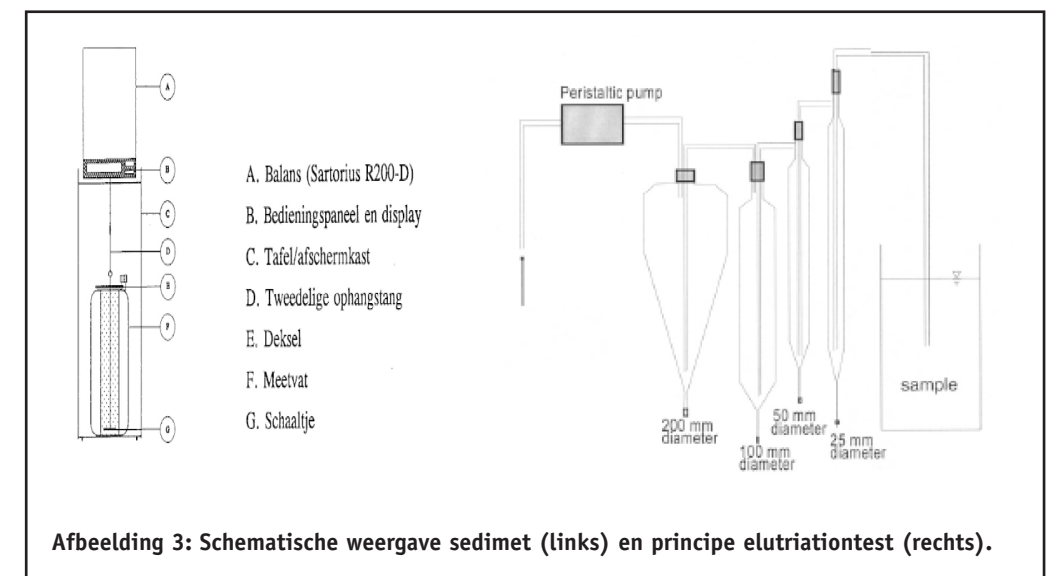
De korrelgrootte verdeling kan op verschillende manieren worden bepaald. Naast gebruikelijke zeefmethoden staat de laatste tijd een deeltjesteller meer in de belangstelling. In de deeltjesteller worden de deeltjes vaak één voor één langs een lichtbron geleid. De mate van lichtabsorptie wordt daarna omgerekend naar de deeltjesgrootte. De nauwkeurigheid hiervan hangt af van de meetapparatuur.

De meest toegepaste deeltjestellers zijn met name geschikt voor deeltjes met een grootte van 2 tot  $400 \mu\text{m}$ . Bij het omrekenen van het aantal deeltjes naar een fractieverdeling wordt aangenomen dat alle deeltjes een gelijke vorm en eenzelfde soortelijk gewicht hebben.

### Valsnelheid

Om de valsnelheid te berekenen, worden vaak bezinkkolommen gebruikt. Hierin wordt het monster in suspensie gebracht en op gezette tijden het bezinksel afgelezen (bv Imhoff cones) en of monsters afgetapt. Cilindervormige kolommen zijn vaak enkele centimeters in doorsnee met een hoogte van 1 a 2 meter. De monsters worden vervolgens geanalyseerd op bijvoorbeeld troebelheid en droge stof gehalte in de tijd. Deze methode is bijvoorbeeld toegepast bij de bepaling bij valsnelheden bij het grootschalig onderzoek in Arnhem en enkele metingen in andere gemeenten [Langeveld 2012, Boogaard 2010] om de effectiviteit van voorzieningen te bepalen. Deze methodiek wordt bijvoorbeeld ook toegepast bij grootschalige onderzoeken in Krimpenerwaard en Almere (nog niet gepubliceerd).

Een methode waarbij automatisch het gewicht in de tijd in een kolom wordt bepaald, is "Sedimet" (Den Toom en Kranenburg, 1992). Sedimet bestaat uit een kolom met een zeer nauwkeurige weegschaal die vlak boven de bodem hangt (zie afbeelding 3). De proefopstelling geeft de verdeling van de valsnelheid in relatie tot het gewicht van het slib. De deeltjes gaan bezinken en het grootste gedeelte daalt op het weegschaaltje zodat het kan worden gemeten. Elk deeltje heeft een eigen valsnelheid. Hierbij registreert een computer hoeveel gewicht op het weegschaaltje neerkomt. Deze methode heeft een hoge afleesnauwkeurigheid ( $10 \mu\text{g}$ ) en is geschikt om de bezinkingskarakteristieken van monsters te bepalen voor valsnelheden tussen 0,1 en 10 m/uur. Het is echter niet mogelijk monsters af te tappen voor een gedetailleerde analyse (droge stof, troebelheid, deeltjesgrootte) in de tijd.



Afbeelding 3: Schematische weergave sedimet (links) en principe elutriationtest (rechts).

Een meer complexe methode is de elutriation apparatus' (Bommanna et al., 2004), zie afbeelding 3. Het monster wordt door steeds grotere kolommen geleid, waardoor de stroomsnelheid steeds verder afneemt. Deeltjes met een valsnelheid lager dan de stroomsnelheid in de kolom worden meegenomen naar de volgende kolom. Deeltjes met een hogere valsnelheid blijven in de kolom achter. Zo zijn na een bepaalde tijd de onopgeloste bestanddelen gesplitst in verschillende fracties, elk met een eigen valsnelheid (range).

Een bijkomende complexiteit bij het bepalen van de valsnelheid is de mogelijke wijziging van het monster door transport en opslag: deeltjes klonteren bijvoorbeeld samen. Hierdoor is het de vraag hoe representatief de bezinkingskarakteristieken van het monster zijn.



Afbeelding 4: Laboratoriumopstelling Sedimet.

## Onderzoeksresultaten

In de volgende paragrafen worden de beschikbare (inter-)nationale onderzoeksresultaten besproken omtrent:

- de chemische samenstelling;
- het bindingspercentage;
- de korrelgrootteverdeling;
- de valsnelheidsverdeling.

## Chemische samenstelling

In tabel 1 staan de resultaten uit de database regenwater kwaliteit die in opdracht voor STOWA wordt bijgehouden. Het betreft voor zware metalen en PAK's vaak meer dan 700 metingen per stof verspreid over tientallen locaties in Nederland. Het geeft een inzicht in de minimale, maximale (bandbreedte) concentraties alsmede de gemiddelde te verwachten concentraties in een regenwaterstelsel waarop afstromend hemelwater van daken en wegen is aangesloten (Boogaard 2013).

Tevens geeft het de mate weer waarin de concentraties kwaliteitsnormen overschrijden en hoeveel inspanning het vraagt om de kwaliteitnorm te behalen met zuivering. Mede als gevolg van de Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn de normen in Nederland verdeeld over verschillende wetten en besluiten. Voor 2010 waren de MTR-waarden uit de Vierde nota waterhuishouding leidend. De waterkwaliteitsnormen vanuit de KRW zijn in Nederland geïmplementeerd in het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water (Bkmw 2009) en een onderliggende ministeriële regeling.

Uit tabel 1 kan worden geconcludeerd dat in Nederland vooral koper, zink en nutriënten als probleemstoffen kunnen worden gezien. Deze vertonen een grote spreiding in tijd en locatie.

## Vergelijk met internationale data

Tabel 2 toont de resultaten uit andere databases in de wereld of grootschalige meetonderzoeken in vergelijking met de meetresultaten in Nederland. De meetresultaten vertonen een grote variatie en zijn

Tabel 1 geeft bijvoorbeeld de normconcentratie (MTR) weer alsmede het zuiveringspercentage dat nodig is om deze norm te behalen.

	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn	PAH10	PAH16
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
gemiddelde	0,27	6,2	19	0,05	18	5,6	102	0,8	60,9
mediaan	0,15	1,1	11	0,06	6	3,6	60	0,8	1,5
90 percentiel	0,50	12,0	35	0,08	43	10,0	250	1,1	1,5
aantal metingen	152	141	686	118	682	155	684	145	106
MTR opgelost	0,4	8,7	1,5	0,20	11,0	5,1	9,4	2,3	
MTR totaal	2,0	84	3,8	1,2	220	6,3	40	4,3	
C/MTR	13%	7%	513%	4%	8%	89%	254%	19%	
R tot MTR	0,0%	0,0%	80,5%	0,0%	0,0%	0,0%	60,7%	0,0%	
	oil	Cl	Fe	BOD	COD	Ptot	N-kj	SS	E.coli
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	kve/100 ml
gemiddelde	37	18,3	1,8	5,7	32	0,4	1,9	17	1,9E+04
mediaan	1	11,0	1,1	3,1	20,0	0,3	1,1	17	6,7E+03
90 percentiel	90,8	33	2,9	12,5	60	1,0	3,1	29	3,5E+04
aantal metingen	149	321	60	219	681	107	590	7	116
MTR opgelost						0,15	2,2		1,0E+03
									(zwem
MTR totaal							(N-tot)		water)
C/MTR						64,5%	0,0%		94,8%
						(oranje is overschrijding van MTR met factor 1 en rood is overschrijding met factor 2)			

vanzelfsprekend sterk afhankelijk van locatie en omstandigheden en daardoor locatie- en tijdgebonden. Opvallend is dat Nederland in het algemeen voor veel stoffen relatief lage gemiddelde vuilconcentraties laat zien.

Tabel 2: Nederlandse data vergeleken met internationale data.

	Nederlandse database	USA (NSQD) 2004	Europe/Germany (ATV database, Fuchs et al., 2004)	Worldwide (Bratieres et al, 2008)	
	mean	median	mean	mean	
TSS	mg/l	17	48	141	150
BZV	mg/l	5,7	9	13	
CZV	mg/l	32	55	81	
TKN	mg N/l	1,9	1.4	2,4	2.1
TP	mg P/l	0,4	0.3	0,42	0,35
PB	ug/l	18	12	118	140
Zn	ug/l	102	73	275	250
Cu	ug/l	19	12	48	50

Tabel 2 toont sterk verschillende vuilconcentraties per locatie en een grote variatie in bandbreedtes. De gemiddeld gemeten vuilconcentraties in Nederland zijn relatief laag in vergelijking met de internationale meetdata.

### Bindingspercentage

In afbeelding 5 staan de gemeten bindingspercentages van de meest gemeten microverontreinigingen in Nederland. Voor bijvoorbeeld zink betreft het 25 locaties in Nederland en 90 metingen. Ook hier geldt dat de meetresultaten een grote variatie vertonen en locatie en tijdgebonden zijn. De gemiddelde vuilconcentraties voor Nederland en internationaal (tevens gemiddelde van tientallen metingen per stof) liggen wel in dezelfde orde van grootte. Het stofgedrag (mate waarin verontreinigingen zich binden aan zwevende stoffen) is vanuit deze vergelijking redelijk representatief voor de hele wereld. Er zijn vanzelfsprekend uitzonderingen - metingen uit Scandinavische landen zoals in Bergen in Noorwegen tonen hele lage gemeten bindingspercentages van zware metalen - te verklaren uit het intensief gebruik van strooizout (Boogaard 2013).



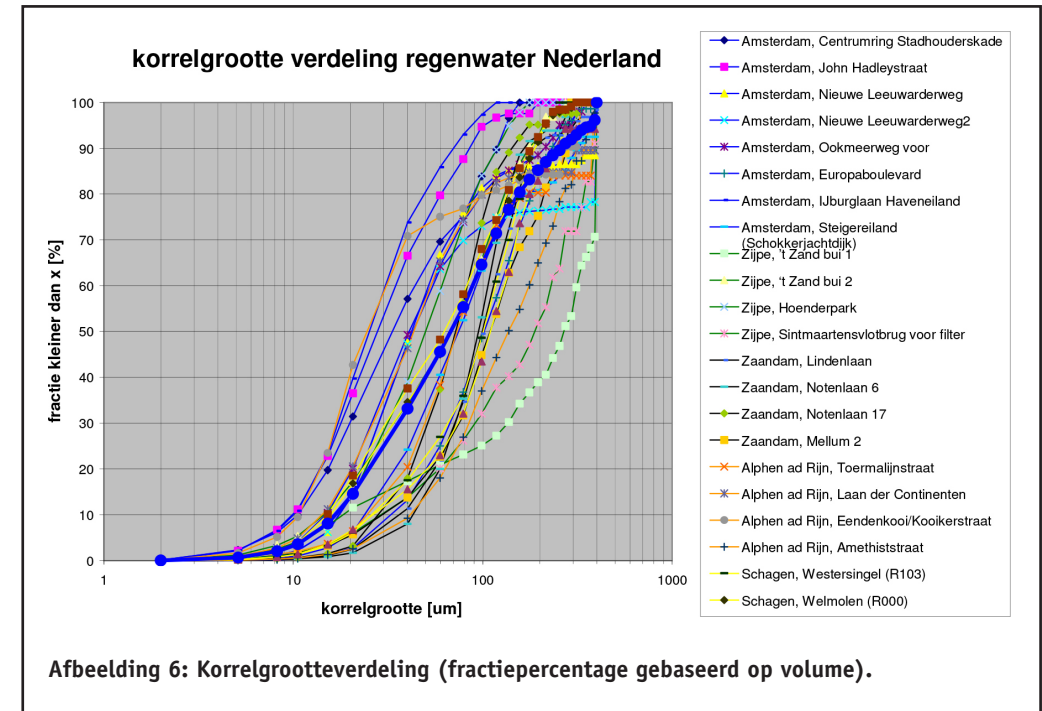
Afbeelding 5: Bindingspercentage Nederlandse meetdata vergeleken met internationale meetdata.

Uit de grafiek kan worden opgemaakt dat sprake is van een grote spreiding in bindingseigenschappen. Het gemiddelde bindingpercentage in de Nederlandse situatie is ongeveer gelijk aan internationale waarden (stofgedrag kent geen landgrenzen).

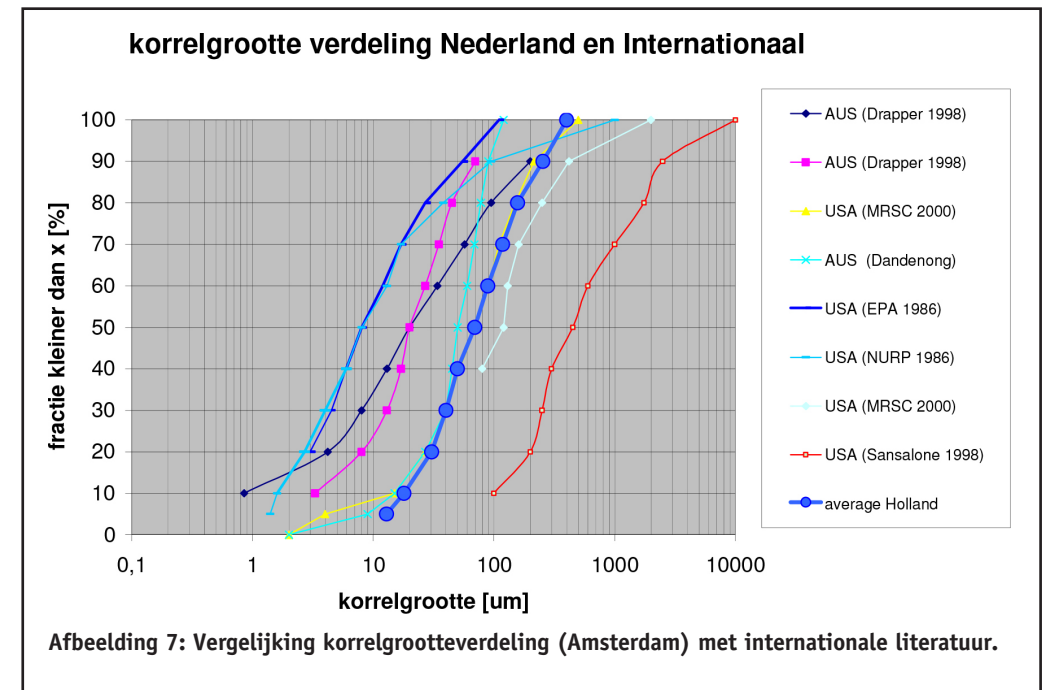
### Korrelgrootteverdeling

In afbeelding 6 is de gemeten korrelgrootteverdeling uitgezet voor een aantal meetlocaties in Nederland. De fractieverdelingen zijn gebaseerd op volume.

Opvallend is de grote spreiding in korrelgrootteverdelingen. De mediane korrelgrootte (D50, 50% van de deeltjes (naar volume) heeft een grotere diameter en 50% een kleinere) varieert tussen de 25 en 270 µm. De sterk variërende korrelgrootteverdeling per locatie komt overeen met de conclusies uit een eerdere vergelijking tussen diverse internationale onderzoeken (Boogaard et al., 2007a).



Afbeelding 7 laat een vergelijking zien tussen de gemiddelde korrelgrootteverdeling in de Nederlandse situatie in vergelijking met de gemiddelde korrelgrootteverdelingen uit diverse internationale onderzoeken. Laatstgenoemde verdelingen zijn met verschillende methoden onderzocht. Deze onderzoeken geven een beeld van de variatie in korrelgrootteverdeling van de zwevende deeltjes in een regenwater.



De vorm van de verschillende zeefkrommen komt aardig overeen, maar er is een redelijke spreiding in korrelgrootte, te verklaren door verschillen in de lokale situatie.

### Valsnelheid en bezinkbaarheid

De bindingspercentages van de onderzochte stoffen zoals zware metalen liggen rond de 60% (met uitzondering van PAK's). Verondersteld wordt dat het grootste deel van deze 60% is gebonden aan de kleine, moeilijk bezinkbare deeltjes. Zo constateerden Dierschke et al. (2010) bijvoorbeeld dat 80% van het koper aan deeltjes kleiner dan 200 µm is gebonden. Voor PAK's geldt bij 80% een waarde van 160 µm. Op basis van deze getallen en de eerder genoemde bindingspercentages is voor de meeste verontreinigende stoffen een bezinkrendement van meer dan 50% theoretisch al nauwelijks haalbaar. Gezien de lage valsnelheid is een rendement in de orde van de helft hiervan meer waarschijnlijk.

Gezien de complexiteit en beperkingen van de methoden om de bezinkingskarakteristieken vast te stellen, kunnen de resultaten van bezinkingsproeven alleen als indicatief beschouwd worden.

Uit de onderzoeken in Nederland komt naar voren dat de onopgeloste bestanddelen in regenwater in het algemeen een vrij lage bezinkbaarheid hebben. In het onderzoek met sediment (RIONED 2012) werd geschat dat 60% van de onopgeloste bestanddelen een valsnelheid heeft van minder dan 1 m/uur.

### Conclusies en aanbevelingen

De vergelijking van de Nederlandse database met kwaliteitsmetingen regenwater en internationaal onderzoek leidt tot het volgende beeld.

#### Vuilconcentraties

Kijkend naar de resultaten van bemonsteringen in Nederland valt op dat in de meeste gevallen koper, zink en nutriënten (P) de MTR-waarde overschrijden. De meetresultaten vertonen variatie en zijn afhankelijk van de lokale omstandigheden en hierdoor locatie en tijdgebonden. In vergelijking met internationale data blijkt dat Nederland in het algemeen voor veel stoffen relatief lage gemiddelde vuilconcentraties laat zien.

#### Bindingspercentage

Met betrekking tot de bindingspercentages van verontreinigingen aan zwevende stoffen op diverse locatie zijn zowel hoge als lage percentages gevonden. De gemiddelde bindingspercentages voor Nederland en internationaal liggen in dezelfde orde van grootte. Het stofgedrag (mate waarin verontreinigingen zich binden aan zwevende stoffen) is vanuit deze vergelijking redelijk representatief voor de hele wereld. De bindingspercentages van de onderzochte stoffen liggen rond de 60% (met uitzondering van PAK's). Algemeen is de verwachting dat het grootste deel van deze 60% is gebonden aan de kleine, moeilijk bezinkbare deeltjes.

#### Korrelgrootteverdeling en valsnelheden

De korrelgrootteverdelingen in Nederland en internationaal zijn sterk gebiedsafhankelijk. Niet alleen per gebied, maar ook op één locatie wordt spreiding gevonden in de verdeling. De mediane korrelgrootte varieert grofweg tussen de 25 en 270 µm.

Ook de valsnelheden in de verschillende monsters vertonen een sterke variatie. Op basis van de beschikbare data wordt de verwachting uitgesproken dat gemiddeld 60% van de onopgeloste bestanddelen een valsnelheid heeft van minder dan 1 m/uur. De onzekerheid hierin is echter groot.

Effectiviteit van regenwaterbezinkvoorzieningen in Nederland

Op basis van dit vergelijkend onderzoek rijst de vraag of de aanleg van regenwaterbezinkvoorzieningen

een effectieve maatregel is in Nederland. De voor een goede waterkwaliteit meest bepalende stoffen zijn koper, zink en nutriënten. Ten eerste is de concentratie van deze stoffen relatief laag in vergelijking met internationaal onderzoek. Ten tweede zijn ze hoofdzakelijk gebonden aan de moeilijk bezinkbare fracties. Op basis van dit vergelijkend onderzoek wordt een theoretisch aangenomen bezinkrendement van meer dan 50% nauwelijks haalbaar geacht. In combinatie met de lage valsnelheid is een rendement van orde grootte 25% meer waarschijnlijk. Bovendien is sprake van een sterk wisselende samenstelling van het regenwater in tijd en ruimte. Het rendement van een regenwaterbezinkvoorziening (die met name alleen de gebonden fractie zuivert) zal hierdoor sterk kunnen variëren in ruimte en tijd.

Om de kwaliteit van het afstromende hemelwater verder te verbeteren, liggen maatregelen zoals een bodempassage waarbij ook de zuiveringsprincipes van filtratie en adsorptie worden toegepast meer voor de hand. Bij praktijkmetingen aan voorzieningen als wadi's, infiltratievijvers, adsorptiefilters ed worden vaak percentages gevonden die in de bandbreedte liggen van het bindingspercentage. De toepassing van regenwaterbezinkvoorzieningen is het meest kosteneffectief op locaties met een hoog percentage bezinkbare deeltjes en een hoog bindingspercentage. Daar waar dergelijke voorzieningen worden overwogen is het dus raadzaam om eerst een verkennend praktijkonderzoek te doen naar de aard en samenstelling van het te lozen regenwater.

### Literatuur

- Bommanna G.K., Marsalek J., Exall K., Stephens R.P., Rochfort Q. and Seto P. (2004). A Water Elutriation Apparatus for Measuring Settling Velocity Distribution of Suspended Solids in Combined Sewer Overflows. In: Water Qual. Res. J. Canada, 2004 • Volume 39, No. 4, 432-438.
- Boogaard F.C. and Baars E.J. (2004). Randvoorziening voor regenwater functioneert goed. In: H2O nr. 3 2004.
- Boogaard F.C., Rombout J., Kluck J. en Wentink R. (2007a). Zuiverende voorzieningen regenwater. STOWA 2007-20, Utrecht.
- Boogaard F.C. en Lemmen G.B. (2007b) De feiten over de kwaliteit van afstromend regenwater. Stowa rapportnummer 2007-021, Utrecht.
- Boogaard F.C., Langeveld J.G., Liefting H.J., Kluck J. (2010). Storm water quality and removal efficiency rates of lamella filters, NOVATECH 2010.
- Boogaard FC, Muthana T, Beer H, Characterizing stormwater quality for effective stormwater treatment at in-situ cultural heritage preservation sites, 2013
- Brombach H., Xanthopoulos C., Hahn H. H. and Pisano W.C. (1993). Experience with vortex separators for combined sewer overflow control, Water Science and Technology, vol 27, no. 5-6, pp 93-104.
- Dierschke M., Welker A. and Dierkes C. (2010). Selection of a Reference Material for the testing of Decentralized Stormwater Treatment Facilities. Novatech 2010, 7th International Conference: Sustainable techniques and strategies in urban waste water, 27. Juni - 1. Juli 2010, Lyon, France.
- Graaf de E.R.T., Baars E.J. en Kluck J. (2008). Settling curves of pollutants in storm water. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, Scotland, UK, 2008.
- Gromaire-Mertz M.C., Garnaud S. Gonzalez A. and Chebbo G. (1999). Characterisation of urban runoff pollution in Paris, Wat. Sci. Tech., vol. 39, n°2, p. 1-8.
- Kluck J., Graaf de E.R.T. en Baars E.J. (2008). Bezinkbaarheid verontreinigingen in slib bezinkvoorziening regenwater. In: Rioleringswetenschappen nr. 8 2008.
- Langeveld, J.G., et al., Uncertainties of storm water characteristics and removal rates of storm water treatment facilities: Implications for storm water handling, Water Research (2012), ttp://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.001j.watres.2012.06.001
- Oden S. (1915). Eine neue methode zur mechanischen Bodenanalyse. Internationale Mitteilungen für Bodenkunde, 5: 257-311.

- RIONED 2012 Concentraties, bindingspercentages en bezinkingsmogelijkheden van verontreinigingen in afstromend hemelwater Praktijkmetingen in Nederland
- Toom A.M. den en Kranenburg C. (1992). De Sedimet, een sedimentatiebalans. Rapport no. 4-92. TuD Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep Waterbouwkunde, Laboratorium voor Vloeistofmechanica.
- Wentink R. en Boogaard F.C. (2002). Verschijningsvormen verontreinigingen in afstromend regenwater. Tauw bv, rapport R001-0446327FCB-D01-U, Utrecht, The Netherlands.