



Datum
5 december 2019

Bezinkvoorzieningen

Functioneren en rendement

Mark Nijman

Colofon

Opdrachtgever	
Sector	Afvalwater Drinkwater
Afdeling	Assetmanagement Waterketen / team Beleid en Assets
Projectleider	Joost Louter
Projectnummer	

Opdrachtnemer	
Sector	Techniek, Onderzoek en Projecten
Afdeling	Onderzoek en Advies
Projectleider	Mark Nijman
Kwaliteitsborger	Marcel Zandvoort
Projectnummer	90004-447

Rapport	
Rapporteur	Mark Nijman
Versie	3
Rapportnummer	19.026519
Trefwoorden	Hemelwater, Hemelwaterafvoer, Riolering, Oppervlaktewater

Inhoud

	Samenvatting	7
1	Inleiding	9
1.1	Nader onderzoek functioneren bezinkleiding in de praktijk	12
1.1.1	Doel	13
2	Meetopzet en uitvoering	14
2.1	Onderzoeksopzet	14
2.2	Alle bezinkleidingen in Amsterdam	14
2.3	Vergelijking zes bezinkvoorzieningen	15
2.4	Onderzoek drie bezinkvoorzieningen	19
3	Analyse meetresultaten	23
4	Discussie	26
5	Conclusies	29
6	Aanbeveling	31
7	Literatuurlijst	32

Bijlage 1: Analyseresultaten

Bijlage 2: Percentage en vracht per parameter

Samenvatting

In dit vervolgonderzoek is een aantal interne en externe onderzoeksresultaten gebundeld om inzicht te krijgen in de werking van bezinkleidingen in de praktijk en het gedrag van sediment in regenwaterstelsels. De onderzoeken gaan daarbij van straat tot oppervlaktewater.

Dit vervolgonderzoek ("Onderzoek bezinkvoorzieningen – functioneren en rendement", MNW Nijman 2019) richt zich op het functioneren van alle Amsterdamse hemelwater-bezinkvoorzieningen in de praktijk en op het berekenen van het kwantitatieve en kwalitatieve rendement op basis van de resultaten. Slechts dertien Amsterdamse hemelwaterstelsels zijn voorzien van een bezinkleiding. Om zo veel mogelijk slib uit het hemelwaterstelsel te kunnen afvangen zijn deze geplaatst vlak vóór de uitlaat op het oppervlaktewater (zie het schema hieronder).



Conclusie

Op basis van dit onderzoek kan de kwantitatieve en kwalitatieve werking van bestaande en nieuw te dimensioneren bezinkvoorzieningen worden berekend. Aanbevolen wordt om niet klakkeloos een bezinkvoorziening te plaatsen, maar eerst goed na te gaan wat de bezinkvoorziening moet bewerkstelligen. Waternet heeft haar beleid aangepast op basis van de bevindingen uit dit onderzoek.

Resultaten

Het Amsterdamse hemelwaterstelsel heeft diverse afvoersystemen voor hemelwater, zoals stelsels met en zonder bezinkleidingen, bezinkbakken, infiltratietransportriolen e.d. Dit onderzoek zoomt in op de manier waarop het tracé van kolk tot bezinkleiding in de praktijk functioneert.

Dit onderzoek heeft de onderstaande inzichten en resultaten opgeleverd.

ITEM	KOLK	HEMELWATERRIOOL	BEZINKVOORZIENING	OPPERVLAKTEWATER
bereiken van evenwichtstoestand	ja	ja	vermoedelijk wel	
eigenschap slib/zand				
visueel	grof	fijn	zeer fijn	
sg kromme <63um [%md]	6	24	31	
sg kromme <2um [%md]	3	11	17	
organisch-stofgehalte [%]	2	9	12	
valsnelheid 10 m/uur [g%]	30	25	3	
valsnelheid 1 m/uur [g%]	82	65	65	
rendement [%]				
onopgeloste bestanddelen		73		27
metalen		10	29	61
PAK		39	26	35

In het tracé van kolk tot oppervlaktewater, via hemelwaterriool en bezinkvoorziening, zien we dat in de kolk en in het hemelwaterriool een evenwichtstoestand wordt bereikt. Dit heeft tot gevolg dat de kolk niet nog meer zand/slib opneemt wanneer het evenwicht is bereikt. Het zand/slib dat daarna nog toestroomt, stroomt zeer waarschijnlijk meteen door naar het hemelwaterriool. Het kan echter ook voorkomen dat het net ingestroomde zand/slib de plaats inneemt van het net uit de zandvang gespoelde zand/slib. Als de bovenstaande twee processen niet plaatsvinden, zal de kolk dichtslaan met als gevolg water op straat. Na het reinigen van de kolk begint dit proces opnieuw. Het is aannemelijk dat in de bezinkvoorziening ook een evenwichtstoestand wordt bereikt. Daarnaast is in een praktijkonderzoek aangetoond

dat in een regenperiode meer slib/zand uit de zandvang van een kolk kan verdwijnen dan er in komt. Ten tijde van deze waarnemingen zijn over de onderzoekslocatie buien getrokken die meerdere keren per jaar in Nederland kunnen voorkomen.

Visueel is goed te zien dat in de zandvang van een kolk meer grove delen en zand achterblijven dan in de rest van het stelsel (hemelwaterriool en bezinkvoorziening). Dat de scheiding van deeltjes plaatsvindt op basis van gewicht wordt onderschreven door de korrelgrootteverdeling (scg-kromme) en het verschil in valsnelheid van de slibdeeltjes in de kolk, in het hemelwaterriool en aan het begin en aan het eind van de bezinkvoorziening. In de kolk bezinkt 30 gewichtsprocent van het slib met een snelheid van één meter per 6 minuten, terwijl dat in de bezinkvoorziening slechts 3 gewichtsprocent is. Van het slib heeft 20% een lagere bezinkingssnelheid dan 0,5 meter per uur. Door het plaatsen van een filter na de bezinkvoorziening is aangetoond dat na de bezinkvoorziening nog kleine deeltjes in het hemelwater voorkomen.

Het verschil tussen het aangesloten verharde oppervlak en het volume van de bezinkvoorziening is het meest relevant voor zowel de kwantitatieve als de kwalitatieve werking van de bezinkvoorziening. De omgeving is echter verantwoordelijk voor de concentratie onopgeloste bestanddelen en verontreinigingen die het hemelwaterriool bereiken. Andere verschillen, zoals de lengte van het stelsel en dergelijke, hebben geen invloed op de kwantitatieve en de kwalitatieve werking.

Aangetoond is dat niet alle verontreinigingen in de bezinkvoorziening of in het daarvoor liggende stelsel even goed worden vastgelegd. Dit heeft te maken met de eigenschappen van die stof. Zo hebben metalen bijvoorbeeld een veel lager bindingspercentage aan slib dan PAK's. Uitgaande van een propstroom kan zowel het kwantitatieve als het kwalitatieve rendement van een bezinkvoorziening goed worden berekend door onder andere rekening te houden met het aantal verversingen, de valsnelheid van het slib en het bindingspercentage van de verontreinigingen. Van vijf bezinkvoorzieningen in Amsterdam is op deze manier zowel het kwantitatieve als het kwalitatieve rendement berekend. Het gemiddelde kwantitatieve rendement bedraagt 73%. Het gemiddelde kwalitatieve rendement voor metalen bedraagt 39%, terwijl dat voor PAK 65% bedraagt.

Daarnaast zijn ook verschillen waargenomen tussen de locatie waar bepaalde verontreinigingen neerslaan. Metalen komen het meest voor in de laatste put van de bezinkvoorziening (74%), terwijl PAK's, EOX en minerale olie vooral achterblijven in het hemelwaterriool (60%). Doordat de parameters EOX en minerale olie op dezelfde plek in het stelsel worden aangetroffen (60% in het hemelwaterriool) is het aannemelijk dat het rendement van PAK ook geldt voor die stoffen.

Gezien het huidige rendement van de bezinkvoorzieningen en het verschil in het neerslaan van stoffen en stofgroepen wordt aanbevolen om bij het aanleggen van hemelwatervoorzieningen hiermee rekening te houden. Wat betreft de kwaliteit van het oppervlaktewater kan worden aangegeven welke stoffen voor dat oppervlaktewater het belangrijkste zijn om af te vangen. Met de opgedane kennis kan maatwerk worden geleverd.

1 Inleiding

Het Amsterdamse hemelwaterstelsel heeft diverse afvoersystemen voor hemelwater, zoals stelsels met en zonder bezinkleidingen, bezinkbakken, infiltratietransportriolen e.d. Hoe deze voorzieningen in de praktijk functioneren is niet bekend, maar voor de beleidsmedewerkers riolering en voor de assetmanagers is het wel wenselijk om dit te weten. Het hier beschreven onderzoek richt zich alleen op het functioneren van bezinkleidingen en van het daarvoor liggende hemelwaterstelsel.

Een klein deel van de hemelwateruitlaten in Amsterdam is uitgerust met een bezinkleiding. De bezinkvoorziening is theoretisch zo gedimensioneerd dat de tijdens neerslag meegespoelde deeltjes kunnen bezinken. Verwacht wordt dat het bezonken slib in de bezinkvoorziening blijft. Door reinigen wordt het slib verwijderd en kan het worden afgevoerd naar een erkende verwerker.

In de afgelopen jaren heeft Waternet onderzoek verricht naar het gedrag van hemelwaterslib en het functioneren van bijzondere hemelwatervoorzieningen. In de volgende paragrafen volgt een kort resultatenoverzicht van deze onderzoeken.

“Putkleponderzoek – Middenweg Amsterdam” (2012):

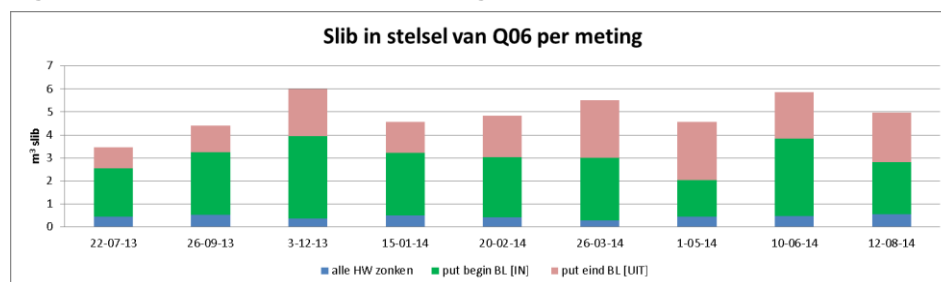
Dit onderzoek (Zandvoort M.H., Nijman M.N.W, 2012) leidde tot de volgende inzichten:

- 40% van de kolken met putklep raakt in vijf maanden vol. Kolken zonder klep (of stankafsluiter) bereiken dit niveau niet. Het lijkt erop dat een kolk met klep eerder wateroverlast veroorzaakt dan een kolk zonder stankafsluiter.
- Het slib/zand uit de zandvang van alle gemonitorde kolken, zowel met als zonder klep/stankafsluiter, spoelt bij een bepaalde neerslaghoeveelheid of -intensiteit geheel of gedeeltelijk uit. Tijdens de onderzoeksperiode is in de omgeving van Amsterdam een maximale regenintensiteit van circa 9 mm/uur waargenomen (data Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut - KNMI). Dit soort buien kan meerdere keren per jaar in Nederland voorkomen.

“Werking bezinkleiding Ookmeerweg” (2015):

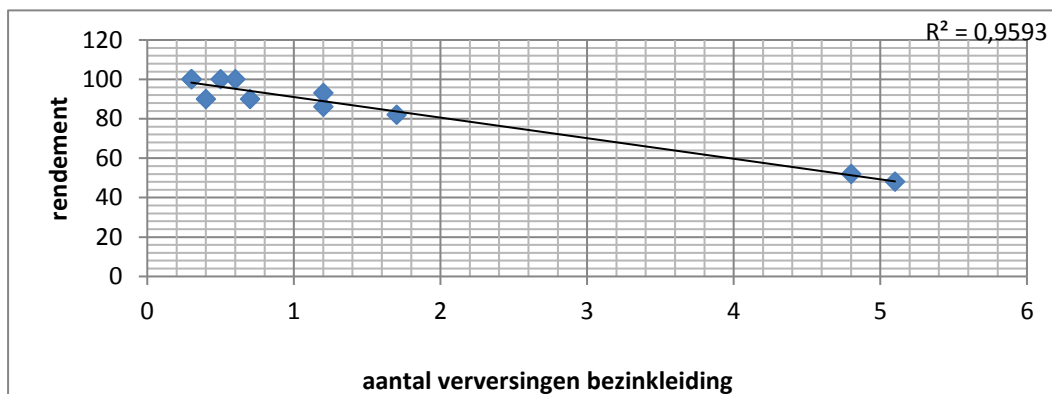
Uit dit onderzoek blijkt dat de totale slibhoeveelheid in de bezinkleiding en in het ervoor liggende stelsel (putten) over een periode van meer dan een jaar redelijk stabiel blijft (zie figuur 1). Het grootste slibvolume wordt waargenomen in de bezinkleiding, maar het slibvolume varieert in de tijd per meetpunt. Geconcludeerd kan worden dat het slib niet in het stelsel blijft liggen, maar tijdens neerslag door de stroming (werveling) wordt verplaatst. Ook lijkt het erop dat het slib in de bezinkleiding wordt verplaatst. Daardoor is het ook aannemelijk dat slib uit de bezinkleiding naar het oppervlaktewater verdwijnt.

Figuur 1: Slib in stelsel van Q6 per meting



Tijdens dit onderzoek is bemeaten hoeveel slib in de bezinkleiding komt en hoeveel slib eruit stroomt. Dit is bepaald door ruim een jaar het debiet van de in- en uitstroom vast te stellen en de in- en uitstroom tijdproportioneel te bemonsteren. Een tijdproportionele bemonstering is minder nauwkeurig dan een debietproportionele bemonstering, maar geeft voldoende inzicht om te achterhalen hoe de diverse systemen in de praktijk functioneren. Uit deze metingen blijkt dat het gemiddelde rendement van deze bezinkleiding 50% bedraagt. In grafiek 1 is het rendement gevisualiseerd als functie van het aantal volumeverversingen tijdens een neerslagperiode. Uit deze metingen is ook gebleken dat tijdens buien met een lage neerslagintensiteit de concentratie onopgeloste bestanddelen (OB) die in en uit de bezinkleiding stroomt tussen de 8 en 100 mg OB/l ligt. Tijdens intensieve buien wordt de concentratie onopgeloste bestanddelen die de bezinkleiding in- en uitstromen hoger. In deze meetperiode is bij de bezinkleiding een maximale ingaande concentratie gemeten van 320 mg OB/l en een uitgaande concentratie van 130 mg OB/l. De waterinhoud van de bezinkleiding wordt tijdens deze intensieve buien meerdere keren verversd. De bovenstaande praktijkresultaten komen niet overeen met de standaard-rendementsberekening uit het basisrioleringsplan.

Grafiek 1: Rendement van de bezinkleiding Ookmeerweg als functie van het aantal volumeverversingen tijdens een neerslagperiode



Met betrekking tot slib lijkt het er bovendien sterk op dat tijdens dit praktijkonderzoek, zowel in het hemelwaterriool als in de bezinkvoorziening, een evenwichtstoestand ontstaat.

Tijdens dit onderzoek is ook gebleken dat tijdens alle seizoenen de EGV-waarde in de IN-put lager is dan in de UIT-put. Het EGV is een maat voor de elektrische geleidbaarheid van het water en wordt gebruikt om de totale concentratie aan ionen (zoals bijvoorbeeld zoutionen) te meten. Naarmate meer ionen in een vloeistof aanwezig zijn geleidt een vloeistof beter en zal het EGV hoger zijn. Hoe lager het EGV is, hoe minder ionen in het water aanwezig zijn en hoe meer het op regenwater lijkt. Vastgesteld is dat het aantal chloride-ionen de hoogte van de EGV-waarde in de bezinkleiding grotendeels bepaalt. Chloride-ionen kunnen door strooizout (natriumchloride) in het hemelwater terecht komen. Dit zout blijft aan het eind van de bezinkleiding liggen (Ayadi El N. et al., 2015).

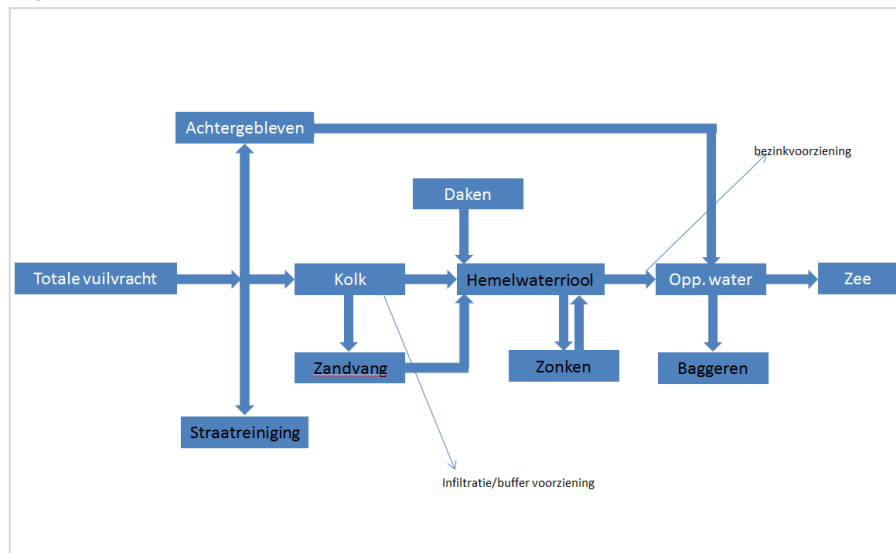
“Massabalans kolkenvuil” (2017):

In de keten van straatvuil tot oppervlaktewateremissie wordt het vuil (slib) op verschillende plaatsen en door verschillende partijen verwijderd. De massa- en kostenbalans van vaste delen over het regenwatersysteem, van stoep tot oppervlaktewater, is onderzocht met een deskstudie. Figuur 2 geeft de keten weer en figuur 3 de massa- en kostenbalans voor het riooldeel. Alleen de kosten van het reinigen (vegen) van de straat zijn niet achterhaald. Vooral is ingezoomd op het zand/slib dat zich in de kolk of leiding bevindt.

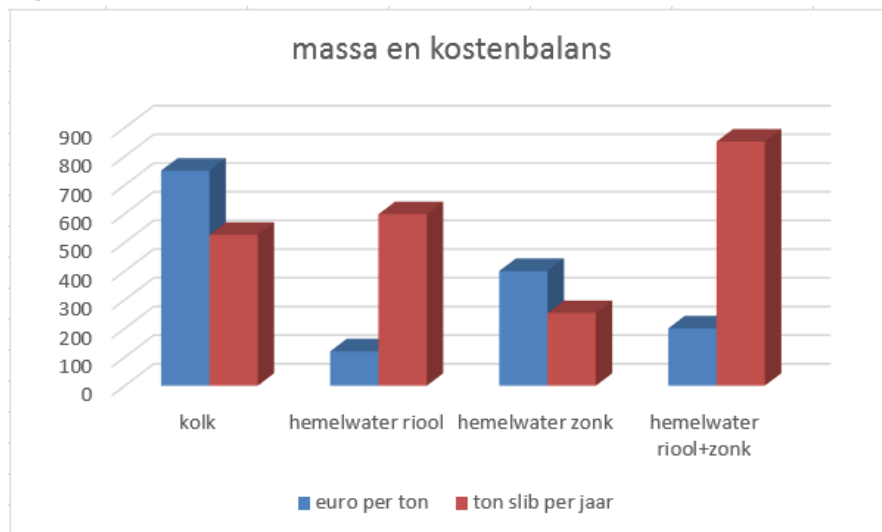
De volgende inzichten zijn verkregen:

- Het meeste zand/slib wordt van de straat geveegd of uit het oppervlaktewater gebaggerd: straat 22.600 ton/jaar, kolk 526 ton/jaar, hemelwaterstelsel 851 ton/jaar en oppervlaktewater 46.000 ton/jaar.
- Voor het stelsel geldt dat het meeste slib/zand uit het hemelwaterriool wordt gehaald, gevolgd door de kolken. Het minste slib/zand wordt uit de zonken gehaald.
- In vergelijking met het reinigen van het hemelwaterstelsel en/of zonken is het reinigen van kolken het duurst per afgevoerde slib-/zandhoeveelheid.
- Baggeren van de waterbodem en/of vegen van de straat is verreweg het efficiëntst als je kijkt naar de hoeveelheid slib die wordt afgevoerd en waarschijnlijk geldt dat ook voor de kosten die daaraan zijn verbonden.
- De slibtoevoer vanuit het Amsterdamse hemelwaterstelsel naar het oppervlaktewater is nihil vergeleken met de slibtoevoer door het oppervlaktewater zelf (Speet F., 2017).

Figuur 2: De keten van straatvuil tot oppervlaktewateremissie



Figuur 3: Massa- en kostenbalans kolkenslib



Literatuurstudie

Uit het onderzoek “Beheer van kolken en rioolaansluitingen” blijkt dat bij 95% van de kolken de hoogte van het slib-bed in de zandvang een evenwicht bereikt. Als die evenwichtstoestand is bereikt, gaat evenveel zand/slib uit de kolk als erin komt. Dit zand/slib komt vervolgens terecht in het hemelwaterriool. In dit onderzoek is ook aangetoond dat 5% van de kolken verstopt raakt, waarvan 73% wordt veroorzaakt door zand/slib en 19% wordt veroorzaakt door het verstopping van de aansluitleiding. Van de resterende 8% is de verstoppingsoorzaak onbekend. (Post J., 2016). Uit de andere onderzoeken (“Concentraties, bindingspercentages en bezinkmogelijkheden van verontreiniging in afstromend regenwater”, “Database regenwater” en “De feiten over kwaliteit van afstromend regenwater”) blijkt dat de dichtheid van het kleinste slib in hemelwater 1050 à 1250 kg/m³ bedraagt. Dit is vergelijkbaar met de resultaten uit het Waternet-onderzoek “Werking bezinkleiding Ookmeerweg”. In dat onderzoek is de dichtheid bepaald van het slib dat aanwezig is aan het begin en aan het eind van de bezinkleiding. De dichtheid bedraagt respectievelijk 1144 kg/m³ en 1098 kg/m³. Daarnaast is vastgesteld dat 60% van het hemelwaterslib langzamer bezinkt dan 1 meter per uur. Zolang het slib niet is vastgelegd op de bodem van de bezinkleiding zal het, als het hemelwater in de bezinkleiding weer in beweging komt, verder worden meegevoerd. Verontreinigingen zoals metalen en PAK’s binden zich aan de kleinste slibdeeltjes. Ook is vastgesteld dat een deel van de verontreiniging altijd in oplossing blijft en zich niet bindt aan slibdeeltjes. Het bindingspercentage van deze verontreinigingen aan slib ligt in de range van 60% à 80%. De concentratie onopgeloste bestanddelen in hemelwater in Amsterdam is gemeten en bedraagt ongeveer 100 mg/l. (Graaf E., et al) en (Bogaard F., et al, 2007).

1.1 Nader onderzoek functioneren bezinkleiding in de praktijk

Het functioneren en het rendement van een bezinkleiding is al vaak onderzocht. Toch zijn er nog onduidelijkheden. Hoe kan het dat de ene bezinkleiding beter lijkt te functioneren dan de andere? En als een bezinkleiding beter functioneert, waardoor komt dat dan? Een oorzaak kan bijvoorbeeld de inrichting van de omgeving zijn of het verschil in verhouding tussen het afstromende verharde oppervlak dat is aangesloten op de bezinkleiding in relatie tot de dimensionering van het

hemelwaterriool en de bezinkleiding. Ook moeten we ons afvragen wat een goed functionerende bezinkleiding is. Is dat kwantitatief (hoeveel slib wordt verwijderd?), is dat kwalitatief (hoeveel uitspoeling van verontreinigingen wordt voorkomen?) of is dat een combinatie van beide?

1.1.1 Doel

Alle vorige door Waternet uitgevoerde onderzoeken betroffen steeds één bezinkleiding, terwijl de variaties in de onderzoeksgebieden en tracés – en daarmee de verschillen in het functioneren van bezinkleidingen – groot zijn. Het doel van dit onderzoek is om alle bezinkleidingen van Amsterdam met elkaar te vergelijken. Na dit onderzoek willen we in staat zijn om het functioneren van elke individuele bezinkleiding te beoordelen/berekenen en eventueel te verbeteren.

- Daarvoor worden de bezinkleiding, het daarvoor liggende stelsel en de inrichting van het gebied in kaart gebracht.
- De eigenschappen van de bezinkleidingen worden vastgelegd in kengetallen.
- Op basis van de kengetallen kan worden bepaald welke verschillen er zijn en mogelijk ook wat het effect daarvan is op het functioneren van de bezinkleiding in de praktijk.
- Aan de hand van de resultaten en de gevonden verbanden tussen de eigenschappen van de bezinkleiding kan worden berekend hoe de bezinkleiding in de praktijk zowel kwalitatief als kwantitatief functioneert.

2 Meetopzet en uitvoering

2.1 Onderzoekopzet

Het onderzoek is opgezet in drie delen. Eerst zijn alle bezinkleidingen in Amsterdam globaal in kaart gebracht. Bij zes daarvan is een beperkt aantal metingen verricht die met elkaar zijn vergeleken. Drie van deze bezinkleidingen zijn voor een langere tijd gemonitord en daar zijn uitgebreidere metingen verricht. Daarna is met de verkregen kengetallen (uit Waternetonderzoek en uit literatuur) de kwantitatieve en kwalitatieve werking van de bezinkleiding(en) berekend.

2.2 Alle bezinkleidingen in Amsterdam

In Amsterdam liggen dertien bezinkleidingen. Alle dertien zijn rond van vorm en ze zijn aangelegd tussen 2005 en 2015. Geen van de bezinkleidingen is voorafgaand aan dit onderzoek ooit gereinigd. Eén bezinkleiding is in het kader van een eerder onderzoek wel geïnspecteerd ("Werking bezinkleiding Ookmeerweg"). Het slib is toen blijven liggen. De andere bezinkleidingen zijn nog nooit geïnspecteerd. De gemiddelde inhoud van de bezinkleidingen bedraagt 31 m³, de minimale inhoud is 3,7 m³ en de maximale inhoud is 108 m³. Het elektrisch geleidend vermogen (EGV-waarde) aan het begin van de bezinkleiding is altijd lager dan de EGV-waarde aan het eind van de bezinkleiding. In het onderzoek "Werking bezinkleiding Ookmeerweg" is de relatie tussen de EGV-waarde en de chlorideconcentratie aangetoond. De in dit deelonderzoek "bezinkleidingen in Amsterdam" laagst gemeten EGV-waarde bedraagt 600 µs/cm en komt overeen met circa 130 mg CL/l. De hoogste EGV-waarde bedraagt 8030 µs/cm en komt overeen met circa 2500 mg CL/l. Dat komt overeen met respectievelijk zoet en zeer brak water. Deze resultaten komen overeen met de resultaten van het onderzoek "Werking bezinkleiding Ookmeerweg". (Ayadi El N. et al., 2015). Op één locatie is geconstateerd dat meerdere kolken die vóór de bezinkvoorziening zitten vanwege verstopping niet goed functioneren. Op twee locaties wordt tijdens het onderzoek gewerkt aan de weg en in één van deze bezinkvoorzieningen is veel zand aangetroffen in de leiding tussen de bezinkvoorziening en het oppervlaktewater. Bij twaalf van de dertien hemelwaterstelsels is meer slib aangetroffen in de bezinkvoorziening dan in de zonken. Op vier locaties bestaat de wegverharding voor een groot deel uit asfalt en voor een klein deel uit klinkers. De klinkers zijn dan in de middenstrook gebruikt. Op alle andere locaties is uitsluitend asfalt aanwezig. In geen van de gevallen is het dakoppervlak aangesloten op dit hemelwaterstelsel. Op twee locaties wordt verwacht dat de onverharde middenberm van invloed is op de samenstelling van het afstromende hemelwater. Alle bezinkvoorzieningen zijn gemaakt van beton op één na, die is gemaakt van met glasvezel versterkt kunststof. De bezinkvoorziening is altijd gevuld met water en functioneert daardoor als een verdronken stelsel. Het stelsel dat daarvoor ligt is niet in alle gevallen geheel gevuld met water. Visueel is waargenomen dat het grove vuil (boombladen, takjes, blikjes, zand/slib) zich bevindt in de kolken. In de hemelwaterputten is zand/slib waargenomen en in de bezinkvoorziening fijn slib. Daarnaast is visueel waargenomen dat in de IN-put van de bezinkvoorziening, vergeleken met de UIT-put, het meeste drijfvuil aanwezig is en dat het slib grover is.

2.3 Vergelijking zes bezinkvoorzieningen

Algemeen

Zes van de dertien bezinkvoorzieningen zijn nauwkeuriger met elkaar vergeleken. Van elke voorziening zijn alle relevante gegevens verzameld (Tabel 1: Veldgegevens en dimensionering zes bezinkvoorzieningen). Voorts zijn bij elke voorziening metingen op het slib uitgevoerd en is de toename van de slibdikte in de tijd vastgelegd. Dit deelonderzoek had tot doel te bepalen of de werking van de bezinkvoorzieningen onderling verschilt en zo ja wat daar de mogelijke oorzaak van is.

Tabel 1: Veldgegevens en dimensionering zes bezinkvoorzieningen

OBJECTID	JAAR_AANLEG	Reden voor onderzoek	Omschrijven gebied en assets	BEGIPUNT	EINDPUNT	BOBB [MNAP]	BOBE [MNAP]	diameter bezinkleiding [mm]	LENGTE [m]	LENGTE STELSEL [m]	AANTAL ZONKEN	OPP. Verhard [m2]	Inhoud BL [m3]	Inhoud bezinkvoorziening (leiding+put in en uit) [m3]	opp. Put in [m]	opp. put uit [m]	Slibdikte put Voor BL [m]	Slibdikte put Na BL [m]	volume IN en UIT put [m3]	volume leiding (slibdikte gem. IN/UIT) [m3]	volume silb totaal [m3]	EGV put voor BL us/cm	EGV put na BL us/cm
13002	2008	verwachting veel verontreinigingen bij een afrit	De meeste Kolken die alstromen naar deze BL zijn verstopt. Het water stroomt naar de berm. Water vanaf de BL stroomt naar laag gebied. Relatief weinig silb.	C80108	C80107	1,42	1,42	800	7,5	140	5	2095	3,77	7,07	1,56	2,56	0,13	0,18	0,66	0,51	1,18	1500	3000
12102	2008	korte bzi - veel werkzaamheden in de omgeving	Er is werk in uitvoering in de omgeving. Visueel is te zien dat in het silb veel zand/grond zit.	C70335	C70336	0	0	1000	6	473	16	6950	4,71	9,83	2,56	2,56	0,45	0,4	2,18	1,91	4,08	2900	4900
108579	2005	veel over bekend	In de eindput is meer silb gemeten dan voorheen.	KK41279	KK41278	-5,91	-6,1	1600	29,38	544	14	5548	59,07	77,50	5,76	5,76	0,4	0,28	3,92	9,17	13,09	6260	8030
89453	2006	vanwege groot oppervlakte en kleine inhoud?	kans op foutaansluitingen t/m aanwezigheid van andere hemelwaterstelsels geen bijzonderheden	JJ30666	JJ30665	-3,1	-3	1000	12,87	1495	34	10805	10,11	14,46	2,18	2,18	0,45	0,45	1,96	4,41	6,37	niet gemeten	600
18244	2009	geen bijzonderheden	hemelwaterstelsels geen bijzonderheden	D70470	D70469	-5,7	-5,8	1200	21,33	191	14	7047	24,12	31,47	3,06	3,06	0,04	0,11	0,46	0,63	1,09	3400	4900
18782	2012	omdat er een bocht in zit	Bouwwerkzaamheden en schepe bocht aan eind van bezinkleiding	D70576	D70577	-5,8	-5,8	1250	22,01	552	23	5133	54,02	68,42	5,76	5,76	0,36	0,17	3,05	4,18	7,23	niet gemeten	3300

Uit de bovenstaande gegevens kan het volgende worden berekend:

- de inhoud van de bezinkvoorziening
- het slibvolume in de bezinkvoorziening
- de capaciteit (inhoud) per aangesloten oppervlakte
- de slibaangroei per jaar.

Tabel 2: Inhoud, slibvolume en capaciteit bezinkvoorziening

OBJECTID	JAAR_AANLE	OPP. Verhard (ha)	inhoud bezinkvoorziening (m3)	jaarlijkse slibvolume (m3)	capaciteit (m2 per m3 bezinkvoorziening)
13002	2008	0,2095	7,1	0,13	296
12102	2008	0,6950	9,8	0,45	707
108579	2005	0,5548	77,5	1,09	72
89453	2006	1,0805	14,5	0,58	747
18244	2009	0,7047	31,5	0,14	224
18782	2012	0,5133	68,4	1,45	75

Het slibvolume in de bezinkvoorziening is berekend op basis van de slibmetingen in de IN-put en de UIT-put. Voor de putten is dat berekend op basis van de oppervlakte maal de hoogte. Voor de bezinkleiding is dat berekend door aan te nemen dat de gemiddelde hoogte van de IN-put en de UIT-put de hoogte is van het slib in de bezinkleiding. Met de onderstaande formule is het slibvolume in de bezinkleiding berekend. Samen met het volume in de putten vormt dit het totale slibvolume in de bezinkvoorziening.

$$V = \left(r^2 \cos^{-1} \left(\frac{r-h}{r} \right) - (r-h) \sqrt{2rh - h^2} \right) * L$$

In de twee bezinkvoorzieningen waarop de kleinste oppervlakte per kubieke meter bezinkvolume is aangesloten, 72 en 75 m²/m³, blijft het meeste slib per jaar achter (tabel 2). Opvallend is dat in de twee bezinkvoorzieningen waarop het meeste verhard oppervlak per kubieke meter bezinkvolume is aangesloten, 707 en 747 m²/m³, blijft meer slib per jaar achter dan in de twee bezinkvoorzieningen waarbij de verhouding oppervlakte per m³ bezinkvolume 224 en 296 bedraagt. Dit kan worden verklaard. Bij object 12102 zijn veel bouwwerkzaamheden en in het slib is visueel veel zand waargenomen. Bij object 89453 bestaat een reële kans op foutaansluitingen. Verder zijn in de eigenschappen/kengetallen geen overeenkomsten waaruit valt op te maken waarom de ene bezinkvoorziening meer slib achterhoudt dan de andere.

Bezinkvoorziening 13002 (object 13002) verzamelt per jaar gemiddeld 0,13 m³ slib (tabel 2). In deze bezinkvoorziening is na negen jaar zonder reiniging 1,2 m³ slib aangetroffen (1,2/9 = 0,13) Het is onbekend hoeveel slib in deze negen jaar door de bezinkvoorziening in het oppervlaktewater is gekomen. De zes onderzochte bezinkvoorzieningen hebben in totaal een inhoud van 210 kubieke meter. Per jaar wordt circa 4 m³ slib in deze voorzieningen verzameld. Dat is jaarlijks 2% van het totale

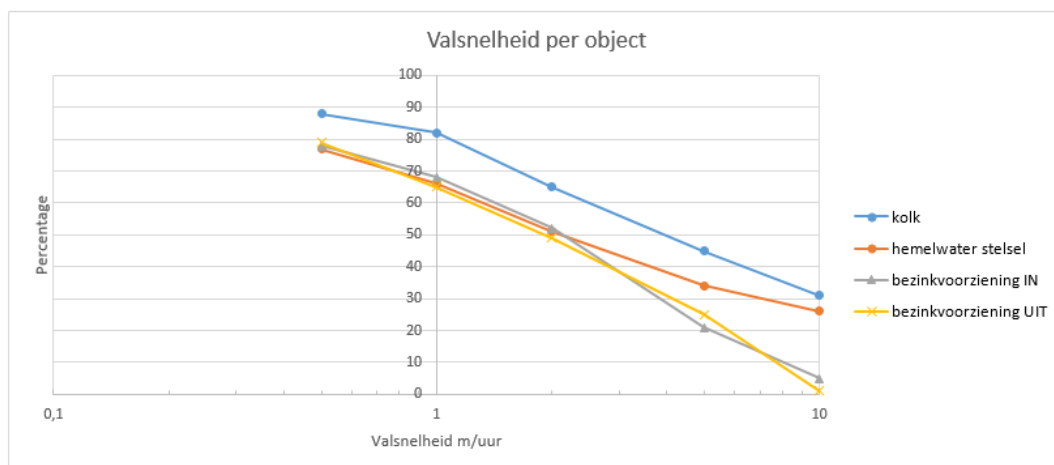
volume. De bemeten bezinkvoorzieningen zijn tussen de vijf en twaalf jaar oud (gemiddeld negen jaar) en nog nooit gereinigd. Geconcludeerd kan worden dat in de afgelopen periode (gemiddeld negen jaar) circa 17% van de totale inhoud van de bezinkvoorziening is benut. Wat het benutbare volume is van een bezinkvoorziening is onbekend. Met andere woorden: op welk maximaal percentage slibvulling wordt een bezinkvoorziening gedimensioneerd? Uit deze gegevens kan niet worden opgemaakt of binnen een bezinkvoorziening een evenwichtstoestand ontstaat en of dat bij alle bezinkvoorzieningen op hetzelfde moment is (x procent benut van de totale inhoud).

Sediment (valsnelheid)

De snelheid waarmee een slibdeeltje bezinkt is afhankelijk van de dichtheid, de afmeting en de vorm van het desbetreffende deeltje.

Van vijf van de zes onderzoeksgebieden (stelsels) is de valsnelheid van het slib in de kolken, de hemelwaterputten en de IN- en UIT-put van de bezinkleiding gemeten met de meetopstelling Sedimet van de Hogeschool van Amsterdam. In figuur 4 is de gemiddelde valsnelheid per object (kolk, hemelwaterstelsel en de IN- en UIT-put van de bezinkvoorziening) weergegeven als percentage.

Figuur 4: Valsnelheid slibdeeltjes in de kolk, hemelwaterput en IN- en UIT-put van de bezinkvoorziening



Hieruit kan het volgende worden geconcludeerd:

- Het slib uit de kolk heeft in alle gevallen de hoogste valsnelheid (het grofste materiaal en het meeste zand).
- Het slib uit de kolk bestaat voor circa 30 gewichtsprocenten uit slib met een grotere valsnelheid dan 10 meter per uur. Het slib uit het hemelwaterstelsel bestaat voor circa 25% uit slib met een grotere valsnelheid dan 10 meter per uur. Dit is het grofste materiaal en het komt nauwelijks voor in de IN-put en de UIT-put van de bezinkvoorziening. Het slib uit de IN-put bestaat voor circa 5% uit slib met een grotere valsnelheid dan 10 meter per uur. In de UIT-put gaat het om 1%.
- In de bezinkvoorziening heeft ongeveer 80% van het slib een bezinkingssnelheid van 0,5 meter per uur. In een bezinkleiding met een diameter van 1 meter is 80% van het slib in 2 uur bezonken. Is de diameter van de bezinkleiding 2 meter, dan duurt het 4 uur.

- Het materiaal met een valsnelheid tot 2 meter per uur blijft voornamelijk achter in de kolk en deels in het hemelwaterstelsel. Het materiaal met een lagere bezinkingssnelheid komt deels voor in de hemelwaterleiding en in de bezinkvoorziening, waarbij opgemerkt moet worden dat de lichtste deeltjes zich aan het eind van de bezinkvoorziening ophopen. Het totale systeem, van kolk tot en met bezinkvoorziening, zorgt ervoor dat deeltjes gescheiden worden op basis van valsnelheid.

Deze resultaten komen overeen met de resultaten van eerder Waternet-onderzoek en met de bevindingen uit de geraadpleegde literatuur. (Graaf E., et al).

2.4 Onderzoek drie bezinkvoorzieningen

Helaas kon op basis van het vooronderzoek geen representatieve bezinkvoorziening worden gekozen. Het vervolgonderzoek is uitgevoerd op de bezinkvoorzieningen met de objectnummers 12102, 18782 en 108579. Bij de bezinkvoorzieningen met de nummers 12102 en 18782 is het slib uit de kolken bemonsterd, evenals het slib uit de hemelwaterputten en het slib uit de IN-put en de UIT-put van de bezinkvoorziening. Van deze monsters is de SCG-korrelgrootte bepaald en ze zijn chemisch geanalyseerd. Daarna zijn de bezinkvoorzieningen en bijbehorende stelsels gereinigd, zodat de slibaanwas in de tijd kon worden gemonitord. Bij twee objecten is het slib uit de bezinkvoorziening gewogen. De slibvolumen op basis van de slibhoogtemetingen kunnen hiermee worden getoetst.

Op 3, 7 en 8 augustus 2017 zijn de drie bezinkvoorzieningen en het daarvoor liggende stelsel gereinigd.

Analyses

Uit de analysesresultaten (zie bijlage 1) blijkt het volgende:

1. In de kolk en in het hemelwaterstelsel is meer grof materiaal in het slib aangetroffen dan in de bezinkvoorziening.
2. Organisch materiaal en korrelgrootten kleiner dan 2 μm worden het meest aangetroffen in het slib in de bezinkvoorziening.

Tabel 3 bevat de resultaten van de metaalanalyses. Het aantal kg/m^3 is berekend door aan te nemen dat de dichtheid van het slib in de kolk en in het hemelwaterriool $1250 \text{ kg}/\text{m}^3$ bedraagt (hoogst gevonden dichtheid in de literatuur (Graaf E., et al)). De dichtheid van het slib in de IN-put en de UIT-put van de bezinkvoorziening is in het Ookmeerweg-onderzoek bepaald en bedraagt respectievelijk 1144 en $1098 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Tabel 3: Analysesresultaten metalen

	kolk	HW-put	BL-IN	BL-UIT
soortelijke massa				
$\text{kg}/\text{m}^3 \text{ ds}$	1250	1250	1144	1098
Cd mg/kg dg	1,2	0,4	0,4	0,4
Cr mg/kg dg	54	41	66	148
Co mg/kg dg	25	7	6	7
Fe mg/kg dg	21000	17000	48000	94000
Cu mg/kg dg	210	160	260	820
Hg mg/kg dg	0,29	0,24	0,72	1,19
Pb mg/kg dg	60	48	173	340
Ni mg/kg dg	28	19	30	67
Zn mg/kg dg	790	590	1340	3400
Ca mg/kg dg	52700	16100	90000	102000
totaal in $\text{kg}/\text{m}^3 \text{ ds}$	94	42	160	220
percentage	18	8	31	43

- Van de metalen komt in totaal 74% voor in het slib in de bezinkvoorziening, waarvan 43% in de IN-put en 31% in de UIT-put. Slechts 26% van de metalen wordt aangetroffen in het slib in het hemelwaterstelsel en kolk.
- Aan het slib in de kolk zitten meer metalen gebonden dan aan het slib in de hemelwaterput.
- EOX, minerale olie en PAK worden voor ongeveer 60% afgevangen in de kolk en het hemelwaterstelsel. Circa 40% van deze stoffen wordt aangetroffen in de bezinkvoorziening. Tabel 4 bevat de analyseresultaten van minerale olie, EOX en PAK.

Tabel 4: Analyseresultaten minerale olie, EOX en PAK

	kolk	HW-put	BL-IN	BL-UIT
soortelijke massa kg/m³ ds	1250	1250	1144	1098
M. Olie mg/kg dg	4000	5500	2550	4150
totaal in kg/m³ ds	5	7	3	5
percentage	25,8	35,5	15,1	23,6
		61,4		38,6
EOX mg/kg dg	6,2	8,4	4	5,15
totaal in kg/m³ ds	0,008	0,011	0,005	0,006
percentage	27,2	36,9	16,1	19,9
		64,1		35,9
SOM PAK mg/kg dg	12,7	13,5	8,6	10,4
totaal in kg/m³ ds	0,016	0,017	0,010	0,011
percentage	29,4	31,2	18,2	21,1
		60,6		39,4

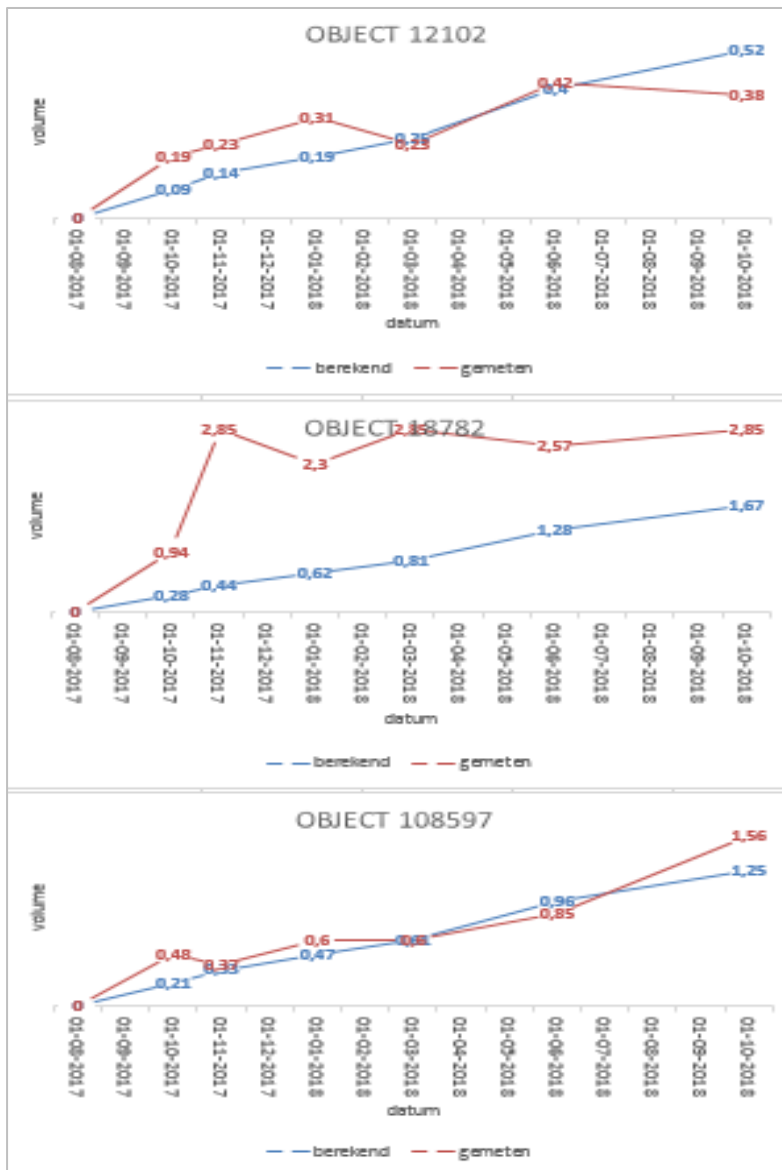
Slibgroei

Het slibvolume in de bezinkleiding is bepaald door de slibhoogte te meten in zowel de IN-put als de UIT-put van de bezinkvoorziening. Er wordt van uitgegaan dat de slibhoogte in de bezinkleiding het gemiddelde is van de hoogte in die twee putten. De grootte van de objecten en de formules zijn eerder al beschreven. Met die gegevens kan het volume in de bezinkvoorziening worden berekend. De dichtheid van het Amsterdamse hemelwaterslib is in eerdere onderzoeken vastgesteld en bedraagt gemiddeld 1121 kg/m³.

Tijdens het reinigen van twee bezinkvoorzieningen is het slib gewogen. Dit is gedaan door eerst het water langzaam uit de bezinkvoorziening te pompen. Vervolgens is het slib met een bekende hoeveelheid water uit het systeem gespoeld, verzameld en gewogen. Uit deze meting blijkt dat in object 18782, 12,94 ton slib aanwezig was. Op basis van de slibhoogtemetingen is berekend dat in dit object 8,1 ton slib verwacht mag worden (volume slib totaal (tabel 1) maal de dichtheid (7,23 m³ maal 1121 kg/m³)). Voor object 12102 is hetzelfde gedaan, waarbij 4,5 ton is gemeten en 4,6 ton is berekend op basis van de slibhoogte. Bij object 12102 komen de gemeten en de berekende waarde beter overeen, vergeleken met object 18782.

Voorafgaand aan dit onderzoek (vergelijking zes bezinkvoorzieningen) is de slibhoogte gemeten (tabel 2). Begin augustus zijn drie bezinkvoorzieningen en het daarvoor liggende stelsel gereinigd. In grafiek 2 is de toename van het slibvolume per object als functie van de tijd weergegeven.

Grafiek 2: Gemeten slibvolume berekend en gemeten in m³



In de grafiek van object 18782 is te zien dat het slib sneller terugkomt dan is berekend. Dit komt waarschijnlijk doordat in dit gebied nog veel bouwwerkzaamheden worden verricht. Het lijkt erop dat de trend zoals die is berekend na verloop van tijd wordt gevolgd. In de grafieken van de objecten 12102 en 108597 is goed te zien dat de gemeten slibaanwas dezelfde trend volgt als de berekende slibaanwas. In oktober 2018 (veertien maanden na de reiniging) is nog niet het slibvolume bereikt dat bij de eerste meting werd aangetroffen (x jaar na plaatsing).

In object 12102 is na negen jaar 4,1 m³ aangetroffen (zie tabel 1). Dat komt overeen met 0,038 m³ per maand (4,1 m³/9 jaar/12 maanden). Nadat de bezinkvoorzieningen waren gereinigd is de slibaanwas veertien maanden gemonitord. Als we aannemen dat de gemeten slibaanwas de werkelijke is, dan kan ook worden berekend of in de bezinkvoorziening een evenwichtstoestand is bereikt. Voor object 12102 bedraagt dat 0,027 m³ per maand (0,38 m³/14 maanden) (zie grafiek 2).

Op basis van deze berekening kan na 12 jaar een vulling van 4,1 m³ worden verwacht ($4,1 \text{ m}^3 / 0,027 \text{ m}^3/\text{maand} = 151 \text{ maanden}$). Hieruit kan worden geconcludeerd dat na negen jaar nog geen evenwichtstoestand is bereikt.

In object 18782 is na vijf jaar 7,2 m³ slib aangetroffen. Dat komt overeen met 0,12 m³ per maand. De gemeten slibaanwas na het reinigen bedroeg 0,20 m³/maand. Op basis van deze berekening kan na drie jaar een vulling van 7,2 m³ worden verwacht ($7,2 \text{ m}^3 / 0,2 \text{ m}^3/\text{maand} = 36 \text{ maanden}$). Daarna is in de bezinkvoorziening vermoedelijk een evenwichtstoestand bereikt.

In object 108597 is na twaalf jaar 13 m³ slib aangetroffen. Dat komt overeen met 0,09 m³ per maand. De gemeten slibaanwas na reiniging bedroeg 0,11 m³/maand. Op basis van deze berekening kan na tien jaar een vulling van 13 m³ worden verwacht. Daarna is in de bezinkvoorziening vermoedelijk een evenwichtstoestand bereikt.

Aantonbaar slib na bezinkvoorziening

Bij één bezinkvoorziening is na de uitstroom (overstort uit de bezinkvoorziening) een deelstroom over een 20 µm filter geleid en opgevangen. Dit is gerealiseerd door een tuinslang te monteren in de uitstroom van het hemelwater (na de passage van de bezinkvoorziening). Er gaat alleen water doorheen als ook daadwerkelijk hemelwater uit de bezinkvoorziening stroomt. Het betreft een zeer klein volume ten opzichte van de totale waterstroom. Toch was op het filter duidelijk slib te zien. De op deze manier verzamelde slibhoeveelheid kon niet worden gekwalificeerd ten opzichte van de totale stroom. Er was te weinig om de valsnelheid te bepalen of om analyses op uit te voeren.

Figuur 5: Foto's van proef met filter



Eerder tijdens dit onderzoek was het slib uit de twee bezinkvoorzieningen bemonsterd en was de SCG-korrelgrootte bepaald. In de UIT-put van object 12102 had 38% van het slib een kleinere grootte dan 20 µm/l. In object 18782 was dat 19%. Dit betekent dat tijdens een bui meer dan circa 30% ($(19 + 38)/2$) aan onopgeloste bestanddelen uitspoelt naar het oppervlaktewater. Op het filter was immers duidelijk slib waarneembaar ($> 20 \text{ µm/l}$), terwijl circa 30% van het slib bestond uit deeltjes die kleiner waren dan 20 µm/l. Deze deeltjes waren niet door het filter afgevangen.

3 Analyse meetresultaten

Op basis van de kengetallen uit eerder onderzoek en uit literatuurstudie en op basis van het vervolgonderzoek kan de werking van de bezinkvoorziening kwantitatief en kwalitatief worden berekend.

Rendement bezinkvoorziening

Om beter aan te sluiten bij de Amsterdamse praktijk is er voor gekozen om op de onderstaande alternatieve manier het kwantitatieve en kwalitatieve rendement van de bezinkleiding te berekenen. Voor de berekening wordt aangenomen dat het bezonken slib in de bezinkvoorziening niet meer opwoelt. In het onderzoek naar de valsnelheid van de slibdeeltjes is aangetoond dat 20% van het slib een langere bezinktijd heeft dan 1 meter per 2 uur. Dit komt overeen met de literatuur. Dit betreft de fijnste organische deeltjes waaraan de verontreiniging zit. Gesteld wordt dat de slechtst bezinkbare fractie nog niet is bezonken wanneer een volgende bui binnen vier uur valt. Tijdens de volgende bui zullen deze deeltjes verder uitspoelen. Daarom wordt in de berekening alle neerslag die valt zonder dat het vier uur droog is beschouwd als één gebeurtenis. Is het langer dan vier uur droog, dan start bij de eerstvolgende neerslag een nieuwe regengebeurtenis. Ook is in de berekening rekening gehouden met het feit dat de eerste drie millimeter neerslag die valt tijdens de zogenaamde bevochtigingsfase niet komt tot afstroming (Koot, A.C.J., 1977). Voor de rendementsberekening is gebruikgemaakt van de KNMI-neerslagreeksen 2011 en 2016. Daarnaast is gebruikgemaakt van de rendementsafnamen die zijn vastgesteld in het Ookmeerweg-onderzoek (grafiek 1) en de basisgegevens per bezinkvoorziening zoals diameter, verhard oppervlak, en dergelijke (tabel 1). Met deze gegevens kan het aantal verversingen per gebeurtenis worden uitgerekend en daarmee het rendement van die specifieke gebeurtenis. Het totaalrendement van de bezinkvoorziening over de jaren 2011 en 2016 wordt bepaald door het aantal uren dat een bepaald rendement heeft plaatsgevonden.

In 2011 en 2016 is in totaal 1500 mm neerslag gevallen. Op basis van de bovenstaande berekening resulteert dat in een afstroming naar het hemelwaterstelsel van 1053 mm. Het berekende totaalrendement voor onopgeloste bestanddelen per bezinkvoorziening is weergegeven in tabel 5.

Tabel 5: Rendement per bezinkvoorziening

object	m2 verhard / m3 bezinkleiding	berekend rendement [%]
13002	296	68
12102	707	35
108579	72	94
18244	224	76
18782	75	94

Voor de kwaliteitsberekening zijn de resultaten gebruikt uit het RIONED-onderzoek "Concentraties, bindingspercentages en bezinkingsmogelijkheden van verontreinigingen in afstromend hemelwater" (RIONED, 2012). In dit onderzoek zijn de verontreinigingsconcentraties in afstromend hemelwater en het bindingspercentage per stof weergegeven (tabel 6). In het RIONED-onderzoek is vastgesteld dat de concentratie onopgeloste bestanddelen in afstromend hemelwater in Amsterdam gemiddeld 100 mg/l bedraagt. Dit komt overeen met de bevindingen van het Waternet-onderzoek "Werking bezinkleiding Ookmeerweg".

Tabel 6: Concentratie en bindingspercentage

parameter	gem. concentratie	bindingspercentage
	mg/l	%
zink	0,2	50
cadmium	0,0003	51
nikkel	0,007	49
koper	0,03	59
lood	0,04	60
PAK	0,0004	89
fosfor	0,6	58

Op basis van deze gegevens, en als het slib zich evenredig in het systeem verspreidt, kan per stof worden berekend welke vracht per jaar in de bezinkvoorziening achterblijft en welke vracht in het oppervlaktewater belandt.

Tabel 7: Vrucht onopgeloste bestanddelen in en uit de bezinkvoorziening

OBJECTID	rendement bezinkvoorziening	afstroom in riool	slib in bezinkvoorziening	slib uit bezinkvoorziening
	%	m3/jaar	kg/jaar	kg/jaar
13002	68,3	1103	110	35
12102	35,1	3659	366	237
108579	94	2921	292	18
18244	76,3	3710	371	88
18782	93,7	2703	270	17
gem.	73			

In tabel 7 is te zien hoeveel kilogram onopgeloste bestanddelen (slib/zand) per jaar een bezinkvoorziening in stroomt en hoeveel daarvan doorstroomt naar het oppervlaktewater. Uiteraard is dat afhankelijk van het rendement van de bezinkvoorziening. Dit is ook uitgerekend voor de stoffen PAK, fosfor, zink, cadmium, nikkel, koper en lood. Hierbij is niet alleen rekening gehouden met het rendement van de bezinkvoorziening, maar ook met het bindingspercentage van de desbetreffende stof. In bijlage 2 zijn de percentages en vrachten weergegeven van datgene wat per stof doorstroomt naar het oppervlaktewater. In tabel 8 zijn alleen de percentages weergegeven. In tabel 8 en bijlage 2 is duidelijk te zien dat een bezinkvoorziening minder geschikt is om metalen tegen te houden. Van de meeste metalen die met het afstromende hemelwater in de bezinkvoorziening belanden, vindt meer dan 50% alsnog zijn weg naar het oppervlaktewater. Voor zink, cadmium en nikkel is dat zelfs meer dan 60%. Voor de parameter PAK lijkt de bezinkvoorziening beter te functioneren. Gemiddeld komt slechts 35% alsnog in het oppervlaktewater terecht.

Tabel 8: Percentage per parameter naar oppervlaktewater

OBJECTID	% PAK naar opp.water	% fosfor naar opp.water	% zink naar opp.water	% cadmium naar opp.water	% nikkel naar opp.water	% koper naar opp.water	% lood naar opp.water
eenheid	%	%	%	%	%	%	%
% Gebond.	89	58	50	51	49	59	60
13002	39	60	66	65	67	60	59
12102	69	80	82	82	83	79	79
108579	16	45	53	52	54	45	44
18244	32	56	62	61	63	55	54
18782	17	46	53	52	54	45	44
min	16	45	53	52	54	45	44
max	69	80	82	82	83	79	79
gem	35	57	63	63	64	57	56

4 Discussie

Dit onderzoek was vooral gericht op het functioneren van alle Amsterdamse hemelwater-bezinkvoorzieningen in de praktijk en op het berekenen van het kwantitatieve en kwalitatieve rendement op basis van de resultaten.

Het systeem start bij de kolk. Van de kolk is bekend dat het slib dat in de zandvang achterblijft bij bepaalde neerslagsituaties uitspoelt naar het hemelwaterstelsel. Dit is waargenomen tijdens, voor Nederlandse begrippen, normale omstandigheden en het kan meerdere keren per jaar voorkomen. Ook is bekend dat de slibdikte in de zandvang van een kolk bij 95% van de kolken na verloop van tijd een evenwichtstoestand bereikt. Dit betekent dat al het zand en of slib dat na het bereiken van die evenwichtstoestand nog in de kolk komt doorspoelt naar het hemelwaterstelsel tot het moment dat de zandvang wordt gereinigd of gedeeltelijk of geheel uitspoelt. Op dat moment begint het proces van slib en zand opslaan in de zandvang opnieuw. Daarnaast is visueel bepaald dat in de zandvang van een kolk meer grove delen en zand achterblijven dan in de rest van het stelsel (hemelwaterstelsel en bezinkvoorziening). Dit wordt onderschreven door het verschil in valsnelheid tussen de slibdeeltjes in de kolk, in het hemelwaterstelsel en in het begin en het eind van de bezinkvoorziening. In de kolk bezinkt 30 gewichtsprocent van het slib met een snelheid van 10 meter per uur, terwijl dat in de bezinkvoorziening slechts 3 gewichtsprocent is. In het totale systeem (van kolk tot en met bezinkvoorziening) worden het zand/slib gescheiden op basis van valsnelheid. Bij zand/slib met een lagere valsnelheid dan 2 meter per uur wordt zowel in het hemelwaterstelsel als in de bezinkvoorziening nagenoeg eenzelfde bezinkingspatroon aangetroffen. 20% van het fijnste slib heeft een langere bezinkingstijd dan 0,5 meter per uur. Ook de korrelgrootte-analyseresultaten bevestigen het beeld dat in het totale hemelwaterstelsel (van de kolk tot het eind van de bezinkvoorziening) scheiding van deeltjes plaatsvindt op basis van gewicht. Het grofste materiaal wordt aangetroffen in de kolk, gevolgd door het hemelwaterstelsel. Het fijnste materiaal ($< 2 \mu\text{m}$) wordt het meest aangetroffen in de laatste put van de bezinkvoorziening. De meeste verontreinigingen hechten zich het best aan het fijne slib ($< 50 \mu\text{m}$). Ook zien we dat in het hemelwaterstelsel een evenwichtstoestand wordt bereikt. Het hemelwaterstelsel aan de Ookmeerweg is ruim een jaar bemeten en de inhoud is qua hoeveelheid in totaliteit niet toegenomen (Ayadi El N. et al., 2015). Wel is duidelijk te zien dat per put een verschuiving optreedt. De verschuiving per put heeft te maken met het moment waarop de stroming in het hemelwaterstelsel stopt. Op dat moment zal de op die plek aanwezige hoeveelheid onopgeloste bestanddelen neerslaan. Als de evenwichtstoestand in het stelsel is bereikt, zal het slib bij een eerstvolgende bui weer in oplossing raken en met de stroming worden meegevoerd, totdat de stroming weer stopt. Dat kan gebeuren bij een volgende put of in de bezinkvoorziening. Het kan ook zo zijn dat deze onopgeloste bestanddelen, tegen de tijd dat het stopt met regenen (en de stroming in het stelsel stopt), al zijn terechtgekomen in het oppervlaktewater.

- Alle Amsterdamse bezinkvoorzieningen, inclusief het daarvoor liggende stelsel en de omgeving, zijn met elkaar vergeleken. Duidelijk is dat meer zand in het systeem terecht komt dan wenselijk is als bouwwerkzaamheden in de omgeving plaatsvinden. Ook is duidelijk geworden dat het verschil tussen de aangesloten verharde oppervlakte en het volume van de bezinkvoorziening het meest relevant is voor zowel de kwantitatieve als de kwalitatieve werking van de

bezinkvoorziening. De omgeving is echter verantwoordelijk voor de concentratie onopgeloste bestanddelen en verontreinigingen die het hemelwaterriool bereiken. Bij een woonwijk zal sprake zijn van andere hoeveelheden en verontreinigingen dan bij een winkelstraat of bij een doorgaande weg. Verontreinigingen van PAK, olie en dergelijke kunnen mogelijk meer worden verwacht bij doorgaande wegen, terwijl in woonwijken mogelijk meer metalen te verwachten zijn die afkomstig zijn van dakgoten. Er is echter geen noemenswaardig verschil in kwaliteit aangetroffen in het afstromende hemelwater van doorgaande wegen ten opzichte van afstromend hemelwater uit een woonwijk (Bogaard F., et Al., (2007)). Andere verschillen, zoals de lengte van het stelsel dat vóór de bezinkvoorziening ligt inclusief het aantal putten/kolken en dergelijke, hebben geen invloed op de kwantitatieve en de kwalitatieve werking. Als de verhouding tussen het aangesloten verharde oppervlak en het volume van de bezinkvoorziening hetzelfde is zal de bezinkvoorziening ook eenzelfde rendement hebben. Op deze manier kunnen de verschillende bezinkvoorzieningen met elkaar worden vergeleken. Dit wordt onderbouwd door de rendementsmetingen die zijn uitgevoerd op de bezinkvoorziening in de Ookmeerweg in Amsterdam. Duidelijk komt naar voren dat het rendement van een bezinkvoorziening afneemt als de inhoud door regenbuien vaker wordt ververst. Dit is eigenlijk ook logisch als je bedenkt dat het meeste slib alleen bezinkt als in de leiding geen stroming plaatsvindt. 20% van het slib heeft een lagere bezinkingssnelheid dan 0,5 meter per uur. Dit slib zal niet neerslaan als het water niet volkomen stilstaat. Ook als het een paar uur droog is tussen de buien is de kans klein dat dit fijne slib de bodem bereikt. De relatie tussen de diameter van de bezinkvoorziening en de bezinkingssnelheid van die deeltjes is daarin leidend. De bezinkingssnelheid is lager dan 0,5 meter per uur. Als de diameter 2000 mm bedraagt, doen deze onopgeloste bestanddelen, die zich op dat moment boven in de buis bevinden, er langer over dan vier uur om de bodem te bereiken. Verder weten we dat het in een regenperiode kan voorkomen dat meer zand/slib uit de zandvang van een kolk verdwijnt dan er in komt. Ook dit slib zal pas neerslaan als de stroming rustig genoeg is of helemaal is verdwenen. De dichtheid van het fijne slib [1098 kg/m^3] komt dicht in de buurt van de dichtheid van water [1000 kg/m^3], helemaal als strooizout in de bezinkvoorziening (voornamelijk in het laatste gedeelte) achterblijft. Hoe zouter het water, hoe hoger de dichtheid van het water. Daardoor wordt het aannemelijk dat het slib op deze locatie zeer langzaam bezinkt of mogelijk gedeeltelijk in oplossing blijft. Of in een bezinkvoorziening ook een evenwichtstoestand wordt bereikt is niet aangetoond. In ieder geval is de kans daarop het kleinst bij een zo klein mogelijke verhouding tussen het aangesloten verharde oppervlak en het volume van de bezinkvoorziening en op locaties waar in de winter geen zout wordt gestrooid. Door het plaatsen van een $20 \mu\text{m}$ -filter na een bezinkvoorziening is aangetoond dat daarin slib wordt afgevangen tijdens neerslag. Alles tot $20 \mu\text{m}$ is in dit geval terechtgekomen in het oppervlaktewater. Volgens analyse (scg-kromme) is 30% van het slib kleiner dan $20 \mu\text{m}$. Of dit slib rechtstreeks afkomstig is van het afstromende verharde oppervlak of afkomstig is door uitspoeling van het slib uit de kolk, uit het hemelwaterstelsel of uit de bezinkvoorziening is onbekend.

In Amsterdam is geen van de bezinkvoorzieningen na de aanleg ooit gereinigd. Eén van de redenen daarvan is dat het niet inzichtelijk is hoeveel slib (hoeveel tonnen slib) in de bezinkvoorziening aanwezig is. Onderzocht is of dat op basis van slibdiktemetingen in de begin- en eindput kan worden berekend. Dit is bij twee bezinkvoorzieningen getoetst aan de daadwerkelijk afgevoerde hoeveelheid slib. Gebleken is dat dit in één geval goed overeenkomt en in het andere geval matig. Dit

kan mogelijk worden verklaard doordat het een gevoelsmeting is. De waarde (dikte) wordt via voelen door de medewerker in het veld vastgesteld. Deze methode kan op een snelle, gemakkelijke manier een aardige indicatie geven over de hoeveelheid slib die in de bezinkvoorziening aanwezig is. Onduidelijk blijft wanneer het moment is aangebroken om een bezinkvoorziening te reinigen. Het efficiëntst is om dat te doen vlak voordat de evenwichtstoestand wordt bereikt. Dat punt is voor elke bezinkvoorziening anders en het is voor geen enkele bezinkvoorziening vastgesteld.

Kwalitatief lijkt het erop dat niet alle verontreinigingen in de bezinkvoorziening of in het daarvoor liggende stelsel even goed worden vastgelegd. Dit heeft te maken met de eigenschappen van de parameters zelf. Zo hebben metalen bijvoorbeeld een veel lager bindingspercentage aan slib dan PAK's. Ook zijn verschillen waargenomen tussen de plekken waar bepaalde verontreinigingen neerslaan. Metalen komen het meest voor in de laatste put (74%) van de bezinkvoorziening (het fijnste slib), terwijl PAK's, EOX en minerale olie vaker achterblijven in het hemelwaterriool (60%). Elke stof heeft zijn eigen rendement als het gaat om bezinken. We mogen ons afvragen of een bezinkvoorziening in alle gevallen wel de juiste keus is.

Zowel het kwantitatieve als het kwalitatieve rendement van een bezinkvoorziening kan worden berekend door rekening te houden met het aantal verversingen (de verhouding tussen de afstroming van het verharde oppervlak en het volume van de bezinkvoorziening), de valsnelheid van het slib en het bindingspercentage van de verontreinigingen. Het intreden van een evenwichtstoestand in een bezinkvoorziening is buiten beschouwing gelaten. De werking van het stelsel vóór de bezinkvoorziening is ondervangen door gebruik te maken van de gemeten rendementsafname per aantal verversingen. Deze rendementsafname is vastgesteld door een jaar lang de concentratie onopgeloste bestanddelen te meten die de bezinkvoorziening aan de Ookmeerweg in- en uitstroomde. Een evenwichtstoestand in een bezinkvoorziening kan overigens worden voorkomen door tijdig te reinigen. Van vijf bezinkvoorzieningen is zowel het kwantitatieve als het kwalitatieve rendement op deze manier berekend. Het kwantitatieve rendement ligt tussen de 35% en 94%. Het kwalitatieve rendement voor metalen ligt tussen de 17% en 56%, terwijl dat voor PAK 31% en 84% bedraagt. Het is aannemelijk dat het rendement van PAK ook geldt voor minerale olie en EOX. Dit komt doordat is aangetoond dat deze stoffen op dezelfde plek in het stelsel worden afgevangen (tabel 4: Analyseresultaten minerale olie, EOX en PAK).

Niet duidelijk is of de investering in een bezinkvoorziening en het onderhoud daarvan wel opwegen tegen het behaalde resultaat. Wel is duidelijk dat het beste rendement wordt gehaald als het verschil tussen het aantal vierkante meters afstromend verhard oppervlak per kubieke meter bezinkvoorziening het kleinst is. Bij een verhouding die kleiner is dan 100 m² verhard oppervlak per m³ bezinkvoorziening is een kwantitatief rendement van > 90% te behalen. Kwalitatief voor metalen zal dat ongeveer 50% bedragen en voor PAK 84%. Of dit rendement voldoende is om daadwerkelijk bij te dragen aan schoner oppervlaktewater valt nog te bezien. Als je bedenkt dat de vracht onopgeloste bestanddelen die via het hemelwaterstelsel in het oppervlaktewater terechtkomt nihil is in verhouding tot de vracht die via het oppervlaktewater zelf toestroomt en als je bedenkt dat het overgrootste gedeelte van de hemelwaterstelsels helemaal geen bezinkvoorziening heeft, valt dat te betwijfelen. Daarnaast is het natuurlijk relevant welke verontreiniging voor het desbetreffende oppervlaktewater cruciaal is. Als dat PAK is, kunnen per hemelwateruitlaat aardige stappen worden gerealiseerd, maar als het gaat om de metalen is het rendement niet echt hoog.

5 Conclusies

Algemeen

- Geen van de bezinkvoorzieningen is na aanleg gereinigd.
- De dichtheid van het slib ligt tussen 1250 en 1098 kg/m³.

Omgevingsfactoren

- Strooizout wordt vooral gemeten in de laatste put van de bezinkvoorziening. Hoeveel invloed dat heeft op de bezinkbaarheid van het slib is niet onderzocht.
- Het aantal kolken, de lengte van het tracé daarvoor en dergelijke hebben geen invloed op het rendement van een bezinkvoorziening.
- De verhouding tussen het afstromende verharde oppervlak en het volume van de bezinkvoorziening heeft wel invloed op het rendement van de bezinkvoorziening.
- Hoe vaker de bezinkvoorziening tijdens een regenbui wordt ververst, des te lager is zowel het kwantitatieve als het kwalitatieve rendement.
- De omgeving heeft wel invloed op de concentratie onopgeloste bestanddelen en verontreinigingen die via de kolk het hemelwaterstelsel binnenstromen.

Bezinkingsnelheid

- Het totale stelsel (van kolk tot bezinkvoorziening) scheidt het inkomende materiaal op basis van valsnelheid.
- 30% van het zand/slib uit de kolk heeft een valsnelheid van 10 meter per uur. In de bezinkvoorziening heeft slechts 3% van de deeltjes deze bezinkingsnelheid.
- 20% van het slib heeft een bezinkingsnelheid die langzamer is dan 0,5 meter per uur.

Slibanalyse

- In de kolk blijft het grofste materiaal achter, in de bezinkvoorziening het fijnste materiaal. Dit "fijnste" materiaal heeft het hoogste organische-stofgehalte vergeleken met het slib in het totale stelsel (van kolk tot bezinkvoorziening).
- Ongeveer 55% van de metalen bindt zich niet aan slib, maar blijft in oplossing. PAK's binden zich voor 89% aan slib, 11% blijft in oplossing.
- 74g% (gewichtsprocenten) van de aan het slib gebonden metalen wordt teruggevonden in de bezinkvoorziening, 26g% wordt aangetroffen in het hemelwaterstelsel daarvóór.
- PAK, EOX en minerale olie komen over de gehele voorziening (kolk, hemelwaterstelsel, bezinkvoorziening), in vergelijking met de metalen, gelijkmatiger voor; 60g% wordt in het stelsel aangetroffen en 40g% in de bezinkvoorziening.

Slibgroei en slibuitstroom naar oppervlaktewater

- De slibdikte en de veronderstelling dat het slib in de bezinkvoorziening evenredig is verdeeld geven een aardig beeld van het werkelijke volume. Met het soortelijke gewicht van het Amsterdamse slib, 1121 kg/m³, kan indicatief het aantal tonnen slib worden berekend.
- Slib > 20 µm is afgevangen tijdens neerslag in een filter na een bezinkvoorziening. Geconcludeerd mag worden dat slib van 20 µm en kleiner in ieder geval het oppervlaktewater bereikt.
- 30% van de slibdeeltjes is kleiner dan 20 µm. Geconcludeerd kan worden dat in ieder geval 30% van het fijnste slib het oppervlaktewater kan bereiken. Aan de kleinste deeltjes slib (< 50 µm) zitten de meeste verontreinigingen.

Berekend rendement bezinkvoorziening

Onopgeloste bestanddelen	max 94%	min 35%
Metalen	max 46%	min 17%
PAK	max 84%	min 31%

Het beste rendement wordt gehaald als het verschil tussen het aantal vierkante meters afstromend verhard oppervlak per kubieke meter bezinkvoorziening het kleinst is en als de bezinkvoorziening wordt gereinigd voordat een eventuele evenwichtstoestand in de bezinkvoorziening wordt bereikt.

6 Aanbeveling

Het functioneren van bezinkvoorzieningen in de praktijk is voldoende onderzocht. Op basis van dit onderzoek en andere onderzoeken kunnen het kwantitatieve en het kwalitatieve rendement van bestaande en nieuw te dimensioneren bezinkvoorzieningen worden berekend. Aanbevolen wordt om bezinkvoorzieningen waarvan het aangesloten verharde oppervlak groter is dan 100 m^2 per m^3 bezinkvoorziening vanwege het rendement niet meer toe te passen. Daarnaast wordt aanbevolen om niet klakkeloos een bezinkvoorziening te plaatsen, maar eerst goed te kijken naar hetgeen de bezinkvoorziening zou moeten bewerkstelligen. Op basis daarvan kan worden uitgerekend hoe groot de bezinkvoorziening moet worden en of het resultaat dat gehaald moet worden wel realistisch is en in verhouding staat tot de investering. Mogelijk zijn alternatieven doeltreffender. Dit zal nog nader moeten worden afgestemd met de oppervlaktewaterkwaliteitsbeheerder. Ook kan het functioneren van de huidige bezinkvoorziening beter. Als kan worden bepaald of en zo ja wanneer een bezinkvoorziening zijn evenwicht bereikt en als dat eenvoudig te meten is, dan kan vlak voor dat moment de bezinkvoorziening worden gereinigd. Dit kan nog nader worden onderzocht.

Tijdens het onderzoek is naar voren gekomen dat bepaalde stoffen of stofgroepen zich anders gedragen in het totale stelsel. Metalen worden bijvoorbeeld voornamelijk aan het eind van de bezinkvoorziening aangetroffen, terwijl bijvoorbeeld PAK, EOX en minerale olie zich meer ophopen in het voorliggende stelsel. Ervan uitgaande dat voor beide stofgroepen eenzelfde zuiveringsstap (bezinkvoorziening in dit geval) niet optimaal is, kan worden aanbevolen om te onderzoeken welke voorziening voor welke stofgroep optimaal is.

Gezien het huidige rendement van de bezinkvoorzieningen en het verschil in neerslaan van stoffen en stofgroepen wordt aanbevolen om meer maatwerk te leveren. Voor de oppervlaktewaterkwaliteit kan worden aangegeven welke stoffen voor dat oppervlaktewater het belangrijkste zijn om af te vangen of te verwijderen. Met de opgedane kennis kan maatwerk worden geleverd.

7 Literatuurlijst

- Zandvoort M.H., Nijman M.N.W., (2012), Putkleponderzoek – Middenweg Amsterdam, Waternet intern rapport.
- Ayadi El N., Nijman M.N.W., Zandvoort M.H., (2015), Werking bezinkleiding hemelwaterstelsel Ookmeerweg.
- Speet F., (2017), Massabalans regenwaterslib.
- Graaf de E., Kluck J., Kregting P., Concentratie, bindingspercentage en bezinkmogelijkheden van verontreinigingen in afstromend hemelwater.
- Bogaard F., Lemmer F., (2007), Database regenwater.
- Bogaard F., Lemmer F., (2007) De feiten over kwaliteit van afstromend regenwater.
- Post J., (2016), Beheer van kolken en rioolaansluitingen.
- Koot, A.C.J., (1977) Inzameling en transport van rioolwater.

Bijlage 1: Analyseresultaten

Analyserapport



Waternet, TOP
Wartertechnologie
T.a.v. de heer N. el Ayadi
Postbus 94370
1090 GJ AMSTERDAM

Datum:
01-05-2017

Rapportnummer:
288043

Uw Kenmerk:
202290

Project:
dooea001/889, Onderzoek werking
bezinkleidingen

Monstername door:
Opdrachtgever

Uw projectcode:
P09.0004/439/550

Geachte heer Ayadi,

Hierbij zend ik u de resultaten van analyses die op uw verzoek werden uitgevoerd. Deze resultaten hebben alleen betrekking op de monsters, zoals die door u ter analyse werden aangeboden.

De werkzaamheden zijn, tenzij anders aangegeven, uitgevoerd overeenkomstig het document 'Producten en dienstencatalogus Stichting Waterproef'. Belangrijk voor de interpretatie van de resultaten is het gegeven dat analyseresultaten altijd een meetonzekerheid bezitten. Gegevens over de analysemethoden en meetonzekerheden worden u op aanvraag toegezonden.

Dit rapport mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

De resultaten op dit rapport zijn geautoriseerd namens de directeur van Stichting Waterproef
Dr. Janneke J. Ottens.

Kopie aan:
Wartertechnologie , t.a.v. de heer M.N.W. Nijman

**Rapportnummer:**

288043

Pagina

2 / 4

Volgnummer	Puntcode	Monsteromschrijving
494325	oh080004	Zuiveringsslib Put IN BL-D70576 IN
494326	oh080004	Zuiveringsslib Put UIT BL-D70576 UIT
494327	oh080004	Zuiveringsslib Meng putten BL-D70576
494328	oh080004	Zuiveringsslib Meng kolken BL-D70576

Volgnummer	494325	494326	494327	494328
Monstercode klant	oh080004	oh080004	oh080004	oh080004
Monstertype	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib
Bemonsteringstype	steekmonster	steekmonster	steekmonster	steekmonster
Monsternemer	N.El Ayadi	N.El Ayadi	N.El Ayadi	N.El Ayadi
Monsternamedatum	05-04-2017	05-04-2017	05-04-2017	05-04-2017
Monsternametijd	10:00	10:00	10:00	10:00
Acceptatiedatum	18-04-2017	18-04-2017	18-04-2017	18-04-2017

Fysisch- Chemische analyses

					Eenheid
Carbonaat, volumetrisch	73	65	43	23	g/kg dg
Voorbehandeling SCG kromme					
Afval	1,2	3,2	< 0,1	10,2	%
Grind	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	%
Grond	95,1	96,6	89,1	88,5	%
Puin	3,7	0,2	10,9	1,3	%
Korrelgrootte voor SCG					
Korrelgrootte <2 um, sedigraaf	21,3	10,6	8,7	3,6	% md
Korrelgrootte <16 um, sedigraaf	35,1	18,3	14,2	4,7	% md
Korrelgrootte <32 um	39,7	20,3	15,4	5,9	% md
Korrelgrootte <50 um	41,7	21,1	16,5	6,7	% md
Korrelgrootte <63 um	41,9	21,2	17,0	6,7	% md
Korrelgrootte <125 um	48,1	24,3	22,6	11,2	% md
Korrelgrootte <250 um	66,0	40,7	54,0	40,2	% md
Korrelgrootte <500 um	88,9	79,6	84,7	78,7	% md
Korrelgrootte <1000 um	97,0	96,6	94,3	93,8	% md

**Rapportnummer:**

288043

Pagina

3 / 4

Volgnummer	Puntcode	Monsteromschrijving
494329	oh080004	Zuiveringsslib Put IN BL-C70335 IN
494330	oh080004	Zuiveringsslib Put UIT BL-C70335 UIT
494331	oh080004	Zuiveringsslib Meng putten BL-C70335
494332	oh080004	Zuiveringsslib Meng kolken BL-C70335

Volgnummer	494329	494330	494331	494332
Monstercode klant	oh080004	oh080004	oh080004	oh080004
Monstertype	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib
Bemonsteringstype	steekmonster	steekmonster	steekmonster	steekmonster
Monsternemer	N.El Ayadi	N.El Ayadi	N.El Ayadi	N.El Ayadi
Monsternamedatum	05-04-2017	05-04-2017	05-04-2017	05-04-2017
Monsternametijd	10:00	10:00	10:00	10:00
Acceptatiedatum	18-04-2017	18-04-2017	18-04-2017	18-04-2017

Fysisch- Chemische analyses

					Eenheid
Carbonaat, volumetrisch	15	33	41	22	g/kg dg
Voorbehandeling SCG kromme					
Afval	1,4	< 0,1	10,7	0,7	%
Grind	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	%
Grond	98,3	98,2	78,4	70,8	%
Puin	0,3	1,8	10,9	28,5	%
Korrelgrootte voor SCG					
Korrelgrootte <2 um, sedigraaf	11,0	23,2	14,1	3,1	% md
Korrelgrootte <16 um, sedigraaf	17,2	37,5	25,6	3,6	% md
Korrelgrootte <32 um	18,5	40,5	27,7	4,2	% md
Korrelgrootte <50 um	18,7	42,0	29,7	5,0	% md
Korrelgrootte <63 um	18,8	42,3	30,0	5,2	% md
Korrelgrootte <125 um	21,6	50,3	35,1	12,8	% md
Korrelgrootte <250 um	46,9	74,3	55,8	47,8	% md
Korrelgrootte <500 um	88,4	93,5	79,7	84,9	% md
Korrelgrootte <1000 um	99,5	99,0	93,2	96,3	% md



Rapportnummer:

288043

Pagina

4 / 4

Methodeverwijzingen

Fysisch- Chemische analyses in zuiveringsslib

Carbonaat, volumetrisch	Eigen methode
Voorbehandeling SCG kromme	
Alle componenten	Eigen methode
Korrelgrootte voor SCG	
Alle componenten	Eigen methode

Analyserapport



Waternet, TOP
Watertechnologie
T.a.v. de heer N. el Ayadi
Postbus 94370
1090 GJ AMSTERDAM

Datum:
11-05-2017

Rapportnummer:
288882

Uw Kenmerk:
202290

Project:
dooea001/889, Onderzoek werking
bezinkleidingen

Monstername door:
Opdrachtgever

Uw projectcode:
P09.0004/439/550

Geachte heer Ayadi,

Hierbij zend ik u de resultaten van analyses die op uw verzoek werden uitgevoerd. Deze resultaten hebben alleen betrekking op de monsters, zoals die door u ter analyse werden aangeboden.

De werkzaamheden zijn, tenzij anders aangegeven, uitgevoerd overeenkomstig het document 'Producten en dienstencatalogus Stichting Waterproef'. Belangrijk voor de interpretatie van de resultaten is het gegeven dat analyseresultaten altijd een meetonzekerheid bezitten. Gegevens over de analysemethoden en meetonzekerheden worden u op aanvraag toegezonden.

De met een Q gemerkte analyses zijn geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie.

Dit rapport mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

De resultaten op dit rapport zijn geautoriseerd namens de directeur van Stichting Waterproef Dr. Janneke J. Ottens.

Kopie aan:
Watertechnologie , t.a.v. de heer M.N.W. Nijman


Rapportnummer:

288882

Pagina

2 / 6

Volgnummer	Puntcode	Monsteromschrijving
494886	oh080004	Zuiveringsslib Put IN BL-D70576 IN
494887	oh080004	Zuiveringsslib Put UIT BL-D70576 UIT
494888	oh080004	Zuiveringsslib Meng putten BL-D70576
494889	oh080004	Zuiveringsslib Meng kolken BL-D70576

Volgnummer	494886	494887	494888	494889
Monstertype	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib
Bemonsteringstype	steekmonster	steekmonster	steekmonster	steekmonster
Monsternemer	N. El Ayadi	N. El Ayadi	N. El Ayadi	N. El Ayadi
Datum bezoek	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017
Tijd bezoek	10:00	10:00	10:00	10:00
Monsternamedatum	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017
Monsternametijd	10:00	10:00	10:00	10:00
Acceptatiedatum	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017

Fysisch- Chemische analyses						Eenheid
Indamprest van vaste matrix	Q	26,1	26,4	21,6	20,8	%
Gloeirest van de indamprest	Q	80	81	84	82	% van dg
Organisch stof gehalte		12,5	7,9	5,5	2,0	%
Korrelgrootte fractie <2 um, pipetmethode		12	8	5	2	% dg

Metaal analyses										Eenheid
Cadmium in vaste matrix na destructie	Q	< 0,2	<i>a</i>	< 0,2	<i>a</i>	< 0,2	<i>a</i>	< 0,2	<i>a</i>	mg/kg dg
Chroom in vaste matrix na destructie	Q	32	<i>a</i>	76	<i>a</i>	15	<i>a</i>	20	<i>a</i>	mg/kg dg
Cobalt in vaste matrix na destructie	Q	< 3	<i>a</i>	4	<i>a</i>	< 3	<i>a</i>	20	<i>a</i>	mg/kg dg
IJzer in vaste matrix na destructie	Q	31000	<i>a</i>	63000	<i>a</i>	6000	<i>a</i>	7000	<i>a</i>	mg/kg dg
Koper in vaste matrix na destructie	Q	60	<i>a</i>	340	<i>a</i>	40	<i>a</i>	40	<i>a</i>	mg/kg dg
Kwik in vaste matrix na destructie	Q	0,46	<i>a</i>	0,72	<i>a</i>	0,07	<i>a</i>	0,08	<i>a</i>	mg/kg dg
Lood in vaste matrix na destructie	Q	93	<i>a</i>	190	<i>a</i>	13	<i>a</i>	14	<i>a</i>	mg/kg dg
Nikkel in vaste matrix na destructie	Q	13	<i>a</i>	35	<i>a</i>	6	<i>a</i>	9	<i>a</i>	mg/kg dg
Zink in vaste matrix na destructie	Q	490	<i>a</i>	1600	<i>a</i>	160	<i>a</i>	140	<i>a</i>	mg/kg dg
Calcium in vaste matrix		74000	<i>a</i>	78000	<i>a</i>	11000	<i>a</i>	49000	<i>a</i>	mg/kg dg

Organische analyses					Eenheid	
Minerale olie in vaste matrix		4000	2900	4400	1700	mg/kg dg
EOX in vaste matrix		6,5	3,6	6,8	3,4	mg/kg dg
PAK EPA in vaste matrix						
Acenafteen		0,11	0,06	1,1	< 0,05	mg/kg dg
Acenaftyleen		< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	mg/kg dg
Anthraceen		0,22	0,10	0,28	0,26	mg/kg dg
Benzo(a)antraceen		1,0	0,5	0,8	0,4	mg/kg dg
Benzo(a)pyreen		1,0	0,5	0,8	0,3	mg/kg dg
Benzo(b)fluorantheen		1,8	1,0	1,3	0,5	mg/kg dg
Benzo(g,h,i)peryleen		1,0	0,6	0,8	0,3	mg/kg dg
Benzo(k)fluorantheen		0,6	0,3	0,4	0,2	mg/kg dg

**Rapportnummer:**

288882

Pagina

3 / 6

Volgnummer	494886	494887	494888	494889	
Chryseen	1,1	0,6	0,9	0,4	mg/kg dg
Dibenzo(a,h)antraceen	0,5	0,3	0,4	0,2	mg/kg dg
Fenanthreen	1,2	0,6	1,5	0,9	mg/kg dg
Fluoreen	0,17	0,10	0,60	0,12	mg/kg dg
Fluorantheen	2,5	1,3	2,4	1,3	mg/kg dg
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	0,7	0,4	0,5	0,2	mg/kg dg
Naftaleen	0,11	0,07	0,15	0,21	mg/kg dg
Pyreen	2,3	1,3	2,3	1,0	mg/kg dg
Som 16 PAK EPA	14	7,8	14	6,4	mg/kg dg


Rapportnummer:

288882

Pagina

4 / 6

Volgnummer	Puntcode	Monsteromschrijving
494890	oh080004	Zuiveringsslib PUT IN BL-C70335 IN
494891	oh080004	Zuiveringsslib PUT UIT BL-C70335 UIT
494892	oh080004	Zuiveringsslib Meng putten BL-C70335
494893	oh080004	Zuiveringsslib Meng kolken BL-C70335

Volgnummer	494890	494891	494892	494893
Monstertype	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib	Zuiveringsslib
Bemonsteringstype	steekmonster	steekmonster	steekmonster	steekmonster
Monsternemer	N. El Ayadi	N. El Ayadi	N. El Ayadi	N. El Ayadi
Datum bezoek	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017
Tijd bezoek	10:00	10:00	10:00	10:00
Monsternamedatum	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017
Monsternametijd	10:00	10:00	10:00	10:00
Acceptatiedatum	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017	25-04-2017

Fysisch- Chemische analyses						Eenheid
Indamprest van vaste matrix	Q	64,2	43,4	9,5	20,2	%
Gloeirest van de indamprest	Q	93	84	71	72	% van dg
Organisch stof gehalte		10,5	15,2	12,7	2,3	%
Korrelgrootte fractie <2 um, pipetmethode		9	14	7	1	% dg

Metaal analyses										Eenheid
Cadmium in vaste matrix na destructie	Q	< 0,2	<i>a</i>	< 0,2	<i>a</i>	< 0,2	<i>a</i>	< 1	<i>a</i>	mg/kg dg
Chroom in vaste matrix na destructie	Q	34	<i>a</i>	72	<i>a</i>	26	<i>a</i>	34	<i>a</i>	mg/kg dg
Cobalt in vaste matrix na destructie	Q	< 3	<i>a</i>	< 3	<i>a</i>	4	<i>a</i>	5	<i>a</i>	mg/kg dg
IJzer in vaste matrix na destructie	Q	17000	<i>a</i>	31000	<i>a</i>	11000	<i>a</i>	14000	<i>a</i>	mg/kg dg
Koper in vaste matrix na destructie	Q	200	<i>a</i>	480	<i>a</i>	120	<i>a</i>	170	<i>a</i>	mg/kg dg
Kwik in vaste matrix na destructie	Q	0,26	<i>a</i>	0,47	<i>a</i>	0,17	<i>a</i>	0,21	<i>a</i>	mg/kg dg
Lood in vaste matrix na destructie	Q	80	<i>a</i>	150	<i>a</i>	35	<i>a</i>	46	<i>a</i>	mg/kg dg
Nikkel in vaste matrix na destructie	Q	17	<i>a</i>	32	<i>a</i>	13	<i>a</i>	19	<i>a</i>	mg/kg dg
Zink in vaste matrix na destructie	Q	850	<i>a</i>	1800	<i>a</i>	430	<i>a</i>	650	<i>a</i>	mg/kg dg
Calcium in vaste matrix		16000	<i>a</i>	24000	<i>a</i>	5100	<i>a</i>	3700	<i>a</i>	mg/kg dg

Organische analyses						Eenheid				
Minerale olie in vaste matrix		1100		5400		6600		6300		mg/kg dg
EOX in vaste matrix		1,5		6,7		10		9,0		mg/kg dg
PAK EPA in vaste matrix										
Acenafteen		< 0,05		0,10		0,17		0,26		mg/kg dg
Acenaftyleen		< 0,1		< 0,1		< 0,12	<i>b</i>	< 0,1		mg/kg dg
Anthraceen		0,06		0,19		0,22		0,76		mg/kg dg
Benzo(a)antraceen		0,2		0,8		0,6		1,3		mg/kg dg
Benzo(a)pyreen		0,2		0,9		0,8		1,1		mg/kg dg
Benzo(b)fluorantheen		0,4		1,7		1,6		2,1		mg/kg dg
Benzo(g,h,i)peryleen		0,2		1,1		1,4		1,3		mg/kg dg
Benzo(k)fluorantheen		0,1		0,5		0,5		0,7		mg/kg dg

**Rapportnummer:**

288882

Pagina

5 / 6

Volgnummer	494890	494891	494892	494893	
Chryseen	0,2	1,0	0,9	1,3	mg/kg dg
Dibenzo(a,h)antraceen	< 0,15	0,5	0,5	0,6	mg/kg dg
Fenanthreen	0,3	1,1	1,3	1,7	mg/kg dg
Fluoreen	< 0,05	0,18	0,27	0,31	mg/kg dg
Fluorantheen	0,57	2,3	2,0	3,2	mg/kg dg
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	0,2	0,7	0,6	0,8	mg/kg dg
Naftaleen	< 0,05	0,10	0,21	0,51	mg/kg dg
Pyreen	0,5	2,3	2,3	3,0	mg/kg dg
Som 16 PAK EPA	3,2	13	13	^c 19	mg/kg dg

Opmerkingen

- a Analyse uitgevoerd door OMEGAM
- b Rapportagegrens verhoogd in verband met lage indamprest
- c Door de verhoogde rapportagegrens van een of meerdere componenten is het resultaat van de sommatie verhoogd.

**Rapportnummer:**

288882

Pagina

6 / 6

Methodeverwijzingen**Fysisch- Chemische analyses in zuiveringsslib**

Indamprest van vaste matrix	Gelijkwaardig	NEN-EN 12880 en NEN 6499
Gloeirest van de indamprest	Gelijkwaardig	NEN-EN 12879 en NEN 6499
Organisch stof gehalte		
Korrelgrootte fractie <2 um, pipetmethode	Eigen methode	

Metaal analyses in zuiveringsslib

Cadmium in vaste matrix na destructie	Conform	NEN 6966
Chroom in vaste matrix na destructie	Conform	NEN 6966
Cobalt in vaste matrix na destructie	Conform	NEN 6966
IJzer in vaste matrix na destructie	Conform	NEN 6966
Koper in vaste matrix na destructie	Conform	NEN 6966
Kwik in vaste matrix na destructie	Conform	NEN-EN-ISO 17294-2
Lood in vaste matrix na destructie	Conform	NEN 6966
Nikkel in vaste matrix na destructie	Conform	NEN 6966
Zink in vaste matrix na destructie	Conform	NEN 6966

Organische analyses in zuiveringsslib

Minerale olie in vaste matrix		
EOX in vaste matrix	Eigen methode	
PAK EPA in vaste matrix		
Alle componenten	Eigen methode	

Bijlage 2: Percentage en vracht per parameter

OBJECTID	PAK bezinkvoorziening		PAK bezinkvoorziening		% PAK naar opp.water		fosfor bezinkvoorziening		% fosfor naar opp.water		zink bezinkvoorziening		% zink naar opp.water		cadmium bezinkvoorziening		% cadmium naar opp.water		nikkel bezinkvoorziening		% nikkel naar opp.water		koper bezinkvoorziening		% koper naar opp.water		lood bezinkvoorziening		% lood naar opp.water			
	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram		
13002	0,44	0,17	29,21	66,172	309,58	60,39	220,57	145,25	65,85	0,33	0,22	65,17	7,72	5,14	66,533	33,09	19,75	59,703	44,11	26,04	59,02	44,11	26,04	59,02	44,11	26,04	59,02	44,11	26,04	59,02		
12102	1,46	1,01	68,76	2195,39	1748,45	79,64	731,80	603,37	82,45	1,10	0,90	82,10	25,61	21,21	82,801	109,77	87,04	79,291	146,36	115,54	78,94	146,36	115,54	78,94	146,36	115,54	78,94	146,36	115,54	78,94		
108579	1,17	0,19	16,34	1752,50	797,04	45,48	584,17	309,61	53,00	0,88	0,46	52,06	20,45	11,03	53,94	87,62	39,03	44,54	50,94	50,94	43,6	50,94	43,6	50,94	43,6	50,94	43,6	50,94	43,6	50,94	43,6	
18284	1,48	0,48	32,09	2226,15	1240,99	55,75	742,05	458,96	61,85	1,11	0,68	61,09	25,97	16,26	62,613	111,31	61,20	54,983	148,41	80,47	54,22	148,41	80,47	54,22	148,41	80,47	54,22	148,41	80,47	54,22		
18782	1,08	0,18	16,61	1621,51	740,29	45,65	540,50	287,28	53,15	0,81	0,42	52,21	18,92	10,23	54,087	81,08	36,25	44,717	108,10	47,33	43,78	108,10	47,33	43,78	108,10	47,33	43,78	108,10	47,33	43,78		
min			16			45			53		52				54			54			54								44			
max			69			80			82		82				83			83			83								79			
gem			35			57			63		63				64			64			64								57			56