



Meetmethodiek distributiestabiliteit

BTO 2012.019
Juli 2012

KWR

Watercycle Research Institute





Watercycle Research Institute

Meetmethodiek distributiestabiliteit

BTO 2012.019
Juli 2012

© 2012 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Meetmethodiek distributiestabiliteit

Opdrachtnummer

B111693

Onderzoeksprogramma

Waterdistributie

Projectmanager

P.G.G. Slaats

Opdrachtgever

CvO

Kwaliteitsborger(s)

J.H.G. Vreeburg

Auteur(s)

J.H.G. Vreeburg, E.J.M. Blokker

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

De mate van vervuiling in het leidingnet, en daarmee het risico op bruin water, wordt beïnvloed door de waterkwaliteit van het reinwater. Een belangrijke vraag daarbij is in hoeverre het risico op bruin water kan worden verlaagd door de waterkwaliteit af pompstation aan te passen. Een eerste stap in het onderzoek was het identificeren van de parameters af pompstation en in het distributienet die in dit kader van belang zijn en deze ook meetbaar maken. Met een goed meetprotocol kan vervolgens de relatie tussen waterkwaliteit van het reinwater en de waterkwaliteitsverandering in het leidingnet worden bepaald.

Belang: relatie tussen waterkwaliteit van reinwater en in het distributienet bepalen

Bruinwaterklachten worden veroorzaakt door het opwerpen van geaccumuleerd sediment. Het sediment bestaat voornamelijk uit deeltjes die van het pompstation afkomstig zijn. Om het risico op bruin water te beperken kunnen waterbedrijven drie mogelijke acties ondernemen: 1) tijdig spuien, 2) zelfreinigende leidingnetten aanleggen, en 3) de deeltjeslast in het reinwater beperken. Een openstaande vraag is of de bestaande zuivering zodanig geoptimaliseerd kan worden, dat de deeltjesbelasting van het leidingnet wordt beperkt en er minder frequent gespuid hoeft te worden. In analogie met de biologische stabiliteit van het drinkwater af pompstation noemen we drinkwater met een lage deeltjeslast, waardoor weinig sediment in het leidingnet accumuleert, water met een grote "distributiestabiliteit".

Aanpak: meten van deeltjeslast en deeltjesaccumulatie

In dit project wordt het begrip distributiestabiliteit nader gedefinieerd en is onderzoek gedaan naar mogelijkheden om de distributiestabiliteit te kwantificeren. Het onderzoek bestond uit drie onderdelen. Ten eerste is gekeken naar de definitie van distributiestabiliteit en daarmee samenhangend is een meetmethode ontwikkeld waarmee de distributiestabiliteit gekwantificeerd kan worden. De geteste meetmethodes zijn het gebruik van deeltjestellers, OPM (opwervelingspotentiemethode), en het meten van troebelheid tijdens spuiacties. Daarnaast zijn spui monsters geanalyseerd op het gehalte mangaan, ijzer, organische stoffen en ATP, en het koloniegetal bij 22 graden. Ten tweede is de distributiestabiliteit gemeten in enkele case studies, namelijk de voorzieningsgebieden van Nuland (Brabant Water), Halsteren (Evides) en St. Jans klooster (Vitens). Ook zijn deels vergelijkbare metingen in Franeker (2004) en Purmerend (eigen metingen PWN) meegenomen. De orde van grootte van de distributiestabiliteit van drinkwater van verschillende pompstations kan daarmee worden vastgesteld en er kan worden ingeschat hoe groot de effecten zijn van maatregelen om de distributiestabiliteit te vergroten. Ten derde is onderzocht of er een relatie is met de biologische stabiliteit van drinkwater.

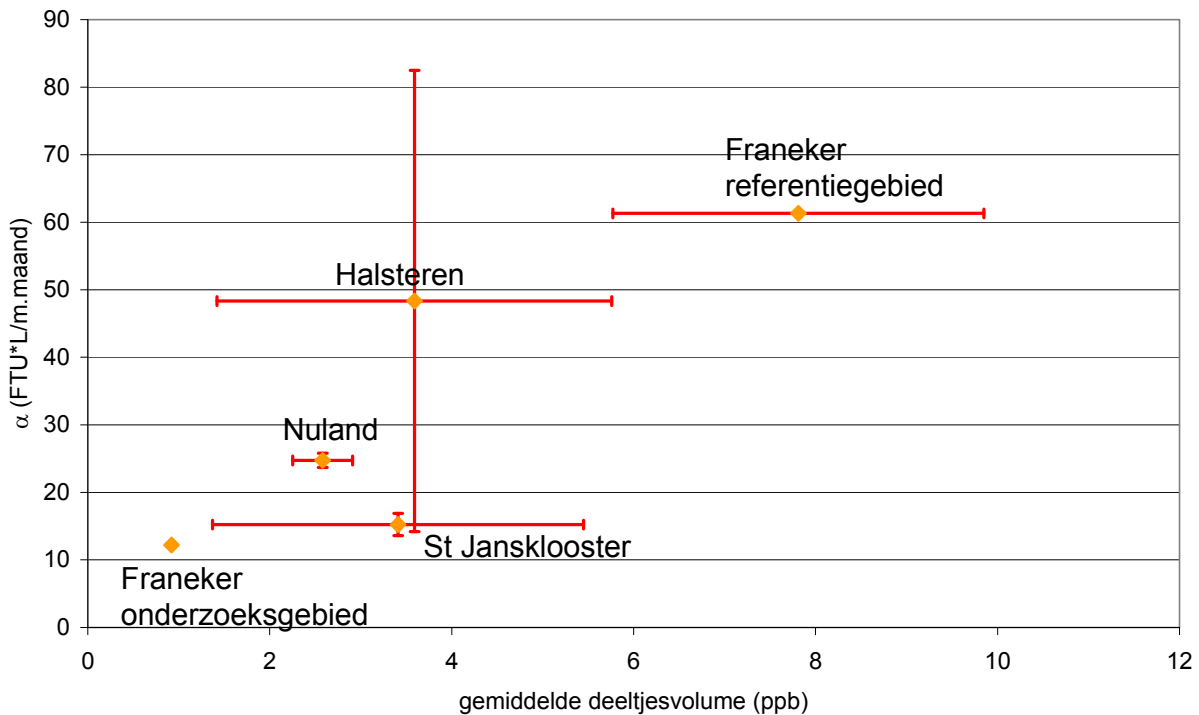
Resultaten: variatie tussen leidingnetten zeer groot, het ene net is niet representatief voor het andere

Er is (nog) geen prestatie-indicator beschikbaar die de distributiestabiliteit van het drinkwater eenduidig vastlegt. Als maat voor de distributiestabiliteit is in dit onderzoek de gemiddelde deeltjeslast van het reinwater gebruikt. Deze maat wordt bepaald door de metingen van de deeltjestellers naar een gemiddeld deeltjesvolume om te rekenen. De deeltjesbelasting blijkt in de verschillende dagen en periodes niet constant te zijn, waardoor het niet mogelijk is om een algemene aanduiding te geven van de distributiestabiliteit op basis van alleen de deeltjestellingen.

De hervervuilingssnelheid (in FTU · L/m · maand) is een goede maat om de hervervuiling van een leidingnet te karakteriseren. De bepalingmethode via het meten van de troebelheid tijdens spuiacties is relatief eenvoudig en robuust. De OPM blijkt in dit type onderzoek niet geschikt als maat voor de vervuiling van een heel leidingnet, omdat de verdeling van de sedimentaccumulatie over het net onvoldoende bekend is. Om te bepalen of een leidingnet moet worden gespuid kan de OPM met kennis van zaken wel worden ingezet.

De vervuilingssnelheid (in FTU · L/m · maand) is in een grafiek uitgezet tegen de distributiestabiliteit (als gem. deeltjeslast). De grafiek laat zien dat hoe hoger de gemiddelde deeltjeslast is, hoe sneller een leidingnet vervuult. De onzekerheidsmarges hierin zijn wel zeer groot. Wanneer de variatie over de tijd groot is, neemt de betrouwbaarheid van de deeltjeslast als parameter af. De betrouwbaarheid van de vervuilingssnelheid hangt sterk af van verschillen in leidingnetconfiguratie tussen twee wijken. Naast de

ingaaende waterkwaliteit is blijkbaar ook de leidingconfiguratie bepalend voor de vervuiling van een leidingnet. Meetgebieden waarvan ingeschat was dat ze zeer vergelijkbaar zouden zijn, kennen in werkelijkheid een heel andere vervuilingsgraad. Dat betekent dat een meetgebied niet zonder meer als referentie voor een ander meetgebied gebruikt kan worden. Een meetgebied kent wel een herhaalbaar vervuilingsspatroon en kan dus wel als referentie voor zichzelf worden gebruikt.



De vervuilingssnelheid (FTU · L/m · maand) versus gemiddelde deeltjesbelasting af pompstation.

Implementatie: richt een net als proeftuin in, zodat effect van maatregelen over de tijd gemeten kan worden

De betrouwbaarheid van de metingen kan op twee manieren worden vergroot. Ten eerste door een leidingnet als referentie voor zichzelf te gebruiken. Hierbij wordt eerst een meting gedaan in het net in de normale situatie, en vervolgens wordt de meting herhaald bij een wijziging van de ingaande waterkwaliteit. Om ervoor te zorgen dat een meetgebied wordt geselecteerd dat ook daadwerkelijk voldoende mogelijkheden biedt om veranderingen te kunnen vaststellen, zijn op basis van dit onderzoek richtlijnen geformuleerd voor vervuilingssnelheid en vervuilingssnelheid voor een geschikt onderzoeksleidingnet. Ten tweede kan men de deeltjeslast van het reinwater vergelijken met troebelheidsmetingen over een langere meetperiode. Daarmee kan worden vastgesteld of de meetperiode met de deeltjestellers representatief is voor de gehele vervuilingssnelheid van het onderzoeksgebied.

Inhoud

Samenvatting	1
Inhoud	3
1 Inleiding	5
1.1 Algemeen	5
1.2 Vraagstelling	6
1.3 Doelstelling	6
1.4 Aanpak	7
2 Beschrijving van de metingen	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Meetmethoden	9
2.2.1 Opzet metingen	9
2.2.2 OPM	10
2.2.3 Gecontroleerd schoonmaken	10
2.2.4 Monstername	11
2.2.5 Deeltjestellers	11
2.3 Beschrijving van de meetlocaties	11
2.3.1 Eisen aan de meetlocaties	11
2.3.2 Brabant Water, Nuland	12
2.3.3 Evides, Halsteren	13
2.3.4 Vitens, St. Jans klooster	14
2.4 Meetschema's	16
3 Resultaten	17
3.1 Schoonmaken en OPM	17
3.1.1 Inleiding	17
3.1.2 Resultaten schoonmaken	17
3.1.3 Resultaten OPM – Brabant Water	17
3.1.4 Resultaten OPM – Evides	18
3.1.5 Resultaten OPM – Vitens	18
3.1.6 Discussie en aanbevelingen	19
3.2 Analyse spuimonsters	21
3.3 Deeltjestellers	24
3.3.1 Resultaten – Brabant Water	24
3.3.2 Resultaten – Evides	27
3.3.3 Resultaten – Vitens	27
3.3.4 Discussie en aanbevelingen	29
3.4 Case studies	31
3.4.1 WPB Nuland	31
3.4.2 WPB Halsteren	32
3.4.3 WPB St. Jans klooster	33
4 Algemene discussie	35

4.1	Maat voor distributiestabiliteit van het pompstation	35
4.2	Maat voor vervuiling van het leidingnet	35
4.3	Relatie tussen distributiestabiliteit van het pompstation en vervuiling van het leidingnet	36
4.4	Effect van deeltjes op de drinkwaterinstallatie	40
5	Conclusies	41
5.1	Algemene conclusies	41
6	Aanbevelingen	43
6.1	Meetmethode en uitwisselbare resultaten	43
6.2	Meetlocaties en meetschema	43
6.3	Te meten parameters	44
6.3.1	Maat voor distributiestabiliteit	44
6.3.2	Maat voor vervuiling van het leidingnet	45
6.4	Onderzoek naar effect aanpassing zuiveringsproces St Jansklooster (IEX)	45
6.5	Implementatie	45
7	Referenties	47
I	Meetschema's	49
II	Resultaten van monsternamen	52

1 Inleiding

1.1 Algemeen

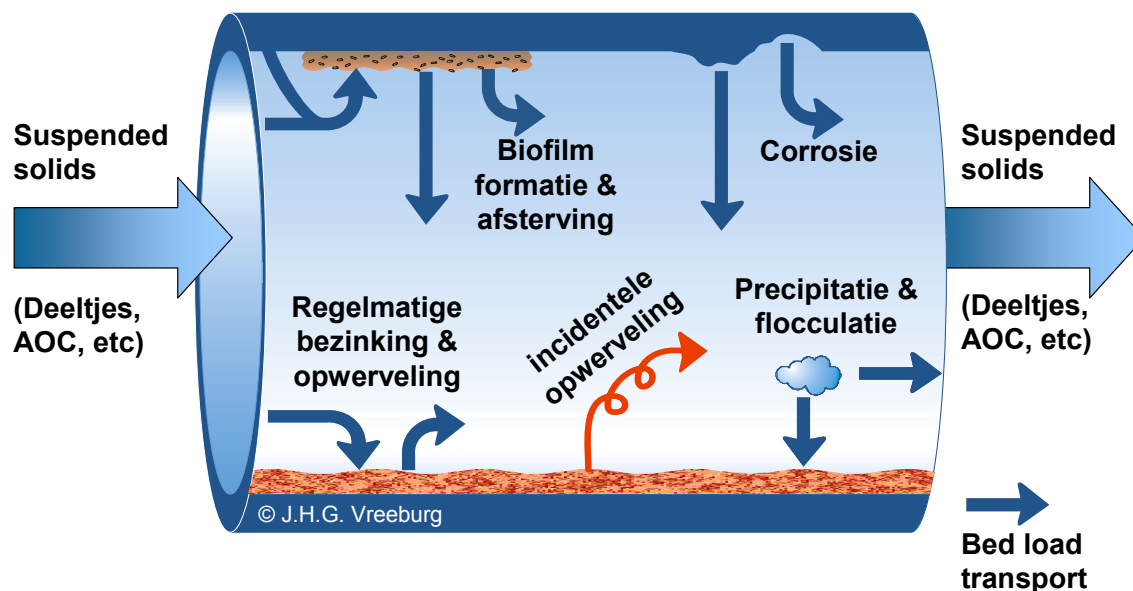
Bruinwaterklachten worden veroorzaakt door het opwerpen van geaccumuleerd sediment. Het sediment bestaat voornamelijk uit deeltjes die van het pompstation afkomstig zijn. Figuur 1-1 geeft schematisch weer welke processen betrokken zijn bij bezinking, accumulatie en opwerveling van deeltjes in het leidingnet. Om het risico op bruinwaterklachten te beperken kunnen waterbedrijven drie mogelijke acties ondernemen:

1. Tijdig spuien.
2. Zelfreinigende leidingnetten aanleggen.
3. De deeltjeslast af pompstation beperken.

Ad 1. Om te bepalen wanneer gespuid moet worden, gebruiken waterbedrijven bruinwaterklachten als indicatie en de opwervelingspotentiemethode (OPM) als meting om het risico op bruinwater te bepalen. De OPM (Schaap et al. 1999; Vreeburg et al. 2004) wordt op een aantal plaatsen in het leidingnet uitgevoerd, en wordt gebruikt om een uitspraak te doen over een veel groter deel van het leidingnet. Hoewel de OPM een goede methode is om een beeld te krijgen van de vervuiling van een specifieke leiding is nog onduidelijk in hoeverre de OPM een goede basis vormt om spuiprogramma's op te prioriteren (Blokker en Schaap 2011).

Ad 2. Er is een ontwerpmethodiek opgesteld voor zelfreinigende leidingnetten (Boomen en Vreeburg 1999). Daarna is in de praktijk aangetoond dat deze leidingnetten zelfreinigend zijn (Blokker en Beverloo 2008; Blokker en Schaap 2006). Ook is vastgesteld dat bestaande leidingnetten aangepast kunnen worden zodat ze minder snel vervuilen (Blokker 2011; Horst 2008).

Ad 3. Er is aangetoond dat door de deeltjeslast helemaal terug te brengen de kans op bruinwaterklachten sterk vermindert (Vreeburg 2007). Binnen dit project *Distributiestabiliteit* wordt gekeken naar de randvoorwaarden die aan de deeltjeslast af pompstation gesteld kunnen worden.



Figuur 1-1. Deeltjes in het leidingnet.

Een vraag is of de bestaande zuivering geoptimaliseerd kan worden zodanig dat de deeltjesbelasting van het leidingnet wordt beperkt en er minder frequent gespuid hoeft te worden. In analogie met de biologische stabiliteit van het drinkwater af pompstation noemen we drinkwater met een lage

deeltjeslast waardoor weinig sediment in het leidingnet accumuleert water met een grote “distributiestabiliteit”.

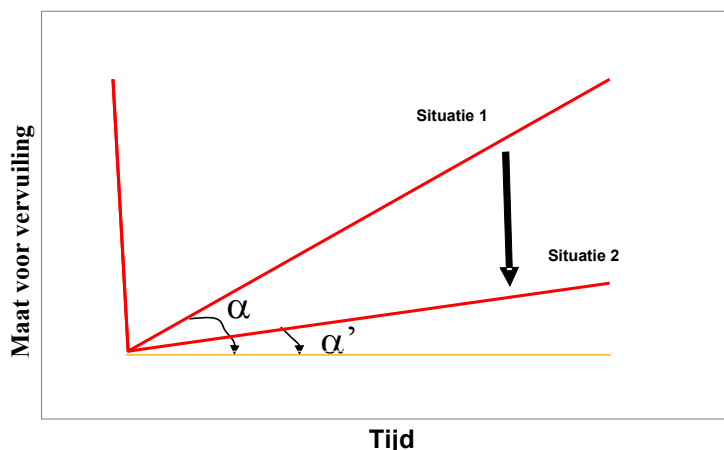
In dit onderzoek wordt het begrip distributiestabiliteit nader gedefinieerd en indien mogelijk gekwantificeerd. De volgende onderdelen in het onderzoek zijn te onderscheiden:

1. Definitie van distributiestabiliteit en daarmee samenhangend een meetmethode; met de methode is het mogelijk om de distributiestabiliteit te kwantificeren.
2. Testen en meten van de distributiestabiliteit aan de hand van case studies; de orde van grootte van de distributiestabiliteit van drinkwater van verschillende pompstations kan worden vastgesteld en er kan worden ingeschat hoe groot de effecten zijn van maatregelen om de distributiestabiliteit te vergroten.
3. Er wordt onderzocht of er een relatie is met de biologische stabiliteit van drinkwater.

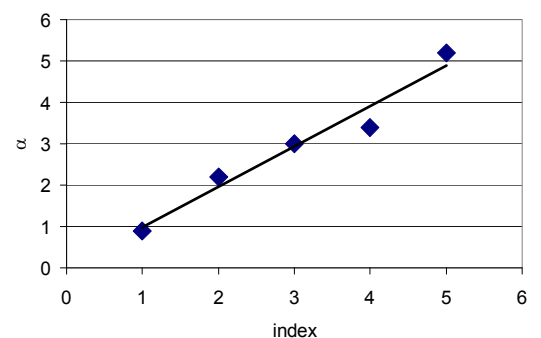
1.2 Vraagstelling

De hypothese is dat de hervervuiling van het leidingnet mede beïnvloed c.q. bepaald wordt door de deeltjesbelasting af pompstation. Verlaging van de deeltjesbelasting zou dus verlaging van de (her)vervuiling van het leidingnet betekenen. De distributiestabiliteit wordt daarom in termen van (her)vervuilingssnelheid van het leidingnet gedefinieerd. Figuur 1-2 laat een schematische weergave zien van de (her)vervuiling van een leidingnet onder invloed van twee verschillende watertypen. In situatie 1 kent het leidingnet een snellere vervuiling over de tijd dan in situatie 2. Deze wordt weergegeven met een maat voor de hervervuilingssnelheid α . Wanneer het mogelijk is om de situaties 1 en 2 te karakteriseren met een index, bijvoorbeeld voor de distributiestabiliteit van het pompstation, dan kan een relatie worden gezocht tussen de index en de hervervuilingssnelheid α .

Figuur 1-3 laat dit meer algemeen zien. In deze grafiek wordt van verschillende typen water de (gefingeerde) vervuilingssnelheid in het leidingnet uitgezet tegen een index voor distributiestabiliteit. Mogelijk is er in werkelijkheid geen sprake van een eenduidige relatie omdat de vervuiling van een leidingnet niet alleen afhankelijk is van de deeltjesbelasting van het leidingnet, maar ook in belangrijke mate van de hydraulische omstandigheden in het leidingnet. In een zelfreinigend leidingnet, bijvoorbeeld, zal ook met een hoge deeltjesbelasting weinig tot geen sediment accumuleren.



Figuur 1-2. Conceptuele voorstelling van de vervuiling van een leidingnet over de tijd.



Figuur 1-3. Conceptuele voorstelling van de relatie tussen de hervervuilingssnelheid α (Figuur 1-2) en een index die de distributiestabiliteit vertegenwoordigt

1.3 Doelstelling

De doelstelling van dit onderzoek is om het conceptuele Figuur 1-3 te toetsen en te kwantificeren aan de hand van metingen in het distributienet. Daarbij moeten de volgende vragen worden opgelost:

1. Hoe kan de vervuiling en vervuilingssnelheid van een leidingnet worden weergegeven? Wat is een goede maat voor de vervuiling van een leidingnet? (verticale as van Figuur 1-3)

2. Hoe kan de distributiestabiliteit van een zuivering worden gedefinieerd en gemeten? (horizontale as van Figuur 1-3)
3. Waardoor kan de vervuilingssnelheid van een leidingnet worden beïnvloed? Welke effecten zijn meetbaar? (Mogelijke complicatie is de onbekende invloed van de leidingnetconfiguratie, zie hierboven).

1.4 Aanpak

In het onderzoek zijn drie verschillende WaterProductieBedrijven (WPB) en de daarbij behorende voorzieningsgebieden beschouwd. In ieder voorzieningsgebied zijn twee vergelijkbare stukken leidingnet geselecteerd voor nader onderzoek. Deze leidingnetten zijn geïsoleerd van de rest van het leidingnet door het sluiten van afsluiters op een zodanige manier dat de voeding van het leidingnet door één enkele leiding wordt verzorgd. Op deze manier is te controleren dat alleen water van het transportleidingnet het distributiegebied in gaat en dat er geen vervuiling van andere distributienetten kan worden aangevoerd.

De opzet van het onderzoek in het distributienet is analoog aan eerdere onderzoeken in Franeker (Vreeburg 2007), Hoofddorp (Blokker en Schaap 2006), Rosmalen (Blokker en Beverloo 2008) en Zeewolde (nog te verschijnen). In de geselecteerde leidingnetten en de transportleidingen ernaar toe zijn de volgende metingen uitgevoerd:

- Deeltjestellers zijn ingezet om de deeltjesbelasting te meten.
- De leidingnetten zijn gecontroleerd schoongemaakt waarbij monsters zijn genomen en de vervuilingsgraad is vastgesteld met troebelheidsmeters tijdens spuien.
- Voor en na de spuiacties is met behulp van OPM een inschatting van de vervuilingsgraad gemaakt.

De meetlocaties zijn in overleg met aanpalende BTO-projecten op het gebied van biologische stabiliteit geselecteerd.

In hoofdstuk 2 worden de meetlocaties en metingen beschreven die in dit project zijn uitgevoerd bij Brabant Water, Evides en Vitens. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de afzonderlijke metingen weergegeven en kort becommentarieerd. In hoofdstuk 4 worden alle meetresultaten in breder perspectief geplaatst. Daarbij zijn ook meetresultaten van eigen onderzoek van PWN als referentie meegenomen. In hoofdstuk 5 en 6 volgen conclusies en aanbevelingen.

2 Beschrijving van de metingen

2.1 Inleiding

Drie waterbedrijven hebben testgebieden beschikbaar gesteld. Dit is in de meeste gevallen gedaan omdat er veronderstelde problemen met *Aeromonas* of biologische stabiliteit waren. Tabel 2-1 vat de meetlocaties samen. Naast deze drie waterbedrijven heeft PWN zelf een aantal metingen verricht en meetresultaten ter beschikking gesteld.

Tabel 2-1 Samenvatting meetlocaties.

Waterbedrijf	WPB	Distributielocaties	Focus
Brabant Water	Nuland	Rosmalen Den Bosch	Biologische stabiliteit
Evides	Halsteren	Tholen St. Annaland	Verblijftijden en <i>Aeromonas</i>
Vitens	St. Jans- klooster	Emmeloord Urk	Verbetering aan de zuivering (Ion exchange) en effect op distributiestabiliteit

Voor WPB (waterproductiebedrijf) Nuland (Brabant Water) is vastgesteld dat er een relatief hoge BVS wordt gemeten ($> 10 \text{ pg ATP cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en dat gedurende de zomermaanden vaak *Aeromonas* wordt aangetroffen. Onderzoek door Brabant Water en KWR (van Leerdam et al. 2011) heeft laten zien dat het water van de twee bronnen (diep en middeldiep) vergelijkbare AOC-waardes hadden, maar dat het gecombineerde water een iets hogere ATP had en een meer dan twee maal zo hoge biofilmvormings-snelheid (BVS) dan de individuele bronnen. Nader onderzoek met extra toegevoegde filtratiestappen, ionenwisseling (IEX) en ultrafiltratie (UF), lieten zien dat de BVS na de IEX iets lager was en na de UF vrijwel nul was. Dit suggereert dat het verwijderen van deeltjes een grote invloed heeft op de biologische stabiliteit.

Het voorzieningsgebied van Halsteren (Evides) is te karakteriseren door lange transportleidingen naar afgelegen gebieden. Dit leidt tot relatief lange verblijftijden in het leidingnet. In combinatie met een relatief slechte biologische stabiliteit van het water leidt dit tot nagroei van *Aeromonas* in het net tijdens de zomer.

Het voorzieningsgebied van St. Jansklooster (Vitens) is vergelijkbaar met dat van Halsteren, met een vergelijkbaar *Aeromonas* probleem. In het reine water is een hoge kleurintensiteit (18 mg/l Pt.Co.) geconstateerd. Vitens heeft besloten dit te verhelpen door de installatie van een ionenwisselaar (IEX) als laatste stap. Het onderzoek zou zich richten op het effect van de IEX op de vervuilingssnelheid van het achterliggende distributienet. De ingebruikname van de IEX heeft in 2010/2011 aanzienlijke vertraging opgelopen. De IEX zou eind 2010 in gebruik worden genomen, maar dit is eind zomer 2011 geworden. Het effect van de verbeterde zuivering is dus niet meegenomen in het onderzoek.

2.2 Meetmethoden

2.2.1 Opzet metingen

Eenzijds zijn de metingen gericht op het bepalen van de daadwerkelijke vervuiling van de distributienetten en de samenstelling van het sediment. Hiertoe zijn OPM metingen verricht en zogenaamde 'gecontroleerde schoonmaakprogramma's' uitgevoerd waarbij al het sediment uit het leidingnet is verwijderd en kwantitatief en kwalitatief is geanalyseerd.

Anderzijds zijn de metingen gericht op het bepalen van de deeltjesbelasting van de verschillende distributienetten (de geselecteerde gebieden). Hiertoe zijn deeltjestellingen verricht op het water dat de verschillende pompstations verlaat en in het transportleidingnet dat aan de distributienetten levert. Ook

zijn op enkele locaties in het distributienet deeltjestellers geplaatst waarmee eventueel het proces van vervuiling in de distributiegebieden is te bepalen. De aantallen deeltjes hebben naar verwachting ook een relatie met de vervuilingssnelheid α van Figuur 1-2.

2.2.2 OPM

De OPM is toegepast om de mate van vervuiling van het leidingnet te bepalen en het effect van spuien te kwantificeren. Het verkorte OPM- protocol is toegepast; deze luidt als volgt:

- Selecteer 105 meter leiding en isoleer aftakkingen zodat een uni-directionele stroming wordt verkregen.
- Spoel de brandkraan schoon met een lage volumestroom;
- Sluit een volumestroommeter en troebelheidsmeter aan op een brandkraan; open brandkraan zodat een snelheidsverhoging van 0,35 m/s in de leiding optreedt.
- Houdt deze snelheidsverhoging aan gedurende 5 minuten en herstel dan de uitgangssituatie.
- Blijf de troebelheid monitoren totdat een stabiel niveau wordt bereikt.

Als maat voor de OPM is de gemiddelde troebelheid gedurende de eerste 25 minuten bepaald.

2.2.3 Gecontroleerd schoonmaken

De standaardmethode voor systematisch schoonmaken is gehanteerd: “werk vanuit een schoonwaterfront, spui met 1,5 m/s over een of meer brandkranen gedurende drie verversingen (of totdat de troebelheid op een stabiel laag niveau is). Meet daarbij de troebelheid en de volumestroom continu.” De spuiplanner® is gebruikt om dit proces zo goed mogelijk te faciliteren door goede spuiplannen te ontwerpen. Tijdens het spuien zijn monsters genomen om de hoeveelheid sediment te kwantificeren en om de samenstelling van het sediment te bepalen.

De gemeten troebelheid van alle spuiacties samen wordt gebruikt om de vervuiling van een leidingnet te bepalen. Daartoe wordt de gemeten troebelheid vermenigvuldigd met de volumestroom waarmee gespuid is en gesommeerd. Vervolgens wordt de uitkomst gedeeld door de totale leidinglengte. Er komt dan een vervuiling in FTU maal liter per meter; de vervuilingssnelheid kan worden uitgedrukt in FTU maal liter per meter per maand. Zie onderstaand kader voor de formules.

Er is een relatie tussen de concentratie van de massa van de deeltjes (mg/l) en troebelheid – meestal bepalen we een lineaire relatie. We veronderstellen dat met een voldoende hoge snelheid is gespuid om alle sediment op te werpen. Wanneer met een lagere (maar nog steeds voldoende hoge) volumestroom wordt gespuid, zal in minder volume dezelfde hoeveelheid massa worden opgewerveld, wat tot een hogere concentratie leidt en zal een hogere troebelheid worden gemeten. Om dus onafhankelijk van de spui volumestroom (en onafhankelijk van de spuiduur, zolang maar gespuid wordt tot een lage troebelheid) de hoeveelheid geaccumuleerd sediment in een leidingnet te bepalen is het nodig om de volgende formule toe te passen:

$$S = \frac{\sum M \cdot Q \cdot \Delta t \text{ [mg/l} \cdot \text{l/s} \cdot \text{s]}}{L \text{ [m]}} = \frac{1}{\alpha \text{ [l/mg} \cdot \text{FTU]}} \frac{\sum \text{Troebelheid} \cdot Q \cdot \Delta t \text{ [FTU} \cdot \text{l/s} \cdot \text{s]}}{L \text{ [m]}}$$

Hierin is Δt de tijdseenheid waarin gelogd is, in dit project 1 s. Verder is de veronderstelling dat $\text{Troebelheid [FTU]} = \alpha \text{ [l/mg} \cdot \text{FTU]} \cdot M \text{ [mg/l]}$.

2.2.4 Monstername

Tijdens het spuien is gedurende de eerste verversing een monster genomen. Het monster is door de laboratoria van de deelnemende waterbedrijven op de volgende parameters geanalyseerd:

- Kolonietallen bij 37°C en 22°C
- *Aeromonas* bij 30°C
- E. Coli en coliformen
- Adenosine triphosphate (ATP)
- Massa gesuspendeerde stoffen
- Gloeirest
- Troebelheid
- IJzer
- Mangaan

2.2.5 Deeltjestellers

Deeltjestellingen zijn in beginsel verricht op drie locaties: één bij het waterproductiebedrijf na de reinwaterpompen (het water dat daadwerkelijk het leidingnet in gaat) en bij de voedingspunten van de twee distributienetten. De distributienetten zijn zodanig geïsoleerd dat de voeding alleen over een leiding plaatsvindt, waardoor aanvoer van eerder geaccumuleerd sediment uit andere gedeelten van het distributieleidingnet is uitgesloten. Eventuele opwerveling van eerder geaccumuleerd sediment uit de transportleidingen is op deze manier te kwantificeren.

Voor de metingen zijn Pamas WaterViewer deeltjestellers gebruikt. Voor elke meting zijn de deeltjestellers gereinigd zoals aangegeven door de fabrikant met HNO₃. De aanboringen voor de deeltjestellers op de transport- en hoofdleidingen zijn door de waterbedrijven gemaakt; door middel van een slang zijn de deeltjestellers verbonden met de aansluitingen.

De deeltjestellers hebben 8 kanalen waarmee verschillende deeltjesgroottes gemeten kunnen worden. In eerste instantie is de verdeling van de ranges afgesteld volgens de "1^{ste} range" in Tabel 2-2. Na de eerste 2 uur meten op de eerste meetdag (16 november 2009) is besloten de ranges aan te passen. Alle vervolgmetingen zijn uitgevoerd volgens de "2^{de} range" van Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Instellingen van de deeltjestellers.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1 ^{ste} range	1-3 µm	3-5 µm	5-7 µm	7-10 µm	10-15 µm	15-20 µm	20-25 µm	>25 µm
2 ^{de} range	1-2 µm	2-3 µm	3-4 µm	4-5 µm	5-7 µm	7-10 µm	10-15 µm	>15 µm

De deeltjestellingen zijn vertaald in een totaal deeltjesvolume door het aantal deeltjes in een meetrange te vermenigvuldigen met het gemiddelde deeltjesvolume in die meetrange. Hierbij is de gemiddelde diameter per meetrange bepaald als

$$d_{i-j} = \sqrt{d_i \cdot d_j}$$

Voor het laatste kanaal is een deeltjesgrootte van 15 µm aangehouden; het maximum is dus gelijk aan het minimum genomen. Uit eerdere onderzoeken is gebleken dat het totale deeltjesvolume voldoende informatief is om conclusies te kunnen trekken over de deeltjesbelasting van verschillende meetlocaties (Vreeburg 2007). Er wordt hier niet verder ingegaan op de verdeling van de aantallen deeltjes over de verschillende deeltjesgroottes.

2.3 Beschrijving van de meetlocaties

2.3.1 Eisen aan de meetlocaties

In de drie voorzieningsgebieden zijn twee distributienetten geselecteerd die gedurende een jaar zijn onderzocht met behulp van OPM, spuien, monstername en deeltjestellingen. De volgende selectiecriteria zijn gehanteerd:

- De testgebieden hebben voornamelijk huishoudelijke verbruiken.
- De testgebieden bevatten geen grijs gietijzeren leidingen.

- De testgebieden worden gevoed vanuit één punt op de transportleiding; gedurende de testperiode worden de testgebieden “geïsoleerd” door enkele afsluiters dicht te zetten.
- De twee testgebieden zijn ongeveer even groot (500-1000 aansluitingen).
- De twee testgebieden zijn opgebouwd uit de zelfde leidingmaterialen.
- De twee testgebieden hebben ongeveer even grote lengte (10-15 km).

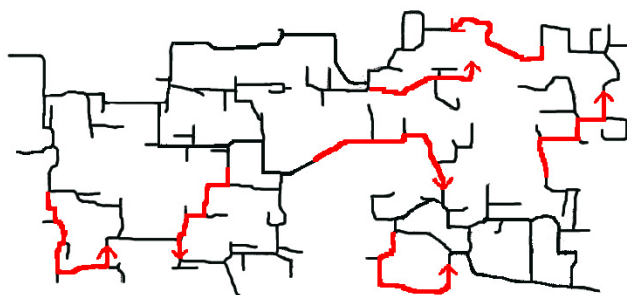
2.3.2 Brabant Water, Nuland

WPB Nuland WTW voorziet Rosmalen, Berlicum, Hintham, Kruisstraat, Maliskamp, het oosten van Den Bosch en gedeeltes van Geffen en Nuland. Figuur 2-1 laat het WPB en de twee testgebieden zien. De locatie in Rosmalen ligt ca. 3 km ten westen van Rosmalen; de meetlocatie in ‘s-Hertogenbosch (Den Bosch), ligt ca. 3 km ten westen van WPB Nuland. De twee gebieden worden door twee verschillende transportleidingen gevoed. Met behulp van afsluiters zijn de twee testgebieden gedurende de meetperiode elk op één voedende leiding gezet.

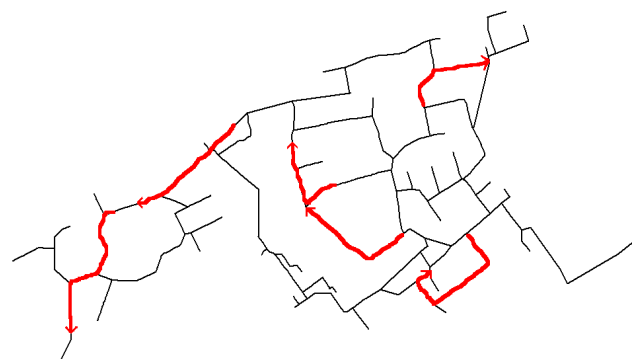


Figuur 2-1 WPB Nuland en testgebieden in Den Bosch en Rosmalen.

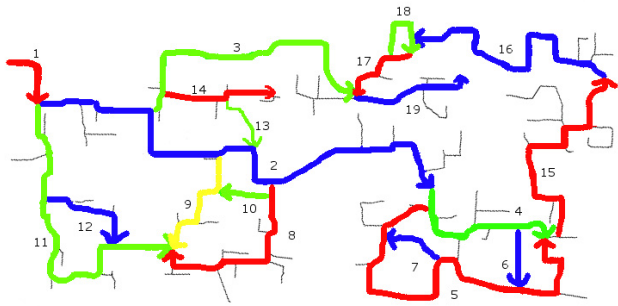
Locaties van OPM- en spuiacties in Rosmalen en Den Bosch worden getoond in Figuur 2-2 t/m Figuur 2-5. Deeltjestellers zijn geplaatst op het WPB en op 3 locaties in de testgebieden (Figuur 2-6 en Figuur 2-7). De meetlocaties met nummer “1” zijn gebruikt als metingen van de deeltjes uit de transportleiding.



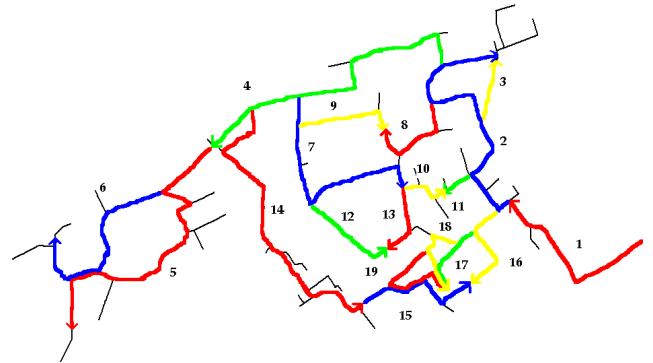
Figuur 2-2 Schematische weergave OPM in Den Bosch.



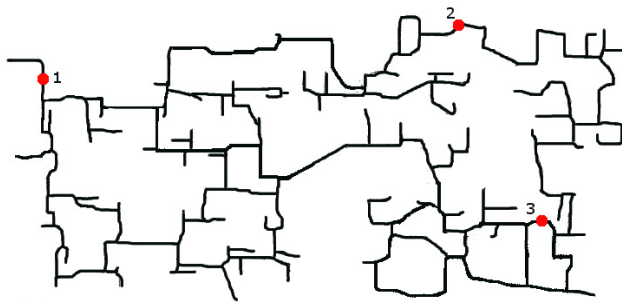
Figuur 2-3 Schematische weergave OPM in Rosmalen.



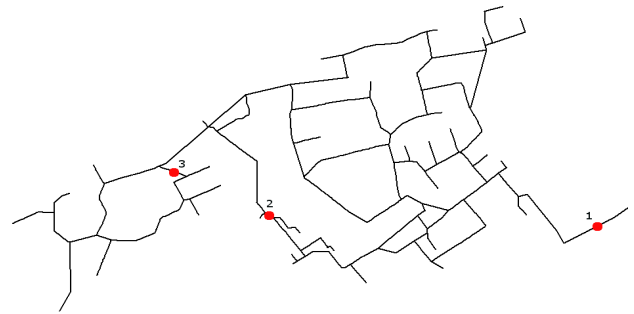
Figuur 2-4 Schematische weergave spuiacties (0-meting) in Den Bosch.



Figuur 2-5 Schematische weergave spuiacties (0-meting) in Rosmalen.



Figuur 2-6 Schematische weergave locaties deeltjestellers in Den Bosch.



Figuur 2-7 Schematische weergave locaties deeltjestellers in Rosmalen.

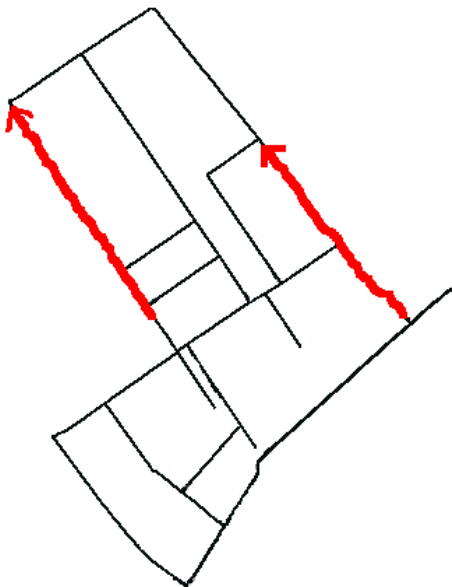
2.3.3 Evides, Halsteren

Vanuit Halsteren wordt het eiland Tholen met een dubbele \varnothing 315 mm transportleiding gevoed via leidingen onder het Rijn-Scheldekanal door. Het eerste testgebied is de plaats Tholen, van daar uit wordt het tweede meetgebied, St. Annaland, voorzien. Figuur 2-8 toont de locaties. Doordat dit afgelegen landelijke gebieden zijn, voldoen de testgebieden niet aan de eisen aan de grootte (lengte en aantal aansluitingen) van § 2.3.1.

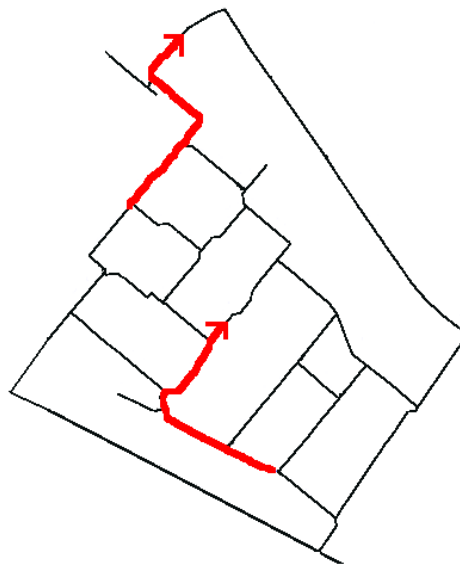


Figuur 2-8 WPB Halsteren en testgebieden in Tholen en St. Annaland.

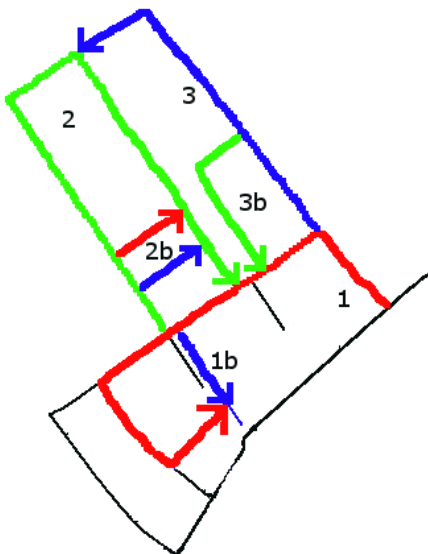
Locaties van OPM en spuiacties in Tholen en St. Annaland worden getoond in Figuur 2-9 t/m Figuur 2-12. Deeltjestellers zijn geplaatst op het WPB, na de oversteek onder het kanaal en op 1 locatie per testgebied (Figuur 2-8). De testgebieden zijn niet groot genoeg om per testgebied meerdere deeltjestellers te plaatsen.



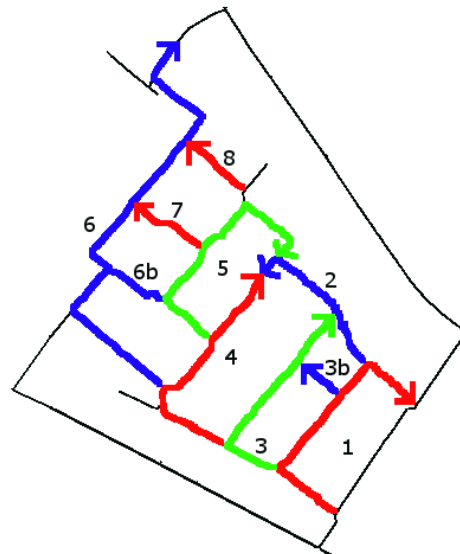
Figuur 2-9 Schematische weergave OPM in Tholen.



Figuur 2-10 Schematische weergave OPM in St. Annaland.



Figuur 2-11 Schematische weergave spuiacties in Tholen.



Figuur 2-12 Schematische weergave spuiacties in St. Annaland.

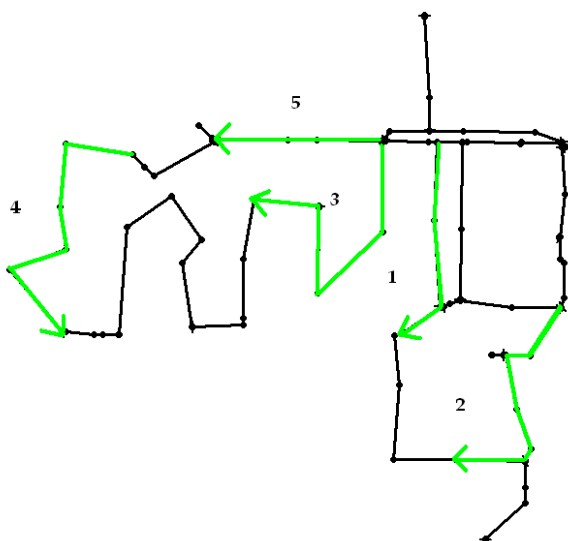
2.3.4 Vitens, St. Jans klooster

In tegenstelling tot het voorzieningsgebied van Nuland en Halsteren, bevat het voorzieningsgebied van WPB St. Jans klooster reinwaterkelders. In Emmeloord bevindt zich een tweecompartimenten reservoir (elk met een inhoud van 2700 m³) en in Urk een *fill and draw* reservoir (beide met een inhoud van 500 m³). De testgebieden in Emmeloord en Urk bevinden zich benedenstrooms van de reservoirs. Figuur 2-13 toont de locaties. De kelder bij Emmeloord is tijdens de meetperiode schoongemaakt, zonder dat er gegevens van deze actie zijn vastgelegd.

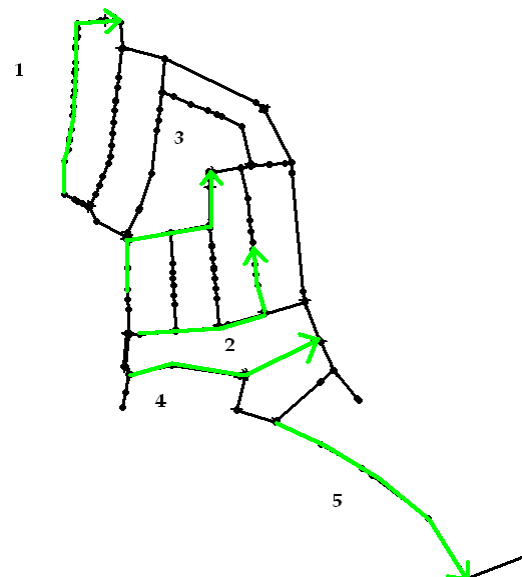


Figuur 2-13 WPB St. Jans klooster en testgebieden in Emmeloord en Urk.

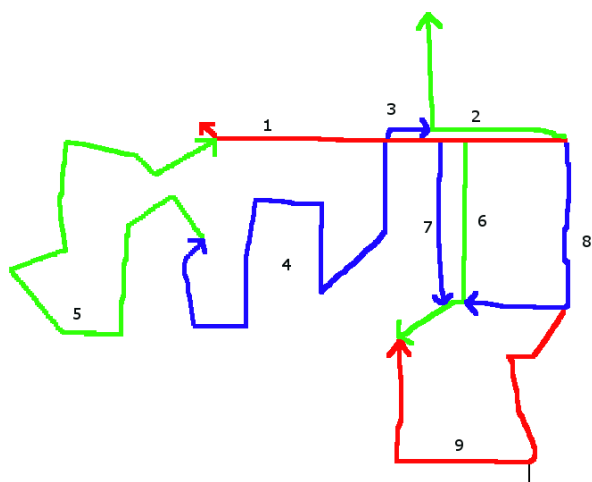
Locaties van OPM en spuiacties in Emmeloord en Urk worden getoond in Figuur 2-14 t/m Figuur 2-17. Deeltjestellers zijn geplaatst op het WPB, op de ingang van het reservoir in Emmeloord, op de uitgang van het reservoir in Emmeloord, op gecombineerde inlaat/uitlaat van het reservoir in Urk en op 3 locaties in de testgebieden. De locaties van de deeltjestellers in de testgebieden staan weergegeven in Figuur 2-18 en Figuur 2-19. De meetlocaties met nummer "1" zijn gebruikt als metingen van de deeltjes uit de transportleiding.



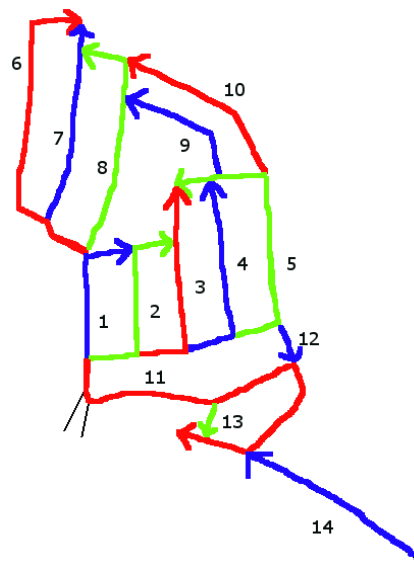
Figuur 2-14 Schematische weergave OPM in Emmeloord.



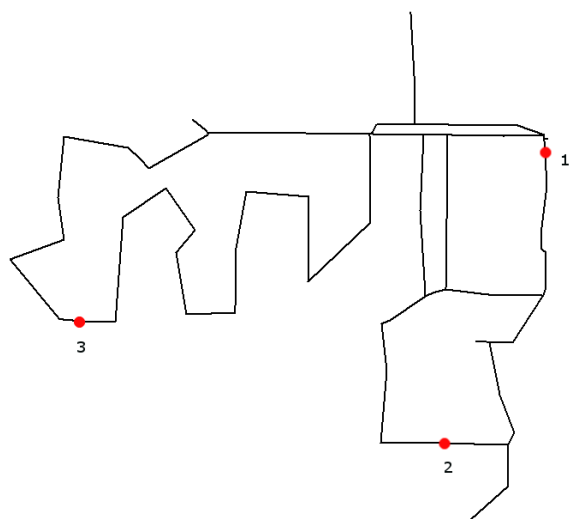
Figuur 2-15 Schematische weergave OPM in Urk.



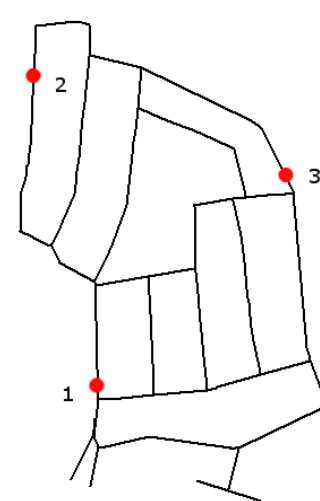
Figuur 2-16 Schematische weergave spuiacties in Emmeloord.



Figuur 2-17 Schematische weergave spuiacties in Urk.



Figuur 2-18 Schematische weergave locaties deeltjestellers in Emmeloord.



Figuur 2-19 Schematische weergave locaties deeltjestellers in Urk.

2.4 Meetschema's

In bijlage I staan in detail de meetschema's van de OPM, schoonmaken, monsternamen en deeltjestellingen. Tabel 2-3 geeft een samenvatting.

Tabel 2-3 Samenvatting meetschema's per locatie.

Meting		Nuland	Halsteren	St. Jans klooster
deeltjes-tellingen	1	november 2009 (distributienet) maart 2010 (transportnet)	april / mei 2010	juni / juli 2010 (transportnet) september 2010 (distributienet)
	2	november 2010	x	april 2011 (transportnet)
OPM & schoonmaken	OPM 1	november / december 2009	maart 2010	mei 2010
	spuien 1	december 2009	april 2010	mei 2010
	OPM 2	december 2009 / februari 2010	april 2010	juni 2010
	OPM 3	juli 2010	oktober 2010	X
	OPM 4	maart 2011	juni 2011	april 2011
	spuien 2	maart 2011	juli 2011	mei 2011
	OPM 5	maart 2011	juli 2011	mei 2011

3 Resultaten

3.1 Schoonmaken en OPM

3.1.1 Inleiding

Het doel van het schoonmaken is een nulsituatie te creëren met een schoon leidingnet en om de totale hoeveelheid geaccumuleerd sediment te meten. Hiertoe is tijdens de schoonmaakacties de troebelheid en de volumestroom gemeten. Er is gespuid totdat de troebelheid laag was in de veronderstelling dat alle opwervelbaar sediment daarmee is verwijderd. De totale troebelheid (rekening houdend met de volumestroom waarmee gespuid is; tijdens alle leidingverversingen, en dus niet alleen de eerste verversing) is een maat voor het totale hoeveelheid verwijderde sediment. Er is geen omzetting van de troebelheid naar massa gemaakt, omdat de relatie tussen troebelheid en massa niet altijd kan worden bepaald. De meetgebieden kennen niet noodzakelijkerwijs een zelfde relatie tussen troebelheid en massa en hebben elk afzonderlijk onvoldoende metingen om een statistisch verantwoorde relatie te bepalen. Om de verschillende wijken met elkaar te vergelijken is de totale vervuiling per meter leidinglengte en per maand vervuilingperiode uitgerekend. De vervuilingssnelheid is derhalve uitgedrukt in de eenheid $\text{FTU} \cdot \text{L/m} \cdot \text{maand}$ (zie § 2.2.3).

Om een indruk te krijgen van de vervuiling staat ook de OPM ter beschikking. De OPM is bepaald voor en na het spuien en ook tussentijds. Per wijk zijn de OPM-resultaten in een grafiek getoond. Van alle OPM's zijn de gemiddelde troebelheden (die per minuut zijn gelogd) berekend; vervolgens zijn de gemiddeldes en de spreiding rond de gemiddeldes per meetperiode en meetlocatie in een grafiek getoond.

3.1.2 Resultaten schoonmaken

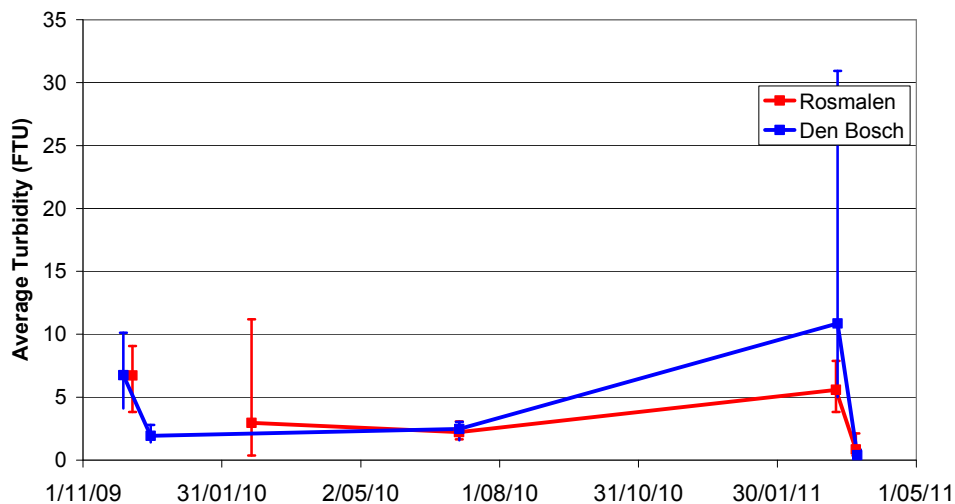
De resultaten van het schoonmaken in de vorm van de vervuilingssnelheid zijn weergegeven in onderstaande tabel. Opvallend is dat de vervuilingssnelheden van de voorzieningsgebieden van WPB Halsteren zo verschillend zijn, terwijl die van de overige voorzieningsgebieden redelijk overeenkomen.

Tabel 3-1. Vervuilingssnelheid van de meetgebieden.

		vervuilingssnelheid ($\text{FTU} \cdot \text{L/m} \cdot \text{maand}$)
Nuland	Rosmalen	23,7
	Den Bosch	25,8
Halsteren	Tholen	14,2
	St. Annaland	82,5
St. Jansklooster	Emmeloord	16,9
	Urk	13,6

3.1.3 Resultaten OPM – Brabant Water

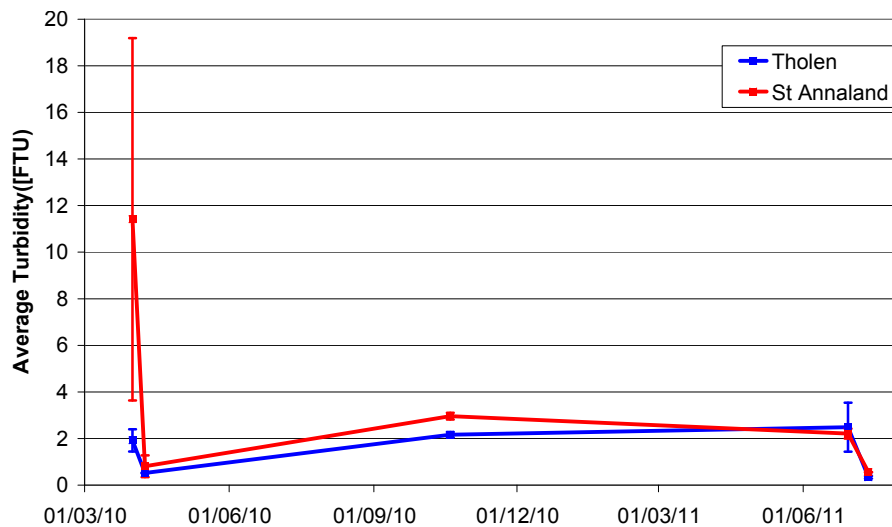
In Rosmalen en Den Bosch zijn telkens zeven OPM's uitgevoerd, behalve bij de metingen halverwege (juli 2010) toen slechts drie OPM's zijn uitgevoerd. De spreiding in de meting laat zien dat de vervuiling in het leidingnet niet overal gelijk is.



Figuur 3-1. Gemiddelde troebelheid over de tijd in de distributienetten van Den Bosch en Rosmalen.

3.1.4 Resultaten OPM – Evides

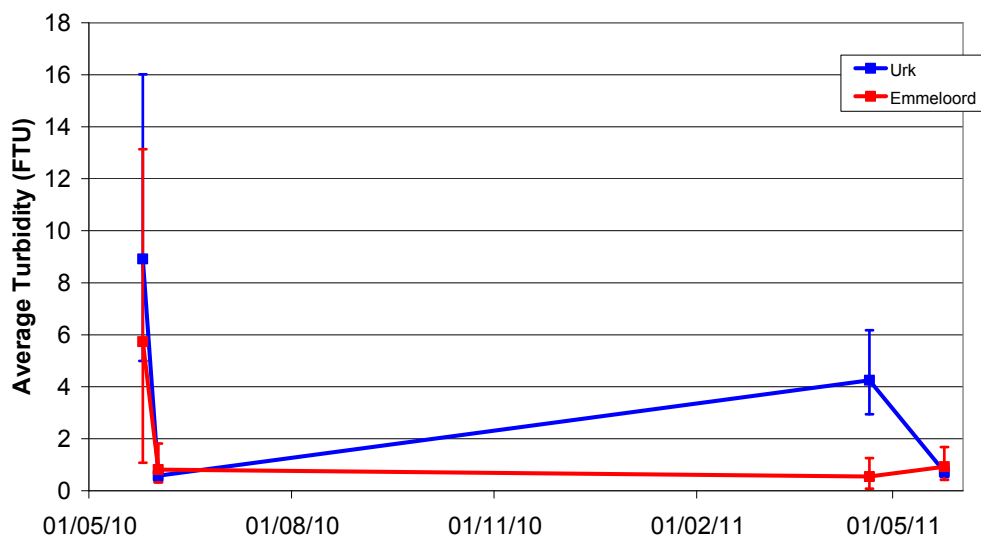
In Tholen en St. Annaland zijn telkens twee OPM's uitgevoerd; minimum en maximum waarden zijn dus de twee gemeten waarden. Ook hier laat de spreiding in vooral de nulmeting in St. Annaland zien dat er een grote spreiding op kan treden. Beide keren is het schoonmaken goed uitgevoerd, dat te zien is aan de lage gemiddelde troebelheid na het schoonmaken. Voor dit gebied geldt dat de troebelheid c.q. het bruinwater risico gering is, zowel bij de nulmeting als aan het einde van de periode.



Figuur 3-2. Gemiddelde troebelheid over de tijd in de distributienetten van Tholen en St. Annaland.

3.1.5 Resultaten OPM – Vitens

In Urk en Emmeloord zijn telkens vijf OPM's uitgevoerd, behalve bij de metingen in Urk in april 2011 toen slechts drie OPM's zijn uitgevoerd. Er zijn geen OPM's na 6 maanden uitgevoerd. Ook in dit gebied geldt dat het bruinwater risico als gevolg van opwerveling niet heel groot is. De ontwikkeling van het bruinwater risico is volgens deze meetreeks in Emmeloord zelfs niet te meten.



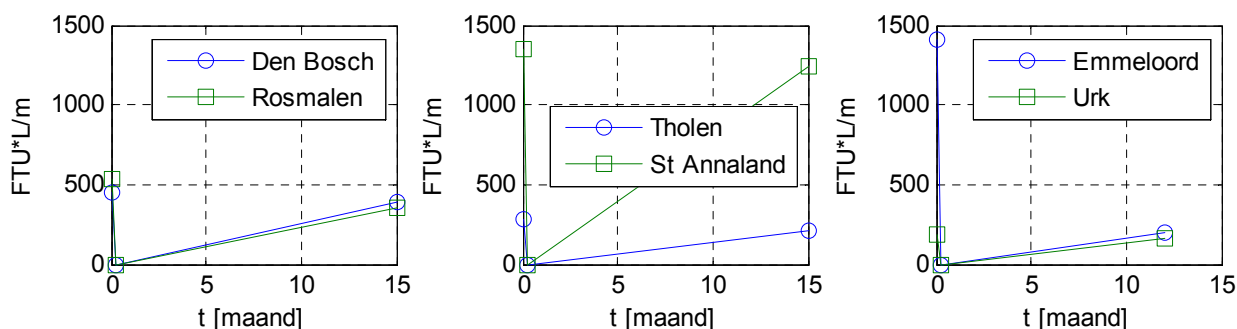
Figuur 3-3. Gemiddelde troebelheid over de tijd in de distributienetten van Urk en Emmeloord.

3.1.6 Discussie en aanbevelingen

Op basis van de resultaten van het schoonmaken zijn in Figuur 3-4 de vervuilingssnelheden grafisch weergegeven.

- Den Bosch en Rosmalen hebben een vergelijkbare vervuilingsgraad bij aanvang van de test; na 15 maanden zijn beide gebieden op ongeveer het zelfde niveau terug als voor het spuien en laten beide een vergelijkbare vervuilingssnelheid zien.
- Bij aanvang van de test heeft St. Annaland een veel grotere vervuilingssnelheid dan Tholen; na 15 maanden zijn beide gebieden op ongeveer het zelfde niveau als voor het spuien terug. St. Annaland heeft een veel hogere vervuilingssnelheid dan Tholen.
- Bij aanvang van de test heeft Emmeloord een veel grotere vervuilingssnelheid dan Urk; na 12 maanden zijn beide gebieden op ongeveer het zelfde vervuilingsniveau terug als Urk en is de vervuilingssnelheid van beide gebieden dus ongeveer gelijk.

De nulmeting, waarmee de vervuilingssnelheid wordt vastgesteld op basis van troebelheidsmetingen tijdens spuien, is dus geen goede methode om te bepalen of twee gebieden een vergelijkbare vervuilingssnelheid kennen en dus als referentie voor elkaar dienst kunnen doen. In dit onderzoek is bovendien de stromingssituatie tussen de nulsituatie en de uiteindelijke onderzoekssituatie aangepast. In de nulsituatie wordt het gebied mogelijk van verschillende kanten gevoed of heeft in ieder geval op meerdere plaatsen connecties met andere gedeeltes van het leidingnet. In de onderzoekssituatie is het gebied geïsoleerd, waardoor de stromingssituatie anders is dan de nulsituatie.



Figuur 3-4. Hervervuiling van de meetgebieden op basis van de gemeten troebelheid tijdens spuien.

Op basis van de OPM (Figuur 3-1 t/m Figuur 3-3) zijn de volgende observaties gedaan:

- Den Bosch en Rosmalen hebben bij aanvang van de test een vergelijkbare vervuilingsgraad; na 15 maanden is Den Bosch sterker vervuild dan Rosmalen.
 - N.B. het schoonmaken na 15 maanden lijkt beter gelukt te zijn dan bij aanvang.
- Bij aanvang van de test heeft St. Annaland een veel grotere vervuilingsgraad dan Tholen; na 15 maanden zijn beide gebieden op ongeveer het zelfde niveau terug en het verschil in vervuilingsgraad tussen beide gebieden is weer ongeveer even groot.
 - N.B. de OPM na 6 maanden laat zien dat St. Annaland vuiler is dan Tholen; na 15 maanden is St. Annaland schoner dan na 6 maanden.
- Bij aanvang van de test heeft Urk een veel grotere vervuilingsgraad dan Emmeloord; na 12 maanden is Urk gedeeltelijk vervuild, maar Emmeloord nog nauwelijks.
 - N.B. Op basis van de OPM na 12 maanden lijkt Emmeloord vuiler na het schoonmaken dan ervoor.

Het beeld dat ontstaat op basis van de OPM lijkt niet goed te passen bij de werkelijke vervuiling van het leidingnet. Mogelijke oorzaken zijn dat ofwel de OPM niet goed is uitgevoerd ofwel dat het spuien niet goed is uitgevoerd ofwel dat de OPM niet representatief is. Op deze drie mogelijkheden wordt kort ingegaan:

1. Het niet goed uitvoeren van de OPM is een mogelijke oorzaak, omdat het protocol voor de OPM een combinatie van handelingen is die in een goede volgorde moeten worden uitgevoerd. Vooral het aansluiten van de brandkraan en het initieel spoelen van de brandkraan (ten behoeve van het voorkomen van het insluiseffect) kan de meting zeer beïnvloeden. Waarschijnlijk is in de eerste reeks OPM metingen bij WPB Nuland de meting beïnvloedt door de initiële opwerveling van het spoelen van de brandkraan. Aanbevolen wordt om het OPM-protocol aan te passen op het punt van keuze van de brandkraan in combinatie met de locatie van afsluiters. Als de leiding waarop de brandkraan zowel boven- als benedenstrooms kan worden afgesloten, kan het spoelen van de brandkraan over de ene leiding en de daadwerkelijke OPM over de andere leiding gedaan worden. Met behulp van kaliberplaatjes kan de volumestroom voor de OPM worden gereguleerd.
2. Het niet goed schoonmaken van het leidingnet levert geen eenduidig beeld op van de OPM-metingen. Gezien de zorgvuldigheid waarmee de schoonmaakprogramma's zijn ontworpen en uitgevoerd, telkens in aanwezigheid van een KWR-medewerker, maakt deze oorzaak minder aannemelijk. Tevens is te zien dat na het schoonmaken de troebelheid wel consequent laag is.
3. De OPM vertoont een relatief grote spreiding. De gemeten vervuiling per leiding vertoont ook een grote spreiding zoals in eerdere onderzoeken is aangetoond (Blokker en Schaap 2011). Daardoor is de OPM op zichzelf wel representatief voor de vervuiling die in de specifieke leiding wordt gemeten, maar niet voor het gehele leidingnet. Gezien de spreiding in vervuiling die wordt gemeten, zullen een groot aantal metingen moeten worden uitgevoerd om een representatief beeld te geven.

Een combinatie van punt 1 en punt 3 lijkt de beste verklaring voor de resultaten in dit onderzoek.

Aanbevolen wordt om het protocol voor de OPM nader te evalueren en om de OPM's voor het spuien en de spuiacties die over dezelfde leiding zijn gedaan met elkaar te vergelijken om meer inzicht te krijgen in de representativiteit van OPM voor de vervuiling van een leiding. Daarna kan mogelijk meer gezegd worden over de representativiteit voor een heel leidingnet.

Voor het onderzoek naar de invloed op de hervervuiling van een leidingnet lijkt de OPM zoals die in dit onderzoek is toegepast niet geschikt. Het meten van de troebelheid tijdens spuien is een betere maat die ook relatief makkelijk te meten is. Het aantal benodigde metingen is echter wel veel groter, omdat het gehele leidingnet wordt gemeten voor een representatief resultaat. Het spuien moet toch gebeuren, extra is het meten van de troebelheid. Een ander aspect is dat geen tussentijdse metingen gedaan kunnen worden, omdat iedere spuiactie weer een nieuwe nulsituatie creëert. Omdat kennis van de spreiding van de vervuiling in een leidingnet en de voorspelling daarvan nog niet voldoende ontwikkeld is, is de OPM minder geschikt om de vervuilingssnelheid van gebieden te bepalen. Uit eerder onderzoek is bovendien gebleken dat de locatie waar de OPM gedaan wordt heel bepalend kan zijn voor de beoordeling van de vervuiling van een leidingnet (Blokker en Schaap 2011). Aanbevolen wordt om de toepassing van OPM voor de operationele kant van spuien nader te onderzoeken.

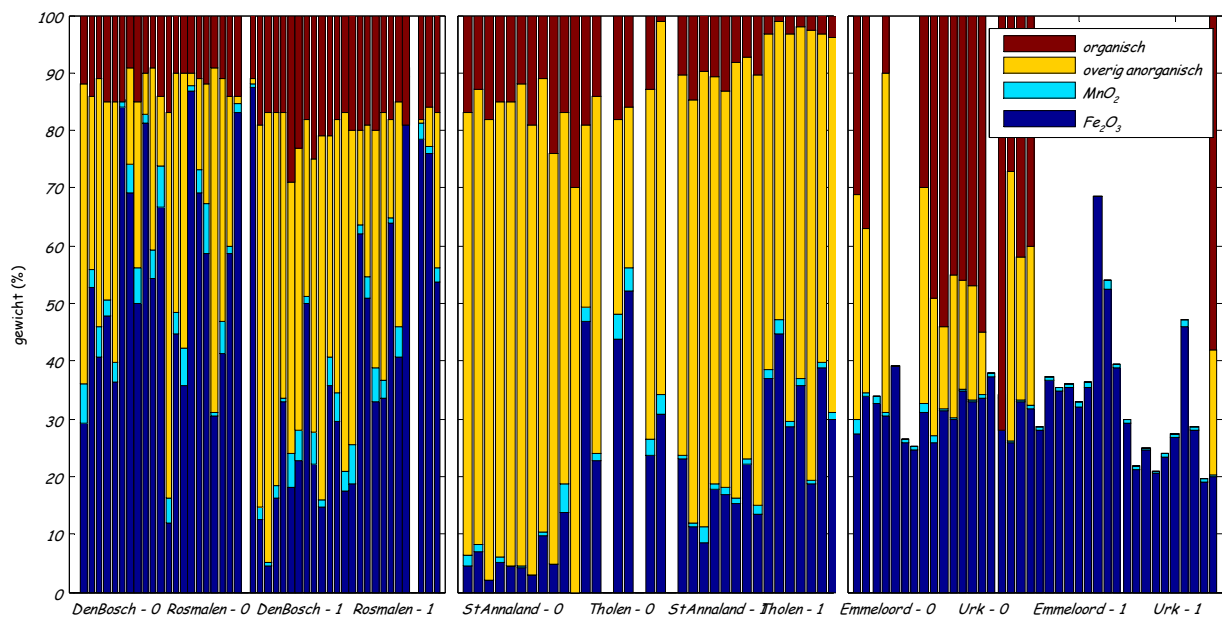
De OPM-resultaten laten zien dat de vervuiling in de meetgebieden niet hoog was. PWN beoordeelt of een leidingnet moet worden gespuid aan de hand van de gemiddelde troebelheid (op 3, 6, 9 en 12 minuten) van de OPM; <20 FTU is schoon, 20-50 FTU is aan het vervuilen en > 50 FTU is vuil. Aan het einde van de onderzoeksperiode is op geen enkel punt een waarde van > 20 FTU bereikt. De meetgebieden in dit onderzoek vervuilen niet bijzonder snel.

3.2 Analyse spuismonsters

De resultaten van de monsternamen zijn opgenomen in bijlage II. In deze paragraaf worden de relaties tussen de verschillende parameters besproken.

Figuur 3-5 laat de relatieve verdeling zien van mangaanoxide, ijzeroxide, overig anorganisch en organische stof in de spuismonsters.

- In Den Bosch en Rosmalen bestaat het sediment uit relatief veel ijzeroxide; het sediment in Den Bosch na 1 jaar (15 maanden) hervervuilen heeft een andere samenstelling met relatief meer overig anorganisch materiaal.
- In St. Annaland en Tholen bestaat het sediment voornamelijk uit (niet nader gespecificeerd) overig anorganisch materiaal; in Tholen is meer ijzeroxide dan in St. Annaland.
- In het meetgebied van St. Jansklooster is van maar een beperkt aantal monsters het organische deel bepaald. Voor de monsters waarvoor dit bepaald is blijkt dat het sediment uit relatief veel organische bestanddelen bestaat (vergeleken met Nuland en Halsteren). Het aandeel ijzeroxide is vergelijkbaar voor de meetgebieden in Urk en Emmeloord en voor de twee meetperiodes.



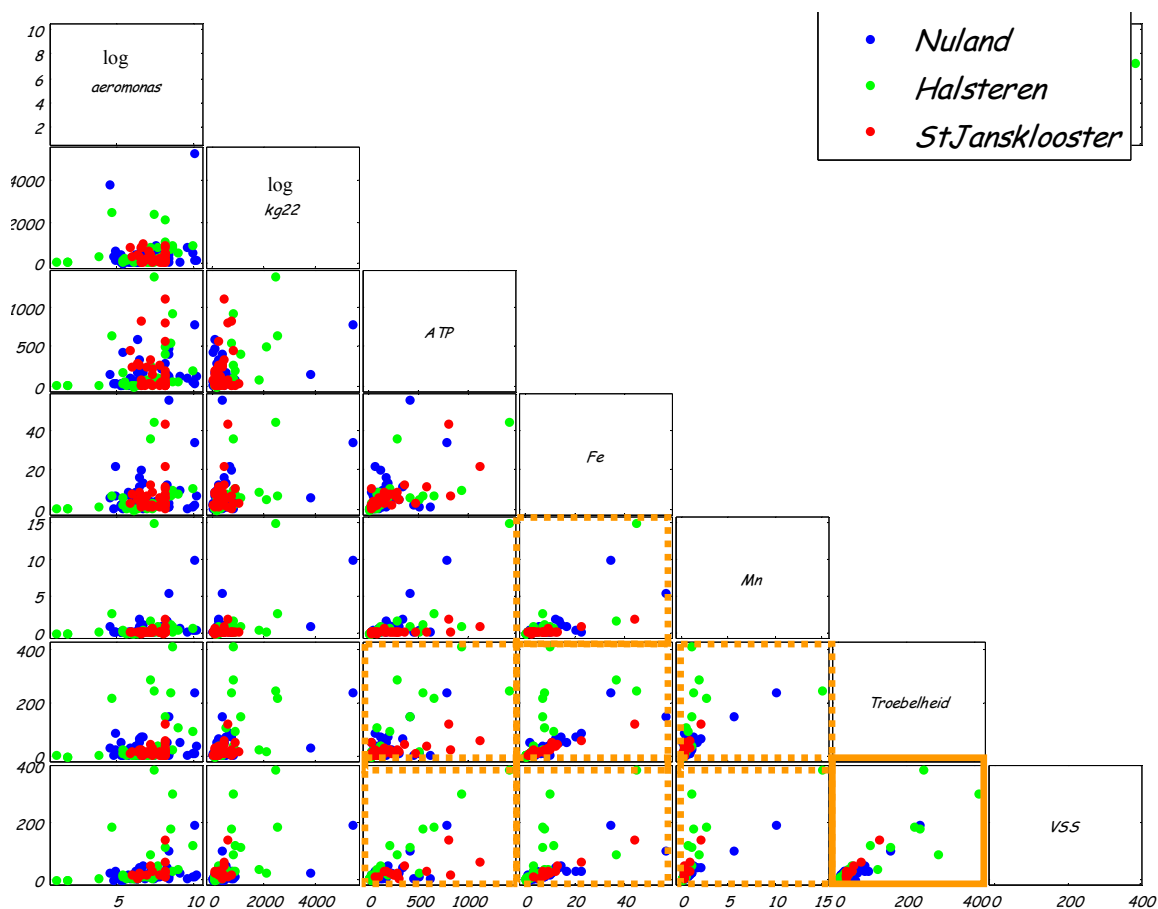
Figuur 3-5. Relatieve massa van organische stof, mangaanoxide, ijzeroxide en overig anorganisch in de gemeten monsters in de nulmetingen en metingen na 1 jaar in Den Bosch, Rosmalen, St. Annaland, Tholen, Emmeloord en Urk.

Figuur 3-6 laat voor de drie meetgebieden de relaties zien tussen de verschillende parameters. De (log van) *Aeromonas* en KG22 zijn onafhankelijk van alle andere parameters, er is geen relatie vast te stellen. Tussen troebelheid en gesuspenderde stoffen is een duidelijke lineaire relatie te zien. Voor de overige parameters geldt dat er soms een relatie is, d.w.z. in sommige gebieden wel en in andere niet, of wel tijdens de ene meetperiode en niet tijdens de andere.

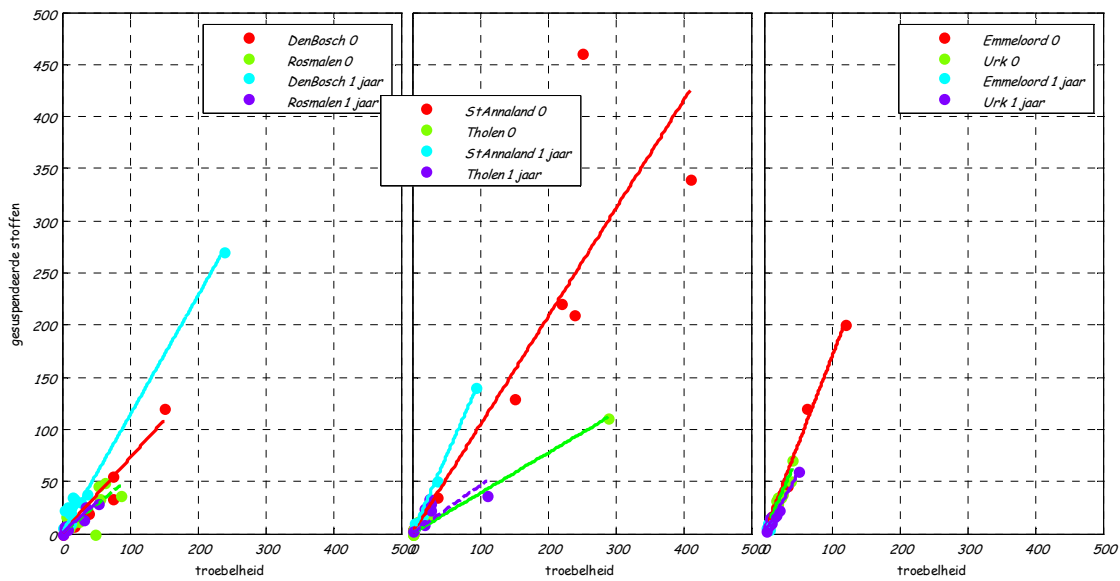
De relatie tussen troebelheid en gesuspenderde stoffen is verder uitgewerkt in Figuur 3-7. De doorgetrokken lijnen geven aan dat voor de gefitte lineaire relatie een R^2 groter dan 0,65 wordt gevonden; voor de gestippelde lijnen is de R^2 kleiner en is geen lineaire relatie vast te stellen. De relaties tussen troebelheid en gesuspenderde stoffen verschillen per meetgebied en soms ook per meetperiode:

- Er is een zelfde relatie gevonden voor Den Bosch 1^e meting, Rosmalen 1^e en 2^e meting. Voor Den Bosch 2^e meting hoort er een lagere massa bij de troebelheid. Dit hangt mogelijk samen met het relatief kleinere aandeel ijzeroxide of groter aandeel overig anorganisch in het sediment van Den Bosch 2^e meting.
- Er is een verschil in relatie voor Tholen en St. Annaland, waarbij Tholen lichter sediment heeft. Dit hangt mogelijk samen met het relatief grotere aandeel ijzeroxide of kleiner aandeel overig anorganisch in het sediment van Tholen.
- De relatie voor Emmeloord en Urk is gelijk en laat zien dat in vergelijking met Nuland en Halsteren het sediment relatief zwaar is (bij gegeven troebelheid). Dit heeft mogelijk te maken met het relatief grote aandeel organische stof in het sediment van St. Jansklooster.

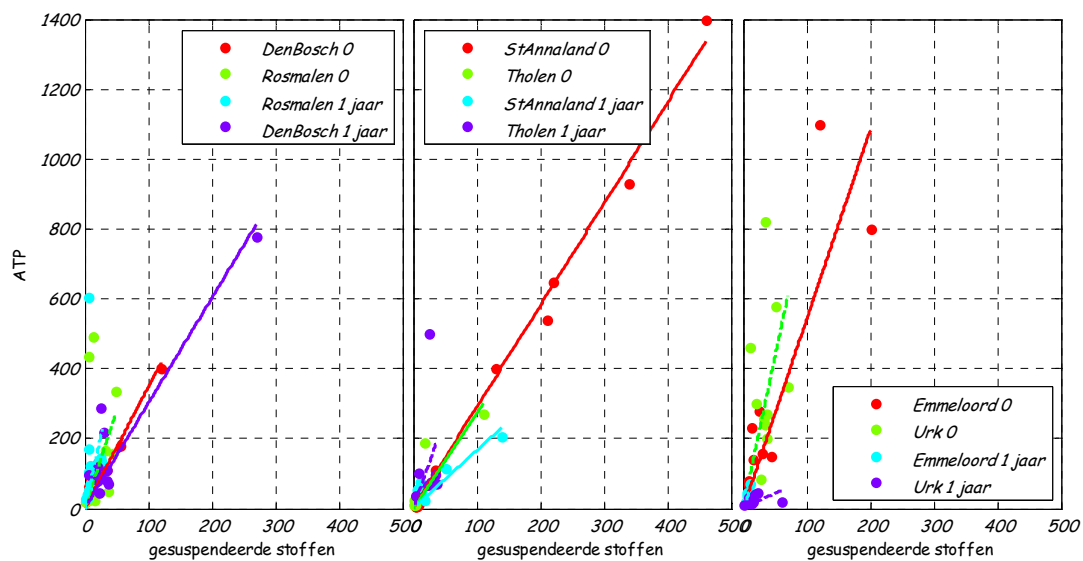
De relatie tussen ATP en gesuspendeerde stoffen is verder uitgewerkt in Figuur 3-8. Ook hier geven de doorgetrokken lijnen de gefitte lineaire relatie met een $R^2 > 0,65$. Het bestaan van een relatie betekent dat er ATP in een bepaalde verhouding aanwezig is tot de gesuspendeerde stoffen. De relatie wordt vooral gevonden in St. Annaland in de nulsituatie. Het sediment in Tholen en St. Annaland bevat dus een component actieve biomassa.



Figuur 3-6. Relatie tussen verschillende parameters van de monsters voor de drie voorzieningsgebieden Nuland, Halsteren en St. Jansklooster. N.B. voor Aeromonas en KG22 is de log uitgezet. De oranje kaders geven aan waar een sterke (doorgetrokken lijn) of zwakke (gestippelde lijn) gevonden wordt. Geen kader betekent geen relatie.



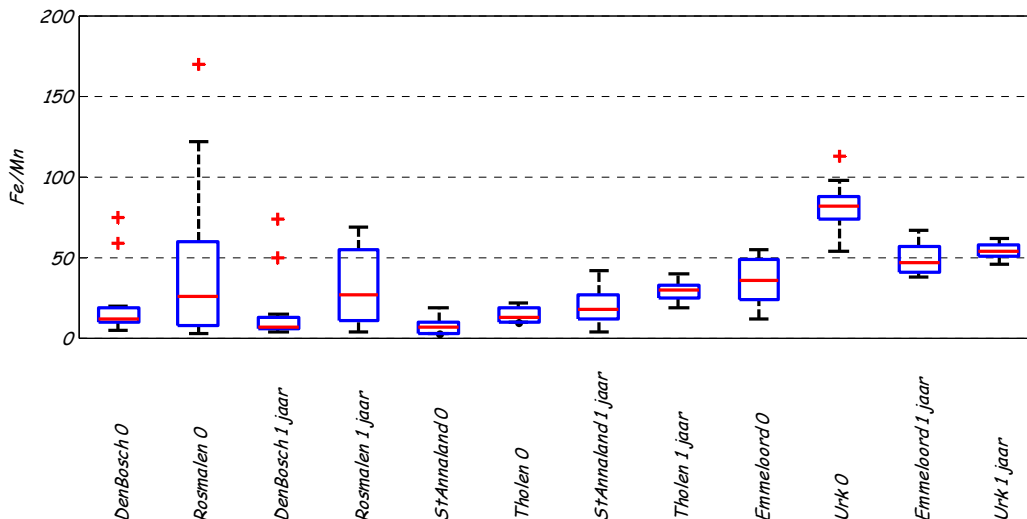
Figuur 3-7. Gesuspenseerde stoffen versus troebelheid voor verschillende meetlocaties en meetperioden. De punten zijn de gemeten waardes, de lijnen de lineaire fit. Een doorgetrokken lijn heeft een $R^2 > 0,65$; een gestippelde lijn heeft een $R^2 < 0,65$.



Figuur 3-8. Gesuspenseerde stoffen versus ATP voor verschillende meetlocaties en meetperioden. De punten zijn de gemeten waardes, de lijnen de lineaire fit. Een doorgetrokken lijn heeft een $R^2 > 0,65$; een gestippelde lijn heeft een $R^2 < 0,65$.

In de onderzochte leidingnetten liggen geen GGII-leidingen. Mogelijk zijn er wel wat GGII hulpstukken, maar vermoedelijk komt al het ijzer in de spui monsters uit de zuivering. Onderzoekers aan de universiteit van Dresden hebben gesuggereerd dat de verhouding ijzer-mangaan (Fe/Mn) een zinvolle parameter is om de bijdrage van de zuivering aan het sediment te onderscheiden van de bijdrage van het leidingnet (niet gepubliceerd). Door de Fe/Mn-verhouding van sediment uit een gietijzeren leidingnet te vergelijken met sediment uit een niet-gietijzeren leidingnet is er mogelijk een uitspraak te doen over de bijdrage van het leidingmateriaal aan de sedimentsamenstelling. Als referentiewaarden voor toekomstig onderzoek is in de sediment monsters de Fe/Mn-verhouding bepaald.

In Figuur 3-9 zijn de verhoudingen van de verschillende monsters weergegeven in een Box-Whiskers plot. Theoretisch liggen de verhoudingen in de netten bij dezelfde zuiveringen in dezelfde orde grootte. De figuur laat zien dat deze ratio zeer sterk kan variëren binnen een relatief klein meetgebied. Vooral in Rosmalen is de variatie enorm tussen minimaal 3 en maximaal 170, bij weliswaar kleine waarden voor mangaan, maar wel duidelijk boven de detectiegrens. Leidingnetten met veel GGIIJ kunnen een afwijkend beeld laten zien; het lijkt er echter op dat de Fe/Mn-ratio niet constant is. In dat geval is deze parameter weinig zinvol om een uitspraak te kunnen doen over de respectievelijke bijdrage van pompstation en leidingnet. Daarbij kan nog opgemerkt worden dat bij lagere temperaturen de mangaanverwijdering in de zuivering sterker afneemt dan de ijzerverwijdering en er dus ook een seizoensinvloed kan zijn. Aanbevolen wordt om de Fe/Mn-verhouding voor gebieden met veel GGIIJ te bepalen en te vergelijken met de in deze studie gevonden waarden.



Figuur 3-9. Verhouding ijzer over mangaan voor de verschillende meetgebieden en meetperiodes.

De samenstelling van het sediment is bepaald uit spuismonsters in het distributienet. Onduidelijk is in hoeverre deze metingen kunnen dienen als karakterisering van de zuivering. Er zijn namelijk verschillen gevonden in het sediment tussen de meetgebieden en ook tussen meetperiodes. Aanbevolen wordt om hier nader onderzoek naar te doen.

3.3 Deeltjestellers

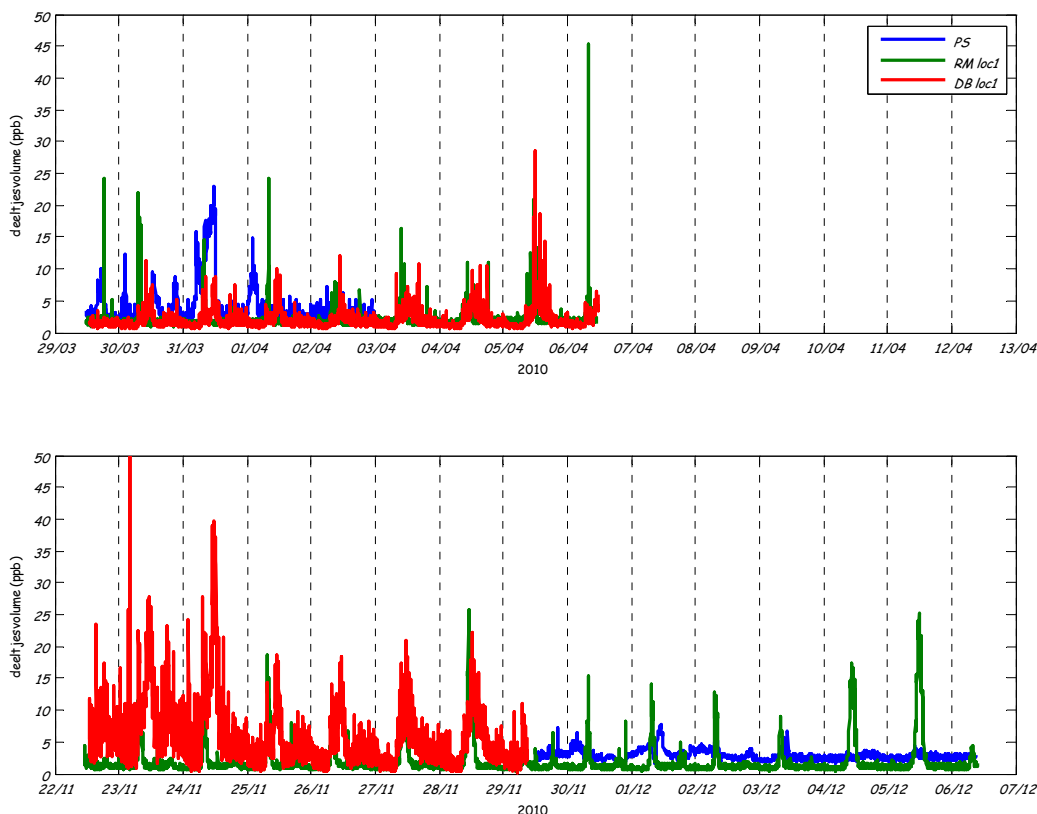
3.3.1 Resultaten – Brabant Water

In het voorzieningsgebied van WPB Nuland zijn zowel metingen in het transportleidingnet als in het distributienet gedaan. In Figuur 3-10 zijn de resultaten van de metingen op de transportleidingen weergegeven. Ter plaatste van de aansluitingen met de distributiegebieden is een regelmatig patroon te zien met hogere deeltjesvolumina tijdens de daguren en lagere in de nachturen. De pieken in de morgen op locatie Rosmalen zijn typisch het gevolg van opwerveling tijdens de piek in het verbruik in de ochtend. Als voorbeeld hiervan de periode van 9-11 tot en met 14-11-2010 (Zie onderste grafiek in Figuur 3-12). De pieken op de dagen 9-12 november (dinsdag tot en met vrijdag) beginnen rond 7.10 uur met een hoogste piek rond 7.40 uur, terwijl de piek op zaterdag 13 november rond 8.30 uur begint en de hoogste waarde heeft rond 10.20 uur; op zondag 14 november begint de piek om 9.00 uur en heeft een maximum rond 11.00 uur. De pieken op de overige locaties tijdens dezelfde meetperiode vertonen een gelijkvormig patroon op dezelfde tijdstippen en zijn dus niet het gevolg van transport door het systeem. Deze pieken volgen het typisch huishoudelijk verbruikspatroon in een woonwijk. Het is een lokaal veroorzaakte piek, hetgeen betekent dat het sediment dat opwervelt eerder is geaccumuleerd in het voorgaande traject. Dit voorgaande traject kan de leiding zijn die nu het gebied enkelvoudig voedt of de voedende transportleiding. Hoewel de snelheid in deze voedende leiding niet de zelfreinigende snelheid zal bereiken (een Ø300 mm die ongeveer 500 woningen voedt ervaart een dagelijkse maximale snelheid

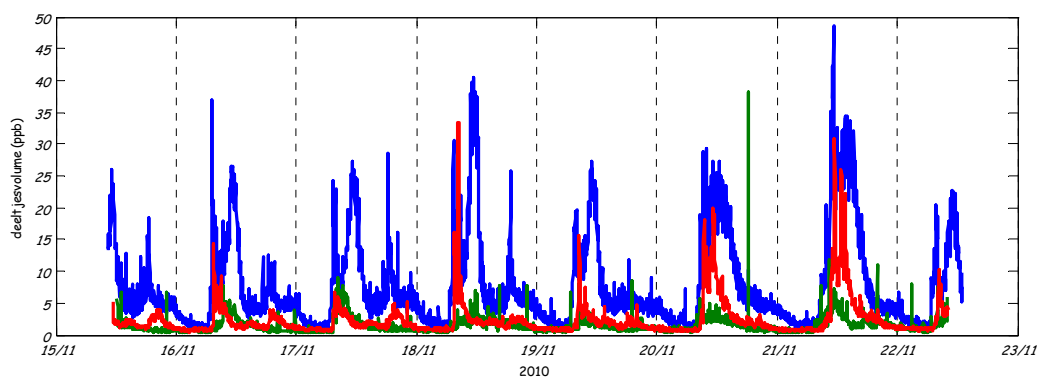
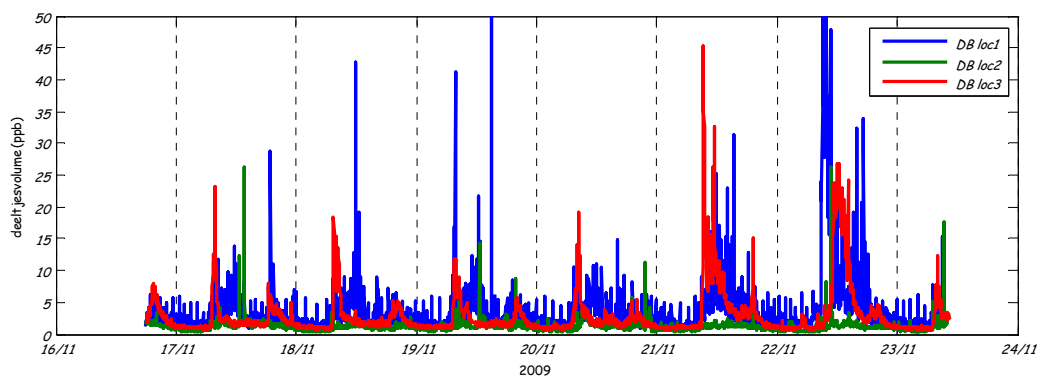
van 0,09 m/s) is de snelheid in deze leiding wel hoger dan normaal (in de situatie dat meerdere leidingen dit gebied voeden) als gevolg van de afsluiting.

Het patroon van deeltjesvolume in de voeding naar het gebied Den Bosch (Figuur 3-10) wijkt iets af van dat van de voeding naar Rosmalen. In de eerste periode is een regelmatig opwervingspatroon te zien dat duidt op enige opwerveling in het voedende traject afhankelijk van het verbruikspatroon. De pieken in Den Bosch zijn echter minder scherp en de waarden blijven langer verhoogd dan in Rosmalen. In de tweede periode (november 2010) is het patroon min of meer het gelijkvormig met het patroon van huishoudelijk verbruik. Als voorbeeld de periode 25-28 november 2010 (donderdag-zondag). De pieken op werkdagen beginnen rond 7.30 uur, maar de hoogste waarden worden tegen 10.00 uur bereikt. Op zaterdag en zondag begint de piek later en wordt ook de hoogste waarde later bereikt. De absolute waarde heeft nog geen grote betekenis, maar is duidelijk afwijkend van de eerdere waarden en ook van die van het pompstation. Gezien de periode van optreden (april na de winter en november na de zomer) heeft dit wellicht een biologische oorzaak. Naar aanleiding van deze metingen zijn vervolgmetingen uitgevoerd in een separaat project dat eenzelfde seizoensafhankelijkheid laat zien (Vreeburg 2012).

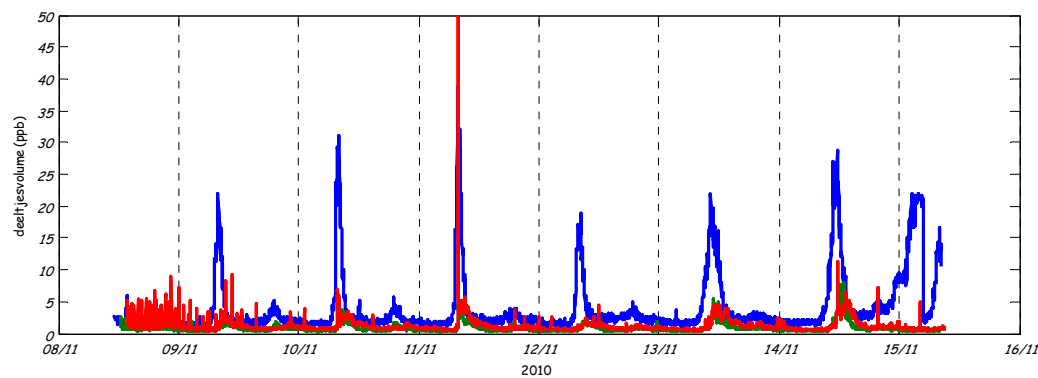
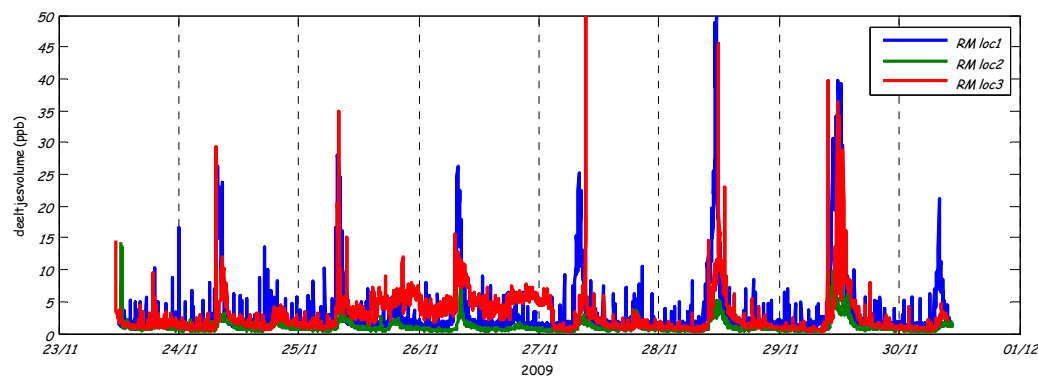
In beide gebieden is te zien dat er een belasting plaatsvindt van het leidingnet en dat de netto inbreng van deeltjes hoger is dan de metingen aangegeven in de periferie van het netwerk (Figuur 3-11, Figuur 3-12). In beide netten is te zien dat er opwervelbaar sediment aanwezig is, omdat de pieken in deeltjesvolumina nagenoeg gelijktijdig optreden. Dat betekent dat ze lokaal worden geïnitieerd en niet getransporteerd uit een bovenstroomse opwerveling. Het laat ook zien dat de voedende leiding een deeltjesbelasting levert en dat die min of meer verdwijnt in het leidingnet. Met andere woorden: het sediment accumuleert eerder in het traject (tussen locatie 1 en 2/3) en wervelt eventueel weer op bij hogere verbruiken.



Figuur 3-10. Deeltjesvolume op pompstation en transportleiding richting Den Bosch en Rosmalen in april 2010 en november 2010.



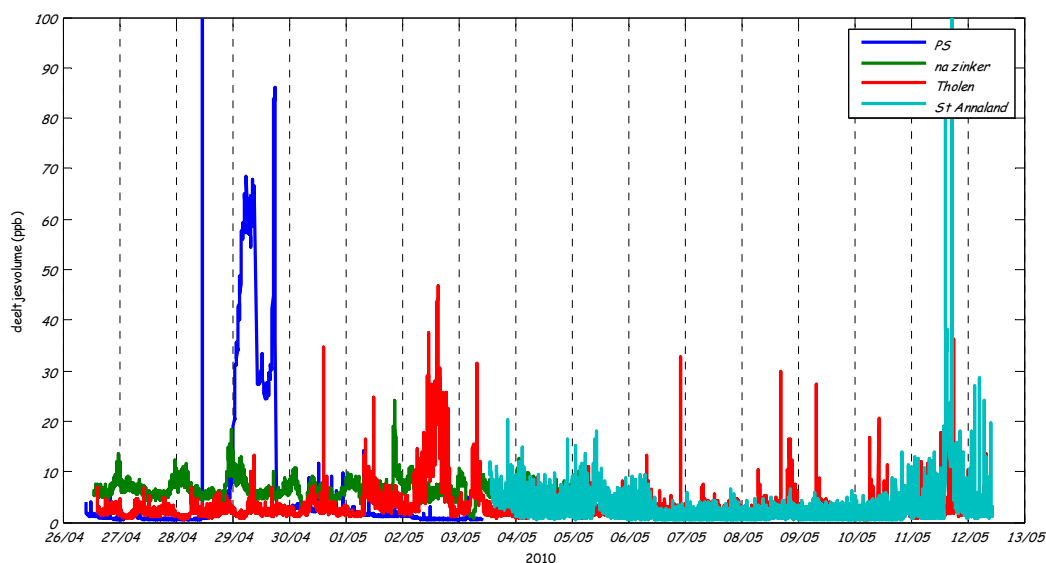
Figuur 3-11. Deeltjesvolume in Den Bosch in november 2009 en november 2010.



Figuur 3-12. Deeltjesvolume in Rosmalen in november 2009 en november 2010.

3.3.2 Resultaten – Evides

Bij Evides is in één periode in totaal op vier locaties gemeten. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 3-13. Wat opvalt is dat de metingen nagenoeg geheel onafhankelijk zijn van elkaar, er kunnen geen patronen worden herkend. Het meest opvallend is hierin de meting op het pompstation Halsteren op 28 en 29 april. De extreme waarden zijn niet terug te vinden in de metingen die verderop in het leidingnet plaatsvinden. Dat betekent wellicht dat de volledige deeltjesbelasting is ‘geconsumeerd’ in het traject tussen het pompstation en de zinker. Dat is niet onlogisch, zeker als in beschouwing wordt genomen dat het patroon na de zinker afwijkt van dat van het pompstation. Hoewel de invloed van een zinker nog niet eenduidig is vastgesteld, zou het kunnen dat deze invloed heeft op de locatie waar sediment accumuleert. Het patroon in de voeding naar Tholen staat ook min of meer op zichzelf, maar vertoont wel een deeltjesbelasting naar het gebied. Bijvoorbeeld op 2 mei is een hoge en langdurige piek te zien die niet direct correleert met enige andere meting. De voedingen naar St. Annaland en Tholen lijken op elkaar en laten beide een zekere deeltjesbelasting zien.



Figuur 3-13. Deeltjesvolumen op pompstation, na zinker richting Tholen, In Tholen en St. Annaland in mei 2010.

3.3.3 Resultaten – Vitens

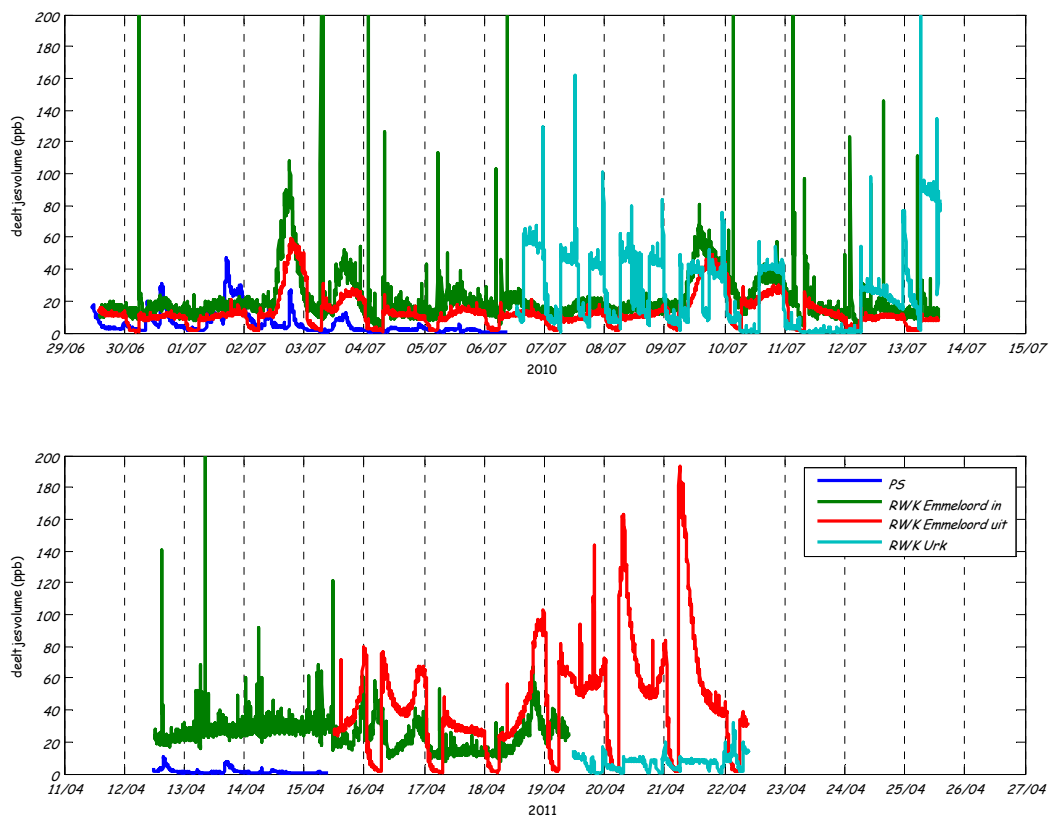
Bij Vitens is zowel in het transportleidingnet als in het distributieleidingnet gemeten. De meetgegevens van de transportleidingen zijn gegeven in Figuur 3-14 en die van het distributienet in Figuur 3-15. Het meest opvallend in deze metingen is de invloed van de kelders op de deeltjesvolumina. Het is niet meer te achterhalen hoe de patronen van vullen van de kelders precies zijn geweest.

Uit het deeltjesvolumepatroon (Figuur 3-14, periode 6 tot 13 juli 2010) van de leiding naar het reservoir Urk is te zien dat de kelder een invloed heeft op het deeltjesvolumen. De kelder van Urk is een balansreservoir (fill and draw) zonder meting van de volumestroom. In de nachturen wordt de kelder gevuld en in de daguren weer geleegd. Ook kan vulling in de loop van de middag en het begin van de avond plaatsvinden. Als dit vul-en-leeg-patroon ruwweg wordt aangehouden, betekent dit dat bij vulling het deeltjesvolumen laag is en in dezelfde orde als de metingen bij Emmeloord en het pompstation. Bij gebruik van de kelder als suppletie is te zien dat de deeltjesvolumina significant hoger zijn. Ook bij de kelder in Emmeloord is vooral in de tweede meting een dergelijk patroon te zien (Figuur 3-14 periode 15 tot 22 april 2011) met scherpe veranderingen in het deeltjesvolumen die optreden op tijdstippen dat het waarschijnlijk is dat de kelder wordt gevuld of geleegd. Dit duidt er mogelijk op dat tijdens de verblijftijd in de kelder het deeltjesvolumen in het drinkwater kan veranderen en in dit geval is toegenomen.

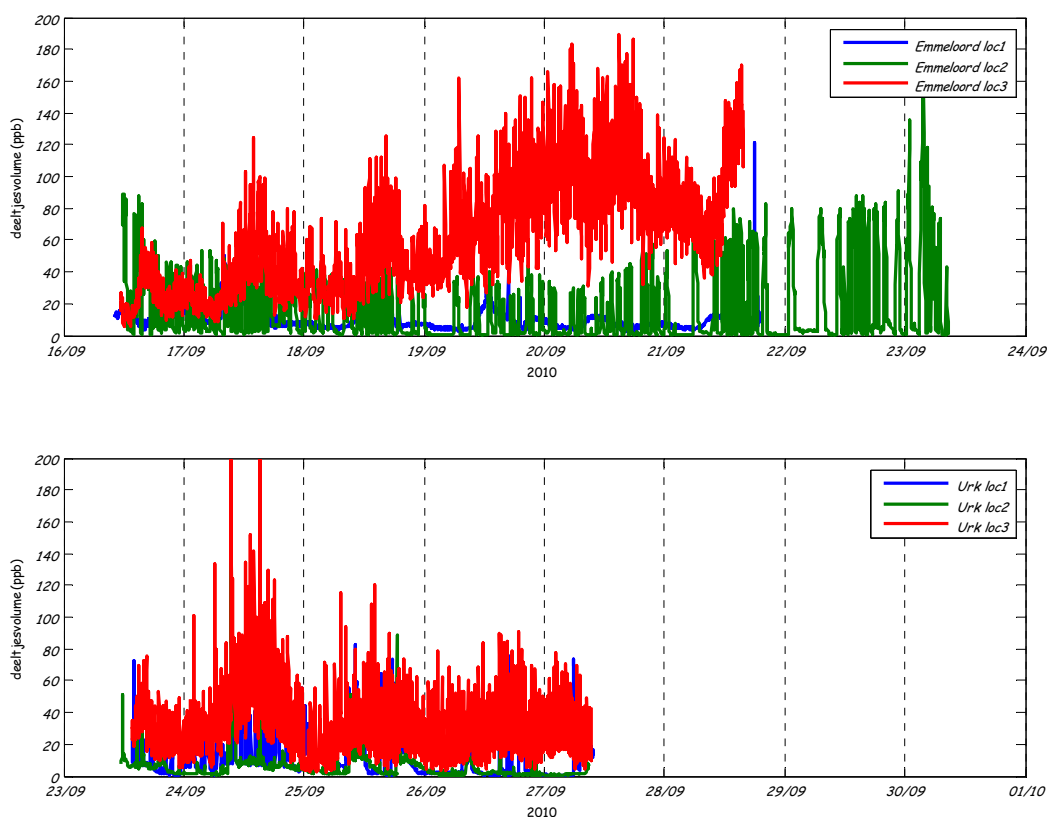
De metingen in het leidingnet (Figuur 3-15) duiden erop aan dat er een bijzondere stromingssituatie optreedt in zowel Urk als Emmeloord. Emmeloord locatie 2 heeft een patroon dat doet vermoeden dat er twee verschillende waterkwaliteiten gemeten worden: één met een heel laag deeltjesvolume en één met een veel hoger volume waarbij het patroon ook variabel is. Aangezien het water dat het gebied inkomt altijd langs locatie 1 moet, is het opvallend dat daar geen enkele variatie is te zien. Ook het patroon van de derde locatie is wat dat betreft moeilijk verklaarbaar, tenzij het geheel lokaal wordt opgewerveld. Er kunnen verschillende oorzaken zijn:

- De isolatie van het gebied is niet correct zodat er toch twee verschillende waterkwaliteit het net in kunnen komen.
- Er is in het net een deeltjesbron die het water belast met deeltjes zoals is te zien op locatie 3. Op locatie 2 komt afwisselend het water direct van de voeding en via de interne deeltjesbron.
- Het kan te maken hebben met meetfouten, maar gezien de consistentie en het optreden op verschillende locaties is dat niet aannemelijk.

De meting in Urk is ook opvallend: het inkomende water vertoont een sterk wisselend patroon, dat zich lijkt te versterken op locatie 3, maar dat niet aanwezig is bij locatie 2. Locatie 2 bevindt zich aan het einde van het leidingnet en een verklaring kan zijn dat het water daar voornamelijk stil staat omdat het het einde van een ringleiding is. Het sediment bezinkt dan voordat het bij locatie 2 is.



Figuur 3-14. Deeltjesvolume op pompstation, en voor en na reinwaterkelder in juli 2010 en april 2011.



Figuur 3-15. Deeltjesvolume in distributienet van Emmeloord en Urk in september 2009.

3.3.4 Discussie en aanbevelingen

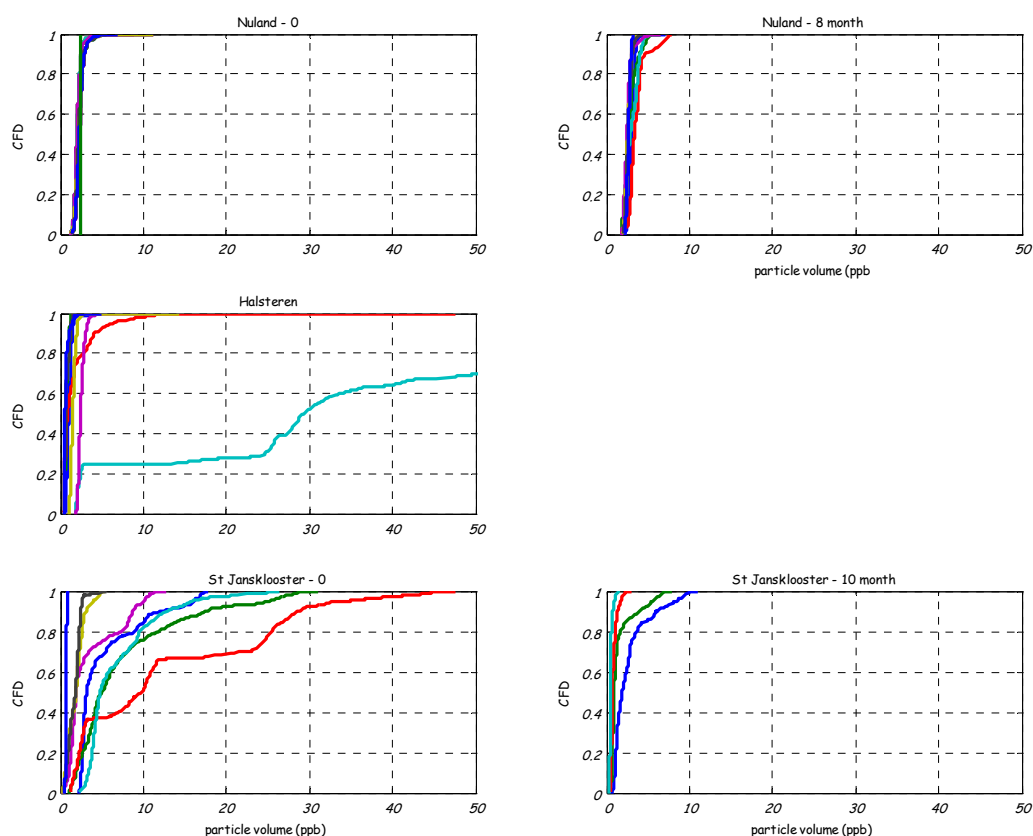
Op alle meetlocaties is een variatie in deeltjesvolume te zien over de meetperiode en ook tussen meetperioden (hoewel niet op alle locaties sprake was van meer dan één meetperiode). Dit leidt tot de vraag in hoeverre de meetperiode(n) van de deeltjestellers (enkele dagen) representatief is voor de onderzoeksperiode waarin het leidingnet tussen twee schoonmaakacties in (12 tot 15 maanden) de tijd had om te vervuilen. Om de representativiteit van de meetperiode nader te kunnen bekijken zijn de deeltjesvolumes op de pompstations in een cumulatieve frequentieverdeling per kalenderdag uitgezet in Figuur 3-16. Dit geeft het volgende beeld:

- De eerste meting op PS Nuland laat een heel stabiel beeld zien; de meting 8 maanden later wijkt licht af met meer variatie in deeltjesvolume.
- De meting op PS Halsteren laat zien dat één meetdag (29 april) sterk afwijkt van de andere dagen; onduidelijk is met welke frequentie dit verschijnsel optreedt. De verstoring is niet terug te vinden in de overige locaties, dus de deeltjes die de verhoging veroorzaken zijn verdwenen (afgevoerd of bezonken) voor de volgende meetlocatie.
- De eerste meting op PS St. Jans klooster laat veel variatie zien tussen de dagen en ook over de dag. De meting van 10 maanden later laat een veel stabiel beeld zien, terwijl er in principe nog geen wijziging is opgetreden in het productieproces.

De meetpatronen bevestigen het vermoeden dat zuiveringen niet altijd constant werken en dat regelmatig incidenten optreden die een hogere deeltjesbelasting tot gevolg hebben. De frequentie waarmee deze incidenten of afwijkingen optreden is niet duidelijk af te leiden uit de gemeten reeksen. Onduidelijk is hoe groot de kans is dat afwijkingen toevallig gemeten zijn in dit onderzoek.

Uit deze metingen is niet eenduidig af te leiden hoe representatief de verschillende meetdagen zijn en of er met een gemiddelde prestatie kan worden gewerkt. Een mogelijkheid om daar in de toekomst een

beter beeld bij te krijgen is de deeltjestellingen te vergelijken met de meer routinematig gemeten on-line troebelheid¹. De troebelheid wordt bij veel pompstations routinematig en in dit geval over de gehele vervuilingsperiode gemeten. Door de troebelheid tijdens de meetweek van de deeltjestellingen, zowel op pompstation als op het einde van de transportleiding, te vergelijken met de troebelheid van een langere periode is een conclusie te trekken over hoe afwijkend de meetweek is. Op basis van de gemeten troebelheid is het dan mogelijk om een uitspraak te doen in hoeverre de meetperiode van de deeltjestellingen representatief is (qua troebelheid) voor de gehele vervuilingsperiode. Tevens kan een analyse van het patroon uitsluitsel geven over de aard van de afwijkingen. Het is te verwachten dat hoge pieken een ander soort deeltjes bevatten dan lage pieken met mogelijk ook andere afzettings-eigenschappen; opgewerveld sediment bevat bijvoorbeeld relatief meer grote deeltjes dan het sediment tijdens de normale aanvoer (Vreeburg 2007, fig 3-13). Nadere studie van de deeltjesgrootteverdeling van zowel de pieken bij het pompstation als de pieken in het leidingnet kunnen hier informatie over geven. Aanbevolen wordt om bij toekomstige metingen de deeltjesgrootte te analyseren.



Figuur 3-16. Cumulatieve frequentieverdeling van het deeltjesvolume (ppb) per kalenderdag op de verschillende meetlocaties: pompstation Nuland 0-meting, pompstation Nuland meting 8 maanden later; pompstation Halsteren 0-meting; pompstation St. Jans klooster 0-meting; pompstation St. Jans klooster meting 10 maanden later.

Naast een cumulatieve frequentieverdeling kan de deeltjeslast ook uitgedrukt worden als een gemiddelde deeltjesvolume:

- Nuland 1^e meting: 2,25 ppb.
- Nuland 2^e meting: 2,58 ppb.
- Halsteren exclusief 29 april: 1,42 ppb.
- Halsteren inclusief 29 april: 5,76 ppb.

¹ Troebelheid en deeltjesvolumina hebben geen universele relatie, maar de metingen zijn wel op gelijkaardige wijze gemeten, namelijk met behulp van lichtdoorstraling. Bij troebelheid wordt de reflectie gemeten, bij deeltjestellingen de "schaduw" van de deeltjes.

- St. Jans klooster 1^e meting: 5,45 ppb.
- St. Jans klooster 2^e meting: 3,41 ppb.

Deze getallen geven hetzelfde beeld als de cumulatieve frequentieverdeling. Het gemiddelde deeltjesvolume is daarom mogelijk een parameter waarmee de deeltjeslast van het pompstation is te karakteriseren en is daarmee geschikt als (onderdeel van) een index voor de karakterisering van de distributiestabiliteit van het pompstation.

Omdat de deeltjeslast over de dag kan variëren moet voor het bepalen van de gemiddelde deeltjeslast eigenlijk gewogen worden over de volumestroom. Een hoge deeltjeslast tijdens de ochtendpiek draagt namelijk meer bij aan de vervuiling van het leidingnet dan een hoge deeltjeslast tijdens (nachtelijk) laag verbruik. Tijdens deze studie is de volumestroom niet gemeten op hetzelfde tijdsinterval als de deeltjestellingen; een weging van de deeltjeslast over de volumestroom is dus niet mogelijk.

Eerder onderzoek (Blokker en Beverloo 2008) heeft laten zien dat er een relatie is tussen de troebelheid en gemeten deeltjes; vooral de kleine deeltjes (tot 2 à 3 µm) bepalen de troebelheid. Mogelijk is dus niet alleen het totale deeltjesvolume maar ook de deeltjesgrootteverdeling van belang voor de distributiestabiliteit. Aanbevolen wordt om dit verder te onderzoeken.

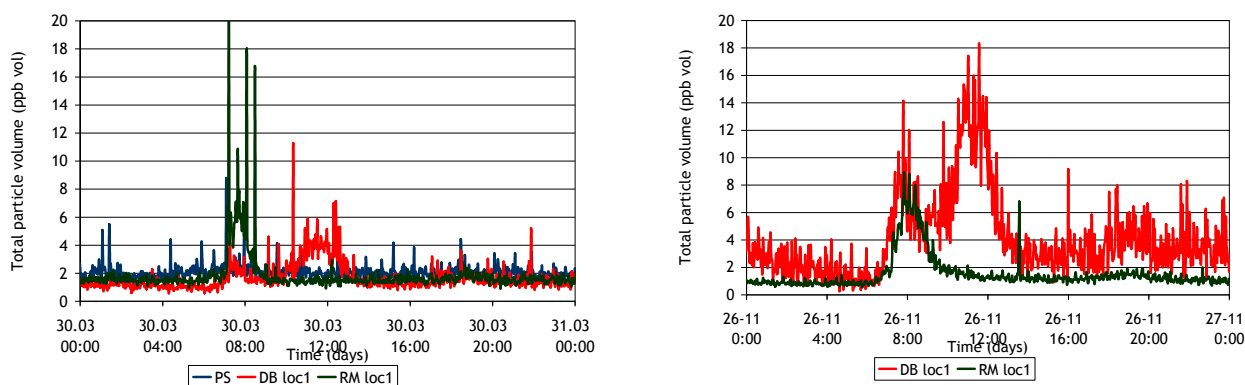
3.4 Case studies

Ieder deelgebied heeft een specifiek aandachtspunt gehad tijdens het onderzoek zoals samengevat in Tabel 2-3 en § 2.2.5. Per WPB worden de bijzonderheden kort toegelicht.

3.4.1 WPB Nuland

Het aandachtspunt bij WPB Nuland is de biologische stabiliteit. In eerder onderzoek is vastgesteld dat de biologische stabiliteit van het water relatief hoog is na menging van het drinkwater bereid uit het middeldiepe en drinkwater bereid uit het diepe grondwater (van Leerdam et al. 2011). In parallel onderzoek naar de zuivering is bekeken welke elementen in de zuivering verbeterd kunnen worden. Daarnaast kent het voorzieningsgebied een *Aeromonas*-probleem. Vooral in Den Bosch worden geregeld hoge gehalten aan *Aeromonas* aangetroffen.

Uit de eerste meetreeks die in maart/april 2010 is uitgevoerd, bleek dat er een regelmatig patroon is aangetroffen op de locatie waar het onderzoeksgebied Rosmalen is aangesloten op het transportleidingnet. Dit regelmatige patroon in pieken in de ochtenduren lijkt in eerste instantie te zijn terug te voeren naar een initiële piek bij WPB Nuland rond 6.00 uur in de morgen: het startmoment van het discontinu bedreven productieproces. Vervolgens is de piek ook op een later tijdstip aangetroffen bij de voeding van het onderzoeksgebied in Den Bosch (zie Figuur 3-1 en Figuur 3-2) wat de veronderstelling van het transport van een productiestartpiek op Nuland lijkt te bevestigen. De meting op het pompstation ontbreekt echter. Uit de metingen in Figuur 3-17 is het systeem van pieken op 30 maart nader te zien. De piek bij WPB Nuland is gering, maar vindt plaats op het opstartmoment; de piek bij Rosmalen lijkt voor wat betreft het tijdstip op een 'gewone' morgenpiek. Deze verhoging is maar in zeer geringe mate te zien bij de locatie Den Bosch in de meting in het voorjaar. In het najaar blijkt hetzelfde patroon waar te nemen (Figuur 3-17, rechtergrafiek) doch met hogere waarden. De 'tweede' piek bij Den Bosch lijkt in eerste instantie het gevolg van het transport van de ochtendpiek te zijn. Uit de tweede meting is de conclusie echter dat er ook een opwerfingspiek is.



Figuur 3-17 Detail van de metingen in het transportleidingnet van PS Nuland. Links de meting in het voorjaar (30 maart), rechts die in het najaar (26 november).

Uit de tweede set metingen blijkt bij Den Bosch een duidelijk hogere deeltjesbelasting te zijn ontstaan. Dit is daarna bevestigd in andere metingen (Vreeburg 2012). Het veronderstelde *Aeromonas*-probleem dat in hetzelfde onderzoek in kaart is gebracht (namelijk dat het *Aeromonas*-probleem zich lijkt te concentreren in het oude centrum van Den Bosch ten gevolge van het grote aandeel gietijzeren leidingen) blijkt niet te kloppen. Het aandeel van gietijzeren leidingen in dat centrum is door renovatie in de afgelopen jaren bovendien nagenoeg tot nul teruggebracht.

De discontinu bedreven zuivering is geïdentificeerd als meest waarschijnlijke oorzaak van de verhoogde bio(in)stabiliteit. De temperatuur heeft ook een invloed; het gaat dan waarschijnlijk meer om de temperatuur in het leidingnet dan de temperatuur af pompstation. Als maatregel is de bedrijfsvoering continu gemaakt over 24 uur en de metingen zullen worden herhaald om te bezien of een verschil kan worden geconstateerd.

Het absolute vervuilingniveau in de leidingnetten blijkt niet hoog te zijn; niet in de OPM metingen en niet in de analyses van de schoonmaakacties. Tijdens de uitvoering van de OPM bleek dat het protocol van de meting in eerste instantie 'vervuild' raakte doordat het spoelen van de brandkraan tegen het insluiseffect teveel invloed op de meting blijkt te hebben. Voor het schoonmaken van het leidingnet is vooraf een spuiprogramma gemaakt. Dit wijkt af van de gebruikelijke werkwijze binnen Brabant Water om ter plekke een programma te maken.

3.4.2 WPB Halsteren

De veronderstelling is dat er in het voorzieningsgebied van WPB Halsteren relatief veel gietijzer aanwezig is en dat dit samenhangt met verhoogde *Aeromonas*-aantallen. In eerste instantie is het de bedoeling geweest om ook gietijzeren leidingen in de onderzoeksgebieden mee te nemen, maar tegengesteld aan de verwachting blijkt ook hier dat een groot gedeelte van de gietijzeren leidingen in de loop van de tijd zijn vervangen.

De gekozen distributiegebieden liggen een eind uit elkaar om een mogelijk effect van de verblijftijd te kunnen vaststellen. Ook in deze gebieden bleek echter de vervuiling erg mee te vallen en bleek tevens ook het gehalte aan *Aeromonas* niet erg hoog. Bovendien bleek geen relatie tussen de hoeveelheid aangetroffen sediment en eventuele verhoogde *Aeromonas*-gehalten te bestaan. Er zijn voorlopig nog geen nadere maatregelen voorgenomen.

Het verschil in vervuiling tussen Tholen en St. Annaland is onverklaard. De deeltjestellers die op de voedende leiding naar de twee meetgebieden staan geven geen verschillen aan. Het verschil in vervuiling kan komen door verschillen in de leidingnetconfiguratie. Er zijn geen deeltjestellingen gedaan in de meetgebieden, dus dit kan niet verder worden onderbouwd.

3.4.3 WPB St. Jans klooster

In het voorzieningsgebied van St. Jans klooster bleek vooral het effect van de kelders significant te zijn. Het is echter niet mogelijk gebleken om precies vast te stellen hoe de bedrijfsvoering van het pompstation was tijdens de metingen. Ook zijn er tijdens de metingen acties uitgevoerd die niet volledig zijn gecommuniceerd en gedocumenteerd. Zo is de kelder bij Emmeloord tijdens de meetperiode schoongemaakt, zonder dat er gegevens van deze actie zijn vastgelegd. Na het schoonmaken wordt echter een hoger deeltjesvolume gemeten dan de kelder verlaat.

Na afloop van de meetperiode is de zuivering op WPB St. Jans klooster aangepast. Er is nu een goede nulmeting van de vervuilingssnelheid van zowel Emmeloord als Urk uitgevoerd. Na het in gebruik nemen van de nieuwe zuivering, kan het experiment na ongeveer een jaar worden herhaald en kan de vervuilingssnelheid worden vergeleken met de eerder gemeten waarde. De vervuilingssnelheid van de beide gebieden was echter al de laagste van de onderzochte gebieden, zodat verbetering aan de deeltjeslast af pompstation waarschijnlijk niet veel zal opleveren. Om de invloed van de transportleiding te beperken is het aan te bevelen om deze ook eerst schoon te maken.

4 Algemene discussie

4.1 Maat voor distributiestabiliteit van het pompstation

Als maat voor de distributiestabiliteit is in dit onderzoek de gemiddelde deeltjesbelasting af pompstation gebruikt. Deze maat wordt bepaald door de metingen van de deeltjestellers naar een gemiddeld deeltjesvolume om te rekenen; de eenheid is ppb. De gemiddelde deeltjesbelasting is niet gewogen over de volumestroom. De deeltjesbelasting blijkt in de verschillende dagen en periodes niet constant te zijn, waardoor het niet mogelijk is om een algemene aanduiding te geven van de distributiestabiliteit op basis van deeltjestellingen alleen. Deeltjestellingen zijn relatief bewerkelijk en het is bovendien een gevoelige techniek. Als alternatief daarvoor kan troebelheid gemeten worden. Daardoor is het mogelijk langere meetreeksen te vervaardigen en te bepalen in welke mate het patroon van de deeltjesproductie stabiel is omdat er voor specifieke watertypen wel een relatie is tussen deeltjesvolume en troebelheid. Troebelheidsmetingen kunnen dan ook dienen om vast te stellen in hoeverre de meetperiode van de deeltjestellers representatief is.

In dit onderzoek is de samenstelling van de deeltjes af pompstation niet geanalyseerd. Er is wel een analyse gedaan van het sediment in spuismonsters uit de distributienetten. Gekeken is naar het aandeel organische stof, ijzer en mangaan en er is een aantal biologische parameters bepaald. Hierbij zijn verschillen gevonden tussen de voorzieningsgebieden, maar onduidelijk is in hoeverre deze variatie wordt veroorzaakt door de waterkwaliteit van het pompstation.

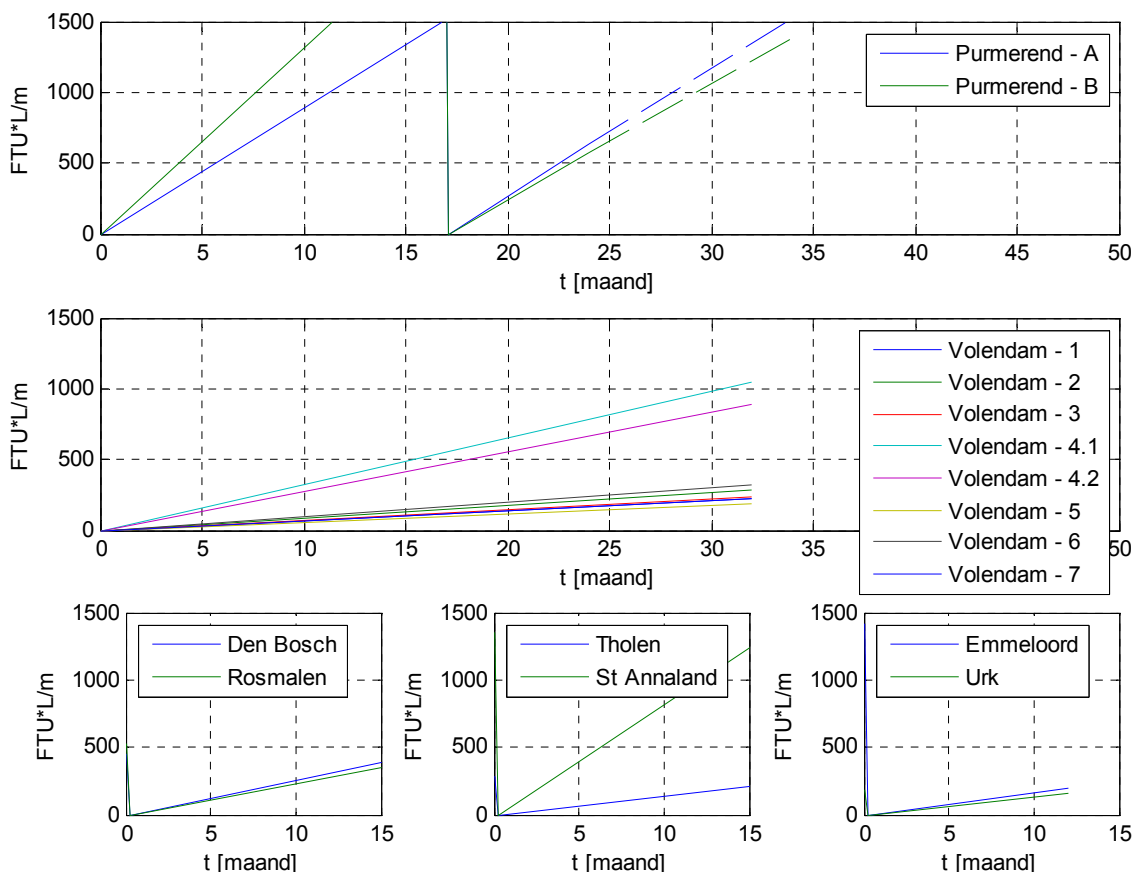
Er is niet gekeken naar de grootte van de deeltjes of de relatieve massa. In de maat voor de distributiestabiliteit van het pompstation kan dus (nog) geen rekening worden gehouden met de aard van de deeltjes.

In een verdiepingsslag kan nog nader worden onderzocht in hoeverre de samenstelling van pieken eventueel afwijkt van de normale productie en of er dus door de accumulatie van deeltjes een verandering optreedt in de aard en samenstelling van het sediment en mogelijk ook van de deeltjesgrootteverdeling. Dit kan meer inzicht opleveren in de accumulatie van sediment in en daarmee het bruinwaterisico van leidingnetten.

4.2 Maat voor vervuiling van het leidingnet

De hervervuilingssnelheid (in FTU · L/m · maand) is een goede maat om de hervervuiling van een leidingnet te karakteriseren. De bepalingsmethode is relatief eenvoudig en robuust. Naast de meetgebieden van deze studie is ook een aantal spuieresultaten van PWN (2 wijken in Purmerend, zie ook (Blokker en Schaap 2011), en 8 wijken in Volendam) geanalyseerd, zie Figuur 4-1. De figuur leidt tot de volgende constatering:

- Wat direct opvalt, is dat de wijken in Purmerend een veel hogere vervuilingssnelheid hebben dan de andere meetgebieden. In de gebieden in Purmerend is de hogere vervuiling in 2008 ook vastgesteld met het aantal klachten en een significant hogere waarde van de OPM. De meetgebieden in het voorliggende onderzoek vervuilden niet sterk. De verminderde representativiteit van de OPM-metingen komt daarmee in een ander daglicht te staan. De meetnauwkeurigheid van de methode is wellicht te grof om de nuances in lichte vervuiling te kunnen appreciëren. De OPM is dan meer geschikt als indicatie om de noodzaak voor schoonmaken vast te stellen dan om de effecten van verschillende maatregelen te analyseren.
- Wat daarnaast opvalt, is dat meetgebieden waarvan ingeschat was dat ze zeer vergelijkbaar waren in werkelijkheid een heel andere vervuilinggraad kennen. Dit geldt voor wijk A en B in Purmerend (Blokker en Schaap 2011), maar ook voor wijk 4 en de overige wijken in Volendam (Figuur 4-1). Naast de ingaande waterkwaliteit is dus ook de leidingconfiguratie bepalend voor de vervuiling van een leidingnet. Hoewel er is gestreefd naar vergelijkbare gebieden kan een meetgebied niet zonder meer als referentie voor een ander meetgebied gebruikt worden. Een meetgebied laat wel een herhaalbaar vervuilingpatroon over de tijd zien (wijk A in Purmerend laat dit zien) en kan dus wel als referentie voor zichzelf worden gebruikt.



Figuur 4-1. Hervervuiling van de meetgebieden van PWN en van deze studie op basis van de gemeten troebelheid tijdens spuien.

Er is niet specifiek gekeken naar de distributiestabiliteit van zelfreinigende leidingnetten, omdat daar verondersteld kan worden dat er geen sediment zal accumuleren, ongeacht de watersamenstelling. Uit deze studie blijkt dat er binnen conventionele leidingnetten significante verschillen kunnen optreden. Waar die verschillen door worden veroorzaakt is op het eerste gezicht niet duidelijk. Metingen in Purmerend (Blokker en Schaap 2011) doen vermoeden dat sedimentaccumulatie in de leidingnetten steeds op ongeveer dezelfde plekken plaatsvindt. Daaruit is af te leiden dat dat het proces niet geheel willekeurig is, maar in zekere mate reproduceerbaar. Verder is aannemelijk (fig 4-1 en fig 7-8 in Blokker 2010) dat op locaties in het distributienet waar regelmatig hoge snelheden optreden (dagelijks maximum > 0,25 m/s) er geen of zeer geringe sedimentaccumulatie plaatsvindt.

4.3 Relatie tussen distributiestabiliteit van het pompstation en vervuiling van het leidingnet

De vervuilingssnelheid (in $\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m} \cdot \text{maand}$) kan worden uitgezet tegen de distributiestabiliteit (als gemiddelde deeltjesbelasting). Tabel 4-1 vat de getallen samen uit het onderzoek in dit rapport. Tevens zijn ook de waarden van eerdere metingen in Franeker (Vreeburg 2007) bepaald. Figuur 4-2 laat voor de voorzieningsgebieden de relatie zien tussen vervuilingssnelheid en deeltjesbelasting af pompstation. De grafiek laat zien dat het betrouwbaarheidsinterval van de vervuilingssnelheid heel groot kan zijn; twee wijken kunnen bij gelijke ingaande waterkwaliteit een andere vervuilingssnelheid hebben door verschillen in de leidingnetconfiguratie. Het betrouwbaarheidsinterval van de deeltjesbelasting van WPB Halsteren is heel groot; dit interval kan verkleind worden door een langere periode te meten. In combinatie met troebelheidsmeters kan worden ingeschat of de meetperiode van de deeltjestellers representatief is. Zonder statistische onderbouwing kan worden geconcludeerd dat hoe hoger de gemiddelde deeltjesbelasting is, hoe sneller een leidingnet vervuult. De onzekerheidsmarges zijn wel zeer groot.

De vervuilingssnelheid van het Franeker-onderzoeksgebied kent de laagste vervuilingssnelheid. Dit gebied is gevoed door water dat in situ een nabehandeling heeft gekregen door een ultrafiltratiestap (UF). Het water is hier nagenoeg deeltjesvrij zoals ook blijkt uit de gemiddelde deeltjesbelasting (Tabel 4-1). Deze deeltjesbelasting kan als ondergrens wordt beschouwd, en daarmee kan de hier vastgestelde vervuilingssnelheid ook als laag worden beschouwd. In het Franeker-referentiegebied met een tien maal zo hoge deeltjesbelasting is de vervuilingssnelheid vijf maal zo hoog als in het onderzoeksgebied. In het gebied van Volendam is bij een gelijke ingaande waterkwaliteit ook een factor vijf verschil in sedimenthoeveelheid vastgesteld (Figuur 4-1). Het verschil tussen het onderzoeksgebied en het referentiegebied in Franeker kan mogelijk deels worden verklaard door verschillen in het leidingnet.

In het proces van St Jans klooster is gedurende de analyseperiode kennelijk iets gebeurd wat resulteert in een lagere deeltjesbelasting (zoals uit de metingen blijkt in Figuur 3-15). Uit de metingen in de leidingnetten blijkt niet eenduidig dat een lagere deeltjesbelasting af pompstation ook tot een lagere vervuilingssnelheid van het leidingnet leidt:

- De vervuiling van het leidingnet in Urk in de nul-meting en de effectmeting laten geen duidelijk verschil zien.
- In het gebied van Emmeloord is wel een effect zichtbaar van de verandering van de deeltjesbelasting af pompstation.

De absolute vervuiling van het leidingnet in Urk tijdens de nulmeting verschilt niet veel van die tijdens de effectmeting. De vervuilingssnelheid is laag ($16,9 \text{ FTU} \cdot \text{L}/\text{m} \cdot \text{maand}$) zeker in vergelijking met de laagst haalbare zoals in het onderzoeksgebied in Franeker is gemeten. Dit suggereert dat in dit gebied de vervuilingssnelheid niet veel kan lager worden en dus het effect van een betere ingaande waterkwaliteit ook niet goed meetbaar zal zijn. Daarom moet extra aandacht worden geschonken aan het aanvoertrajec; dat moet ook gespuid worden voor de metingen beginnen. In het gebied van Emmeloord wordt in de nulmeting een hogere absolute vervuiling gevonden dan bij de meting na 1 jaar (ongeveer 6 maal zo hoog). De vervuilingssnelheid tijdens de meetperiode, met het nieuwe proces, is in dezelfde orde van grootte als die van Urk. Deze lagere vervuilingssnelheid wordt hoogst waarschijnlijk veroorzaakt door de vermindering van de deeltjesbelasting van het pompstation. Hier is niet uit te sluiten dat het schoonmaken van de kelder een gunstig effect heeft gehad; dit komt ook neer op een vermindering van de deeltjesbelasting van het net gezien de meting weergegeven in Figuur 3-14. De aanvoerleiding tussen kelder en distributienet is niet schoongemaakt en eventuele vervuiling van het leidingnet kan dus ook komen door sediment uit de aanvoerleiding. De conclusie dat vermindering van deeltjesbelasting leidt tot een lagere vervuiling van het leidingnet is niet eenduidig te trekken. Een richtwaarde voor de gemiddelde deeltjesbelasting kan niet worden bepaald, maar het terugbrengen tot nagenoeg deeltjesvrij water ten opzichte van een reeds geringe belasting lijkt niet veel "extra" minder vervuiling op te leveren.

Figuur 4-3 (en Tabel 4-2) laat voor de verschillende meetgebieden de relatie zien tussen vervuilingssnelheid en ingaande deeltjesbelasting (gemeten op de transportleiding of de 1^e meetlocatie in het net). Er is telkens maar één vervuilingssnelheid gemeten; in sommige meetgebieden zijn twee meetperiodes met deeltjestellers geweest en in sommige slechts één. Uit dit plaatje is geen duidelijke relatie tussen deeltjesbelasting en vervuilingssnelheid vast te stellen. Het feit dat de deeltjesbelasting niet gewogen is over de volumestroom kan voor het leidingnet belangrijker zijn dan voor de deeltjesbelasting af pompstation; de grafieken van gemeten deeltjesvolume laten op pompstation kleinere variatie zien dan in de meetgebieden met een duidelijke piek in deeltjesvolume tijdens de ochtendpiek (§ 3.3.1-3.3.3). Daarnaast zijn de metingen in Urk en Emmeloord na de kelder, en niet op een transportleiding, gedaan waardoor een vertekend beeld kan ontstaan. Er kan namelijk in de transportleiding na de kelder sediment geaccumuleerd zijn dat het leidingnet niet bereikt.

Ook geven metingen met deeltjestellers op transportleidingen mogelijk een vertekend beeld. In eerder onderzoek is vastgesteld dat metingen op transportleidingen andere resultaten geven afhankelijk van waar in de leiding wordt gemeten. Er is stratificatie geconstateerd; de hoogste troebelheid wordt onderin de leiding gemeten (Schaap en Kivit 2007). Met deeltjestellers is dit verschil nog niet zo duidelijk vastgesteld. Er zijn echter alleen metingen met behulp van een steeklans vergeleken tussen middenin de leiding en onderin; de resultaten zijn niet vergeleken met metingen bovenaan de leiding (rapport over

onderzoek in Zeewolde, nog te verschijnen). De deeltjestellers in dit onderzoek onttrekken het water van bovenaan de leiding. Op het pompstation is dit verschil waarschijnlijk minder van belang omdat direct na de pompen nog sprake is van volledige menging en de deeltjesconcentratie onderin en bovenin de leiding gelijk is. In het distributienet is het verschil waarschijnlijk ook minder van belang doordat er op leidingen met relatief kleine diameters is gemeten waar veel minder sprake is van stratificatie. De metingen in Figuur 4-3 zijn op verschillende leidingdiameters gedaan. Het is aan te bevelen om de meting met deeltjestellers op transportleidingen nader te onderzoeken.

Tabel 4-1. Gemiddelde deeltjesbelasting af pompstation (§ 3.3.4) in verschillende meetperiodes en vervuilingssnelheid (§ 3.1.2) van verschillende meetgebieden.

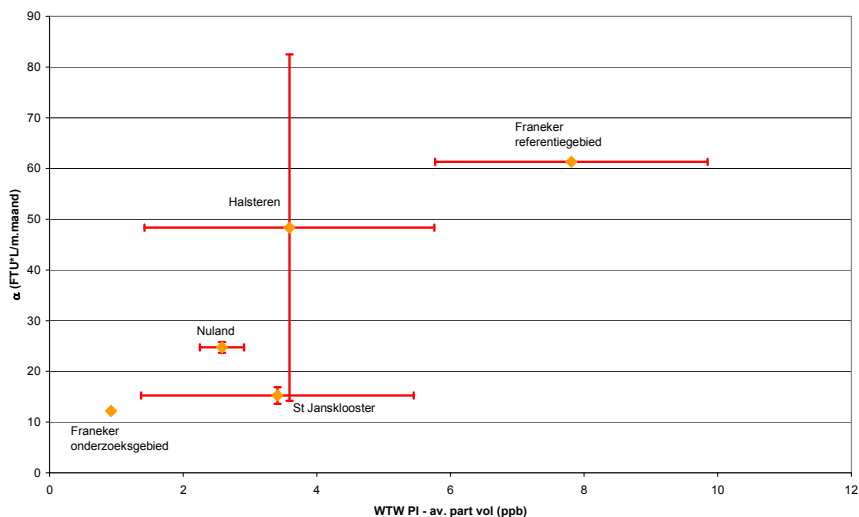
meetlocatie	gem. deeltjesbelasting (ppb)		opmerkingen	vervuiling (FTU · L/m · maand)		opmerkingen
	meting 1	meting 2		meting A	meting B	
Nuland	2,25	2,91	1: maart 2010 2: nov 2010	23,7	25,8	A: Rosmalen B: Den Bosch
Halsteren	1,42	5,76	1: excl. 29 april 2: incl. 29 april	14,2	82,5	A: Tholen B: St. Annaland
St. Jansklooster	5,45	1,37	1: sep 2010 2: april 2011	13,6	16,9	A: Emmeloord B: Urk
Franeker - referentiegebied	9,85*	5,77*	1: april 2006 2: okt 2006	61,3		
Franeker - onderzoeksgebied	0,92*	0,55*	1: maart 2006 2: okt 2006	12,2		

* pg 45-48 (Vreeburg 2007)

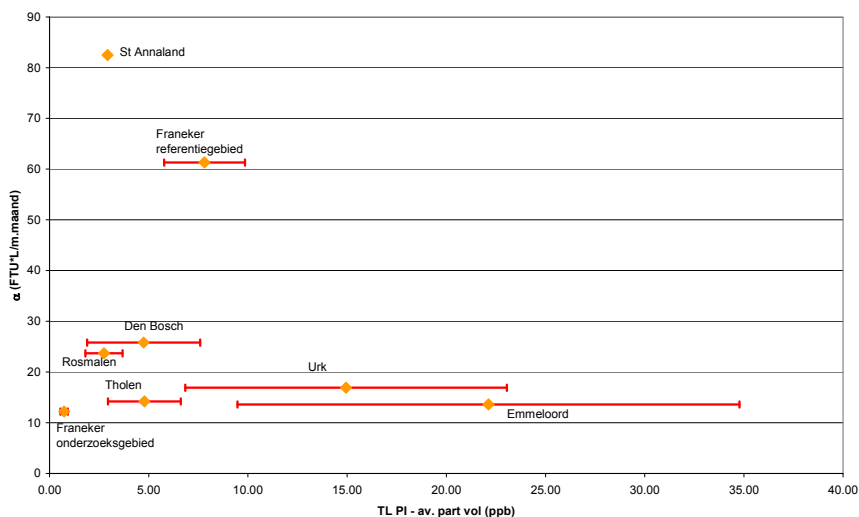
Tabel 4-2. Gemiddelde deeltjesbelasting af transportleiding in verschillende meetperiodes en vervuilingssnelheid (§ 3.1.2) van verschillende meetgebieden.

meetlocatie	gem. deeltjesbelasting (ppb)				opmerkingen	vervuiling (FTU · L/m · maand)
	meting 1	meting 2	meting 3	meting 4		meting
Rosmalen, loc. 1	2,09	1,81	3,93	3,14	1: nov 2009 2: maart 2010 3: nov 2010 4: nov 2010	23,7
Den Bosch, loc. 1	1,90	5,63	3,64	7,81	1: nov 2009 2: maart 2010 3: nov 2010 4: nov 2010	25,8
Tholen	6,62	2,94			1: april 2010 2: mei 2010	14,2
St. Annaland	2,93				1: mei 2010	82,5
Emmeloord, SR output en loc. 1	12,83	44,08	9,47		1: juni 2010 2: april 2011 3: sep 2010	13,6
Urk, SR input / output en loc. 1	26,28	6,84	11,72		1: juni 2010 2: april 2011 3: sep 2010	16,9
Franeker - referentiegebied	9,85*	5,77*			1: april 2006 2: okt 2006	61,3
Franeker - onderzoeksgebied	0,92*	0,55*			1: maart 2006 2: okt 2006	12,2

* pg 45-48 (Vreeburg 2007)



Figuur 4-2. Vervuilingssnelheid ($FTU \cdot L/m \cdot maand$) versus gemiddelde deeltjesbelasting af pompstation.



Figuur 4-3. Vervuilingssnelheid ($FTU \cdot L/m \cdot maand$) versus gemiddelde deeltjesbelasting aan het begin van de wijk/eind van de transportleiding.

Omdat al vastgesteld is dat een gebied niet zonder meer dienst kan doen als referentiegebied voor een ander gebied, is het moeilijk om conclusies te trekken uit Figuur 4-2 en Figuur 4-3. Er moet rekening gehouden worden met de invloed van de leidingnetconfiguratie en hydraulische omstandigheden op de vervuilingssnelheid. Dit kan worden gedaan door referentiemetingen in het zelfde leidingnet uit te voeren als waar de effectmetingen worden gedaan. Dan kan beter worden vastgesteld of er werkelijk een relatie is tussen de distributiestabiliteit af pompstation (of aan het eind van de transportleiding) en de vervuiling van het leidingnet. Het verschil in vervuiling van een leidingnet ten gevolge van de leidingnetconfiguratie kan niet eenvoudig met deeltjestellers worden vastgesteld; er zouden dan veel deeltjestellers in het net moeten worden geplaatst.

De relatie tussen de waterkwaliteit af pompstation c.q. de distributiestabiliteit en de daadwerkelijk optredende vervuiling van het leidingnet blijkt af te hangen van de leidingnetconfiguratie en waarschijnlijk ook van de optredende snelheden of kleine onregelmatigheden in de leidingen zoals zinkers en aanboringen. In schijnbaar vergelijkbare gebieden treedt een verschil op in accumulatie van sediment. Ook in één gebied is de accumulatie niet uniform verdeeld over de leidingen. Door de

“distributiestabiliteit” als een eigenschap van een pompstation te definiëren wordt gesuggereerd dat er een maat is voor de distributiestabiliteit die niet afhankelijk is van deze invloeden in het leidingnet, maar door alleen de waterkwaliteit wordt bepaald. Deze eigenschap zou dan gemeten moeten worden met behulp van een nog te ontwikkelen meetinstrument dat het proces in het leidingnet op een uniforme wijze nabootst. Een voorbeeld van een dergelijk meetinstrument is de biofilmmonitor. Hiermee wordt de biofilmvormingssnelheid (BVS) in een modeldistributienet bepaald; deze wordt uitgedrukt in de hoeveelheid ATP gevormd op een glazen verticaal doorstroomde buis per tijdseenheid. De BVS is een maat voor de biologische stabiliteit van het water, de BVS voorspelt niet de daadwerkelijk te vormen hoeveelheid biofilm in de leidingen. Een meetinstrument voor een distributienet dat de sedimentaccumulatie nabootst heeft als belangrijk nadeel dat de hydraulische processen niet op schaal zijn te simuleren. Door het verkleinen van de leidingen, veranderen de hydraulische processen, waardoor een representatieve weergave van omstandigheden in een leiding niet mogelijk is. De meest betrouwbare manier om de effecten van aanpassingen in de zuivering op de vervuiling van het leidingnet te meten is metingen te verrichten in een geïsoleerd gedeelte van een bestaand leidingnet en dit goed te controleren.

Tevens kan het ook zo zijn dat door microbiologische activiteit van het water het sediment toeneemt in de transportleiding of het distributienet. Hierdoor kan de interpretatie van figuren zoals Figuur 4-2 en Figuur 4-3 lastig zijn omdat niet op voorhand bekend is hoeveel deeltjestoename er is in de verschillende metingen. De relatie tussen de vervuiling van een leidingnet en de BVS moet nader onderzocht worden.

4.4 Effect van deeltjes op de drinkwaterinstallatie

Het beperken van sedimentaccumulatie in het leidingnet kan bereikt worden door tijdig de deeltjes te verwijderen (spuien), door te zorgen dat deeltjes niet bezinken (zelfreinigend net) of door te zorgen dat deeltjes het net niet inkomen (zuivering optimaliseren). Deze maatregelen zijn effectief in de gehele bron tot tap benadering en eerder gepresenteerd als de ‘drietrapsraket’. In het geval van spuien of verbeteren van de zuivering wordt voorkomen dat deeltjes naar de drinkwaterinstallatie worden getransporteerd. In het geval van zelfreinigende leidingen wordt dit juist nagestreefd. Zelfreinigende leidingnetten leiden tijdens normale operatie tot een grotere deeltjesbelasting van de drinkwaterinstallatie dan niet-zelfreinigende netten.

Een goed ontworpen drinkwaterinstallatie is ook een zelfreinigend “net”. In de leidingen in de drinkwaterinstallatie treden voldoende hoge snelheden op (1,5 tot 2,0 m/s) en met één toiletspoeling is de hele leidinginhoud in een woning al ververs. Een standaard eengezinswoning heeft een installatie met een gemiddelde inhoud van 8 tot 10 liter water. In een drinkwaterinstallatie wordt de verblijftijd daardoor in hoge mate bepaald door de periodes tussen waterverbruiksmomenten. Op het moment dat er verbruik is, is de snelheid in het betreffende deel van de drinkwaterinstallatie hoog genoeg om alle losse deeltjes op te wervelen en te verwijderen. Dat betekent dat de hoeveelheid deeltjes die in een binnenleiding kan accumuleren maximaal gelijk is aan de hoeveelheid deeltjes die zich in één leidinginhoud bevinden. Een uitzondering daarop is het opslagvat in de warmwatervoorziening. Afhankelijk van de vormgeving van een dergelijk vat, vooral van de locatie en vormgeving van de uitgaande leiding, kan hier accumulatie optreden. Ook voor warmwaterverbruik geldt echter dat met het verbruik de desbetreffende leiding wordt ververs met een voldoende hoge snelheid. Nader onderzoek naar de hydraulica in de drinkwaterinstallatie is door toepassing van SIMDEUM goed mogelijk en zal inzicht geven in verblijftijden en snelheden in de binnenleidingen.

De ontwikkeling van een biofilm in de drinkwaterinstallatie is een niet nader onderzocht fenomeen. De invloed van deeltjes op de biofilm in de drinkwaterinstallatie is onbekend.

5 Conclusies

5.1 Algemene conclusies

Op basis van de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden geformuleerd:

- Maat voor de vervuiling van het leidingnet:
 - De vervuiling van het leidingnet wordt gemeten door het leidingnet volledig te spuien en hierbij de troebelheid en volumestroom kwantitatief te bepalen. De vervuiling wordt uitgedrukt in de eenheid $\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m}$ (troebelheid-liter per meter). Eventueel kan de eenheid troebelheid-liter worden omgezet in gram sediment aan de hand van een relatie tussen troebelheid en sedimentconcentratie.
 - Het opwerelingsrisico wordt vastgesteld door de OPM op een aantal plaatsen in het leidingnet uit te voeren. In de praktijk hanteren waterbedrijven verschillende richtwaarden voor de gemiddelde OPM als een kritische grens voor een aanvaardbaar bruinwaterrisico. Ook worden verschillende meetdichtheden (bijvoorbeeld 1 per 10 of 20 km) gebruikt.
- Vervuilingssnelheid van het leidingnet:
 - De vervuilingssnelheid van het leidingnet is vastgesteld in een specifiek gedeelte van het leidingnet dat tijdens de meting slechts door één leiding werd gevoed. Het meten van de vervuilingssnelheid bestaat uit de volgende meetreeks: de eerste meting is tijdens het schoonmaken van dit gedeelte van het leidingnet. Na verloop van een bepaalde tijd wordt dit gedeelte van het leidingnet weer schoongemaakt en gemeten. Op basis van de resultaten wordt de gemiddelde vervuiling vastgesteld in $\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m}$ (of gr/m). De vervuilingssnelheid wordt verondersteld lineair te zijn en berekend over de periode tussen de beide metingen. De enkele voeding is geen voorwaarde voor het bepalen van de vervuilingssnelheid van een leidingnet.
 - De vervuilingssnelheden die zijn gemeten in dit onderzoek bevinden zich in de range van 13,6 tot 82,5 $\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m} \cdot \text{maand}$. In eerder onderzoek zijn waarden van 12,2 en 61,3 $\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m} \cdot \text{maand}$ vastgesteld, waarbij de laagste waarde is bepaald in een gebied gevoed door deeltjesvrij water.
- Distributiestabiliteit
 - De distributiestabiliteit van het water af pompstation is een prestatie-indicator die mede de vervuilingssnelheid van het leidingnet bepaalt. Deze prestatie-indicator is van verschillende factoren afhankelijk, waaronder minimaal de waterkwaliteit en de deeltjesamenstelling van het drinkwater af pompstation, de geometrie en lay-out van het leidingnet en de dagelijks optredende maximale snelheid in de distributieleidingen.
 - Er is (nog) geen prestatie-indicator beschikbaar die de distributiestabiliteit van het drinkwater eenduidig vastlegt. Het meest geschikt als prestatie-indicator lijkt de gemiddelde deeltjesvolumeconcentratie bepaald over een termijn van minimaal een week. Er is nog geen richtwaarde voor een goede waarde voor de gemiddelde deeltjesvolumeconcentratie.
- Invloed van de distributiestabiliteit op de vervuilingssnelheid van het leidingnet.
 - Het verminderen van de deeltjesbelasting heeft een effect op de vervuilingssnelheid van een leidingnet. Hoewel de relatie niet eenduidig is vastgesteld is de aanwijzing sterk. Een richtwaarde voor de absolute deeltjesbelasting is nog niet gevonden. Het distribueren van nagenoeg deeltjesvrij water heeft nauwelijks meerwaarde wanneer de vervuilingssnelheid van een leidingnet al heel laag is, bijvoorbeeld wanneer dit leidingnet gevoed wordt met drinkwater dat al een constante lage hoeveelheid deeltjes heeft. Daarbij is het belangrijk dat ook de aanvoerende transportleiding schoongemaakt wordt zodat de transportleiding niet als bron van vervuiling kan optreden.
 - Het distribueren van nagenoeg deeltjesvrij water heeft nauwelijks meerwaarde bij de bestrijding van het bruinwaterrisico wanneer de vervuilingssnelheid van een leidingnet al heel laag is, bijvoorbeeld wanneer dit leidingnet zelfreinigend is aangelegd. In eerder onderzoek is al vastgesteld dat zelfreinigende leidingnetten daadwerkelijk zelfreinigend zijn en daardoor (min of meer) onafhankelijk van de deeltjesbelasting.

- (Biologische) samenstelling sediment
 - Er is geen significante relatie vastgesteld tussen de (log van) *Aeromonas*-concentratie of KG22 met enige andere kwantitatieve parameter van het sediment.
 - Er is een duidelijke lineaire relatie tussen troebelheid en massa gesuspendeerde stoffen van het sediment. De relaties zijn algemeen, maar specifiek per gebied en meetperiode.
 - Relatie tussen ATP en gesuspendeerde stoffen is in een aantal gevallen lineair en relatief sterk. Dit duidt op de aanwezigheid van een component actieve biomassa op het sediment.
- *Aeromonas* in relatie tot sediment en locatie in het leidingnet (verblijftijd)
 - In dit onderzoek is gekeken naar *Aeromonas* in spui monsters. Er zijn geen relaties gevonden tussen *Aeromonas* en andere parameters van de monsteranalyse, noch met bijvoorbeeld verblijftijd in het leidingnet. Eerdere studies hebben ook al laten zien dat er geen relatie is tussen *Aeromonas* en deeltjes (Blokker et al. 2010).
 - Met betrekking tot de doelstelling voor zowel het voorzieningsgebied van pompstation Nuland als pompstation Halsteren om een relatie te zoeken tussen de sedimenthoeveelheid en/of verblijftijd wordt geconcludeerd dat deze niet aangetoond kon worden.

6 Aanbevelingen

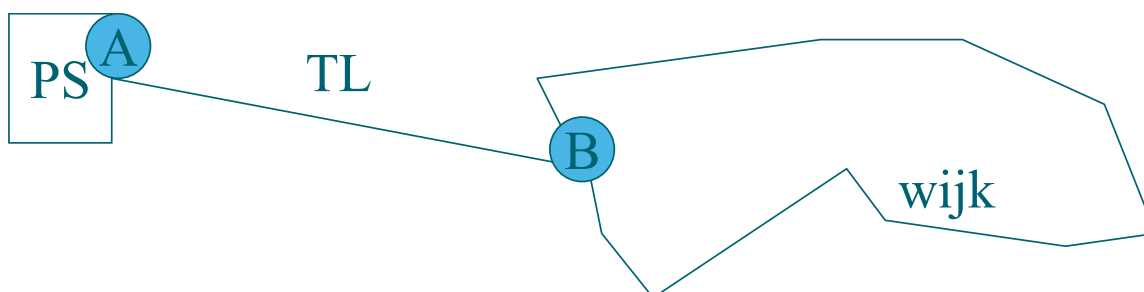
6.1 Meetmethode en uitwisselbare resultaten

Uit het onderzoek is gebleken dat het vaststellen van effecten van verschillende ingrepen in de waterkwaliteit in leidingnetten op de vervuiling van het leidingnet vooral een hoge inspanning vraagt. Het vraagt een zeer zorgvuldige planning, uitvoering en bewaking van de meetlocaties. Tevens blijkt dat lokale omstandigheden van invloed zijn op de resultaten. Om goede relaties vast te kunnen stellen zijn vooral veel metingen noodzakelijk die door ieder waterbedrijf zelf kunnen worden uitgevoerd. Deze aanbevelingen beschrijven de verschillende meetmethodes die toe te passen zijn in onderzoek naar de effecten van maatregelen in de zuivering op de vervuiling in het leidingnet. Het belang van eenduidige methoden is dat de meetresultaten vergelijkbaar en te combineren zijn, waardoor sneller en meer inzicht ontstaat. Het is dus belangrijk om bij de uitvoering van meetprogramma's rekening te houden met de hier beschreven meetmethodes en om meetgegevens uit te kunnen wisselen met andere bedrijven.

6.2 Meetlocaties en meetschema

Een belangrijke constatering in dit onderzoek is dat voor het toetsen van verschillende hypothesen relevante gebieden moeten worden gezocht. Met andere woorden: als een hypothese rondom vervuiling van het leidingnet wordt getoetst is het aan te bevelen om gebieden te onderzoeken die ook daadwerkelijk vervuilen. Dit geldt ook voor onderzoek naar relaties tussen de samenstelling van sediment en de biologische impact daarvan, hiervoor zijn locaties nodig waar daadwerkelijk sediment te vinden is.

Het blijkt dat een leidingnet niet zomaar als referentie voor een andere wijk kan worden genomen, het kan alleen als referentie voor dit leidingnet zelf dienen. Dat betekent dat bij voorkeur metingen onder verschillende omstandigheden in één leidingnet worden uitgevoerd; de meetperiode zal dan wel langer zijn.



Figuur 6-1. Schematische weergave van testlocatie.

Om de relatie tussen de (aanpassing van de) distributiestabiliteit en de (verandering van de) vervuilingssnelheid van een leidingnet te kunnen vaststellen wordt de volgende meetopzet aanbevolen:

1. Selecteer een (gedeelte van een) leidingnet en spui¹ dit gebied; meet de troebelheid en volumestroom tijdens het spuien. Gebruik afsluiters om het gebied te isoleren met een enkele voedingsleiding en leg dit vast in het leidingregistratiesysteem.
2. Bepaal de vervuiling van het geselecteerde leidingnet (in FTU · L/m) in de nulsituatie. Wanneer de vervuiling voldoende hoog is (bijvoorbeeld > 500 FTU · L/m) is het gebied geschikt als testlocatie; bij een lagere vervuiling is het gebied ongeschikt omdat dan hervervuiling waarschijnlijk niet in een jaar tijd te meten is.

¹ Spuien met minimaal 1,5 m/s 2 à 3 maal verversen en een schoonwaterfront

3. Plaats deeltjestellers op pompstation (A in Figuur 6-1) en op het einde van de transportleiding / begin van de te onderzoeken wijk (B). Meet tegelijkertijd ook de volumestroom op locatie A en B gedurende minimaal 1 week. Het is aan te bevelen om de metingen met deeltjestellers op transportleidingen nader te onderzoeken op de invloed die stratificatie speelt.
4. Meet tegelijkertijd op A en B ook on-line de troebelheid, en laat deze meting doorlopen gedurende 12 maanden. Stel vast, op basis van de troebelheidsmetingen en de relatie daarvan met de deeltjestellingen, of de meetweek van de deeltjestellers representatief is voor de vervuilingperiode van 12 maanden.
5. Laat het meetgebied gedurende een zekere periode (bij voorkeur minimaal 1 jaar) vervuilen. Na deze periode: spui dit gebied; meet de troebelheid en de volumestroom tijdens het spuien.
6. Bepaal de vervuiling van het leidingnet (in $\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m}$) en de hervervuilingssnelheid ($\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m} \cdot \text{maand}$). Wanneer de vervuilingssnelheid voldoende hoog is (bijvoorbeeld $> 40 \text{ FTU} \cdot \text{L}/\text{m} \cdot \text{maand}$) dan is het gebied geschikt als testlocatie; bij een lage vervuilingssnelheid is de invloed van maatregelen op de hervervuiling moeilijk te meten. De spreiding van hervervuilingssnelheden in een gebied kan aanzienlijk zijn (Figuur 4-1).
7. Pas de deeltjesbelasting af pompstation aan door maatregelen in de zuivering te treffen. Dit is uiteraard niet zomaar gedaan.

Hierna wordt de hele procedure van nulmeting etc. herhaald.

8. Plaats deeltjestellers op pompstation (A) en op het einde van de transportleiding / begin van de te onderzoeken wijk (B). Meet tegelijkertijd ook de volumestroom op locatie A en B gedurende minimaal 1 week.
9. Analyseer de deeltjesbelasting op locatie A en vergelijk deze met de deeltjesbelasting van een jaar eerder; houdt hierbij rekening met de representativiteit van de meetweek op basis van de troebelheidsdata. Doe hetzelfde voor de deeltjesbelasting op locatie B.
 - o Wanneer het effect op locatie B veel kleiner is dan op locatie A is het aan te raden om de transportleiding tussen locatie A en B te spuien.
 - o Herhaal dan de meting met de deeltjestellers.
10. Meet tegelijkertijd op A ook de troebelheid, en laat deze meting doorlopen gedurende 12 maanden. Stel vast, op basis van de troebelheidsmetingen, of de meetweek van de deeltjestellers representatief is voor de vervuilingperiode van 12 maanden.
11. Laat het meetgebied gedurende 1 jaar vervuilen. Na 12 maanden spui dit gebied; meet de troebelheid tijdens het spuien.
12. Bepaal de vervuiling van het leidingnet (in $\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m}$) en de vervuilingssnelheid ($\text{FTU} \cdot \text{L}/\text{m} \cdot \text{maand}$).
13. Vergelijk de vervuilingssnelheid voor en na de aanpassing van de deeltjesbelasting af pompstation.

6.3 Te meten parameters

6.3.1 Maat voor distributiestabiliteit

In dit onderzoek is de gemiddelde deeltjesbelasting af pompstation, zonder weging over de volumestroom, als maat voor distributiestabiliteit genomen. Aanbevolen wordt om de relatie tussen deeltjesbelasting (gemiddeld deeltjesvolume) en troebelheid verder te onderzoeken. Daarbij moet rekening worden gehouden met de verdeling over de verschillende deeltjesgroottes. Kleine deeltjes dragen sterker bij aan de troebelheid dan grote deeltjes, maar bepalen slechts in beperkte mate het totale volume van de sedimentaccumulatie. Kleine deeltjes spelen wellicht een belangrijker rol in het bepalen van de distributiestabiliteit dan grote deeltjes.

In dit onderzoek is alleen gekeken naar de samenstelling (ijzer, mangaan, overig anorganisch en organisch materiaal) van deeltjes in spui monsters in het leidingnet. Aanbevolen wordt om ook de karakterisering van de deeltjes af pompstation te bepalen en te onderzoeken of er een relatie is met de distributiestabiliteit. Hierbij moet worden gedacht aan het nemen van grootvolumemonsters (TILVS of Hemoflow).

6.3.2 Maat voor vervuiling van het leidingnet

Met behulp van het meten van de troebelheid tijdens spuien kan de vervuiling van een leidingnet goed worden vastgesteld. De OPM blijkt in dit type onderzoek niet geschikt als maat voor de vervuiling van een heel leidingnet omdat de verdeling van de sedimentaccumulatie over het net onvoldoende bekend is. Om te bepalen of een leidingnet moet worden gespuid kan de OPM met kennis van zaken wel worden ingezet.

Aanbevolen wordt om het routinematig spuien¹ van leidingnetten uit te breiden met een meetprogramma. Het meetprogramma houdt in dat tijdens routinematig spuien on-line de troebelheid en de volumestroom wordt gemeten om zo vast te kunnen stellen wat de vervuilingstoestand en -verdeling is van een leidingnet. Wanneer bekend is hoeveel tijd er tussen deze en de vorige spuiactie zat kan ook de vervuilingssnelheid van een leidingnet worden bepaald. Hiermee kan een database worden opgebouwd met referentiewaardes van vervuilingssnelheden van verschillende leidingnetten in een voorzieningsgebied. Uitwisseling van deze gegevens tussen bedrijven geeft een beter inzicht in de spreiding van vervuiling in een leidingnet en mogelijke verbanden met leidingnetconfiguratie en waterkwaliteit af pompstation.

Aanbevolen wordt om de representativiteit van de OPM voor de vervuiling van een leiding nader te onderzoeken. Hiervoor kunnen worden twee wegen worden bewandeld:

- Vergelijk de OPM's voor het spuien en de spuiacties die over dezelfde leiding zijn gedaan met elkaar en met de resultaten van leidingen in de omgeving. Stel vast of er een relatie is tussen de op twee manieren bepaalde vervuiling per meter. Hoe sterker deze relatie is, hoe geschikter de OPM als representatieve maat voor de vervuiling is.
- Vergelijk de OPM-locatie met de vervuilingstoestand en -verspreiding op basis van een nog verder te ontwikkelen vervuilingsvoorspellingsmodel (Blokker en Schaap 2011). De OPM kan worden gedaan op een locatie die sterk vervuult of die juist heel weinig vervuult. Wanneer met het model bepaald kan worden wat de verwachte vervuiling van die locatie is kan worden bepaald of de OPM een representatief beeld geeft van de vervuiling van het omringende net.

Op basis van de bevindingen kan het protocol voor de OPM worden bijgesteld.

6.4 Onderzoek naar effect aanpassing zuiveringsproces St Jansklooster (IEX)

Om het effect van de nieuwe zuivering te kunnen meten is het aan te bevelen om de gebieden die voor onderzoek zijn geselecteerd in stand te houden door afsluiters zo te laten staan, en in september 2012 de testgebieden Emmeloord en Urk opnieuw te spuien volgens het protocol van § 6.2. Dan kan de vervuilinggraad (na ca. 1 jaar) vergeleken worden met de vervuiling zonder de IEX. Daarmee kan het effect van de IEX worden gekwantificeerd. Er dient rekening te worden gehouden met de lage vervuilingssnelheid die nu gemeten is en de mogelijke oude sedimentaccumulatie in de aanvoerleiding; in deze gebieden is nauwelijks een verbetering te verwachten.

6.5 Implementatie

Naast aanwijzingen voor het effect van de vermindering van deeltjesbelasting vanaf de zuivering heeft dit onderzoek vooral een meetstrategie opgeleverd om effecten van aanpassingen in de zuivering of leidingnetconfiguratie te kunnen meten en interpreteren. Verder inzicht kan worden verkregen door een grotere database en referentiemateriaal op te bouwen door het uitvoeren van dergelijke metingen. De doorlooptijd van dit soort metingen is al snel enkele jaren (nulmeting, aanpassing, effectmeting).

Het is aan te bevelen om standaard in ieder voorzieningsgebied één of meer geïsoleerde gebieden te creëren waarvan de vervuilingssnelheid en vervuilingsevoeligheid bekend zijn. Deze geïsoleerde gebieden kunnen als referentie dienen voor het evalueren van verschillende maatregelen in de zuivering en leidingnet voor wat betreft het effect op de sedimentaccumulatie, biofilmgroei of andere parameters die een relatief langzaam verloop hebben. Daarbij is de aanbeveling om ook de relatie tussen de vervuiling van een leidingnet en de microbiologische activiteit van het water te onderzoeken.

¹ Waarbij wel wordt voldaan aan de randvoorwaarden van 1,5 m/s; 2 à 3 maal verversen en een schoonwaterfront

Wanneer de invloed van de waterkwaliteit af pompstation op de vervuilingssnelheid van het leidingnet gekwantificeerd kan worden is het mogelijk om de bestaande zuivering zodanig te optimaliseren dat er minder frequent gespuid hoeft te worden. Dit levert minder risico op bruinwaterklachten en de spuikosten zijn beperkt.

7 Referenties

- Blokker, E. J. M. (2010). "Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks," Delft University of Technology.
- Blokker, E. J. M. (2011). "Alternatieven voor spuien in bestaande leidingnetten." BTO 2011.029 BTO 2011.029, KWR, Nieuwegein.
- Blokker, E. J. M. en Beverloo, H. (2008). *Verandering van waterkwaliteit in het distributienet; Metingen in Rosmalen in vemaasd en vertakt netten*, KWR, Nieuwegein. BTO 2008.039.
- Blokker, E. J. M. en Schaap, P. G. (2006). *Evaluatie zelfreinigende netten; metingen zomer 2006 in Hoofddorp (PWN)*, Kiwa Water Research B.V., Nieuwegein. KWR 06.096 (DPW).
- Blokker, E. J. M. en Schaap, P. G. (2011). "Het modelleren van deeltjes in het leidingnet." BTO 2011.047 BTO 2011.047, KWR, Nieuwegein.
- Blokker, M., Wielen, P. v. d., Donocik, A. en Zaadstra, E. (2010). "Verblijftijd belangrijkste parameter in nagroei *Aeromonas* in de vulleiding Son-Vierlingsbeek." *H2O*, 2010-8, 46-49.
- Boomen, M. v. d. en Vreeburg, J. H. G. (1999). *Nieuwe ontwerprichtlijnen voor distributienetten*, Kiwa N.V., Nieuwegein. SWE 99.011.
- Horst, P. (2008). *Gefaseerde aanleg van een zelfreinigend leidingnet in bestaande wijken*, KWR, Nieuwegein. BTO 2008.047 (s).
- Schaap, P. G. en Kivit, C. F. T. (2007). *Metten op transportleidingen*, Kiwa Water Research, Nieuwegein. BTO 2007.003.
- Schaap, P. G., Mesman, G. A. M. en Vreeburg, J. H. G. (1999). *Schoonmaken leidingnetten*, Kiwa N.V., Nieuwegein. SWE 99.009.
- van Leerdam, R., Siegers, W. en van Dinther, P. (2011). "Effect van de zuivering van middeldiep gewonnen grondwater op de biologische stabiliteit van het drinkwater." BTO 2011.021 BTO 2011.021, KWR, Nieuwegein.
- Vreeburg, J. H. G. (2007). *Discolouration in drinking water systems: a particular approach*. Ph.D. thesis report.
- Vreeburg, J. H. G. (2012). "Analyse *Aeromonas* Den Bosch." KWR 2012.035, KWR, Nieuwegein.
- Vreeburg, J. H. G., Schaap, P. G. en van Dijk, J. C. (2004). "Measuring discoloration risk: resuspension potential method." Leading edge Technology conference, IWA, Prague.

I Meetschema's

OPM

In de testgebieden van WPB Nuland zijn meestal 6-7 OPM's gedaan; alleen tijdens de tussentijdse 6 maanden meting zijn slechts 3 OPM's gedaan om de verstoring van het net te beperken. In de testgebieden van WPB St. Jansklooster zijn geen OPM's gedaan na 6 maanden. Dit in verband met werkzaamheden en een lek eind november begin december en de winterperiode waarin geen OPM's zijn gedaan.

Tabel I-1 Samenvatting OPM.

		0-meting	Na spuien	6 maanden	12 maanden voor spuien	12 maanden na spuien
Rosmalen	Datum	03/12/09	19/02/10	05/07/10	9/03/11	22/03/11
	Aantal OPM's	6	6	3	6	6
Den Bosch	Datum	27/11/09	15/12/09	05/07/10	10/03/11	23 & 24/03/11
	Aantal OPM's	7	7	3	7	7
Tholen	Datum	31/03/10	08/04/10	19/10/10	29/06/11	12/07/11
	Aantal OPM's	2	2	2	2	2
St. Anna- land	Datum	30/03/10	08/04/10	19/10/10	29/06/11	12/07/11
	Aantal OPM's	2	2	2	2	2
Emmeloord	Datum	25/05/10	02/06/10	x	20/04/11	24/05/11
	Aantal OPM's	5	5	x	5	5
Urk	Datum	26/05/10	01/06/10	x	21/04/11	25/05/11
	Aantal OPM's	5	5	x	3	3

Schoonmaken

Tabel I-2 Samenvatting spuiacties.

		0 meting	na 12 maanden
Rosmalen	Datum	10/12/09 & 11/12/09	15/03/11 & 16/03/11
	Aantal spuiacties	19	19
Den Bosch	Datum	8/12/09 & 9/12/09	17/03/11 & 18/03/11
	Aantal spuiacties	19	19
Tholen	Datum	01/04/10	06/07/11
	Aantal spuiacties	6	6
St. Annaland	Datum	31/03/10	06/07/11 & 07/07/11
	Aantal spuiacties	9	10
Emmeloord	Datum	27/05/10 & 28/05/10	11/05/11 & 12/05/11
	Aantal spuiacties	9	9
Urk	Datum	31/05/10 & 1/06/10	17/05/11
	Aantal spuiacties	13	11

Monstername

Tabel I-3 geeft een samenvatting van de monstername. De monsters uit de gebieden van Nuland en Halsteren zijn door Aqualab Zuid geanalyseerd, de monsters uit de gebieden van St. Jansklooster door het laboratorium van Vitens.

Tabel I-3 Samenvatting van de monsternamen.

		0-meting, spui	na 12 maanden, spui	na 12 maanden, OPM
Rosmalen	Datum	10/12/09 & 11/12/09	15/03/11 & 16/03/11	09/03/11
	Aantal monsters	12	12	4
Den Bosch	Datum	8/12/09 & 9/12/09	17/03/11 & 18/03/11	10/03/11
	Aantal monsters	12	12	4
Tholen	Datum	01/04/10	06/07/11	
	Aantal monsters	9	7	
St. Annaland	Datum	31/03/10	07/07/11	
	Aantal monsters	11	9	
Emmeloord	Datum	27 & 28/05/10	11/05/11 & 12/05/11	
	Aantal monsters	10	10	
Urk	Datum	31/05/10 & 1/06/10	17/05/11	
	Aantal monsters	10	10	

Deeltjestellers

In het voorzieningsgebied van Nuland is de nulmeting met de deeltjestellers in de testgebieden eerder uitgevoerd dan de nulmeting met de deeltjestellers op het pompstation in verband met specifieke eisen aan de aansluiting op de transportleiding.

Tabel I-4 Samenvatting deeltjestellingen in voorzieningsgebied van Nuland.

Meetgebied	Meetperiode	Locatie 1	Deeltjesteller	Locatie 2	Deeltjesteller	Locatie 3	Deeltjesteller
Den Bosch	16/11/09 - 23/11/09	DB1	WV 916728	DB2	WV 927608	DB3	WV 930074
Rosmalen	23/11/09 - 30/11/09	R1	WV 916728	R2	WV 927608	R3	WV 930074
Transportleiding	29/03/10 - 06/04/10*	PS	WV 916728	R1	WV 930074	DB1	WV 927608
Den Bosch	15/11/10 - 22/11/10	DB1	WV916728	DB2	WV927608	DB3	WV930074
Rosmalen	8/11/10 - 15/11/10	R1	WV916728	R2	WV927608	R3	WV930074
Transportleiding	22/11/10 - 6/12/10**	PS	WV916728	R1	WV927608	DB2	WV930074

*De deeltjesteller op WPB Nuland liep slechts tot 03/04/10

** De deeltjesteller op WPB Nuland liep slechts van 29/11/10 tot aan 6/12/10 en de deeltjesteller in Den Bosch liep slechts van 22/11/10 tot aan 29/11/10.

Tabel I-5 Samenvatting deeltjestellingen in voorzieningsgebied van Halsteren.

Meetgebied	Meetperiode	Locatie 1	Deeltjesteller	Locatie 2	Deeltjesteller	Locatie 3	Deeltjesteller
Transportleiding	26/04/2010 - 03/05/2010	PS Halsteren	WV 916728	Na kanaal	WV 927608	Tholen	WV 930074
Transportleiding	03/05-2010 - 12/05/2010	St. Annaland	WV 916728	Na kanaal	WV 927608	Tholen	WV 930074

Tabel I-6 Samenvatting deeltjestellingen in voorzieningsgebied van St. Jans klooster.

Meetgebied	Meetperiode	Locatie 1	Deeltjesteller	Locatie 2	Deeltjesteller	Locatie 3	Deeltjesteller
Transport-leiding	29/06/2010 - 06/07/2010	St. Jans-klooster WTW	WV 930074	Emmeloord SR input	WV 916728	Emmeloord SR output	WV 927608
Transport-leiding	06/07/2010 - 13/07/2010	Urk SR input/output	WV 930074	Emmeloord SR input	WV 916728	Emmeloord SR output	WV 927608
Emmeloord	16/09/2010 - 23/09/2010	E1	WV 916728	E2	WV 927608	E3	WV 930074
Urk	23/09/2010 - 27/09/2010	U1	WV 927608	U2	WV 927608	U3	WV 930074
Transport-leiding	12/04/2011 - 15/04/2011	St. Jans-klooster WTW	WV 930074	Emmeloord SR input	WV 916728	Emmeloord SR output	WV 927608
Transport-leiding	15/04/2011 - 19/04/2011			Emmeloord SR input	WV 916728	Emmeloord SR output	WV 930074
Transport-leiding	19/04/2011 - 22/04/2011	Urk SR input/output	WV 916728			Emmeloord SR output	WV 930074

II Resultaten van monsternamen

Meting			Aeromonas	KG22	ATP	Fe	Mn	SS	troebelheid	
			(kve/ 100 ml)	(kve/ml)	(ng/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(FTE)	
Nuland	Den Bosch	Nulmeting	200	33	21	0.21	0.02	0	1.4	
			19000	550	68	1.8	0.38	8.8	9.9	
			1300	250	39	3.1	0.17	8.4	13	
			20000	160	36	2.5	0.29	8.8	10	
			23000	210	133	6.7	0.35	20	39	
			800	500	180	14	1.2	55	75	
			700	740	110	20	0.27	34	74	
			900	130	61	2.9	0.19	6	11	
			2300	250	72	208	0.31	8	15	
			500	420	52	4.1	0.07	7.2	19	
	Rosmalen			1900	540	90	3.2	0.26	8.4	9.8
				4000	390	400	56	5.5	120	150
				3900	100	492	0.99	0.34	12	7.4
				210	32	436	2	0.15	6.4	7
				600	210	334	12	2	48	64
				130	150	42	7.3	0.06	12	24
				610	470	165	16	0.83	33	55
				1800	860	84	4.1	0.55	10	16
				180	130	27	1.2	0.02	5.6	8.3
				3500	260	160	13	1.6	45	54
Den Bosch	Maand 15		320	46	24	2.3	0.04	5.6	10	
			280	50	23	9.3	0.16	16	6.2	
			180	410	18	1.3	0.04	0	49	
			130	630	48	22	0.13	36	86	
			3000	370	112	3	0.42	34	17	
			750	210	46.9	0.67	0.12	22	2.9	
			1200	200	80.3	4	0.44	35	16	
			500	130	69.4	8.8	0.12	38	37	
			22000	5400	777	34	10	270	240	
			2600	250	220	4.8	0.97	30	28	
	Rosmalen			380	52	81	7	0.14	20	10
				4000	280	120	3.1	0.72	20	14
				760	180	94	2.7	0.18	26	8.4
				580	100	93	2.5	0.32	10	12
				3200	180	290	5.4	0.8	26	14
				13000	830	99	0.68	0.12	5.6	2.3
				3900	480	124	1	0.32	7.6	2.6
				540	34	72.7	3.3	0.07	7.6	5.7
				7900	120	133	10	0.64	28	53
				950000	3800	146	6	0.94	26	34
Halsteren	St. Annaland	Nulmeting	1500	730	105	1.5	0.13	6.4	5.2	
			470	47	55.8	2.5	0.04	5.6	5	
			510	68	173	1.6	0.18	5.6	4.3	
			180	71	26.3	2.5	0.04	4	7.6	
			120	340	29.3	0.66	0.02	0	1.3	
			180	52	40.4	2.2	0.07	4	2.6	
			330	290	97.9	6.9	0.1	13	32	
			510	84	603	1.8	0.08	4.8	5.2	
			100	2500	650	6.7	2.6	220	220	
			3000	1100	400	6.3	0.94	130	150	
St. Annaland	Nulmeting		440	140	10	0.1	0	7.6	3.5	
			4600	700	540	7.4	1.2	210	240	
			520	220	7.1	0.16	0	5.2	2.8	
			5200	770	930	9.6	0.99	340	410	
			270	160	5.3	0.08	0	4	1.3	
			1900	820	110	2.4	0.13	35	37	
			380	170	6.2	0.11	0	3.2	1.2	
			1500	2400	1400	44	15	460	250	

Meting			<i>Aeromonas</i>	KG22	ATP	Fe	Mn	SS	troebelheid	
			(kve/ 100 ml)	(kve/ml)	(ng/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(FTE)	
Tholen			410	120	4.6	0	0	2.4	0.58	
			1300	800	270	36	1.7	110	290	
			220	270	72	1.9	0.1	12	15	
			3	71	22	0.1	0	0	1.3	
			47	340	11	1.1	0.1	3.6	1.9	
			210	190	190	6.2	0.42	17	23	
			6	73	13	0.07	0	0	0	
			210	110	33	2	0.21	12	8.1	
			760	200	68	2.8	0.29	13	18	
			6	97	13	0.08	0	0	0.08	
	St. Annaland	Maand 15	1400	230	24	2.9	0.07	18	15	
			18000	850	207	11	0.58	140	93	
			2000	240	116	3	0.94	51	38	
			1300	110	45	1.5	0.06	12	11	
1500			100	58	0.94	0.07	8	6.7		
1100			110	58	0.94	0.06	8.8	5.8		
1400			100	55	0.87	0.03	5.6	3.8		
990			97	76	0.91	0.09	9.6	4.3		
Tholen			??	1800	96.5	8.8	0.36	34	25	
			??	300	35.7	0.75	0.04	2.4	1.8	
			3200	2100	499	4.8	0.16	24	17	
			??	180	101	2.2	0.07	8.8	17	
			2600	340	65.8	2.9	0.09	22	27	
			4800	840	74.1	7.6	0.19	28	27	
			7200	520	72.9	7.5	0.3	36	110	
			1400	110	150	8.61	0.736	45	34	
St. Jansloooster	Emmeloord	Nulmeting	2300	200	280	6.14	0.113	26	18	
			650	39	81	1.98	0.082	8.7	5.5	
			3000	200	160	6.38	0.129	30	20	
			2800	75	67	2.19	0	8	6.9	
			3000	325	140	2.89	0.06	16	10	
			1400	130	230	2.06	0.047	12	7.7	
			3000	550	800	43.4	1.9	200	120	
			3000	425	1100	21.8	0.787	120	62	
	Urk			3000	550	83	6.13	0.071	28	20
				700	750	820	7.3	0.092	35	24
				600	350	270	9.25	0.095	38	27
				950	275	260	7.41	0.066	32	19
				375	350	240	8.24	0.155	35	20
				350	800	460	2.86	0.047	11	9.1
				550	400	300	4.71	0.064	20	18
				1300	475	350	12.6	0.151	70	42
				3000	225	580	11.5	0.131	50	39
				3000	95	200	8.25	0.112	37	24
		3000	140	24.3	1.95	0.052	10	7		
Emmeloord		Maand 15	3000	120	69.6	2.82	0.051	11	7.6	
	2100		70	45.7	1.19	0.025	4.9	3.6		
	3000		190	43.5	1.88	0.033	7.6	5.5		
	2400		80	52	2.25	0.049	10	6.9		
	750		150	42.9	2.38	0.059	9.6	8.1		
	700		70	19.3	2.01	0	4.2	7.9		
	850		140	27.8	4.04	0.099	11	9.7		
	800		80	35.4	1.87	0.028	6.9	6.3		
	1100		600	31.8	1.76	0.034	8.6	7.6		
	1200		450	40.4	2.68	0.049	18	18		
Urk			3000	850	18.4	10.3	0.174	60	51	
			700	750	21.1	1.43	0.027	10	11	
			3000	425	21.5	2.63	0.046	16	11	
			2100	300	17.1	2.63	0.053	14	8.3	
			3000	750	9.8	0.547	0.012	1.7	2.6	
			800	1000	34.5	3.14	0.058	16	15	
			1400	225	15.1	1.02	0.02	7.6	6.9	
			3000	400	46.1	3.06	0.05	22	22	

