



Biologische relevantie van sediment

BTO 2013.032
Mei 2013



Watercycle Research Institute

Biologische relevantie van sediment

BTO 2013.032

Mei 2013

© 2013 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

Biologische relevantie van sediment

Opdrachtnummer

B111789

Rapportnummer

BTO 2013.032

Onderzoeksprogramma

Drinkwaterdistributie

Projectmanager

Nellie Slaats

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger(s)

Dr ir E.J.M.Blokker

Auteur(s)

Dr ir J.H.G. Vreeburg

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

Biologische stabiliteit wordt bepaald door de afwezigheid van voedingsstoffen in het water waardoor ontwikkeling van biomassa wordt beperkt of voorkomen. Biomassavorming in het leidingnet wordt voornamelijk verondersteld plaats te vinden in een biofilm die op de wand van een leiding wordt gevormd en een micro-omgeving levert waarin biomassa zich (verder) kan ontwikkelen. Daarnaast vormt biofilm zich echter ook op sediment in het leidingnet. Hoewel reeds vaker is vastgesteld dat sediment een biologische component heeft, is een nadere kwantificering van de hoeveelheid of aard van de biologische activiteit niet gerapporteerd. Ook voor de Nederlandse omstandigheden zijn goede aanwijzingen voor deze vorm van “mobiele biofilm” vastgesteld.

Opwerveling van sediment kan leiden tot bruinwaterklachten. Als het sediment ook biomassa bevat, kan het ook een biologisch risico met zich meebrengen. Bij een bruinwaterincident is echter de kans dat het water daadwerkelijk geconsumeerd zal worden relatief gering door de afwijkende kleur van het water. Sediment kan bij geringe verstoring ook worden opgewerveld zonder dat dit zal leiden tot een bruin water incident omdat de troebelheid onder de zichtbaarheidsgrens van 10 FTU blijft. De hoeveelheid biomassa kan dan wel boven 10 ng/l ATP, de streefwaarde die in Nederland wordt aangehouden voor biologisch stabiel drinkwater.

In een aantal opwervelingsexperimenten is deze situatie van lichte opwerveling nagebootst. In 28% van de monsters (20 van 72) komt bij een troebelheid beneden de zichtbaarheidsgrens (<10 FTU) een ATP gehalte boven 10 ng/l voor. Tevens is een tweejaarreeks van routinematig genomen tapkraanmonsters geanalyseerd (n=3956) waarbij geen enkel monster een waarde boven 10 FTU had, maar waarin 2,8% van de monsters een ATP-gehalte boven 10 ng/l had.

Daarnaast is gekeken naar de samenstelling van het opgewervelde sediment en is de verhouding ATP-troebelheid en ATP-vaste stof bepaald. Deze blijkt een indicatieve relatie met de BiomassaAccumulatie-Snelheid (BAS) van het water af pompstation gemeten op een willekeurig moment te hebben. Hoewel dit slechts een enkele waarneming is en daarom met grote voorzichtigheid moet worden benaderd, levert het een aanwijzing op dat de samenstelling van het sediment mede wordt bepaald door de biologische stabiliteit van het water.

Met de nieuwe Continue Biofilm Monitoren is in het leidingnet van drie pompstations de ontwikkeling van de BAS gemeten. In één geval nam de BAS af, terwijl in een ander geval de BAS toe nam zonder dat hier een duidelijke verklaring voor kan worden gegeven. Tevens is de BAS gemeten in een zelfreinigend leidingnet, waarbij geconstateerd is dat de BAS ook daar enigszins afnam ten opzichte van het voedende water. Hiermee is aannemelijk gemaakt dat in een zelfreinigend niet meer voedingsstoffen in de CBM terecht zouden komen, resulterend in een hogere BAS, dan als de CBM in een conventioneel leidingnet zou staan. In conventioneel distributieleidingnet zou immers een gedeelte van de voedingsstoffen in het sediment terecht komen.

Tezamen betekenen deze waarnemingen dat sediment een rol speelt in de belasting van de consument met biomassa. Door het opwervelingsgedrag van sediment bestaat het risico van piekbelastingen van consumenten, zonder dat er sprake is van onaanvaardbare troebelheid. Een hoge troebelheid zou daadwerkelijke consumptie van het water voorkomen.

Een eerste weg om dit risico te beperken is mogelijk door de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater te verbeteren. Hierdoor wordt de biomassa op het sediment beperkt. Nader onderzoek naar de relatie tussen de BAS vanaf het pompstation en de verhouding tussen ATP en totale vaste stof wordt daarom aanbevolen om de effectiviteit van deze maatregel te bepalen.

Een tweede weg om de belasting met biomassa te voorkomen is het beperken van piekbelastingen als gevolg van het opwerpen van sediment. Dit is mogelijk door de accumulatie van sediment te voorkomen. Zelfreinigende leidingnetten kennen nauwelijks tot geen accumulatie en dragen daarmee bij aan een goede biologische waterkwaliteit. Bovendien is in het onderzoek vastgesteld dat de BAS in de gemeenten zelfreinigende locatie afneemt ten opzichte van het voedende water. De operationele manier van om

sedimentaccumulatie te voorkomen is het verwijderen ervan door een systematisch schoonmaakprogramma. Dit is niet nader onderzocht. Nader onderzoek naar het effect van deze sedimentaccumulatie beperkende maatregelen (schoonmaken, zelfreinigende leidingnetten) wordt aanbevolen.

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Algemeen	7
2	Aanpak onderzoek	9
2.1	Meetmethoden	9
2.2	Opwerveling experimenten	9
2.2.1	Bemonsteringsprotocol	9
2.2.2	Locaties PS Berenplaat, Evides	9
2.2.3	Locaties PS Andijk, PWN.	10
2.2.4	Locaties PS St Jansklooster, Vitens	11
2.3	Continue Biofilm Monitor Metingen	12
2.3.1	Algemeen	12
2.3.2	Locatie Brabant Water, Eindhoven	12
2.3.3	Locatie PWN, Lutjebroek	12
2.3.4	Locatie Vitens, Friesland	13
2.3.5	Voorzieningsgebieden Oasen	13
2.4	Analyses monsters in leidingnet PWN	14
3	Resultaten	15
3.1	Samenstelling makkelijk opwervelbaar sediment	15
3.1.1	Voorzieningsgebied Berenplaat, Evides	15
3.1.2	Voorzieningsgebied PS Andijk, PWN	17
3.1.3	Voorzieningsgebied PS St Jansklooster, Vitens	18
3.1.4	Resultaten Gouda en Ridderkerk (Oasen)	20
3.2	Analyse makkelijk opwervelbaar sediment	21
3.2.1	Opwervelingssnelheid	21
3.2.2	Samenstelling	22
3.3	ATP gehalte bij lage troebelheid opwervelingsproeven	26
3.4	ATP gehalte bij lage troebeling bij tapkraanmonsters	27
3.5	Biologische activiteit in het leidingnet	28
3.5.1	PWN CBM metingen	28
3.5.2	CBM metingen Vitens	29
3.5.3	CBM meting Eindhoven	29
4	Discussie	32
4.1	Inleiding	32
4.2	Opwervelbaar sediment en biologische activiteit	32
4.3	Invloedsfactoren voor biologische activiteit in sediment	33
4.4	BiofilmAccumulatieSnelheid (BAS) in het leidingnet	34
4.5	Biologische activiteit sediment en BVS/BAS pompstation	35
4.6	Biologische relevantie van sediment	36
4.7	Aanbevelingen	36

5	Conclusies sediment en biologische activiteit	38
6	Referenties	39

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Waterbedrijven streven ernaar een optimale waterkwaliteit aan de tap te leveren. De eerste stap om dit te realiseren is het produceren van een optimale waterkwaliteit. Aan dit proces wordt veel aandacht en zorg besteed door de waterleidingbedrijven en vergt investeringen in waterbehandeling en -distributie. In het leidingnet kunnen echter processen optreden die de optimale waterkwaliteit bedreigen. De twee belangrijkste processen, accumulatie van sediment en biofilmvorming, kunnen leiden tot de ontwikkeling van bruin water en bedreigen de biologische (in)stabiliteit. Het eerste leidt tot consumenten klachten over de kwaliteit van het water en vormen een serieuze bedreiging voor het vertrouwen in het drinkwater. Het tweede leidt tot nagroei met de daarmee samenhangende problemen als groei van (i) opportunistisch ziekteverwekkende organismen zoals *Legionella pneumophila*, (ii) klachten van consumenten door groei van dierlijke organismen die zichtbaar zijn voor het oog en/of door smaak en geurproblemen, (iii) verstopping van watermeters door groei van dierlijke organismen (iv) corrosie en (v) overschrijding van de wettelijke norm voor KG22, *Aeromonas* en/of *Legionella* overschrijdingen van monsters op deze biologische parameters. Een overschrijding heeft tot gevolg dat het waterleidingbedrijf dient in te grijpen met minimaal het nemen van extra monsters tot het lokaal schoonmaken van het leidingnet of nog drastischer, het aanpassen van het zuiveringsproces.

In veel onderzoek wordt aangenomen dat de biomassa zich voornamelijk in de biofilm bevindt en deze de belangrijkste invloed heeft op de biologische waterkwaliteit (Flemming and Wingender 2001). De relatie met sediment wordt door enkelen wel gelegd (Zacheus, Lehtola et al. 2001) en zelfs de invloed van schoonmaken op de biologische waterkwaliteit wordt beschreven (Barbeau, Gauthier et al. 2005). In deze onderzoeken zijn beide verschijnselen, bruin water en biologische (in)stabiliteit, min of meer als twee separate processen beschouwd. De hypothese van het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven is echter dat er een samenhang is tussen deze processen.

Biologische stabiliteit wordt bepaald door de afwezigheid van voedingsstoffen in het water waardoor ontwikkeling van biomassa wordt beperkt of voorkomen (van der Kooij, Vrouwenvelder et al. 2003). Biomassavorming in het leidingnet wordt voornamelijk voorgesteld als een biofilm die op de wand van een leiding wordt gevormd en een micro-omgeving vormt waarin biomassa zich (verder) kan ontwikkelen (J. Wingender 2004). Daarnaast vormt biofilm zich echter ook op sediment in het leidingnet. Hoewel reeds vaker is vastgesteld dat sediment een biologische component heeft (Zacheus et al. 2001; Vreeburg, Schippers et al. 2008), is een nadere kwantificering van de hoeveelheid of aard van de biologische activiteit niet gerapporteerd. Ook voor de Nederlandse omstandigheden, in de afwezigheid van restdesinfectie, zijn goede aanwijzingen voor deze vorm van “mobiele biofilm” vastgesteld (Wielen; and Kooij 2009; P.W.J.J. van der Wielen 2010) echter ook zonder kwantitatieve analyse.

In onderzoeken naar de aard en samenstelling van sediment zijn de sedimentmonsters veelal verkregen onder bijzondere omstandigheden, namelijk tijdens het schoonmaken van de leidingen met spuien of propfen of tijdens OPM bepalingen (Barbeau et al. 2005; Carriere, Gauthier et al. 2005; Vreeburg, Schippers et al. 2008). Er is niet gekeken naar het effect en de samenstelling van makkelijk tot zeer makkelijk opwervelbaar sediment zoals dat ook onder de normale (operationele) hydraulische omstandigheden kan voorkomen. Een geringe mate van opwerveling van sediment met een biofilm zal een impact kunnen hebben op algemene biologische (verzamel)parameters als de ATP concentratie, Koloniegetal bij 22 graden en cell counts maar wellicht ook op specifiekere parameters als *Aeromonas* of (opportunistische) pathogenen.

De werkelijke belasting die klanten kunnen ondervinden van makkelijk opwervelend sediment is onbekend (Poças, Miranda et al. 2013). Belasting van klanten via het sediment bij grotere verstoringen is niet waarschijnlijk omdat de kleur van het water bij dit soort incidenten directe consumptie hoogstwaarschijnlijk zal voorkomen. Troebelheid met een waarde hoger dan 10 FTU wordt door consumenten visueel waargenomen en levert een aanleiding tot klachten op (Slaats, Rosenthal et al. 2002). Impliciet wordt aangenomen dat een aanleiding tot klagen zal inhouden dat het water niet gedronken zal worden.

Net als andere kwaliteitsparameters zullen ook de biofilmvormende eigenschappen van water gedurende de verblijftijd in het leidingnet veranderen. Ook de temperatuur en de seizoensinvloeden bepalen mede de hoeveelheid gevormde biofilm c.q. biomassa (P.W.J.J. van der Wielen 2010). Recent is de Continue Biofilm Monitor ontwikkeld die in het leidingnet kan worden ingezet om de biofilmvormende eigenschappen van het water daar te kunnen bepalen. In de meting van de Biofilm Accumulatie Snelheid die met deze CBM's wordt uitgevoerd wordt de rol van sediment in zekere mate meegenomen. In de cuvetten met glaspapels is een groter horizontaal oppervlak aanwezig, waardoor ook sediment met een losse pakking meegenomen wordt in de bepaling van de totale hoeveelheid biomassa. Tevens wordt de invloed van de temperatuur en het seizoen meegenomen op de tijdschaal van vier weken, zijnde de standtijd van de cuvetten in het leidingnet.

Om problemen met bruin water te voorkomen wordt ernaar gestreefd om de hoeveelheid opwervelbaar sediment in het leidingnet te beheersen. Eén van de maatregelen is het bouwen van zelfreinigende leidingnetten (Vreeburg, Blokker et al. 2009). De essentie van zelfreinigende leidingnetten is dat het sediment niet ophoopt in de leidingen, maar in beweging c.q. zwevend wordt gehouden. Dit kan een effect hebben op de meting van de BAS met de CBM ten opzicht van de Biofilm Vorming Snelheid zoals die met de conventionele biofilmmonitor wordt gemeten (van der Kooij et al. 2003). In de conventionele biofilmmonitor zijn de glazen ringen verticaal opgesteld zodat er geen sediment op kan bezinken. Hiermee wordt de 'zuivere' biofilmvorming aan de wand vastgesteld. In de CBM wordt de biofilm gevormd op glaspapels die wel enig horizontaal oppervlak hebben waar sediment op kan achterblijven. In een conventioneel leidingnet zal een gedeelte van de biomassa gevormd worden op het losse sediment en achterblijven in de leidingen. Deze biomassa wordt niet meegenomen in de verticale biofilmmonitor, omdat alleen de biofilm op verticale oppervlaktes wordt bepaald. Doordat in de nieuwe CBM wel een horizontaal oppervlak aanwezig is, kan de totale biomassa in die monitor relatief groter zijn.

Een effect van het zelfreinigende leidingnet op de meting van de CBM kan ook zijn dat er meer sediment aan de monitor wordt geleverd, namelijk ook het sediment dat in een conventioneel leidingnet achter zou blijven. Omdat in de CBM ook een zekere hoeveelheid sediment zal achterblijven zou dit tot een hogere waarde van de BAS kunnen leiden.

Om de mogelijke belasting van consumenten met sedimentdeeltjes die een biomassa bevatten in normale omstandigheden te bepalen worden in dit onderzoek twee vragen bekeken:

- Wat is het ATP gehalte van gemakkelijk, c.q. in normale hydraulische omstandigheden, opwervelbaar sediment en hoe is dit gerelateerd aan de parameters Total Solids en Troebelheid?
- Hoe ontwikkelt de BAS zich in een conventioneel leidingnet en een zelfreinigend leidingnet?

2 Aanpak onderzoek

2.1 Meetmethoden

Het doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de biologische relevantie van gemakkelijk opwerfbaar sediment in een leidingnet. Hiertoe wordt op een aantal locaties binnen een voorzieningsgebied sediment opgewerveld met snelheden die ook onder normale hydraulische omstandigheden kunnen voorkomen. Hiertoe is een protocol ontwikkeld dat beschreven is in Bijlage I gericht op het verkrijgen van monsters van “niet-verstoord” sediment. Belangrijk in het protocol is dat de monsters genomen worden op een brandkraan, maar dat bij het plaatsen van het standstuk de te bemonsteren leiding niet wordt verstoord. Doel van de daarop volgende ‘milde’ opwerveling is om monsters te verkrijgen met een verhoogde maar niet zichtbare troebelheid veroorzaakt door opgewervelde deeltjes. Voor de zichtbaarheid wordt een troebelheidsgrens aangehouden van 10 FTU. In totaal zijn drie metingen uitgevoerd in het kader van het BTO te weten in het voorzieningsgebied van PS Berenplaat van Evides, dat van PS Andijk van PWN en in het voorzieningsgebied van PS St Jansklooster van Vitens. Daarnaast heeft Oasen een aantal metingen verricht in Gouda en in Ridderkerk volgens hetzelfde protocol en de resultaten ter beschikking gesteld.

PWN heeft de ATP-analyses van de routinematig genomen monsters in het distributienet van de periode 2011-2012 ter beschikking gesteld.

Om de ontwikkeling te bepalen van de Biofilm Accumulatie Snelheid in verschillende voorzieningsgebieden, worden drie Continue Biofilm Monitors (CBM) geplaatst. Hier zijn de voorzieningsgebieden van PS Aalsterweg van Brabantwater, PS Andijk van PWN en PS Noordbergum van Vitens gebruikt.

2.2 Opwerveling experimenten

2.2.1 Bemonsteringsprotocol

Het volledige bemonsteringsprotocol is weergegeven in Bijlage I. De lengte van de gekozen leiding dient voldoende lang te zijn om geen water uit andere leidingen aan te trekken gedurende de uitvoering van de proef. Iedere versnelling zal een mengeling van troebelheid te zien geven, namelijk sediment dat nog extra wordt opgewerveld als gevolg van de hogere snelheid en sediment dat al is opgewerveld in voorafgaande verstoringen maar nog niet naar de betreffende brandkraan is getransporteerd. Gedurende de gehele proef wordt bij de minimale instellingen (300 meter leidinglengte en exact de spuitijden en spuihoeveelheden) de te onderzoeken leiding ruim twee maal ververs. In de meeste gevallen is de lengte echter (veel) groter dan de minimale lengte, waardoor aanvoer van water uit het leidingnet ‘bovenstrooms’ van de te onderzoeken leiding wordt voorkomen.

2.2.2 Locaties PS Berenplaat, Evides

Bij Evides zijn vijf meetlocaties gebruikt voor het experiment met milde opwerveling in het voorzieningsgebied van PS Berenplaat..

In onderstaande Tabel 1 zijn de karakteristieken van de meetlocaties weergegeven.

Tabel 1 Karakteristieke meetlocaties Evides, voorzieningsgebied Berenplaat

Naam	Materiaal/Diameter	Jaartal/leeftijd	Lengte traject [m]
Dahliastraat, Rotterdam	PVC/110	1978/35	500
Mauritssingel, Vlaardingen	PVC/110	1985/28	550
Jan Steenstraat, Schiedam	PVC/110	1977/36	550
Mauvelaan, Maassluis	PVC/110	1999/13	650
Veerman, Spijkenisse	PVC/110	1981/31	500



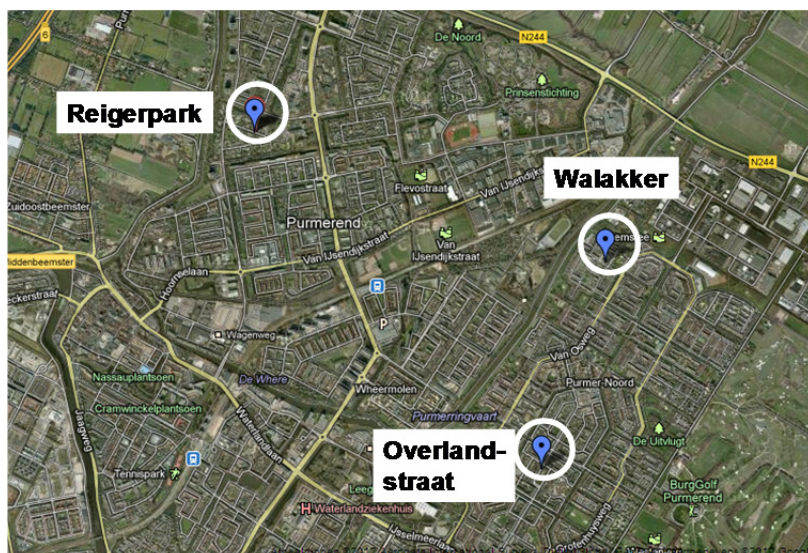
Figuur 1 Meetlocaties voor milde opwervelingsexperiment in voorzieningsgebied Berenplaat, Evides

2.2.3 Locaties PS Andijk, PWN.

In het voorzieningsgebied van PS Andijk van PWN zijn drie meetlocaties geselecteerd, waarvan de karakteristieken zijn weergegeven in Tabel 2. Alle locaties zijn gelegen in Purmerend.

Tabel 2 Karakteristieken meetlocaties PWN, voorzieningsgebied Andijk

Naam	Materiaal/Diameter	Lengte traject [m]
Walakker	AC/100	745
Overlanderstraat	AC/100	730
Reigerpark	PVC/110	470



Figuur 2 Meetlocaties in Purmerend in het voorzieningsgebied van pompstation Andijk

2.2.4 Locaties PS St Jansklooster, Vitens

In het voorzieningsgebied van het PS St Jansklooster van Vitens zijn vier meetlocaties geselecteerd, waarvan de karakteristieken zijn weergegeven in Tabel 3. Alle locaties zijn gelegen in de Noordoostpolder.

Tabel 3 Karakteristieken locaties Vitens, voorzieningsgebied St Jansklooster

Naam	Materiaal/Diameter	Lengte traject [m]
Prof Brandsmaweg, Nagele	PVC/110	>650
Palenweg, Schokland	AC/100	>650
Zuiderzeeweg, Blokzijl	PVC/110	>650
Blokzijlerdwarsweg, Marknesse	PVC/110	>650



Figuur 3 Meetlocaties in de Noordoostpolder in het voorzieningsgebied van pompstation St Jansklooster

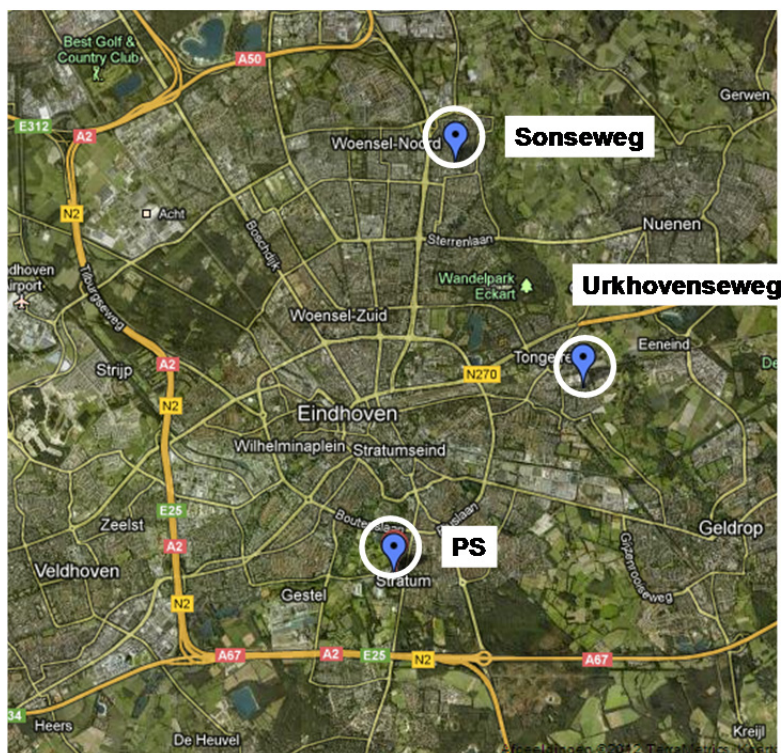
2.3 Continue Biofilm Monitor Metingen

2.3.1 Algemeen

Met de Continue Biofilm Monitor (CBM) metingen wordt de Biofilm Accumulatie Snelheid (BAS) gemeten. Deze monitoren bestaan uit een opstelling met daarin vier doorstroomcuvetten die gevuld zijn met glazen pareltjes. Iedere twee weken worden twee cuvetten uitgenomen en vervangen door nieuwe. Er wordt geanalyseerd hoeveel ATP, ijzer en mangaan zich bevindt op de pareltjes. In dit onderzoek wordt alleen naar het ATP gekeken. Dit betekent dat na het starten van de monitors, de eerste twee cuvetten na twee weken worden uitgehaald; de volgende cuvetten zijn vier weken doorstroomd voordat ze worden geanalyseerd. Bij het beëindigen van de meetperiode worden alle vier cuvetten geanalyseerd, waardoor de laatste cuvetten ook weer twee weken zijn doorstroomd.

2.3.2 Locatie Brabant Water, Eindhoven

In Eindhoven is een CBM geplaatst bij het pompstation Aalsterweg en op twee locaties in het leidingnet, Urkhovenseweg en Sonseweg (zie Figuur 4). Deze metingen worden ook gebruikt in het kader van een nauwkeurige modellering van het leidingnet van Eindhoven, waarbij de meetgegevens worden gebruikt om een waterkwaliteitsmodel te ontwikkelen.



Figuur 4 Meetlocaties voor de CBM in het voorzieningsgebied van pompstation Aalsterweg in Eindhoven

2.3.3 Locatie PWN, Lutjebroek

In het voorzieningsgebied van het pompstation Andijk zijn op drie locaties in Lutjebroek CBM-en geplaatst, zie Figuur 5. De locatie Marsmanstraat betreft een aanboring op een Ø315 mm PVC leiding die als doorgaande transportleiding functioneert en als voeding van het achterliggende gebied. De locatie Theo Thijssenweg is een Ø40 HPE eindleiding in een nieuw zelfreinigend leidingnet. Het laatste afnamepunt is een skatebaan; de aanboring is juist voor deze laatste aansluiting gemaakt.

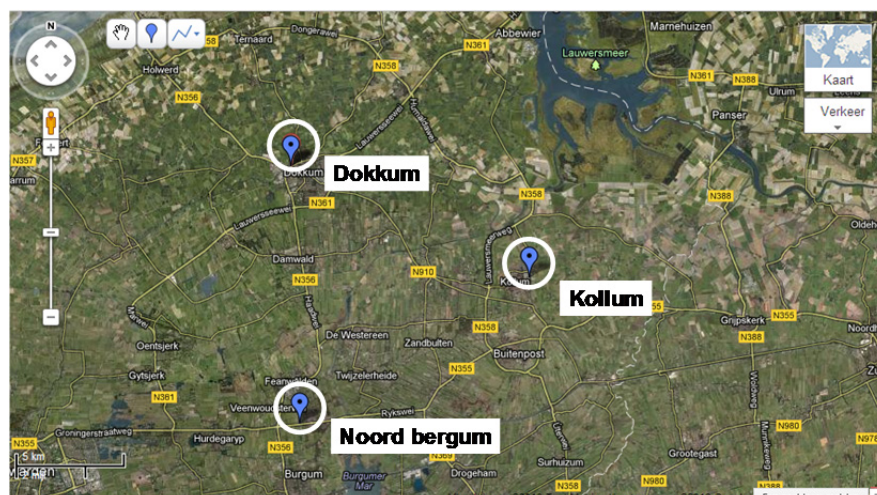
De locatie in Horn is een aansluiting in een conventioneel leidingnet en zit op een ring AC/PVC 100/110, aan de 'achterkant' van een distributiegebied. Hier kan pendelend water voorkomen met relatief lange verblijftijden.



Figuur 5 Meetlocaties CBM in voorzieningsgebied Andijk in Lutjebroek, PWN

2.3.4 Locatie Vitens, Friesland

In het voorzieningsgebied van pompstation Noordbergum zijn drie locaties geselecteerd voor de CBM metingen (zie Figuur 6). De eerste locatie is op het reine water van pompstation Noordbergum zelf, de tweede locatie is in de aanvoerleiding van de reinwaterberging bij Kollum en de derde bij de aanvoerleiding van de watertoren in Dokkum.



Figuur 6 Meetlocaties CBM in voorzieningsgebied Noordbergum, Vitens Friesland

2.3.5 Voorzieningsgebieden Oasen

In het voorzieningsgebied van Oasen zijn in twee gebieden opwervelingsproeven gedaan, namelijk in Gouda en in Ridderkerk. Deze metingen zijn door Oasen zelf uitgevoerd in het kader van eigen onderzoek. De resultaten zijn echter ter beschikking gesteld en worden hier meegenomen. Tijdens de opwerve-

ling zijn de metingen van troebelheid uitgevoerd met een maximale waarneming van 35 FTU. Tevens zijn er monsters genomen waarvan de resultaten zijn weergegeven in Bijlage II. In deze reeks is een beperkt aantal parameters geanalyseerd. Deze gegevens zullen worden gebruikt voor het bepalen van de relatie tussen de vast stoffen en het ATP gehalte.

2.4 Analyses monsters in leidingnet PWN

Ten behoeve van het onderzoek heeft PWN de resultaten van de routinemonsters in het leidingnet ter beschikking gesteld. In deze monsters wordt, naast de wettelijk verplichte parameters, ook het ATP-gehalte bepaald. De gegevens van 2011 en 2012 zijn ter beschikking gesteld van in totaal 3956 monsters in het distributienet. De monsters zijn genomen op vaste monsterlocaties, aan een tappunt in huizen bij de klant. De kraan wordt doorstroomd, totdat de temperatuur van het water constant is, waarna het monster wordt genomen.

Tevens zijn 64 monsters beschikbaar van de productielocaties waarin ook troebelheid en ATP gehalte is vastgesteld als referentie voor de waarnemingen in het distributienet.

3 Resultaten

3.1 Samenstelling makkelijk opwervelbaar sediment

3.1.1 Voorzieningsgebied Berenplaat, Evides

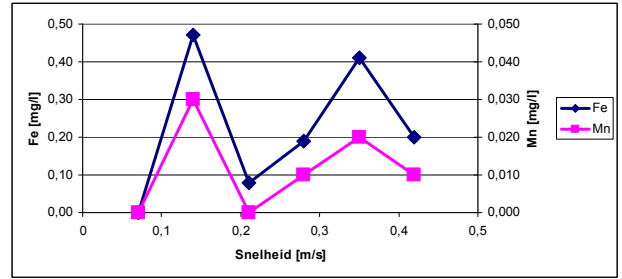
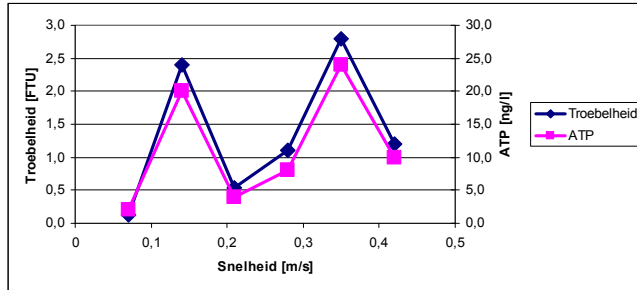
Bij Evides zijn op vijf locaties opwervelingsproeven gedaan (Zie Figuur 1 en Tabel 1). De resultaten van de analyses van de monsters zijn weergegeven in Figuur 7 op de volgende pagina. De monsterresultaten zijn integraal weergegeven in Bijlage II.

Behalve op de locatie Mauvelaan en één meting op de locatie Jan Steen straat zijn de gemeten troebelheden beneden 10 FTU.

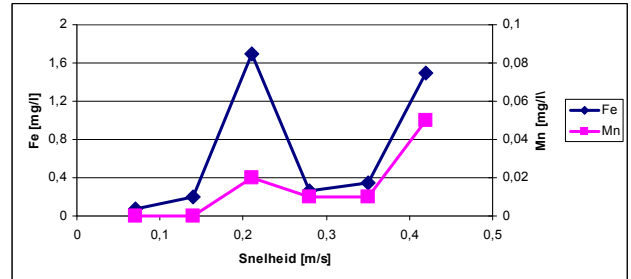
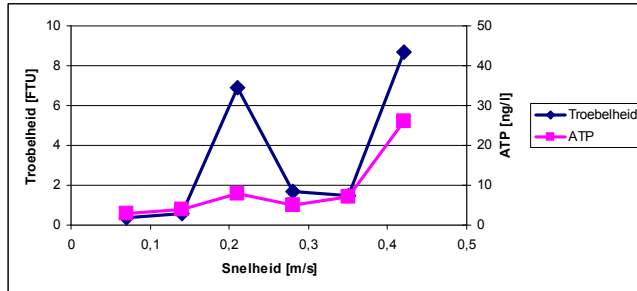
Per locatie is de relatie tussen de troebelheid en het ATP gehalte, alsook de relatie tussen het ijzergehalte en het mangaangehalte goed te zien. Het aantal waarnemingen per locatie is te gering om een significante relatie af te leiden.

De maximale troebelheid blijkt veelal op te treden bij snelheden lager dan 0,4 m/s, behalve op de locatie Mauritssingel. Dit duidt erop dat de verdeling van het opwervelbare sediment niet gelijkmatig is over de lengte van de onderzochte leiding. Zoals in paragraaf 2.2.1 is beschreven is de gemeten troebelheid bij het spuipunt een mengeling van troebelheid veroorzaakt door sediment dat eerder is opgewerveld bij lagere snelheden en dat nu bij het spuipunt arriveert met troebelheid veroorzaakt door opwerveling van sediment als gevolg van de verhoging van de snelheid. Dat laatste sediment is opgewerveld in de nabijheid van het spuipunt terwijl het sediment opgewerveld bij lagere snelheden van een meer 'bovenstroomse' locatie komt. De waarneming dat de troebelheid afneemt bij een toenemende snelheid, betekent dat er in de directe omgeving van de brandkraan geen extra sediment opwervelt, maar ook dat bij eerder optredende snelheden minder troebelheid is veroorzaakt in de verder stroomopwaarts gelegen locatie. Met andere woorden: de verdeling van het sediment is niet gelijkmatig over de gehele leiding, hetgeen in overeenstemming is met eerder gevonden resultaten (Vreeburg; and E.J.M. Blokker 2012).

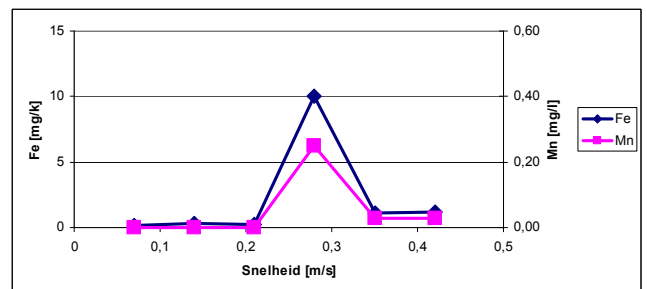
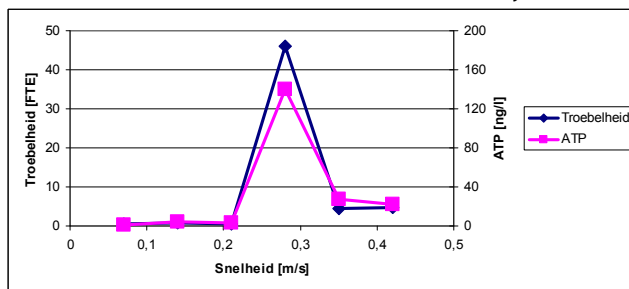
Dahliastraat, Rotterdam



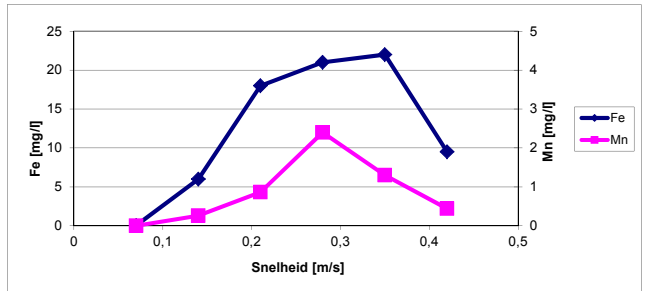
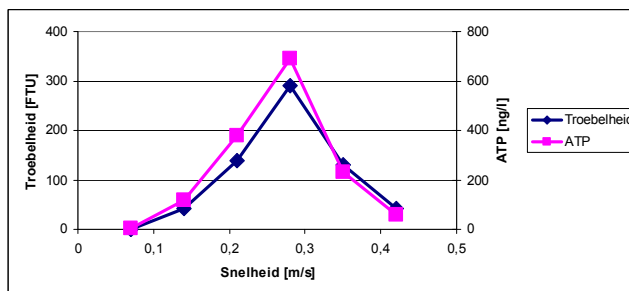
Mauritssingel, Vlaardingen



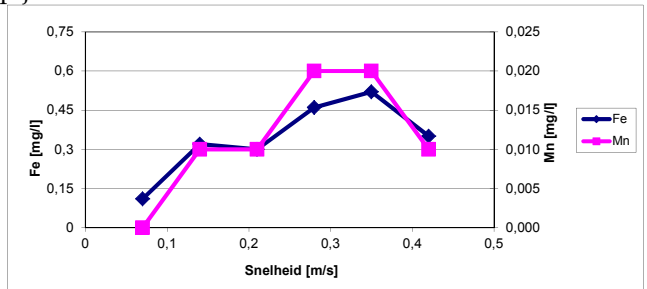
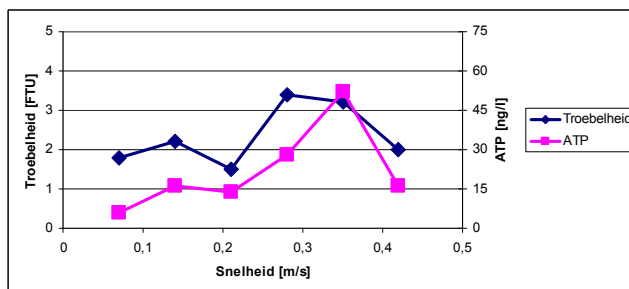
Jan Steenstraat Schiedam



Mauvelaan, Maassluis



Voorman, Spijkenisse



Figuur 7 Resultaten meetlocaties Berenplaat, Evides

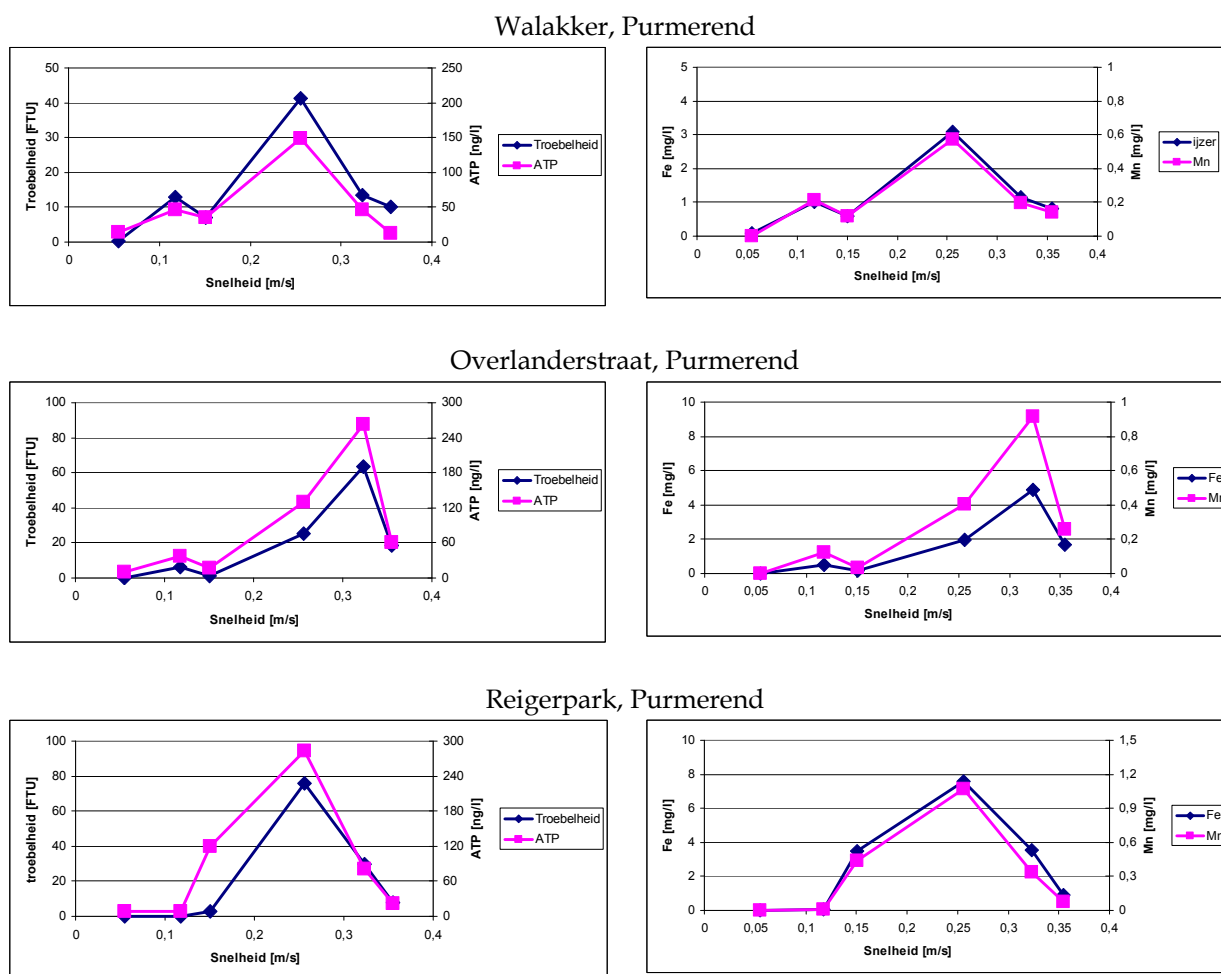
3.1.2 Voorzieningsgebied PS Andijk, PWN

Bij PWN zijn op drie locaties opwervelingsproeven gedaan (Zie Figuur 2 en Tabel 2). De resultaten van de analyses van de monsters zijn weergegeven in Figuur 8. De monsterresultaten zijn integraal weergegeven in Bijlage II.

De troebelheden overschrijden op iedere locatie de zichtbaarheidsgrens van 10 FTU.

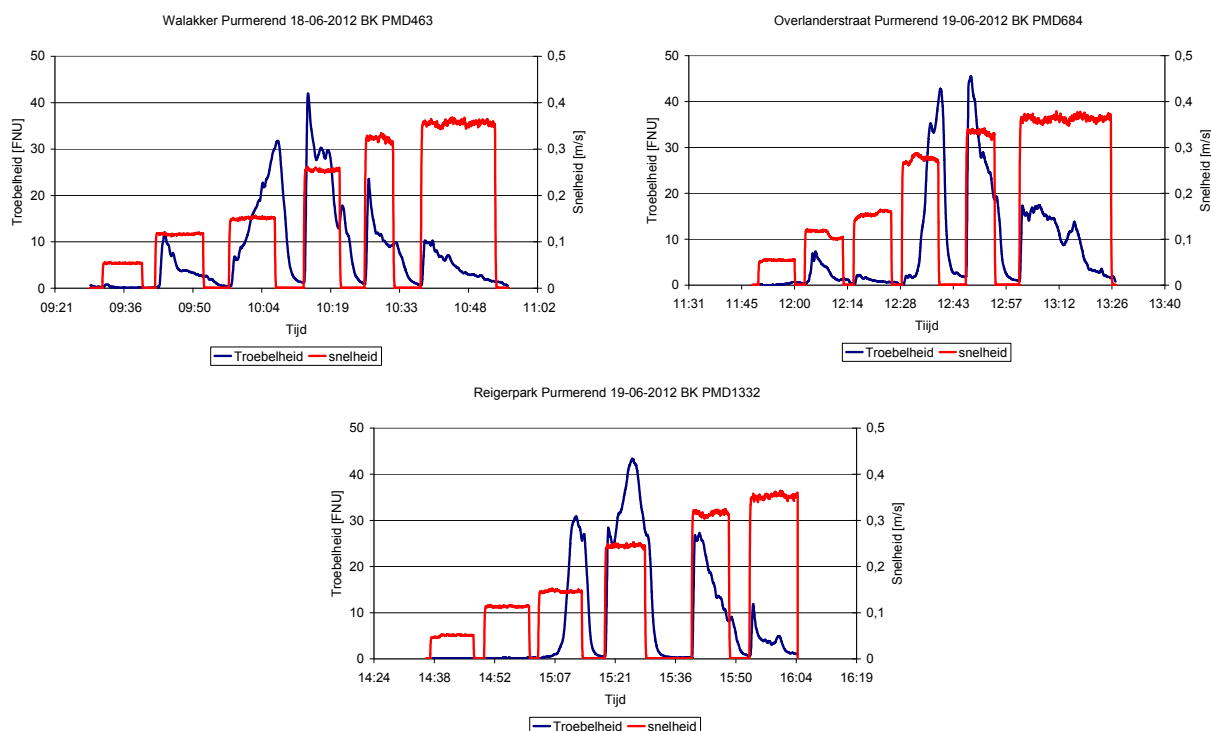
Ook hier is per locatie de relatie tussen de troebelheid en het ATP gehalte, alsook de relatie tussen het ijzergehalte en het mangaangehalte goed te zien. Het aantal waarnemingen per locatie is te gering om een significante relatie af te leiden.

De maximale troebelheid blijkt op alle drie de locaties op te treden bij snelheden lager dan 0,4 m/s.



Figuur 8 Resultaten meetlocaties pompstation Andijk, PWN.

Tijdens de verstoringen is op deze locaties de troebelheid en de snelheid continu gemeten. Deze meetresultaten zijn weergegeven in Figuur 9.



Figuur 9 Continue registratie van troebelheid en snelheid gemeten tijdens de uitvoering van de PWN-verstoringsproef

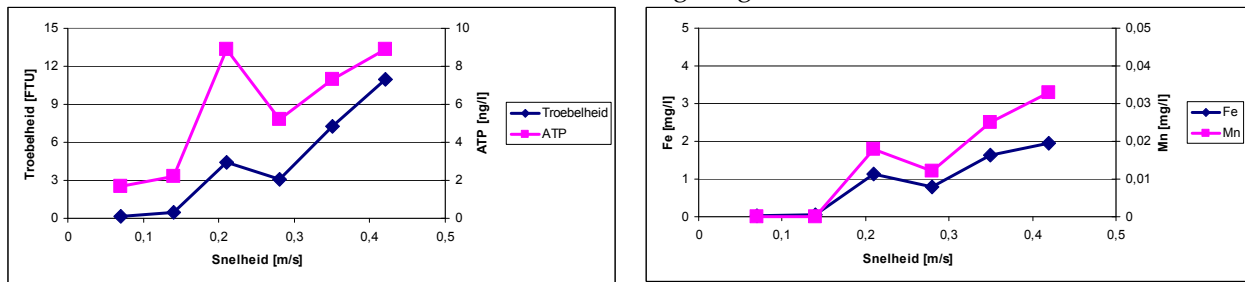
De troebelheidwaarden gemeten met de continue troebelheidmeter zijn lager dan die gemeten in de monsters in het laboratorium. In het bijzonder geldt dit voor de piekwaarden. Uit deze metingen blijkt dat de versnelling die iedere keer optreedt bij het weer starten van de volumestroom, na het stilzetten en monteren van een nieuwe kaliberplaat, geen extra troebelheid veroorzaakt. De troebelheid op het moment van stopzetten van de volumestroom is nagenoeg hetzelfde als de troebelheid direct na het opnieuw starten van de volumestroom. De maximale troebelheid wordt bereikt bij de vierde verstoring van 0,28 m/s. Dit beeld is gelijk voor alle drie de locaties.

3.1.3 Voorzieningsgebied PS St Jansklooster, Vitens

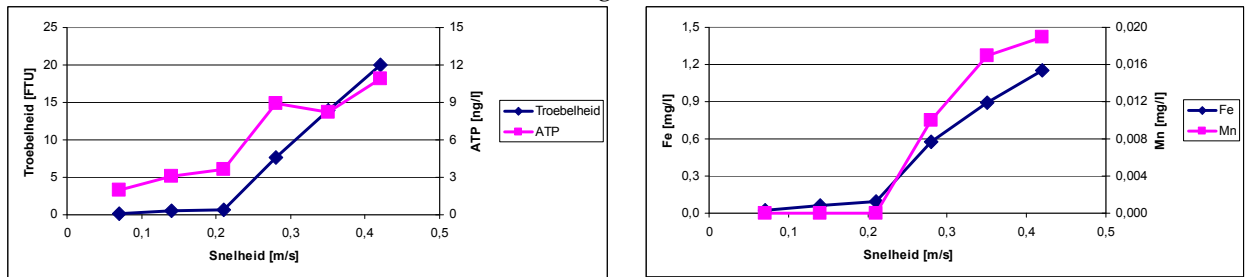
Bij Vitens zijn op vier locaties opwervelingsproeven gedaan (Zie Figuur 3 en Tabel 3). De resultaten van de analyses van de monsters zijn grafische weergegeven in Figuur 10, de meetresultaten zijn in Bijlage II weergegeven.

Op drie van de vier locaties wordt de grens van 10 FTU voor de troebelheid overschreden. Tevens blijkt op 3 van de vier locaties de hoogste troebelheid bij de maximale snelheid te worden bereikt. Dit zou kunnen betekenen dat de OPM hier een onderschatting zou maken van het bruinwaterrisico.

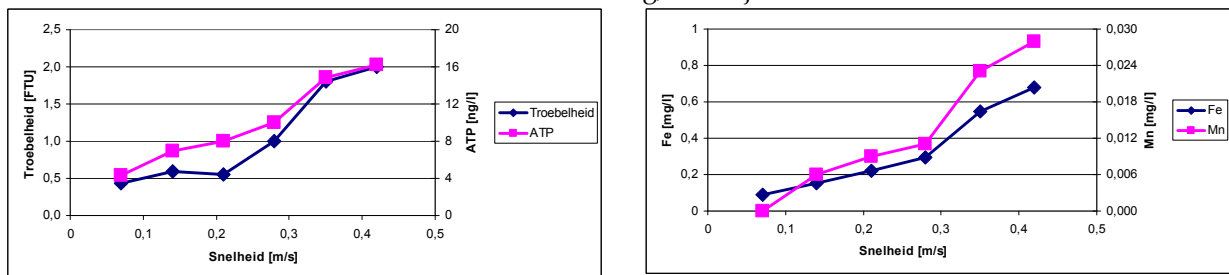
Prof Brandsmaweg, Nagele



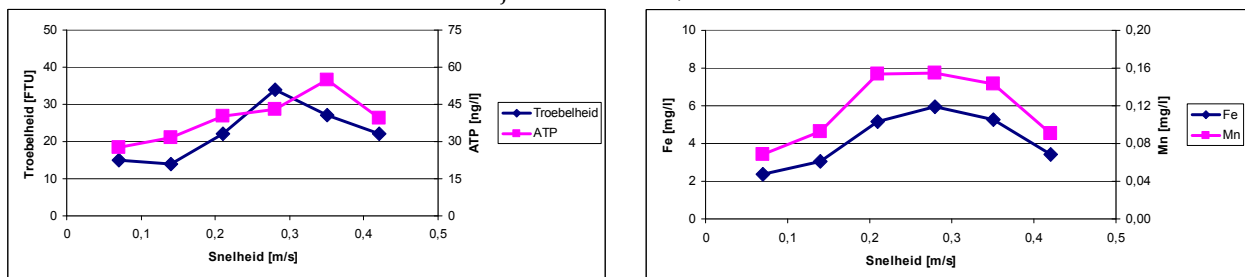
Palenweg, Schokland



Zuiderzeeweg, Blokzijl



Blokzijlderdwarsstraat, Marknesse



Figuur 10 Resultaten meetlocaties St Jansklooster, Vitens

Ook op deze locaties zijn de troebelheid en snelheid continu gemeten. De resultaten hiervan zijn weer-
gegeven in Figure 11.

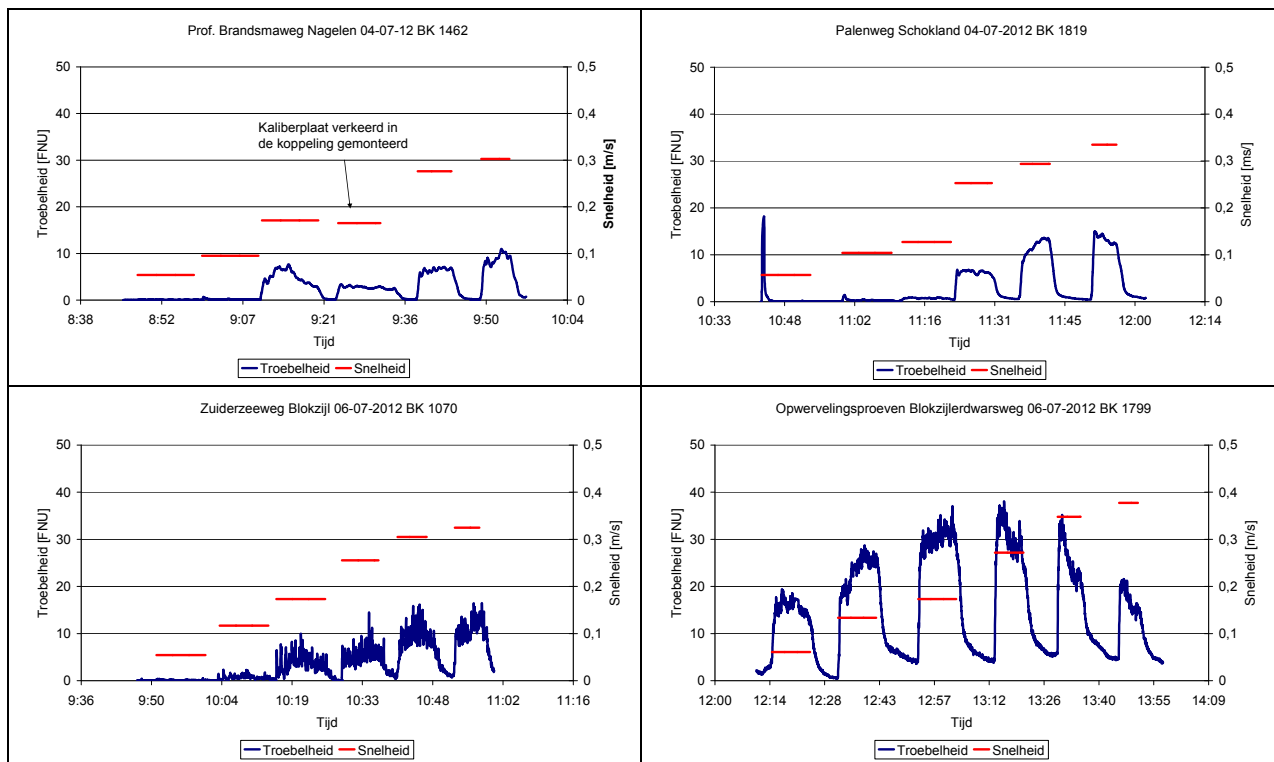
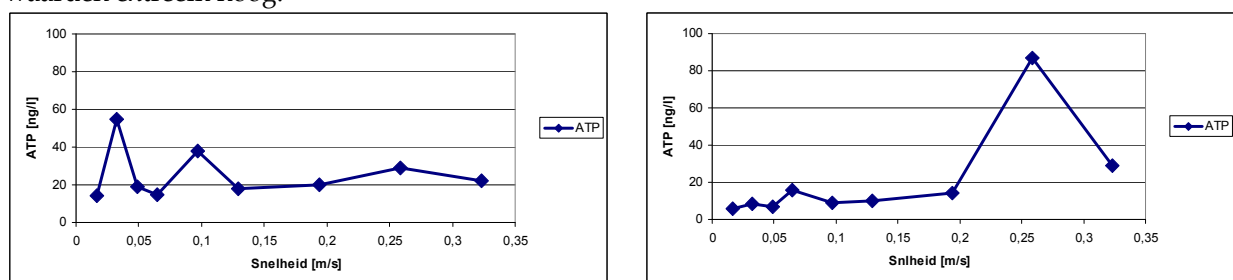


Figure 11 Continue registratie van troebelheid en snelheid gemeten tijdens de uitvoering van de Vitens-verstoringsproef

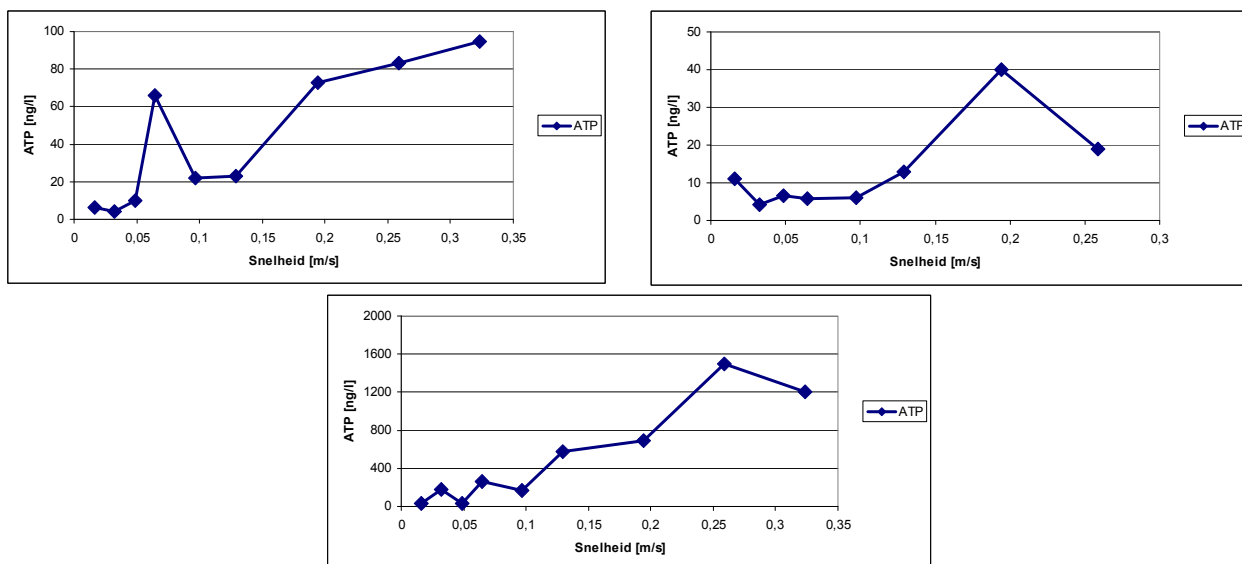
De continu geregistreerde troebelheid wijkt af van de in de monsters vastgestelde troebelheid. De afwijking is niet consistent. De troebelheid aan het einde van het traject met de lagere snelheid sluit aan bij de troebelheid aan het begin van het traject met de hogere snelheid. Een extra opwerveling als gevolg van de versnelling treedt niet op. Tevens laat dit zien dat eenmaal opgewerveld sediment redelijk makkelijk in oplossing blijft en bij de aansluitende verstoring direct weer beschikbaar is.

3.1.4 Resultaten Gouda en Ridderkerk (Oasen)

In Figuur 12 en Figuur 13 zijn de resultaten van de ATP bepalingen van de verschillende monsters gegeven voor zowel het gebied Gouda als gebied Ridderkerk. De maximale hoeveelheid ATP wordt meestal niet bij de hoogste snelheden bereikt. Met name in de laatste locatie in Ridderkerk (Pelikaan) zijn de ATP waarden extreem hoog.



Figuur 12 ATP metingen monster op locatie Oranjepoldererf 2 (links) en Ravelplein 52 (rechts), beide in Gouda



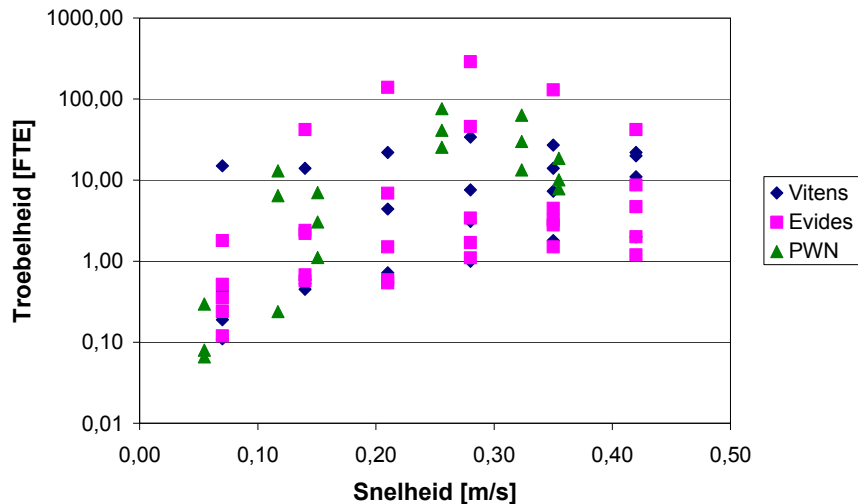
Figuur 13 ATP monitoren op drie locaties in Ridderkerk: Hollandse straat 74 (links boven), Markstraat 13 (Rechts boven) en Pelikaan (onder)

3.2 Analyse makkelijk opwervelbaar sediment

3.2.1 Opwervelingssnelheid

De mate waarin het sediment opgewerveld wordt, is afhankelijk van de hydraulische schuifspanning die op het sediment wordt uitgeoefend. Deze schuifspanning wordt veroorzaakt door de stroomsnelheid. In het monsterprotocol wordt een oplopende reeks snelheden toegepast om te zien wanneer het sediment opwervelt. De continue metingen van de troebelheid en de snelheid tijdens de verstoringsproef laat zien dat de versnelling geen extra invloed heeft op de opwerveling van troebelheid. In Figuur 14 wordt de relatie tussen de opwervelingssnelheid en de troebelheid weergegeven van alle waarnemingen. De troebelheid is op logaritmische schaal uitgezet. Er blijkt geen universele relatie te zijn tussen de snelheid van verstoring en de hoeveelheid troebelheid die dat veroorzaakt. Het niveau van troebelheid wordt mede bepaald door de hoeveelheid sediment die opgewerveld kan worden. Tevens is geconstateerd dat de maximale troebelheid in 7 van de 16 proeven wordt bereikt bij de maximale snelheid tijdens de proef van 0,4 m/s. In de overige 9 proeven wordt de maximale troebelheid bereikt bij een lagere snelheid. Dit duidt op twee dingen: Ten eerste dat de verdeling van het sediment, dat de troebelheid bij opwerveling veroorzaakt, niet gelijkmatig is verdeeld over de lengte van de leiding. Ten tweede betekent het dat de maximale troebelheid wordt bereikt bij een snelheid die lager ligt dan 0,4 m/s in de onderzochte leidingen. Wat dit betekent voor de snelheid die moet worden toegepast bij het schoonmaken c.q. spuien van de leiding is nog niet duidelijk.

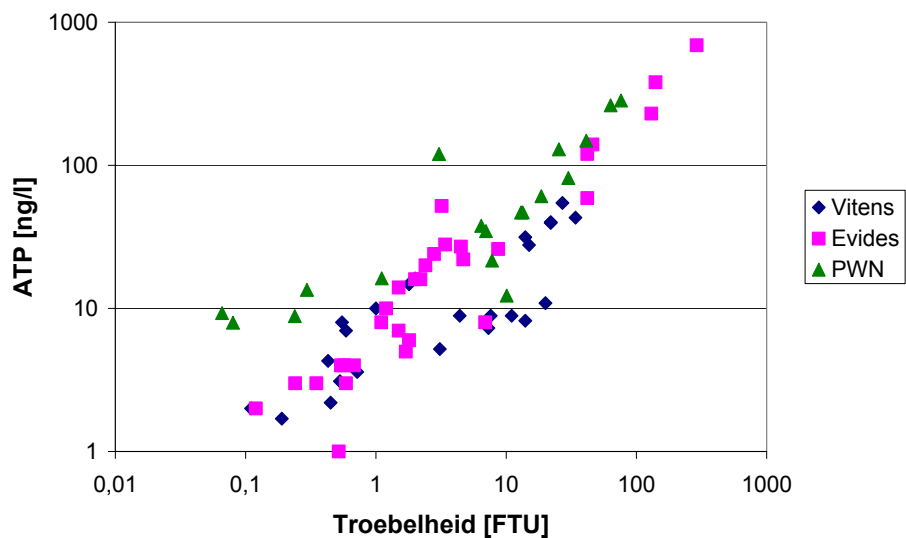
In eerder onderzoek is vastgesteld dat de verdeling van sediment over een leidingnet grillig is (Blokker and Schaap 2011; Vreeburg; et al. 2012). Voor de opwervelingsproeven betekent dit dat op de ene locatie meer sediment aanwezig zal zijn dan bij de andere zonder dat hier op voorhand een schatting van is te maken.



Figuur 14 Relatie opwervelingssnelheid en troebelheid in de verschillende voorzieningsgebieden. De schaal van de troebelheid is logaritmisch

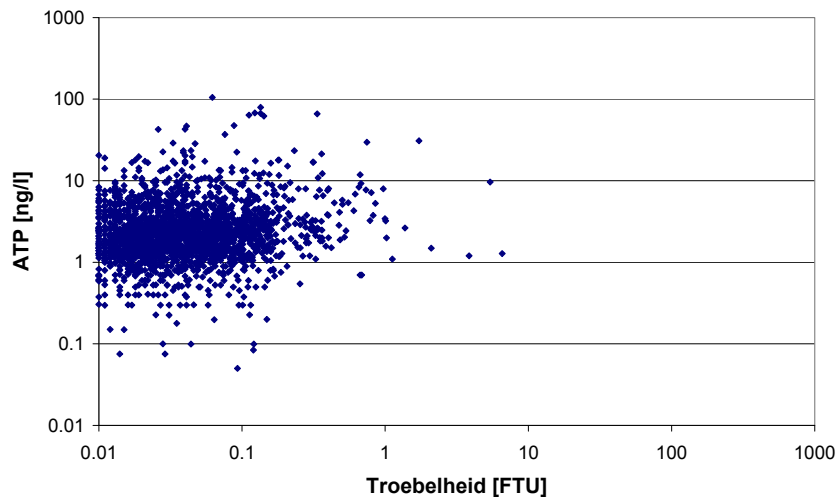
3.2.2 Samenstelling

De samenstelling van het sediment wordt geanalyseerd in de verhouding ATP-Troebelheid en ATP-gesuspendeerde stoffen. In Figuur 15 zijn alle gegevens van ATP en troebelheid op logaritmische schaal tegen elkaar uitgezet. Uit deze figuur blijkt dat er geen universeel verband is over de verschillende locaties.



Figuur 15 Relatie Troebelheid en ATP. Beide assen zijn logaritmisch weergegeven

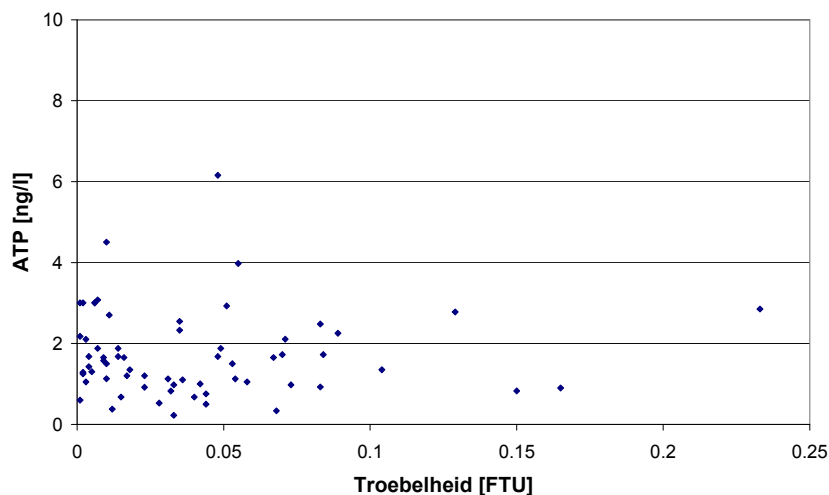
PWN heeft gegevens beschikbaar gesteld van de analyseresultaten van verschillende monsters genomen in de periode van jan 2011 tot en met december 2012 in het distributienet. De gegevens over troebelheid in combinatie met ATP zijn weergegeven in Figuur 16 op dubbel logaritmische schaal. In totaal betreft het 3956 monsters.



Figuur 16 Troebelheid en ATP gehalte bij verschillende monsters genomen in het voorzieningsgebied bij PWN (n=3956)

Deze gegevens laten ook zien dat er geen direct verband is tussen het ATP gehalte en de troebelheid. Wat het wel laat zien is dat ook bij lage troebelheden in het distributienet er hoge ATP gehalten kunnen optreden, terwijl de troebelheid in geen van de monsters de zichtbaarheidsgrens van 10 FTU overschrijdt. Wel wordt de waarde van 10 ng/l ATP in 112 monsters overschreden (2,8%). Deze monsters zijn onder andere omstandigheden genomen dan de opwerveling monsters van de overige locaties. Andere factoren die het ATP gehalte kunnen verhogen zoals temperatuur en verblijftijd zijn bij deze routine-monsters niet bekeken.

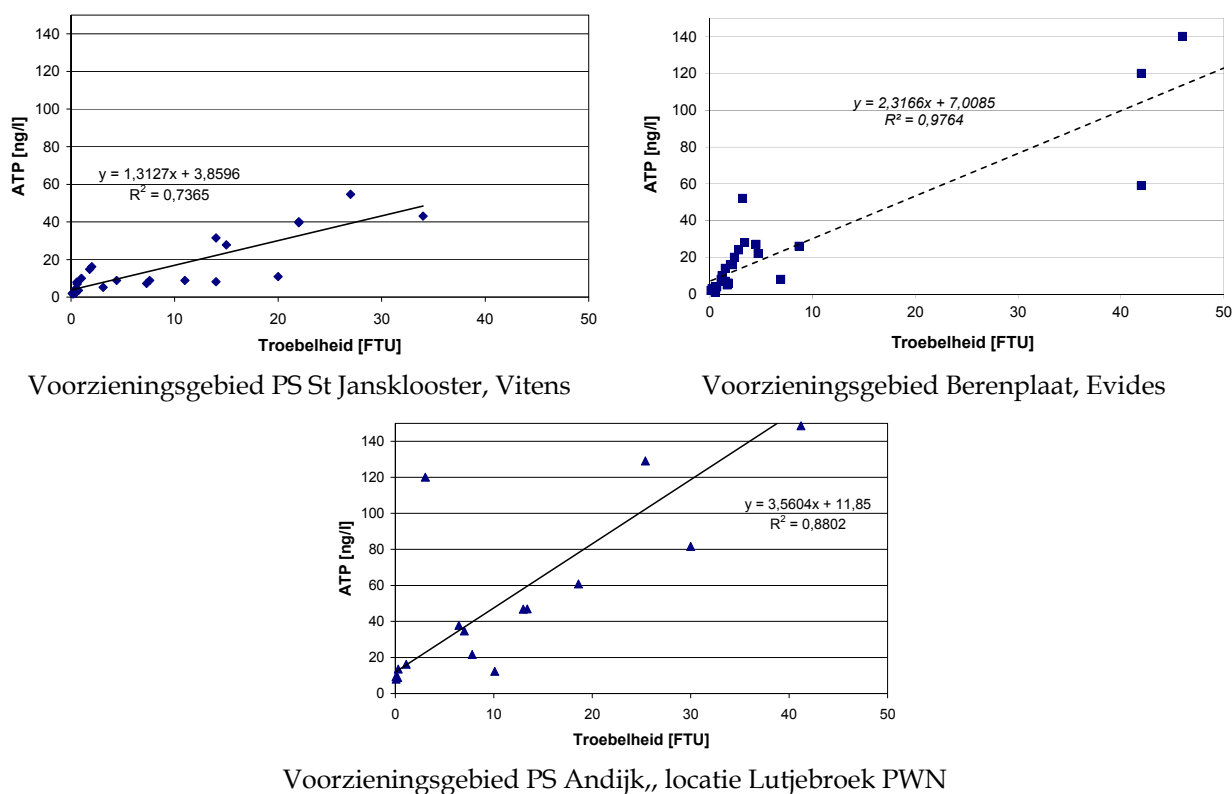
Naast de monsters in het distributienet, zijn ook 64 monsters van het water zoals het op het pompstation in het leidingnet wordt gepompt geanalyseerd op zowel troebelheid als ATP. Deze gegevens zijn weer gegeven in Figuur 17.



Figuur 17 Troebelheid en ATP gehalte bij verschillende monsters genomen op pompstations bij PWN (n=64)

Uit deze gegevens blijkt dat de troebelheid en ATP lager zijn dan die aangetroffen worden in het distributienet. Geen van de monsters heeft een troebelheid hoger dan 0,25 FTU en ook geen van de monsters heeft een ATP gehalte boven de stabiliteitsgrens van 10 ng/l.

Per onderzoeksgebied waar opwervelingsproeven zijn gedaan, is gekeken naar een lineaire relatie tussen de troebelheid en het ATP gehalte. De relatie is niet door het nulpunt geforceerd, omdat niet alle troebelheid wordt veroorzaakt door de biologische activiteit. Deze relaties zijn weergegeven in Figuur 18.



Figuur 18 Relatie Troebelheid-ATP voor de verschillende voorzieningsgebieden. Linksboven is het voorzieningsgebied van PS St Jansklooster, Vitens, rechtsboven het voorzieningsgebied van PS Berenplaat, Evides en onderaan het voorzieningsgebied van PS Andijk, PWN.

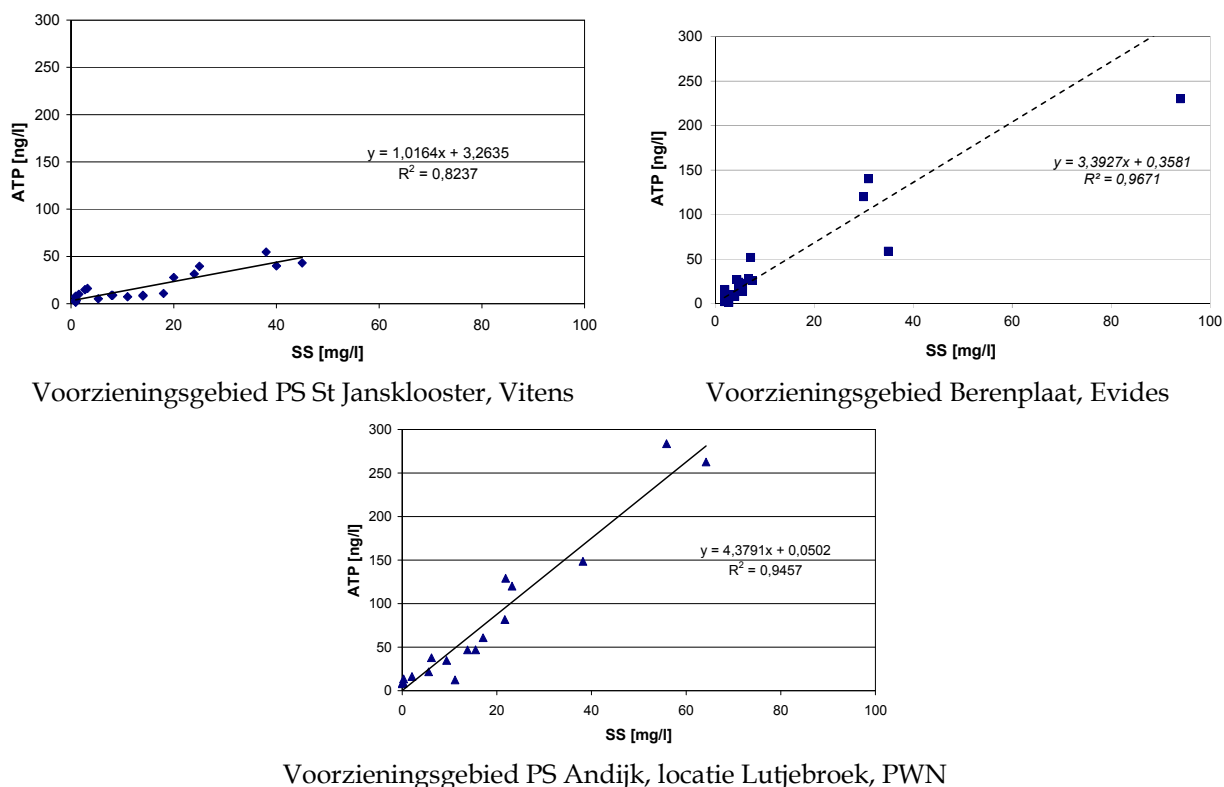
De lineaire relatie tussen troebelheid en voor de verschillende monsterreeksen is weergegeven in Tabel 4 evenals eerder gemeten waarden voor de BVS en BAS bij de betreffende pompstations (informatie Paul van der Wielen). De BVS wordt over een periode van enkele maanden gemeten en is dus minder afhankelijk van de seizoensinvloeden. De BAS waarden zijn dat wel en zullen dus minder constant zijn over verschillende meetperioden.

Tabel 4 Relatie coëfficiënten relatie ATP-troebelheid in de proefgebieden, met historische meetwaarde voor de Biofilm Vorming Snelheid (BVS, conventionele biofilmmonitor) en Biofilm Accumulatie Snelheid (BAS, CBM)
 $[ATP] = a \cdot [FTU] + b$

	Vitens	Evides	PWN
a	1,31	2,32	3,56
b	3,86	7,01	11,85
R ²	0,74	0,98	0,88
BVS [pg/cm ² /dag]	9,4	26,1	15,2
BAS [pg/cm ² /dag]	13,2	30	36,2

De relatie is voor de reeksen van Vitens en PWN is redelijk sterk (R² van 0,74-0,88). De relatie bij Berenplaat sterk wordt bepaald door de drie hoge waarnemingen; de waarnemingen zijn niet normaal verdeeld over het gehele traject en kan dus slechts als indicatief beschouwd worden. De verhouding (a waarde) tussen FTU en ATP is wel verschillend in de diverse gebieden.

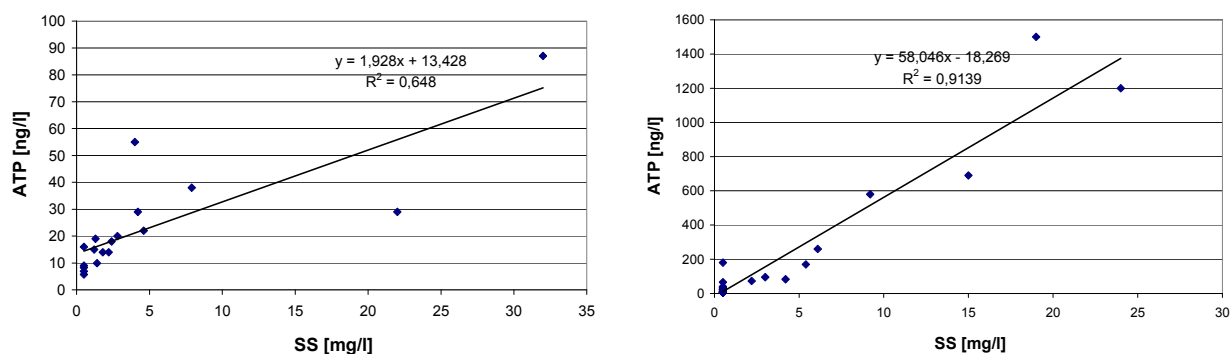
Per gebied is ook gekeken naar de relatie tussen het vaste stof gehalte (Suspended Solids, SS) en ATP. Ook hier is de relatie niet door het nulpunt geforceerd omdat niet al het ATP direct is verbonden met de vaste stof. De gegevens zijn grafisch weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19 Relatie Vaste stof (SS)-ATP voor de verschillende voorzieningsgebieden. Linksboven is het voorzieningsgebied van PS St Jansklooster, Vitens, rechtsboven het voorzienings gebied van PS Berenplaat, Evides en onderaan het voorzieningsgebied van PS Andijk, PWN.

Hier geldt hetzelfde als voor de relaties tussen troebelheid en ATP, namelijk dat de relatie gevonden voor de monsters uit het voorzieningsgebied van PS Berenplaat slechts indicatief is. Deze wordt teveel bepaald door een aantal hoge waarden.

De analyses die zijn uitgevoerd op de monsters die zijn genomen in Gouda en Ridderkerk in het voorzieningsgebied van Oasen zijn ook gebruikt om een relatie tussen vaste stof en ATP gehalte te bepalen. Voor beide gebieden zijn deze grafieken weergegeven in Figuur 20. De monsters die genomen zijn bij het volledig spuien van de leiding zijn hierin niet meegenomen.



Figuur 20 Relatie tussen vaste stof en ATP voor het gebied Gouda (links) en gebied Ridderkerk (rechts)

Wat hierin opvalt, zijn de hoge waarden die zijn gevonden in het gebied van Ridderkerk. De hellingshoek van de grafiek ligt een orde hoger dan die gevonden bij de andere vier pompstations. De hellingshoek bij de resultaten in Gouda worden erg bepaald door de twee extreme monsters. Zonder die twee zou de lijn ook (veel) steiler lopen. Deze relatie is dus ook slechts indicatief te noemen

De lineaire relatie tussen de vaste stof en voor de verschillende monsterreeksen is weergegeven in Tabel 5 evenals eerder gemeten waarden voor de BVS en BAS bij de respectieve pompstations.

De relaties tussen de vaste stoffen en ATP is evenwichtiger dan die tussen troebelheid en ATP. Vooral voor het gebied van de Berenplaat is dit duidelijk.

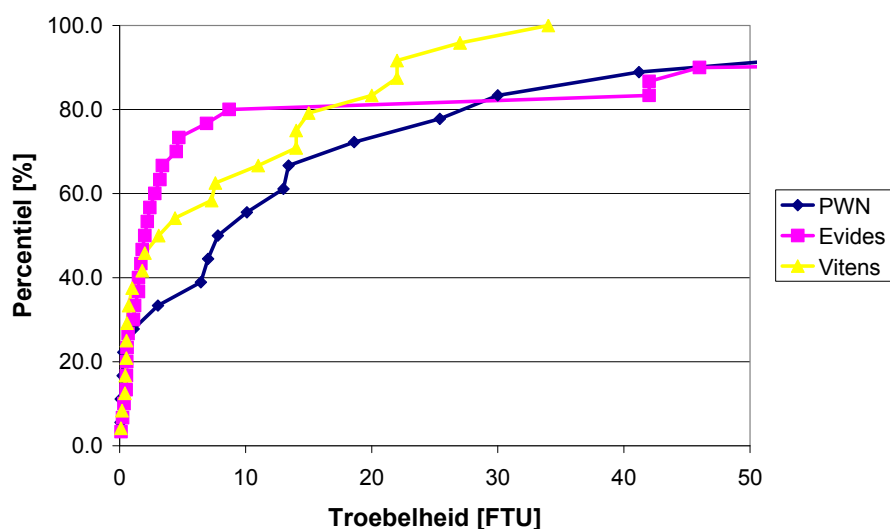
Tabel 5 Relatie coëfficiënten relatie vaste stof-ATP in de proefgebieden, met historische meetwaarde voor de Biofilm Voming Snelheid (BVS, conventionele biofilmmonitor) en Biofilm Accumulatie Snelheid (BAS, CBM)
 $[ATP]=a*[SS]+b$

	Vitens	Evides	PWN	Oasen Gouda	Oasen R'kerk
a	1,02	3,39	4,38	1,93	58
b	3,26	0,36	0,05	13,4	-18
r ²	0,82	0,97	0,95	0,65	0,91
BVS [pg/cm ² /dag]	9,4	26,1	15,2	NB	NB
BAS [pg/cm ² /dag]	13,2	30	36,2	NB	NB

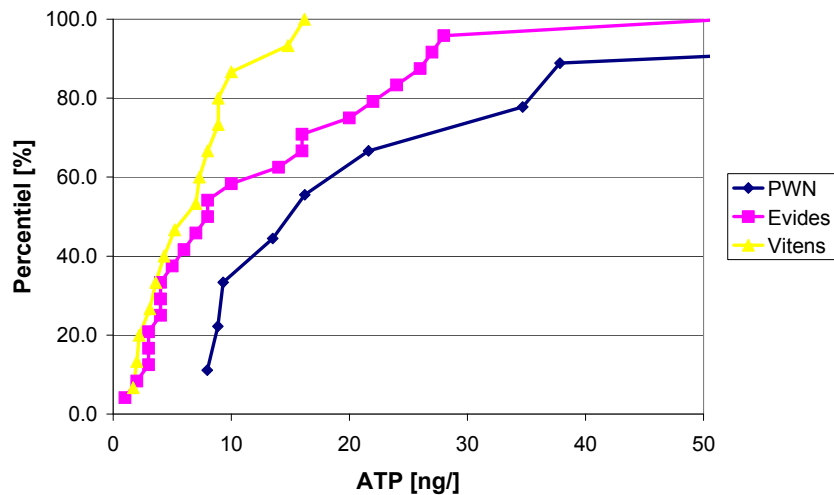
NB: Niet bekend

3.3 ATP gehalte bij lage troebelheid opwervingsproeven

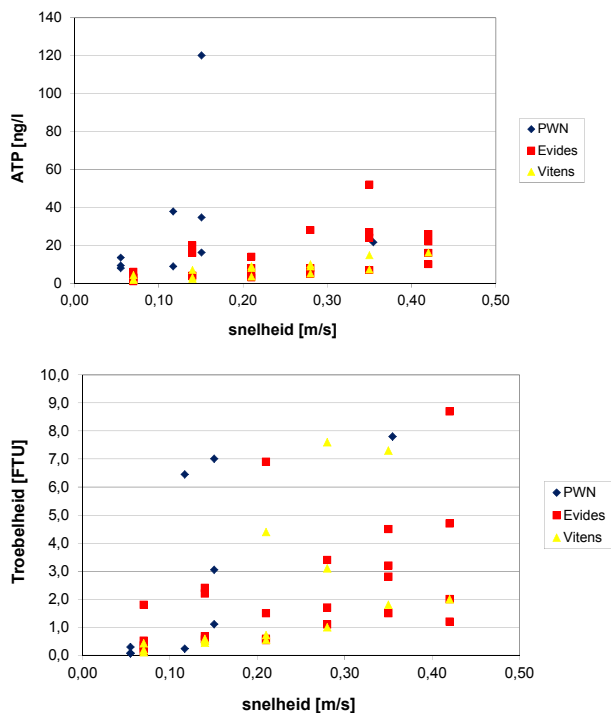
De zichtbaarheids grens van troebelheid ligt rond de 10 FTU. Water met een hogere troebelheid zal niet snel gedronken worden, waarmee eventuele gevolgen van nagroei minder zijn. In Figuur 21 is de frequentieverdeling van de troebelheid van de verschillende monsters weergegeven. In Figuur 22 is vervolgens de frequentieverdeling weergegeven van de ATP gehalten van de monsters met een troebelheid <10 FTU. De gemiddelde snelheid waarmee deze monsters zijn genomen is 0,21 m/s met een standaarddeviatie van 0,12 m/s. Figuur 23 geeft hiervan een beeld. Zoals te verwachten (zie figuur 14) is hier geen relatie te zien.



Figuur 21 Frequentieverdeling van de troebelheid van de genomen monsters. De curves van PWN en Evides lopen verder vanwege de hogere troebelheden die niet zijn weergegeven.



Figuur 22 Frequentieverdeling van ATP gehalten van de monsters met een troebelheid <10 FTU



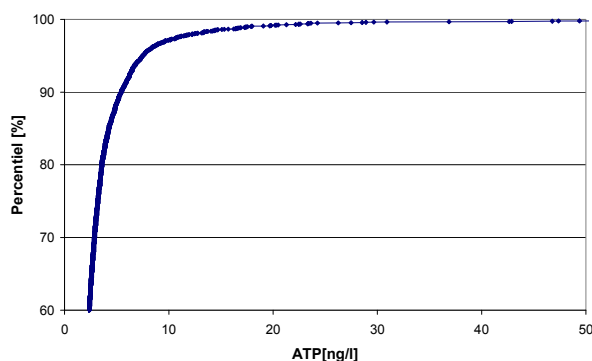
Figuur 23 Monster met troebelheid <10 FTU gerelateerd aan de snelheid van opwerpen

De monsters rechts van de stippellijn in Figuur 22 zijn monsters met een troebelheid lager dan 10 FTU en dus niet visueel waarneembaar voor consumenten, maar met een ATP-gehalte hoger dan 10 ng/l. Deze monsters zijn nu niet nader geanalyseerd op bacteriologische samenstelling, maar laten zien dat er in normale omstandigheden door opwerveling relatief hoge ATP gehalten in het water kunnen voorkomen en die kunnen worden geconsumeerd.

3.4 ATP gehalte bij lage troebeling bij tapkraanmonsters

De frequentieverdeling van de troebelheid en het ATP gehalte van de tapkraanmonsters zoals genomen in het voorzieningsgebied van PWN in de periode 2011-2012 is weergegeven in Figuur 24. Zoals eerder opgemerkt is de troebelheid niet boven de zichtbaarheidsgrens. Het gehalte van 10 ng/l ATP wordt bij

het 97,2 percentiel overschreden. Dit betekent dat in 2,8% van de gevallen (113 van 3855) een hogere waarde wordt gemeten.

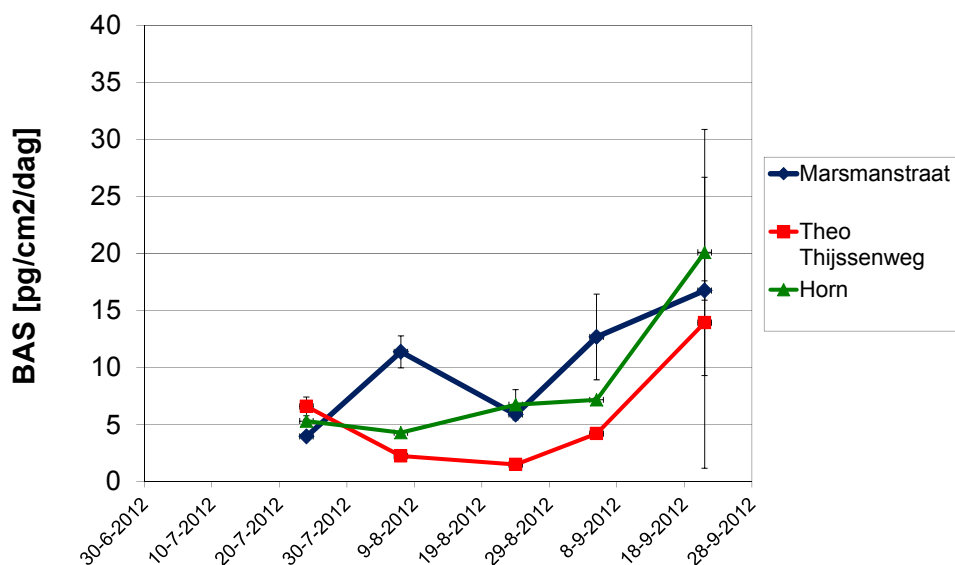


Figuur 24 Frequentieverdeling van ATP gehaltes van de monsters genomen in distributienet PWN; de troebelheid was in alle gevallen < 10 FTU

3.5 Biologische activiteit in het leidingnet

3.5.1 PWN CBM metingen

De resultaten van de CBM metingen in Lutjebroek zijn weergegeven in Figuur 25. De locatie Marsmanstraat is de voedende leiding, locatie Theo Thijssenweg is onderdeel van een zelfreinigend leidingnet en de locatie Horn van een conventioneel leidingnet. Van de laatste monsternamen op 21 september is alleen de vier-weken-meting gepresenteerd. De waarden in het distributienet iets lager zijn dan die in de voedende leiding. De waarden in het zelfreinigende gedeelte geven daarin de laagste waarden.



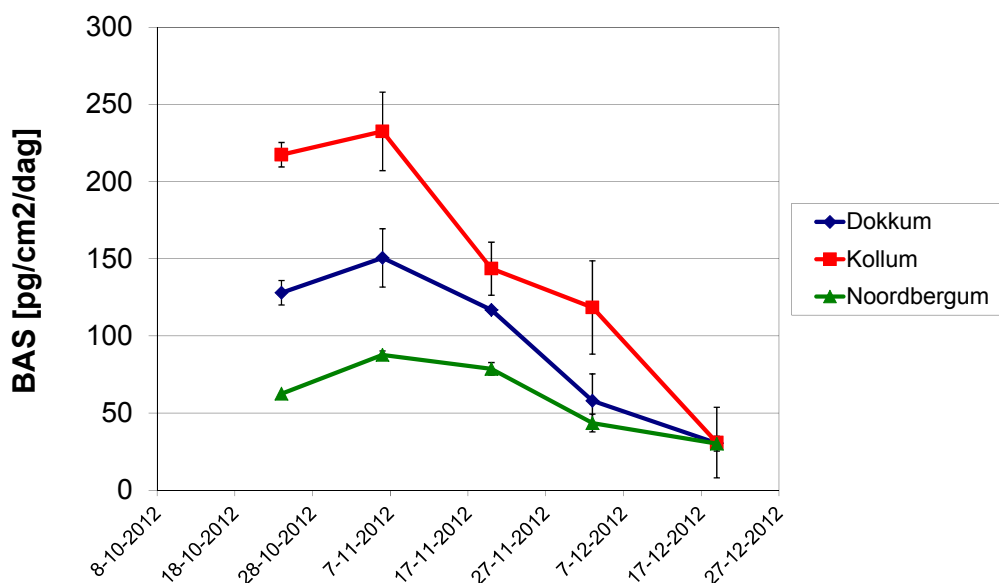
Figuur 25 CBM metingen in het distributienet van PS Andijk. Locatie Theo Thijssenweg is een zelfreinigend leidingnet.

3.5.2 CBM metingen Vitens

Bij Vitens zijn op drie locaties CBM metingen uitgevoerd: Pompstation Noordbergum en in de voedende leiding naar een reinwaterberging in Kollum en de watertoren in Dokkum. In de laatste meting zijn de twee weken cuvetten niet meegenomen in de analyse.

Opmerkelijk is de vrij hoge waarde die wordt gemeten op het pompstation en de consequente toename van de BAS in het leidingnet tot vrij hoge waarden.

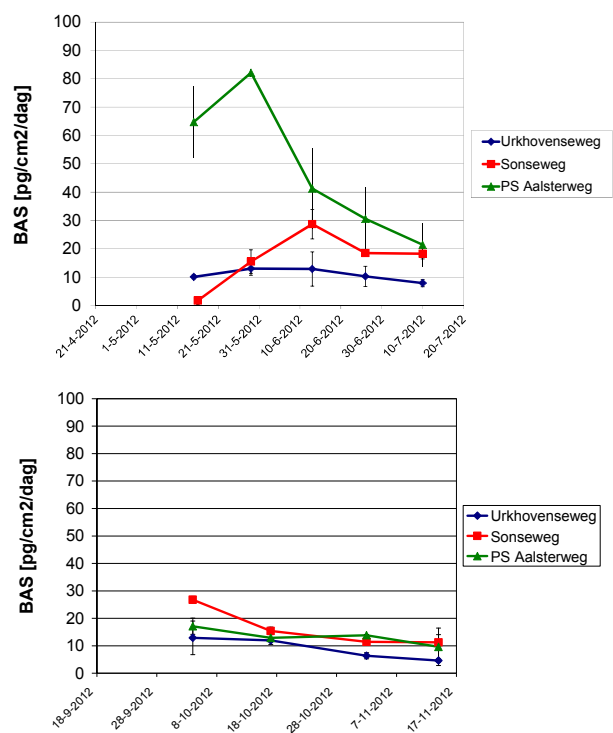
De toename van de BAS in het leidingnet lijkt dus minder te worden in de loop van het onderzoek.



Figuur 26 CBM metingen in het distributiegebied van PS Noordbergum

3.5.3 CBM meting Eindhoven

De CBM metingen in Eindhoven zijn in twee periodes uitgevoerd: de eerste periode beslaat de periode 2 mei tot 10 juli 2012 en de tweede periode van 25 september tot 14 november 2012. Bij beide metingen zijn bij de laatste uitname de twee weken cuvetten niet meegenomen in de analyse. Het verschil in die periodes wordt voornamelijk bepaald door de waardes die worden gemeten op het pompstation Aalsterweg. In de periode mei-juni is deze hoog en neemt in de loop van de tijd af. De 'reactie' op de distributielocaties is vertraagd en afgevlakt te zien. Het patroon op Aalsterweg met een piek in de meting van eind mei is duidelijk te zien op de locatie Sonseweg, maar de piek is lager en teven twee weken later. Het patroon op de Urkhovensweg is vrij constant maar met een lichte stijging op het 'piekmoment halverwege juni. De locatie Urkhovensweg heeft een gemiddelde verblijftijd van 15 uur en Sonseweg een gemiddelde verblijftijd van 33 uur



Figuur 27 CBM metingen in het voorzieningsgebied van PS Aalsterweg, Eindhoven

4 Discussie

4.1 Inleiding

In de volgende paragrafen zullen de onderzoeksdoelen nader worden beschouwd:

- Het ATP gehalte van gemakkelijk, c.q. in normale hydraulische omstandigheden, opwervelbaar sediment en in welke mate dit is gerelateerd aan de parameters Vaste Stof en Troebelheid
- De ontwikkeling van de BAS in een conventioneel leidingnet en een zelfreinigend leidingnet.

4.2 Opwervelbaar sediment en biologische activiteit

De biologische activiteit in een leidingnet wordt bepaald door de hoeveelheid voedingsstoffen die aanwezig zijn, de bacteriën die zich in het water bevinden en de bacteriën in de biofilm, kortom het ecosysteem in een leidingnet. De biofilm kan zich daarbij hechten op de wand van de leiding, maar ook op het sediment dat in de leiding aanwezig is. Er is sprake van een dynamisch evenwicht met interactie tussen de biofilm en het (stromende) water. De biologische activiteit in de biofilm is vele malen hoger dan die in het water (Liu 2013).

Het sediment dat gevonden wordt in distributiesystemen heeft een bijzondere vlokstructuur die past in de definitie van een hydrogel (Poças et al. 2013). Een hydrogel is een matrix-actige structuur met veel watermoleculen, waarin een micro-ecosysteem kan ontstaan. Er zijn zelfs theorieën die beweren dat hydrogels de basis hebben gevormd voor het ontstaan van leven op aarde (Jack T. Trevors 2005), hetgeen in ieder geval suggereert dat het een goede manier van ontwikkelen van leven is. Deze structuur geeft eenzelfde soort gunstige omstandigheden als biofilms op de leidingwand.

Uit de relatie tussen de troebelheid en het ATP-gehalte, die voor twee gebieden vrij sterk is en voor één indicatief (Tabel 4) en de relatie tussen troebelheid en vaste stof die ook in twee gebieden vrij sterk is en in één indicatief (Tabel 5), blijkt dat er biomassa op het sediment aanwezig is. Dit is een bevestiging van eerder gevonden resultaten met dit verschil dat de monsters zijn genomen met relatief lage stroomsnelheden, representatief voor snelheden die ook onder normale omstandigheden kunnen optreden in het leidingnet. Ook bij lage troebelheden kunnen hogere waarden voor ATP worden gevonden. Met andere woorden: het water met een kwaliteit zoals is vastgesteld in de monsters kan ook uit de kraan komen. Niet als constante kwaliteit, maar in gevallen dat er een incidentele opwerveling plaatsvindt.

De resultaten van de analyses van de monsters genomen tijdens de routinemonsters bij PWN (zie Figuur 16) laten ook zien dat er hogere ATPgehalten (>10 ng/l) kunnen voorkomen bij lage troebelheden (<10 FTU). De relatie tussen de troebelheid en het ATP gehalte is niet aanwezig. Bij de monsterseries van de milde opwervelingsproeven is deze relatie wel gevonden. Een mogelijke verklaring voor het ontbreken van de relatie in de monsterserie van PWN is dat deze over een langere periode en met een grote spreiding over het gebied is genomen. De invloed van temperatuur speelt hierbij dan waarschijnlijk een rol. Met de CBM metingen is getoond dat de biofilmvormende eigenschappen geen constante parameter is, noch in tijd, noch in plaats. Dat kan betekenen dat de samenstelling en hoeveelheid van de biomassa, zoals gevormd op het sediment ook varieert.

De monsters die genomen zijn bij de opwervelingsproeven zoals beschreven in hoofdstuk 3, zijn met een beperkte geografische spreiding en binnen een tijdsbestek van enkele dagen genomen. Dat kan de relatief sterke relaties verklaren (zie ook paragraaf 4.3) omdat hier het sediment onder dezelfde omstandigheden wordt opgewerveld.

De tapkraanmonsters laten wel zien dat verhoogde ATP gehalten ook kunnen voorkomen zonder expliciete opwerveling. Het zwevend sediment c.q. kan dus ook biomassa, hetgeen de biologische relevantie hiervan bevestigt.

Zowel de (recente) literatuur als de analyses van de monsters van milde opwerveling laten zien dat sediment een hoeveelheid biologische activiteit bevat.

Consumptie van water zal plaatsvinden als het water voldoet aan de visuele randvoorwaarde: Als het water helder is, zal het gedronken worden. Bij 'normale' bruinwaterincidenten is het water zó troebel dat

consumptie niet voor de hand ligt. Troebelheden lager dan 10 FTU worden over het algemeen echter visueel niet goed waargenomen, zelfs niet onder ideale omstandigheden zoals water in een witte kom (Slaats et al. 2002). Dit is enkele keren getest door aan verschillende mensen (bezoekers van symposia of een open dag bij KWR) te vragen bij welke troebelheid het water onacceptabel zou zijn c.q. zou leiden tot een klacht. Dit is geïnterpreteerd dat als de troebelheid beneden 10 FTU is, dit water geconsumeerd zou worden.

Uit de analyses blijkt dat van de 72 monsters, genomen tijdens de opwervelingsproeven, die zijn geanalyseerd er 20 (28%) zijn met een troebelheid lager dan 10 FTU, maar een ATP gehalte van meer dan 10 ng/l. Er is niet vastgesteld of dit water nog een sterke geur of smaak heeft of andere gevolgen van nagroei heeft.

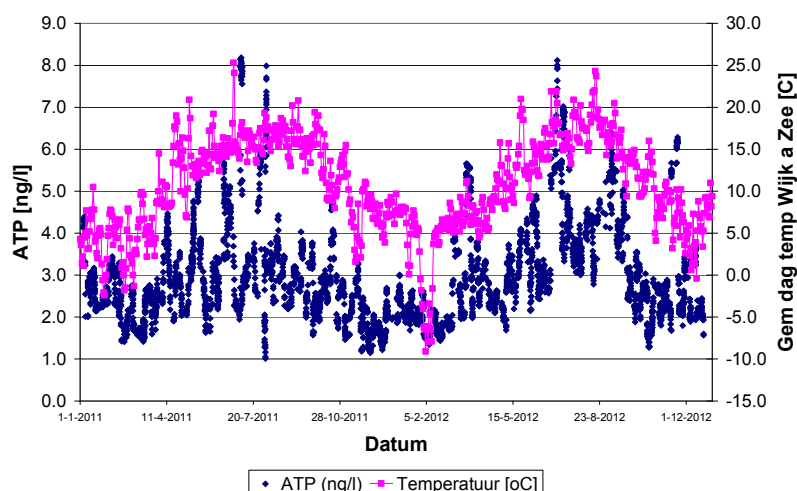
De maximale troebelheid per locatie wordt meestal bij een snelheid gemeten die lager is dan de verstoringssnelheid van de OPM. De OPM zal in die gevallen een realistisch beeld geven van het risico op bruinwaterklachten bij verstoringen die onder normale omstandigheden kunnen optreden. Verstoringen met een hogere snelheid dan 0,4 m/s zullen sowieso ingrijpender zijn, bijvoorbeeld als gevolg van grote breuken. De maximale troebelheid treedt al op bij een verstoring lager dan die van de OPM. Hiermee wordt het risico om bruin water goed ingeschat, zonder dat het echter een betrouwbaar beeld geeft van de hoeveelheid 'spuibaar' sediment. Bij goed spuien is de snelheid ruim 4 maal zo hoog als bij de OPM.

4.3 Invloedsfactoren voor biologische activiteit in sediment

In de biofilm ontstaat een microklimaat, waardoor bacteriën zich kunnen ontwikkelen. De ontwikkeling van een biofilm is niet alleen afhankelijk van de hoeveelheid biologisch afbreekbaar materiaal, maar onder anderen ook van temperatuur (Flemming et al. 2001). Deeltjes in het leidingnet hebben ook de neiging om zich naar de wand te bewegen onder invloed van de hydraulische omstandigheden (Thienen, Vreeburg et al. 2011). De combinatie van deeltjes en biologische activiteit heeft een vlokvorming tot gevolg waarbij de vlokken bijzondere eigenschappen hebben die kunnen worden vergeleken met hydrogels (Poças et al. 2013). In hydrogels bestaan gunstige omstandigheden zoals ook in biofilms worden aangetroffen.

In de monsters van het makkelijk opwervelbare sediment, zoals dat tijdens de opwervelingsproeven is bemonsterd, is in twee gebieden een sterke en in één gebied een indicatieve relatie gevonden tussen het vaste stof gehalte en de hoeveelheid ATP. De relatie tussen de troebelheid en het ATP gehalte is in de genoemde twee gebieden met een sterke SS-ATP relatie minder sterk. In de tweejaarreeks van de routinemonsters in het leidingnet van PWN is geen relatie te zien tussen de troebelheid en het ATP gehalte van de monsters. Hiervoor zijn twee mogelijke verklaringen:

- De monsterreeks is genomen aan de tapkraan, hoogstwaarschijnlijk tijdens het eerste gedeelte van de werkdag. Slechts in een minderheid van de gevallen zal dit samenvallen met een opwerveling van sediment, zoals in de opwervelingsproeven wel is gedaan. De monsters zijn dus in minder verstoorde omstandigheden genomen. Toch blijkt in 2,8% van de gevallen een verhoogd gehalte ATP vast te stellen zonder tot boven de 10 FTU verhoogde troebelheid. In de verstoringreeks was dit 28%.
- Omdat de reeks van PWN over twee jaar is genomen, is getracht vast te stellen of er een afhankelijkheid is met de temperatuur. Hiervoor is een lopend gemiddelde bepaald over reeksen van 27 monsters. Dit is min of meer willekeurig bepaald. Dit lopende gemiddelde is samen met de gemiddelde dagtemperatuur in het weerstation Wijk aan Zee, dat door het KNMI wordt gemonitord weergegeven in Figuur 28.



Figuur 28 Lopend gemiddelde van het ATP gehalte over 27 waarnemen en de gemiddelde dagtemperatuur in Wijk aan Zee

Uit deze figuur zijn op zichzelf geen harde conclusies te trekken. Het bevestigt wel de temperatuur afhankelijkheid van de biologische activiteit in het water zoals in eerdere onderzoeken is vastgesteld. Door het lopende gemiddelde zijn de extremen uit de waarnemingen weggevalen. Dit laat zien dat de hoge waarden die in 2,8% van de gevallen zijn gevonden, het resultaat zijn van kort durende omstandigheden, zoals bijvoorbeeld het opwervelen van sediment.

4.4 BiofilmAccumulatieSnelheid (BAS) in het leidingnet

De nieuwe methode waarbij met continue biofilm monitoren (CBM) de Biofilm Accumulatie Snelheid (BAS) wordt bepaald, maakt het mogelijk om op relatief korte tijdschaal ook in het leidingnet biofilmvormingseigenschappen van het water vast te leggen. Dit is in drie verschillende voorzieningsgebieden gedaan met specifieke aandachtspunten.

Met de BAS wordt meer rekening gehouden met de invloed die sediment heeft op de totale biologische activiteit c.q. vorming van biomassa in het leidingnet. Op de glaspareltjes kan zich sediment ophopen, zoals dat ook in een leidingnet kan gebeuren. Het is echter nog niet duidelijk hoe het ingevangen sediment de meting met de CBM beïnvloedt. Nader onderzoek is hiervoor nodig. Een belangrijke vraag daarbij was of een zelfreinigend leidingnet tot een hogere BAS zou leiden. In een zelfreinigend leidingnet wordt voorkomen dat het sediment kan ophopen. In een dergelijk net wordt de accumulatie die in de tijden van laag verbruik optreedt, opgewerveld gedurende de dagelijkse piek in de snelheid. Hierbij kan ook sediment dat elders is opgewerveld in het zelfreinigende leidingnet terecht komen. In een conventioneel net zou het weer bezinken, maar in een zelfreinigend net zou het in suspensie blijven en dus ook gevoed worden aan de CBM. Dit zou een dubbel effect kunnen hebben op de BAS.

Uit de meting in een zelfreinigende leiding én in een nabijgelegen conventionele leiding (zie Figuur 25) is dat hier niet het geval. Hiermee is een belangrijke aanwijzing gevonden dat het voorkomen van accumulatie geen hogere BAS waarde geeft. Daarnaast is het aannemelijk gemaakt dat een zelfreinigend leidingnet ook een gunstige invloed kan hebben op de biologische stabiliteit van het water of in ieder geval de mogelijke piekwaarden van de ATP. De aanwezigheid van sediment levert een grotere hoeveelheid 'losse' biomassa op, zoals het experiment met deeltjesvrij versus gewoon drinkwater in Franeker heeft laten zien (Vreeburg et al. 2008). Ook de relaties tussen ATP en vaste stof, zoals in dit onderzoek zijn gevonden, laten zien dat meer sediment ook meer losse biomassa levert. Omgekeerd kan dit betekenen dat voorkomen van sediment de mogelijke piekwaarden van ATP ook zal voorkomen. Het betreft echter maar één meting; vervolgonderzoek op meerdere locaties is daarom aan te raden.

In Figuur 27 op pagina 29 zijn CBM-gegevens over twee seizoenen weergegeven bij PS Aalsterweg in Eindhoven, Brabant Water. Opvallend is dat de BAS op het pompstation niet constant is en zelfs sterk varieert in de periode april-mei-juni. De reactie in het leidingnet is waarschijnlijk op de locatie Sonseweg

waarneembaar: de piek die op het pompstation ontstaat, is een periode later te zien op die locatie en ook de afnemende trend is waarneembaar. Op de locatie Urkhovenseweg is de reactie minder expliciet en ook niet significant. Later in het seizoen is de BAS van het pompstation veel lager en blijft min of meer constant in het leidingnet. De verblijftijd naar de Urkhovenseweg is gemiddeld 15 uur en naar de Sonseweg is dat 33 uur.

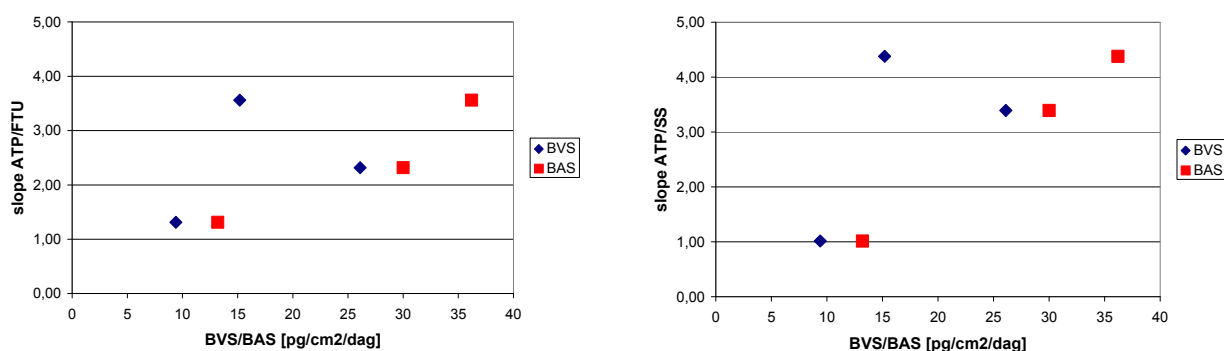
Zowel in Eindhoven als in Lutjebroek neemt de BAS af in het leidingnet. Dit beeld is analoog aan het beeld dat met troebelheid of met deeltjestellingen wordt gezien. In die gevallen kan het verklaard worden met het verdwijnen van deeltjes uit het water met als gevolg een ophoping daarvan in het leidingnet. In het geval van BAS kan iets dergelijks ook spelen, namelijk dat deeltjes met biofilm én voeding verdwijnen in het sediment.

De metingen in Friesland (Figuur 26) laten weer een heel ander beeld zien. Ook daar is de BAS vanaf het pompstation niet constant en relatief hoog. De BAS richting de twee reinwaterbergingen neemt echter vrij veel toe, tot waarden ruim boven de 200 pg/cm²/dag. De toename in het traject Noord-Bergum naar Kollum is bijna twee maal zo groot als de toename in het traject Noordbergum naar Dokkum, terwijl de afstand ongeveer gelijk aan elkaar is. De toename van de hoeveelheid biomassa die in de cuvetten wordt gevormd/afgevangen betekent dat het water vanaf het pompstation biologisch niet stabiel is.

4.5 Biologische activiteit sediment en BVS/BAS pompstation

De BVS en de BAS geven een voorspelling van de biofilmvorming in het leidingnet. De BAS houdt meer rekening met de rol van deeltjes c.q. sediment in dit proces. In het model dat biofilm ook op het sediment groeit, zal een hogere BAS of BVS betekenen dat er meer biofilm op het sediment groeit. De mate van biofilmgroei op sediment kan worden gekarakteriseerd met de richtingscoëfficiënt van de relatie tussen ATP en troebelheid of tussen ATP en vaste stof. Uiteraard is dit een grove versimpeling van de werkelijkheid, omdat sediment zeer divers van samenstelling kan zijn. Het kan zelf ook uit organisch materiaal bestaan en daarmee een voedingsbron zijn voor biofilmvorming.

Voor de pompstations Berenplaat, St Jansklooster en Andijk zijn in het verleden verschillende metingen aan de biologische stabiliteit van het uitgaande water gedaan, zowel de BVS als de BAS. Deze waarden zijn uitgezet tegen de genoemde richtingscoëfficiënten in Figuur 29. De richtingscoëfficiënten van de relaties tussen de troebelheid en ATP (Tabel 4) zijn uitgezet tegen de BVS en BAS in de linkerfiguur van Figuur 29. De richtingscoëfficiënten van de relaties tussen de vaste stof en ATP (Tabel 5) zijn uitgezet tegen de BAS en BVS in de rechterfiguur van Figuur 29



Figuur 29 Richtingscoëfficiënt in relatie ATP-FTU tegen de BVS en BAS gemeten op de pompstations (linkerfiguur) en van de relatie ATP-SS (rechterfiguur)

Het aantal meetwaarden is gering, maar de relatie tussen de BAS gemeten op pompstation en de genoemde richtingscoëfficiënten is duidelijker dan die met de BVS. De waarden van de BAS en BVS komen voor de pompstations Berenplaat en St Jansklooster goed met elkaar overeen. Voor het pompstation Andijk liggen ze echter ver uit elkaar, hetgeen het beeld niet duidelijker maakt. Daarnaast geldt dat de BAS op de pompstations op verschillende tijdstippen is gemeten. Bijvoorbeeld de BAS van pompstation

Andijk geeft een waarde van 36,2 pg/cm²/dag terwijl de BAS gemeten op de locatie Marsmanweg in het transportleidingnet de vier-weken waarden van de BAS variëren tussen 6 en 17 pg/cm²/dag. Niettemin is het bepalen van de mate van biomassagroei op het sediment een interessante optie om de gevolgen van de biofilmvorming in het leidingnet te bepalen. Nader onderzoek zou hier meer informatie over kunnen geven.

4.6 Biologische relevantie van sediment

Biofilmvorming in een leidingnet is een accumulatie- en groeiproces dat een zekere tijd vergt. Ook op-hoping van sediment is een accumulatieproces dat een zekere tijd vergt. Slechts een klein gedeelte van de totaal aanwezige biologische activiteit en deeltjes worden gedurende dat accumulatieproces opgesla-gen in het leidingnet. Als een massabalans zou worden opgezet over een langere periode, dan zou blij-ken dat het overgrote gedeelte van de deeltjes en de biologische activiteit wordt doorgevoerd naar de consument terwijl volledig wordt voldaan aan de eisen die worden gesteld aan drinkwater. Als er echter door een hydraulische omstandigheid een opwerveling plaatsvindt, dan zal de piekbelasting mogelijk wel een probleem veroorzaken. Is de opwerveling groot genoeg, dan zal het water een onaangename kleur hebben en zal consumptie niet plaatsvinden. Met een geringere troebelheid kan echter ook een hogere ATP-belasting worden gegenereerd.

Met de opwervelingsproeven is bevestigd dat sediment een zekere mate van biomassa heeft. Tevens is aangetoond dat bij opwerveling onder hydraulische omstandigheden die realistisch zijn in een leiding-net ("milde opwerveling") het ATP gehalte kan stijgen zonder dat er een alarmerende troebelheid op-treedt: de troebelheid is niet zo hoog dat consumptie wordt voorkomen. Hiermee is aannemelijk ge-maakt dat het sediment en de daaraan gekoppelde biomassa relevant is voor de mogelijke belasting van consumenten met gevolgen van nagroei in het leidingnet. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen of de biomassa eventueel (opportunistische) pathogenen bevat.

De metingen met de CBM's laten zien dat de BAS in het leidingnet niet stabiel is. De BAS kan echter zowel toe- als afnemen en ook een eenduidige relatie met verblijftijd is niet vastgesteld. Daarnaast laat de grote spreiding in resultaten in monsters die genomen zijn over een langere tijdsperiode en met een grotere geografische spreiding zien dat de samenstelling van het opgewervelde sediment niet constant is. Er is nu een, wellicht toevallige, relatie vastgesteld tussen de BAS gemeten op het pompstation en de verhouding tussen het ATP gehalte en het vaste stof gehalte van het sediment dat gevonden wordt in het leidingnet.

Tesamen betekenen deze waarnemingen dat sediment een rol speelt in de vorming van biomassa (na-groei) en de mogelijke gevolgen hiervan voor de consument. Door het gedrag van sediment bestaat hier-door het risico van piekbelastingen. Het beperken van dit risico is mogelijk door de biologische stabiliteit van het geproduceerde drinkwater te verhogen. Hierdoor wordt de biomassa op het sediment beperkt. Ook het verminderen van het aantal en het volume van deeltjes kan een gunstige invloed hebben, omdat er dan ook geen biomassa op kan worden gevormd.

Het beperken van piekbelastingen door het opwervelen van sediment is mogelijk door accumulatie van sediment te voorkomen. Zelfreinigende leidingnetten kennen nauwelijks tot geen accumulatie en dragen daarmee waarschijnlijk ook bij aan een goede biologische waterkwaliteit.

De operationele manier van sediment verwijderen door systematische schoonmaak[programma's heeft theoretisch ook een bijdrage in het beperken van het risico van biologische belasting, maar dat is niet onderzocht.

4.7 Aanbevelingen

Los sediment in een leidingnet heeft een biologische relevantie, ongeacht of er een directe kwantitatieve relatie gelegd kan worden met de geproduceerde waterkwaliteit, de verblijftijd of de hydraulische om-standigheden. Nader onderzoek is wel nodig naar deze kwantitatieve relaties.

Daarnaast is in een zelfreinigend leidingnet geen aanwijzing gevonden dat het voorkomen van accumu-latie een grotere belasting voor een consument levert. Er wordt aanbevolen om nader te onderzoeken of het beheersen van sediment in het leidingnet ook een gunstig effect heeft op de biologische stabiliteit in het leidingnet. De maatregelen die genomen kunnen worden om het sediment te beheersen zijn (de zo-genaamde drietrapsraket):

- verminderen van deeltjeslast vanaf pompstation
- zelfreinigende leidingen
- regelmatig en goed schoonmaken van leidingen

Dit wordt in het BTO van 2013 vormgegeven.

Tweede aanbeveling is om de relatie tussen de BiomassaAccumulatieSnelheid op het pompstation en de verhouding ATP/Vaste stof (SS) in het leidingnetsediment zoals tentatief is weergegeven in Figuur 29 nader te onderzoeken. Daarin kan ook worden gekeken naar de relatie tussen vigerende normen voor nagroei en de parameters als ATP, BVS en BAS.

Tenslotte wordt aanbevolen om te onderzoeken in hoeverre opwervend sediment een rol speelt in de verschillende factoren van de nagroeiproblematiek zoals volksgezondheid (opportunistische pathogenen), esthetische en technische normen en overschrijding van wettelijke normen.

5 Conclusies sediment en biologische activiteit

- Per locatie is een range van troebelheden waargenomen als gevolg van de milde opwerveling. In 28% van de monster (20 van 72) komt bij een troebelheid beneden de zichtbaarheidsgrens (<10 FTU) een ATP gehalte boven de stabiliteitsgrens van 10 ng/l voor. Dit kan een mogelijke onopgemerkte belasting van de consument geven.
- Ook bij routinematig verkregen monsters is bij 2,8% een overschrijding van de stabiliteitsgrens van 10 ng/l geconstateerd bij een troebelheid lager dan 10 FTU.
- Per gebied is de verhouding ATP-troebelheid en ATP-vaste stof een indicatieve relatie met de biofomvormingseigenschappen van het water af pompstation gemeten met een momentane waarde van de BAS.
- De BAS in de gemeten zelfreinigende locatie neemt af ten opzichte van het voedende water. Dit wordt ook op andere locaties waargenomen.

6 Referenties

Barbeau, B., V. Gauthier, K. Julienne and A. Carriere (2005). "Dead-end flushing of a distribution system: Short and long-term effects on water quality." Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua **54**(6): 371-383.

Blokker, E. J. M. and P. G. Schaap (2011). Het modelleren van deeltjes in het leidingnet. Nieuwegein, KWR.

Carriere, A., V. Gauthier, R. Desjardins and B. Barbeau (2005). "Evaluation of loose deposits in distribution systems through unidirectional flushing." J Am Water Works Assoc **97**(9): 82-92.

Flemming, H. C. and J. Wingender (2001). "Relevance of microbial extracellular polymeric substances (EPSs), Part I: structure and ecological aspects." Water Science and Technology **6**(43): 1-8.

J. Wingender, H.-C. F. (2004). "Contamination potential of drinking water distribution network biofilms." Water science and technology **49**(11-12): 277-286.

Jack T. Trevors, G. H. P. (2005). "Hypothesis: the origin of life in a hydrogel environment." Progress in Biophysics and Molecular Biology **89**: 1-8.

Liu, G. (2013). Microbiological water quality in drinking water distribution systems. Delft, TU Delft. PhD.

P.W.J.J. van der Wielen, D. v. d. K. (2010). "Effect of water composition, distance and season on the adenosine triphosphate concentration in unchlorinated drinking water in the Netherlands." Water research **44**(17): 4860-4867.

Poças, A., A. Miranda, J. Paiva, M. Benoliel, J. Vreeburg and J. Menaia (2013). "Hydrogel floc nature and biogenic constituents of drinking water discolouration deposits." Water Science & Technology: water supply **Accepted for publication**.

Slaats, N., L. P. M. Rosenthal, W. G. Siegers, M. v. d. Boomen, R. H. S. Beuken and J. H. G. Vreeburg (2002). Processes involved in generation of discolored water, American Water Works Association Research Foundation / Kiwa, The Netherlands.

Thienen, P. v., J. H. G. Vreeburg and E. J. M. Blokker (2011). "Radial transport processes as a precursor to particle deposition in drinking water distribution systems." Water Research **45**(4): 1807-1817.

van der Kooij, D., J. S. Vrouwenvelder and H. R. Veenendaal (2003). "Elucidation and control of biofilm formation processes in water treatment and distribution using the unified biofilm approach." Water Science and Technology **47**(5): 83-90.

Vreeburg, J., D. Schippers, J. Q. J. C. verberk and J. C. van Dijk (2008). "Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system." Water Research **42**(16): 4233-4242.

Vreeburg, J. H. G., E. J. M. Blokker, P. Horst and J. C. van Dijk (2009). "Velocity based self cleaning residential drinking water distribution systems." Water Science and Technology **9**(6): 635-641.

Vreeburg, J. H. G., D. Schippers, J. Q. J. C. Verberk and J. C. van Dijk (2008). "Impact of particles on sediment accumulation in a drinking water distribution system." Water Research **42**(16): 4233-4242.

Vreeburg, J. H. G. and E.J.M. Blokker (2012). (BTO 2012.019). Meetmethodiek Distributiestabiliteit.

Wielen, P. v. d. and D. v. d. Kooij (2009). (BTO 2009.044). Invloed van watersamenstelling, afstand en seizoen op het ATP-gehalte in water en in sediment uit het leidingnet van zes pompsations.

Zacheus, O. M., M. J. Lehtola, L. K. Korhonen and P. J. Martikainen (2001). "Soft deposits, the key site for microbial growth in drinking water distribution networks " Water Research **35**(7): 1757-1765.

I Protocol milde opwerveling

Protocol Biologisch Relevantie Sediment

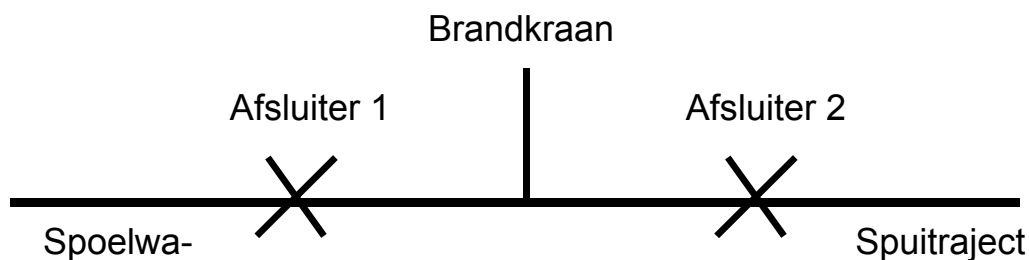
Doel:

Het doel is een aantal spuiacties met verschillende snelheden uit te voeren op 1 brandkraan. Van de verschillende spuiacties monsters nemen en analyseren op een aantal parameters.

Benodigdheden:

- Er dient een geschikte brandkraan te worden gezocht. De brandkraan dient aan de volgende criteria te voldoen:
 - Er dient een spuiactie met een uniforme stromingsrichting mogelijk te zijn door middel van afsluitermanipulatie.
 - De brandkraan dient in een netwerk van een “niet-biologisch-stabiel” pompstation te liggen. Er dienen afsluiters aan beide zijde van de brandkraan aanwezig te zijn, zie Figuur 1. De brandkraan wordt gespoeld over de afsluiter 1, hierbij staat afsluiter 2 dicht. Daarna kan de spuiactie beginnen, hierbij staat afsluiter 2 open en 1 dicht.
- De afsluiters die gebruikt worden voor de manipulatie en spuiactie dienen vindbaar en functioneel te zijn.
- Door de afsluitermanipulatie wordt er minimaal 300 meter leiding in een uniforme stromingsrichting gecreëerd.
- Er dient een volumestroommeter aanwezig te zijn. De volumestroommeter kan geïntegreerd zijn in de standpijp.
- De standpijp dient dubbel uitgevoerd te zijn ivm troebelheidmeting en de spuiacties / monstername.
- Kaliberplaatjes voor verschillende snelheden. PWN maakt kaliberplaatjes voor de verschillende snelheden. Deze kaliberplaatjes zullen ook gebruikt worden voor de andere spuiacties.
- Grote monsterflessen om verzamelmonsters in te nemen.
- Monsterflessen voor de volgende parameters:
 - Troebelheid
 - Gesuspendeerdstoffen
 - IJzer totaal
 - Mangaan Totaal
 - ATP
- De monsterflessen worden door de waterleidingbedrijven geregeld bij hun waterleidinglaboratoria.
- Koelboxen/ koelkast voor het koel houden van de verschillende monsters.
- Online-troebelheidsmeter. Deze zal door KWR beschikbaar worden gesteld.

Figuur 1 Brandkraan configuratie



Werkwijze

De spuiacties worden bij verschillende snelheden uitgevoerd. In Tabel 6 zijn de verschillende spuisnelheden opgenomen en de bijbehorende volumestromen.

Tabel 6 Spuisnelheden en volumestromen

Snelheden [m/s]	Volumestroom 100 mm AC [m ³ /h]	Volumestroom 110 mm PVC PN 7,5 [m ³ /h]
0,07	1,98	2,12
0,14	3,96	4,24
0,21	5,94	6,36
0,28	7,92	8,48
0,35	9,90	10,62
0,42	11,88	12,72

Voor het uitvoeren van de verschillende spuiacties wordt de volgende apparatuur opgebouwd en acties uitgevoerd:

- De standpijp wordt opgebouwd;
- De afsluiters worden gemanipuleerd om de brandkraan te spoelen;
- De brandkraan wordt gespoeld;
- De afsluiters worden gemanipuleerd voor de spuiactie;
- De afsluiters worden gemanipuleerd voor een uniforme stromingsrichting;
- De volumestroommeter wordt aangesloten;
- De online-troebelheidmeter wordt geïnstalleerd aan een zijde van de brandkraan;
- De online-troebelheidsmeter wordt in werking genomen voor een basis waarde;
- Het kleinste kaliberplaatje kan geïnstalleerd worden.

Uitvoering

Als de werkwijze goed is gevolgd kan de uitvoering beginnen. Alles staat gereed om de aansluiting van de brandkraan richting de volumestroommeter en het kaliberplaatje te openen.

Hierdoor zal een snelheid van +/- 0,07 m/s optreden. De opgetreden volumestroom dient genoteerd te worden om de exacte snelheid te bepalen. De spuitijden voor de verschillende spuisnelheden worden opgenomen in Tabel 7.

Na elke spuiactie wordt de volumestroom stil gezet en wordt het volgende kaliberplaatje geïnstalleerd. Waarna de volgende spuiactie kan beginnen.

Tabel 7 ARABIC | 7} Spuisnelheden en spuitijden*

Snelheden [m/s]	Spuitijd [mm:ss]
0,07	10:00
0,14	10:00
0,21	10:00
0,28	07:30
0,35	06:00
0,42	05:00

Tijdens elke spuiactie wordt een verzamelmonster genomen. Het verzamelmonster dient halverwege de spuiactie en bij een redelijk constante troebelheid genomen.

Uit de verzamelmonsters kunnen de verschillende monsterflessen voor de parameters gevuld worden.

Tijdens de spuiactie dient de temperatuur gemeten en genoteerd worden.

In bijlage I is een invulformulier opgenomen voor een spuiactie.

Bijlage I

Invulformulier tbv spuiactie "Biologisch Relevantie van Sediment"

Waterleidingbedrijf:

Datum:

Plaats:

Adres:

Brandkraan:

Afsluiters gemanipuleerd:

Situatieschets:

Spuisnelheid [m/s]	Volumestroom [m ³ /h]	Begin tijd [hh:mm]	Eind tijd [hh:mm]	Troebelheid Max [FNU]	Troebelheid Gem [FNU]	Temperatuur [°C]
0,07						
0,14						
0,21						
0,28						
0,35						
0,42						

Spuisnelheid [m/s]	Monstercode troebelheid	Monstercode Gesuspendeerde-stoffen	Monstercode Fe totaal en Mn totaal	Monstercode ATP
0,07				
0,14				
0,21				
0,28				
0,35				
0,42				

Bijzonderheden:

II Data metingen

EVIDES

snelheid	Troe- belheid	SS	Fe	Mn	ATP
m/s	FTU	mg/l	mg/l Fe	mg/l	ng/l
Dahliastraat, Rotterdam					
0,07	0,12	<2	<0,01	<0,01	2
0,14	2,4	5,6	0,47	0,03	20
0,21	0,54	<2	0,08	<0,01	4
0,28	1,1	<2	0,19	0,01	8
0,35	2,8	4,8	0,41	0,02	24
0,42	1,2	3,6	0,2	0,01	10
Mauritssingel, Vlaardingen					
0,07	0,35	<2	0,07	<0,01	3
0,14	0,57	<2	0,2	<0,01	4
0,21	6,9	4	1,7	0,02	8
0,28	1,7	<2	0,26	0,01	5
0,35	1,5	<2	0,35	0,01	7
0,42	8,7	7,6	1,5	0,05	26
Jan Steenstraat, Schiedam					
0,07	0,52	2,8	0,19	<0,01	1
0,14	0,68	<2	0,29	<0,01	4
0,21	0,59	<2	0,22	<0,01	3
0,28	46	31	10	0,25	140
0,35	4,5	4,4	1,1	0,03	27
0,42	4,7	5,2	1,2	0,03	22
Mauvelaan, Maassluis					
0,07	0,24	<2	0,04	<0,01	3
0,14	42	30	6	0,26	120
0,21	140	91	18	0,86	380
0,28	290	200	21	2,4	690
0,35	130	94	22	1,3	230
0,42	42	35	9,5	0,44	59
Voorman, Spijkenisse					
0,07	1,8	<2	0,11	<0,01	6
0,14	2,2	2	0,32	0,01	16
0,21	1,5	5,6	0,3	0,01	14
0,28	3,4	6,8	0,46	0,02	28
0,35	3,2	7,2	0,52	0,02	52
0,42	2	4,8	0,35	0,01	16

PWN

Snel- heid m/s	Troe- belheid FTU	TS mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	ATP ng/l
Walakker					
0,05	0,08	0,02	0,01	0,00	7,96
0,12	0,24	0,27	0,03	0,00	8,86
0,15	3,05	23,20	3,47	0,44	120,11
0,26	76,10	55,86	7,60	1,07	283,77
0,32	30,00	21,70	3,52	0,34	81,68
0,35	7,80	5,58	0,93	0,08	21,62
Overlanderstraat					
0,05	0,07	0,09	0,01	0,00	9,31
0,12	6,45	6,19	0,50	0,12	37,84
0,15	1,11	2,06	0,16	0,03	16,22
0,26	25,40	21,85	1,96	0,40	129,12
0,32	63,40	64,20	4,89	0,92	262,75
0,35	18,60	17,10	1,71	0,26	60,81
Walakker					
0,05	0,30	0,30	0,07	0,00	13,51
0,12	13,00	13,80	1,01	0,21	46,84
0,15	7,01	9,38	0,60	0,12	34,68
0,26	41,20	38,20	3,10	0,57	148,64
0,32	13,40	15,51	1,16	0,20	46,99
0,35	10,10	11,17	0,81	0,14	12,31

snelheid m/s	Troe- belheid FTU	SS mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	ATP ng/l
Prof Brandsmaweg, Nagele					
0,07	0,19	<1	0,025	<0,005	1,7
0,14	0,45	<1	0,064	<0,005	2,2
0,21	4,4	7,9	1,14	0,018	8,9
0,28	3,1	5,3	0,796	0,012	5,2
0,35	7,3	11	1,62	0,025	7,3
0,42	11	14	1,94	0,033	8,9
Palenweg, Schokland					
0,07	0,11	<1	0,02	<0,005	2
0,14	0,53	<1	0,064	<0,005	3,1
0,21	0,72	1	0,098	<0,005	3,6
0,28	7,6	8,1	0,578	0,01	8,9
0,35	14	14	0,894	0,017	8,2
0,42	20	18	1,15	0,019	11
Zuiderzeeweg, Blokzijl					
0,07	0,43	<1	0,091	<0,005	4,3
0,14	0,59	<1	0,151	0,006	7
0,21	0,55	<1	0,223	0,009	8
0,28	1	1,5	0,297	0,011	10
0,35	1,8	2,7	0,545	0,023	15
0,42	2	3,2	0,679	0,028	16
Blokzijlerdwarsstraat, Marknesse					
0,07	15	20	2,37	0,068	28
0,14	14	24	3,06	0,093	32
0,21	22	40	5,16	0,154	40
0,28	34	45	5,96	0,155	43
0,35	27	38	5,24	0,143	55
0,42	22	25	3,41	0,091	40

OASEB

snellheid	Troe- belheid	SS	Fe	Mn	ATP
m/s	FTU	mg/l	mg/l Fe	mg/l	ng/l
Gouda Oranjepoldererf 2					
0,01616		1,8			14
0,03233		4			55
0,04849		1,3			19
0,06465		1,2			15
0,09698		7,9			38
0,1293		2,4			18
0,19395		2,8			20
0,2586		4,2			29
0,32325		4,6			22
1,61627		13			48
Gouda Ravelplein 52					
0,01616		<1			5,7
0,03233		<1			8,3
0,04849		<1			6,9
0,06465		<1			16
0,09698		<1			9
0,1293		1,4			9,9
0,19395		2,2			14
0,2586		32			87
0,32325		22			29
1,61627		140			65
R'kerk Hollandsestraat 74					
0,01616		<1			6,5
0,03233		<1			4,4
0,04849		<1			9,8
0,06465		<1			66
0,09698		<1			22
0,1293		<1			23
0,19395		2,2			73
0,2586		4,2			83
0,32325		3			95
1,61627		14			320
R'kerk Markstraat 13					
0,01616		<1			11
0,03233		<1			4,1
0,04849		<1			6,6
0,06465		<1			5,8
0,09698		<1			6,1
0,1293		<1			13
0,19395		<1			40
0,2586		<1			19
1,61627		14			130

snellheid	Troe- belheid	SS	Fe	Mn	ATP
m/s	FTU	mg/l	mg/l Fe	mg/l	ng/l
R'kerk Pelikaan					
0,01616		<1			31
0,03233		<1			180
0,04849		<1			33
0,06465		6,1			260
0,09698		5,4			170
0,1293		9,2			580
0,19395		15			690
0,2586		19			1500
0,32325		24			1200
1,61627		110			9000

