



# Alternatieven voor spuien in bestaande leidingnetten

Effect van afsluitermanipulatie op  
hervervuilingssnelheid

**BTO 2011.029**  
**Mei 2011**

# Alternatieven voor spuien in bestaande leidingnetten

Effect van afsluitermanipulatie op  
hervervuilingssnelheid

**BTO 2011.029**  
**Mei 2011**

© 2008 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



# Colofon

**Titel**

Alternatieven voor spuien in bestaande leidingnetten

**Projectnummer**

B111630-105, B111694

**Projectmanager**

P.G.G. Slaats

**Opdrachtgever**

CvO

**Kwaliteitsborger(s)**

J.H.G. Vreeburg

**Auteur(s)**

E.J.M. Blokker

**Verzonden aan**

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.



# Samenvatting

Oplossingen voor bruinwaterproblemen in bestaande leidingnetten zijn kostbaar. Manipuleren van afsluiters lijkt een goede preventiemaatregel te zijn tegen accumulatie van deeltjes. Verhoging van de stroomsnelheid in het net door afsluitermanipulatie kan de vervuilingssnelheid met een kwart verlagen, zo bleek uit troebelheidsmetingen bij PWN. Metingen met de opwervelingssnelheidsmethode OPM, zoals uitgevoerd bij Brabant Water, Pidpa, WML en Waterbedrijf Groningen, blijken beperkt informatie op te leveren en zijn vooral kwalitatief ingezet. Voorgesteld wordt om afsluitermanipulatie in te zetten om het zelfreinigende effect van verhoogde snelheden te bepalen (aan de hand van bruinwaterklachten en/of troebelheidsmetingen na spuien). Bij een voldoende positief effect kan de situatie permanent worden gemaakt door leidingen te verwijderen.

## **Belang: verminderen bruinwaterklachten in bestaande leidingnetten**

Nederlandse drinkwaterbedrijven kunnen bruinwaterklachten in *nieuwe* leidingnetten voorkomen door deze te ontwerpen volgens de principes van zelfreiniging: de stroomsnelheid in de leidingen moet regelmatig boven een bepaalde minimale snelheid komen en het net moet overal een eenduidige stroomrichting hebben. Dit voorkomt accumulatie van deeltjes.

Om bruinwaterproblemen in *bestaande* leidingnetten te voorkomen zijn ook maatregelen nodig om accumulatie van deeltjes te vermijden. Op dit moment zijn spuien, aanpassing van de ingaande waterkwaliteit en aanpassing of sanering van het leidingnet de daarvoor beschikbare middelen. Er is behoefte aan snellere en goedkopere oplossingen. In dit onderzoek is de effectiviteit bekeken van beïnvloeding van de snelheid in de leidingen door afsluiters dicht te zetten en is onderzocht in hoeverre het manipuleren van afsluiters leidt tot lagere hervervuilingssnelheden.

## **Aanpak: metingen in 5 sets onderzoeks- en referentiegebieden**

Het onderzoek is uitgevoerd in samenwerking met de waterbedrijven Brabant Water, Pidpa, PWN, Waterbedrijf Groningen en WML. Elk waterbedrijf heeft uit zijn leidingnet twee meetgebieden geselecteerd met vergelijkbare kenmerken wat betreft ingaande waterkwaliteit, toegepaste diameters en materialen en voorkomende snelheden. Eén meetgebied fungeerde als onderzoeksgebied: hier werden 3 tot 17 afsluiters geselecteerd die gedurende de meetperiode van ca. 6 maanden werden dichtgezet. Het andere meetgebied bleef zoals het was en fungeerde als referentiegebied. Vooraf is voor alle meetgebieden doorerekend wat het effect zou zijn van sluiten van de geselecteerde afsluiters op de stroomsnelheid in de leidingen. Daarvoor is een leidingnetmodel gebruikt met realistische en gedetailleerde verbruikspatronen, gebaseerd op SIMDEUM. Die berekeningen lieten zien dat door afsluitermanipulatie in substantieel meer leidingen een maximale snelheid zou ontstaan die hoger is dan de zelfreinigende snelheid. Verwacht werd dat in die leidingen minder accumulatie van deeltjes zou optreden.

In de meetgebieden van Brabant Water, Pidpa, Waterbedrijf Groningen en WML is de mate van accumulatie van deeltjes gemeten met de opwervelingssnelheidsmethode (OPM). Eerst is de begintoestand (OPM1) gemeten, daarna is gespuid en het effect daarvan vastgesteld (OPM2). Vervolgens zijn in het onderzoeksgebied afsluiters dichtgezet. Na ca. 6 maanden zijn opnieuw metingen verricht (OPM3), waarna de oorspronkelijke situatie is hersteld.

Bij PWN was de meetopzet iets anders. Daar is niet de OPM gemeten, maar de troebelheid tijdens het spuien op drie momenten: in de nulsituatie (tijdens regulier spuien), na 17 maanden normale situatie (om met een schoon leidingnet aan de proef te beginnen) en na weer 7 maanden waarin in een van de twee gebieden geselecteerde afsluiters zijn dichtgezet.

## **Resultaten: info uit OPM beperkt; hervervuiling ca. 25% trager**

Uit het onderzoek blijkt dat het niet goed mogelijk is een referentie- en onderzoeksgebied te kiezen die sterk overeenkomen in de hervervuilingssnelheid. In combinatie met lage vervuilingssnelheden is een meetperiode van een half jaar te kort om goed onderscheid te kunnen maken tussen het referentienet en het net met verhoogde snelheden. Ook blijkt dat de OPM-metingen maar zeer beperkt informatie

opleverden over de vervuiling van een heel leidingnet. Daarom zijn de OPM-metingen alleen gebruikt voor een kwalitatieve beoordeling van het effect. Meer informatie was te halen uit de uitgebreide troebelheidsmetingen bij PWN. Ten eerste lieten deze metingen zien dat in twee ogenschijnlijk zeer vergelijkbare meetgebieden een groot verschil (factor 2) in vervuilingssnelheid kan optreden. Ten tweede bleek dat in het onderzoeksgebied door de afsluitermanipulatie 25% te winnen was op de vervuilingssnelheid.

**Implementatie: afsluitermanipulatie geschikte tijdelijke oplossing**

Afsluitermanipulatie lijkt een eenvoudige maatregel om de hervervuilingssnelheid in een leidingnet te verlagen door het water op een andere manier door het net te laten stromen. Deze conclusie is indicatief. Waterbedrijven stuiten bij afsluitermanipulatie wel op praktische problemen: het beheren van gesloten afsluiters is lastig, het creëren van zones met stilstaand water is minder gewenst en er is mogelijk een negatief effect op de capaciteit van enkele brandkranen. Daarom wordt voorgesteld afsluitermanipulatie in te zetten om het zelfreinigende effect van verhoogde snelheden te bepalen (aan de hand van bruinwaterklachten en/of troebelheidsmetingen na spuien). Bij een voldoende positief effect kan de situatie permanent worden gemaakt door leidingen te verwijderen. Dit lost de eerste twee praktische bezwaren op.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
<b>Inhoud</b>	<b>3</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>5</b>
1.1 Aanleiding	5
1.2 Hypothese	5
1.3 Aanpak en leeswijzer	5
<b>2 Meetmethode</b>	<b>7</b>
2.1 Meetopzet	7
2.2 Meetlocaties	8
<b>3 Resultaten</b>	<b>9</b>
3.1 Meetlocaties	9
3.2 OPM-metingen	9
3.3 Spuimetingen PWN	10
<b>4 Discussie</b>	<b>13</b>
4.1 Meetlocaties	13
4.2 Meetmethode	15
4.3 Praktische overwegingen en implementatie	15
4.4 Aanbevelingen voor onderzoek	15
<b>5 Conclusies</b>	<b>17</b>
5.1 Effect afsluitermanipulatie	17
5.2 Methoden om bestaande netten minder snel te laten vervuilen	17
<b>6 Referenties</b>	<b>19</b>
I Casestudie Brabant Water	21
II Casestudie Dunea	25
III Casestudie Pidpa	27
IV Casestudie PWN	31
V Casestudie Waterbedrijf Groningen	35
VI Casestudie Waternet	37
VII Casestudie WML	39





# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Het Nederlandse waterleidingnet vertegenwoordigt met 114.649 kilometer transport- en hoofdleiding (Geudens 2008) een enorme waarde. De vervangingswaarde wordt op ruim 20 miljard Euro geschat. Het transporteren en distribueren van hoogwaardig drinkwater naar miljoenen klanten is een taak waarvan de waarde moeilijk in geld is uit te drukken. Het leidingnet verouderd en zal onderhouden moeten worden om aan de huidige en toekomstige eisen te blijven voldoen, zowel wat betreft de waterkwaliteit als de leveringscontinuïteit.

Leidingnetbeheer betekent over het algemeen het repareren en vervangen van leidingen. Maar leidingnetbeheer kan ook plaatsvinden met betrekking tot waterkwaliteit. Een onderdeel hiervan is het beheersen van bruinwaterklachten aan de hand van de zogenaamde drietrapsraket (Vreeburg 2007).

1. het voorkomen van waterkwaliteitsproblemen door een verlaging van de ingaande sedimentlast;
2. het oplossen van waterkwaliteitsproblemen door te spuien;
3. het voorkomen van waterkwaliteitsproblemen door het zelfreinigend principe van het leidingnet.

In een bestaand vermaasd net kan een zelfreinigende werking worden bereikt door tijdens renovaties van oude(re) wijken of andere infrastructuur (bijvoorbeeld riolering), leidingen niet één-op-één (en dus vermaasd) te vervangen maar het leidingnet (eventueel gefaseerd) te converteren naar een vertakt net volgens de ontwerprichtlijnen voor een zelfreinigend net. Deze methode is beschreven door Horst (2008). Blokker (2009) heeft nog andere methoden beschreven om vermaasde leidingnetten minder snel te laten vervuilen. Het volgende werd geconcludeerd:

1. Een locale bezinkbak van enkele meters lang (*vuilvanger*) blijkt niet te werken.
2. Het inbrengen van een zogenaamde *wokkel* waardoor schuifspanningen op de wand veranderen heeft in het laboratorium zijn potentieel laten zien.
3. De methode van *afsluitermanipulatie* bleek in theorie kansrijk. Door in een vermaasd net een aantal specifieke afsluiters dicht te zetten kan de stromingsrichting meer eenduidig worden gemaakt (meer vertakt) en kan plaatselijk ook de stroomsnelheid worden verhoogd. Zo kunnen de principes die zelfreiniging bevorderen ook in een bestaand net worden toegepast en kan een bestaand net meer zelfreinigend worden gemaakt.

De methode van afsluitermanipulatie is nu ook in de praktijk getest. De resultaten staan beschreven in dit rapport.

## 1.2 Hypothese

De hypothese luidt “een leidingnet vervuult minder snel door afsluitermanipulatie” doordat 1) de snelheid hoger is en daardoor de verblijftijd korter en sediment minder tijd krijgt om te bezinken; 2) een eenduidige stromingsrichting optreedt zodat er geen pendelzones aanwezig zijn waardoor de maximale verblijftijd afneemt en het opgewerkte sediment (zie 3) ook wordt afgevoerd; 3) de maximum snelheid toeneemt waardoor sediment vaker wordt opgewerkeld en dan in kleine hoeveelheden wordt afgevoerd.

Doordat naast leidingen met hogere snelheden ook leidingen met geen stroming ontstaan, namelijk de leidingen die aan de dichte afsluiter aansluiten, is het mogelijk dat in deze *dode* einden extra vervuiling optreedt. Mogelijk dat dit het verwachte effect van de eenduidige stroomrichting en hogere snelheden teniet doet.

## 1.3 Aanpak en leeswijzer

Zeven waterbedrijven hebben interesse getoond om deel te nemen aan de test. De bedrijven hebben een onderzoeksgebied en referentiegebied geselecteerd waarvan de vervuiling gemonitord is; in het onderzoeksgebied zijn gedurende ca. 6 maanden afsluiters dicht gezet. Bij zes waterbedrijven is de vervuiling bepaald met behulp van de opwervelingspotentiemethode (OPM). Bij één waterbedrijf is de

vervuiling bepaald met behulp van troebelheidsmetingen tijdens spuien. De meetopzet en resultaten zijn beschreven in hoofdstuk 2 en 3. De meetlocaties en meetresultaten per waterbedrijf zijn in de bijlagen I-VII beschreven. In hoofdstuk 4 volgt de interpretatie van alle metingen samen en discussie; in hoofdstuk 5 staan de conclusies.

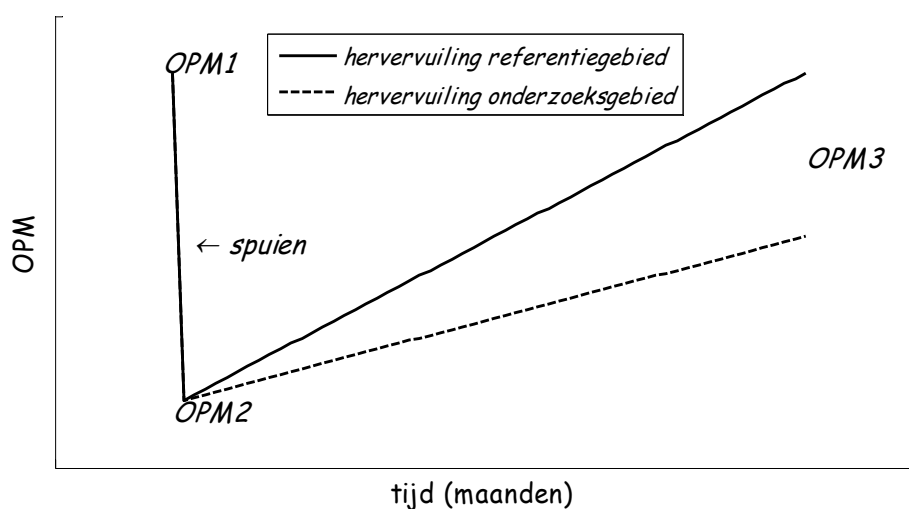
## 2 Meetmethode

### 2.1 Meetopzet

Om de hypothese dat een leidingnet minder snel vervuilt door afsluitermanipulatie te testen wordt de hervervuilingssnelheid van twee wijken met elkaar vergeleken. In de ene wijk wordt gemanipuleerd met afsluiters (onderzoeksgebied) en in de andere wijk gebeurt dit niet (referentiegebied). De hervervuilingssnelheid wordt bepaald met zogenaamde OPM-metingen op brandkranen (Vreeburg et al. 2004) of met troebelheidsmetingen tijdens het spuien.

In de tijd gezien worden minimaal drie metingen verricht, zie Figuur 2-1 en Tabel 2-1. In plaats van de OPM-maat kan ook een maat voor de vervuiling op basis van spuumetingen worden gelezen. De eerste meting is voor het schoonmaken; de 2<sup>e</sup> meting vlak daarna. Om de meetperiode kort te houden wordt de 3<sup>e</sup> meting na bijvoorbeeld 6 maanden uitgevoerd. Bij een lage hervervuilingssnelheid (bekend uit ervaring of bijvoorbeeld een tussentijdse OPM-meting) kan de 3<sup>e</sup> meting ook pas na 1 jaar plaatsvinden. Specifieke meetprotocollen voor de OPM zijn opgesteld (Blokker and Beverloo 2009); de uitvoering van het spuien en de OPM wordt beschreven in de bijlagen. Er is verstoord met ca 0,35 m/s gedurende 5 minuten. De troebelheid is gemeten en eens keer per minuut gelogd; de data van maximaal 15 minuten zijn meegenomen in de interpretatie. Een OPM-kental is bepaald als de gemiddelde waarde van de metingen van minuut 1 t/m minuut 15 (Figuur 2-2).

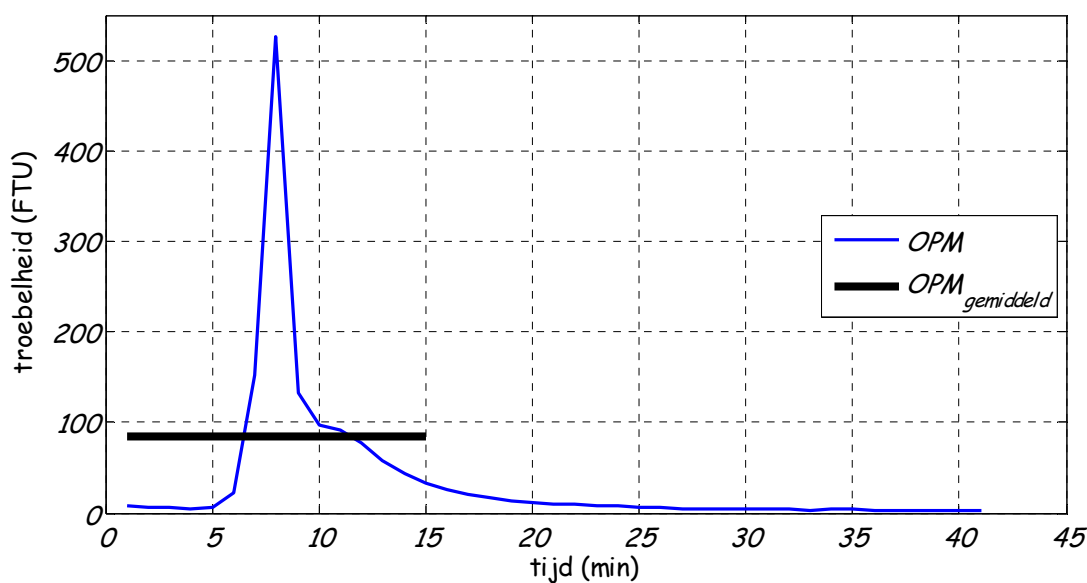
Om een behoorlijke steekproef te hebben zijn bij zeven waterbedrijven een onderzoeks- en referentiegebied geselecteerd. Afhankelijk van de grootte van de gebieden zijn drie tot zes OPM-meetlocaties per gebied bepaald.



Figuur 2-1 Theoretisch verloop van de OPM over de tijd in referentie- en onderzoeksgebied.

Tabel 2-1 Tijd en doel van de OPM-metingen.

Meting	Tijdstip	Doel
OPM1	Direct voor het spuien	Vaststellen of er inderdaad sediment in de leiding ligt
OPM2	Direct na het spuien	Effect van het spuien bepalen
OPM3	Na 6 maanden	Verskil in hervervuiling bepalen in de twee wijken



Figuur 2-2 OPM-meting en vertaling naar OPM-kental ( $OPM_{gemiddeld}$ ).

## 2.2 Meetlocaties

Om de hypothese te testen wordt de hervervuilingssnelheid van twee wijken met elkaar vergeleken. Voor de twee gebieden geldt:

- A. De twee gebieden zijn vergelijkbaar.
  1. De wijken krijgen dezelfde ingaande waterkwaliteit; dit is het beste te waarborgen als wijken dicht bij elkaar liggen. Ze worden dan gevoed door hetzelfde pompstation en transportleidingnet en kennen dezelfde verblijftijd tot het pompstation.
  2. De wijken hebben een vergelijkbare hervervuilingssnelheid in de oorspronkelijke vermaasde situatie. Dit wordt bepaald door de snelheden en verblijftijden in het net en hangt dus samen met het aantal afnemers, de leidinglengtes en -diameters. Met behulp van een leidingnetberekening kan een cumulatieve verdeling van de maximale snelheden in de twee gebieden inzicht geven of de twee gebieden vergelijkbaar zijn.
- B. De hervervuilingssnelheid kan binnen redelijke termijn worden gemeten. Dat betekent dat de gebieden vervuilen. De identificatie van de gebieden gebeurt bijvoorbeeld op grond van eerdere OPM-metingen of de hoeveelheid bruinwaterklachten.
- C. Bij de keuze van de afsluiterconfiguratie (welke worden gesloten) wordt zoveel mogelijk rekening gehouden met randvoorwaarden voor de bedrijfsvoering; d.w.z. dat de einddruk voldoende hoog is, dat de brandkraanopbrengst voldoende hoog is, dat het aantal dode einden beperkt blijft.
- D. Bij de keuze van de afsluiterconfiguratie wordt een inschatting gemaakt van het verschil in hervervuilingssnelheid voor het onderzoeksgebied na afsluitermanipulatie. Met behulp van een leidingnetberekening kan een cumulatieve verdeling van de maximale snelheden na afsluitermanipulatie inzicht geven in de potentiële winst.

Om de werkelijk maximale snelheid te kunnen vaststellen geldt voor de hydraulische leidingnetberekening dat deze op een korte tijdschaal gedaan moet worden (maximaal 1 minuut) en een kleine ruimtelijke schaal. Daarvoor is een zogenaamd 1-op-1 leidingnetmodel nodig met daarin alle aansluitingen. Bovendien worden daaraan realistische verbruikspatronen toegekend op basis van SIMDEUM. Vervolgens worden van alle leidingen in het model de maximale snelheden op een dag bepaald en in een cumulatieve frequentieberekening getoond. Dit geldt voor zowel het onderzoeksgebied (met en zonder de afsluitermanipulatie) als het referentiegebied.

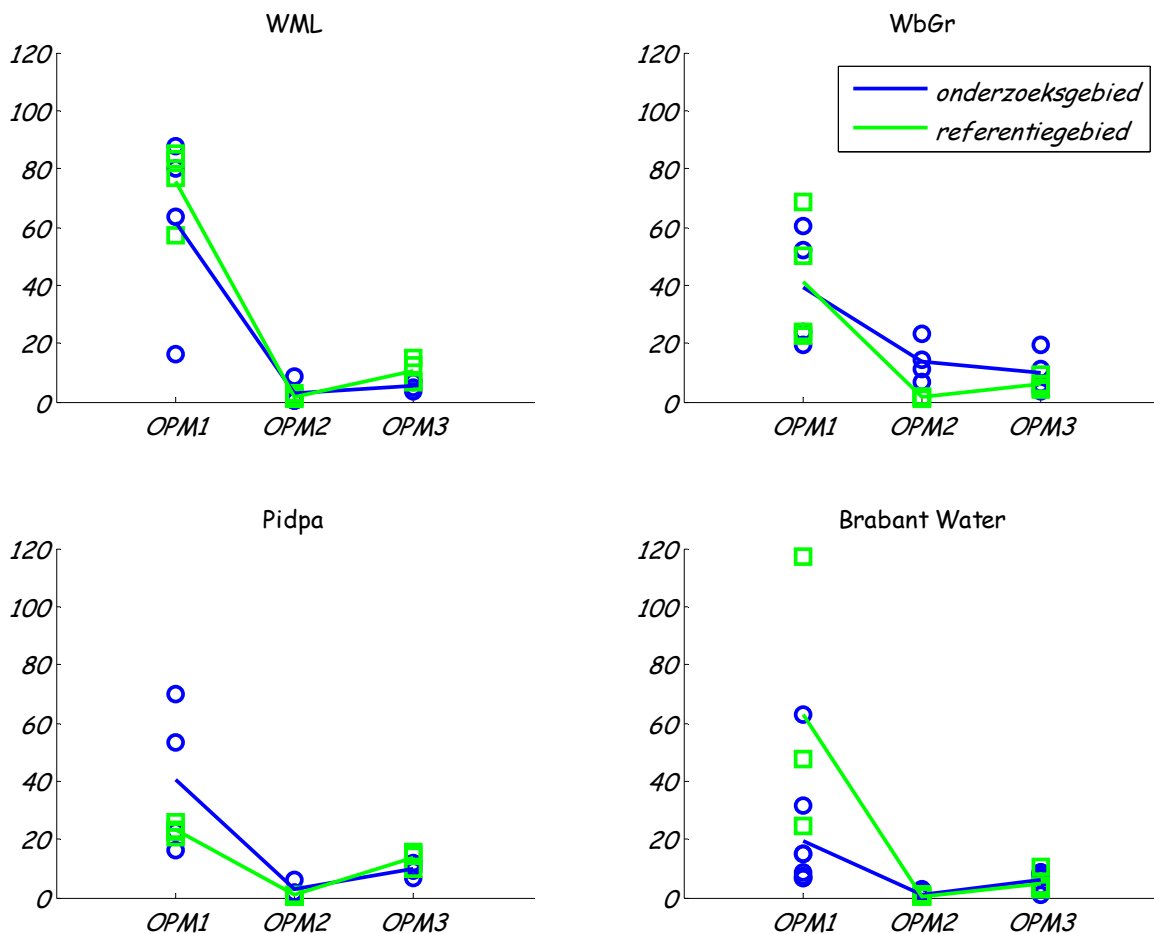
# 3 Resultaten

## 3.1 Meetlocaties

In Tabel 4-1 (pg. 14) zijn de meetlocaties van de verschillende deelnemende bedrijven beoordeeld op de criteria van §2.2. Criterium B kon pas worden beoordeeld na alle metingen; daarom is de beoordeling van de meetlocaties in de discussie (hoofdstuk 4) opgenomen. De meetlocatie van Waternet was niet geschikt omdat er nauwelijks vervuiling was ten tijde van OPM1; er is dan ook niet gespuid en de proef is hier niet uitgevoerd. De metingen van Dunea waren niet bruikbaar, omdat niet goed gespuid is, er maar een beperkt aantal meetlocaties was en er geen duidelijk onderscheid was tussen het vermaasde en vertakte net. De OPM-metingen van Brabant Water, Pidpa, Waterbedrijf Groningen en WML waren wel geschikt; de resultaten staan in §3.2; de spuumetingen van PWN waren ook goed bruikbaar en staan in §3.3.

## 3.2 OPM-metingen

Van alle OPM-metingen is de gemiddelde FTU berekend over de duur van de metingen of over maximaal 15 minuten. In Figuur 3-1 zijn deze waarden voor de onderzoeksgebieden (blauwe rondjes) en de referentiegebieden (groene vierkantjes) uitgezet tegen de OPM-tijd. OPM1 is voor schoonmaken; OPM2 is vlak na schoonmaken en OPM3 is na een aantal maanden (WML 6 maanden; WbGr 7 maanden; Pidpa 7,5 maand; Brabant Water 14 maanden). Door de gemiddeldes van alle meetlocaties is vervolgens een lijn getrokken (blauw voor het onderzoeksgebied, groen voor het referentiegebied).



Figuur 3-1 Gemiddelde OPM (in FTU) voor onderzoeks- en referentiegebied van WML, WbGr, Pidpa en Brabant Water.

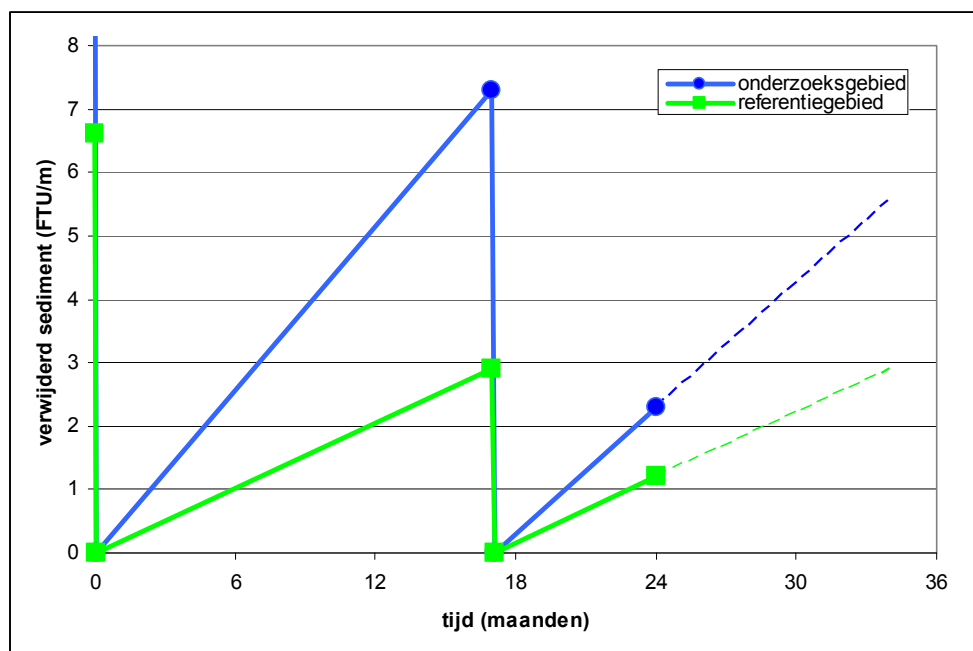
De volgende zaken vallen op:

- In drie meetlocaties hebben de referentiegebieden (WML, WbGr, Pidpa) een steilere curve tussen OPM2 en OPM3; dat betekent dat het onderzoeksgebied minder snel vervuult.
- De lijn tussen OPM2 en OPM3 lijkt voor WML horizontaal te lopen en dat betekent dat het onderzoeksgebied niet vervuult.
- Voor WbGr lijkt de lijn zelfs te dalen, maar het lijkt erop dat het onderzoeksgebied niet goed schoongemaakt was; OPM2 was daar nog vrij hoog.
- Voor Pidpa geldt dat het referentiegebied weer ten tijde van OPM3 net zo sterk vervuild is als ten tijde van OPM1; voor het onderzoeksgebied geldt dat OPM3 lager is dan OPM1. Dit kan erop wijzen dat de snelheid van hervervuiling in het onderzoeksgebied is afgenomen, maar de conclusie kan niet hard worden gemaakt omdat de historie niet goed bekend is.
- Voor Brabant Water geldt dat de toename tussen OPM2 en OPM3 voor beide gebieden gelijk is en nauwelijks meetbaar. Doordat slechts een beperkt aantal OPM1-metingen is gedaan, is het beeld vóór het schoonmaken niet erg betrouwbaar. Er kan niet worden vastgesteld of het onderzoeksgebied een verlaging in de hervervuilingssnelheid heeft.

### 3.3 Spuimetingen PWN

Voor het gebied van PWN zijn troebelheidsmetingen tijdens het spuien beschikbaar. In oktober 2008 is het gebied gespuid ( $t = 0$ ), voor het eerst in ca. 10 jaar. Van die tien jaar ( $t < 0$ ) is de historie niet bekend. Er zullen geplande en ongeplande werkzaamheden zijn geweest en er kunnen brandkranen zijn gebruikt. In het najaar van 2009 zijn OPM's uitgevoerd ( $t = 12$ ) op 5 locaties per gebied; daarmee is wel enig sediment verwijderd, daar is niet voor gecorrigeerd. In maart 2010 ( $t=17$ ) is gespuid; daarna zijn in het onderzoeksgebied een aantal afsluiters dichtgezet waarmee de stroming is beïnvloed. In oktober 2010 ( $t=24$ ) is wederom gespuid (in het onderzoeksgebied is het spuiplan aangepast op de huidige afsluiterstand). Na deze spuiactie zijn alle afsluiters weer geopend. N.B. tussen  $t = 17$  en  $t = 24$  zijn de 'dode' leidingen (waar geen stroming plaatsvond) een aantal keer doorstroomd (zie bijlage IV).

Tijdens het spuien is de troebelheid gemeten, en iedere 5 seconde gelogd. Er is gespuid voor minimaal 3 keer verversen of tot de troebelheid lager dan 0,6 FTU was. De som van alle troebelheid gedeeld door de totale lengte van het leidingnet (met diameter vanaf Ø63 PVC) is in Figuur 3-2 op de verticale as geplott; op de horizontale as staat de tijd. Er is te zien dat het onderzoeksgebied in de normale situatie sneller/meer vervuult dan het referentiegebied (verschil tussen FTU/m op  $t < 2008$  en  $t=0$  en het verschil tussen FTU/m op  $t=0$  en  $t = 17$  is ca. een factor 2.5). In de situatie van de afsluitermanipulatie vervuult het onderzoeksgebied nog steeds sneller dan het referentiegebied (verschil tussen FTU/m op  $t = 17$  en  $t = 24$  is ca. een factor 1.9), maar is het verschil wel kleiner geworden tussen de twee gebieden. De hervervuilingssnelheid van het referentiegebied is vergelijkbaar is de twee meetperiodes (helling is ca. 0.17 FTU/m.maand); voor het onderzoeksgebied is deze afgenomen (1<sup>e</sup> periode 0.43 FTU/m.maand; met afsluitermanipulatie 0.33 FTU/m.maand).

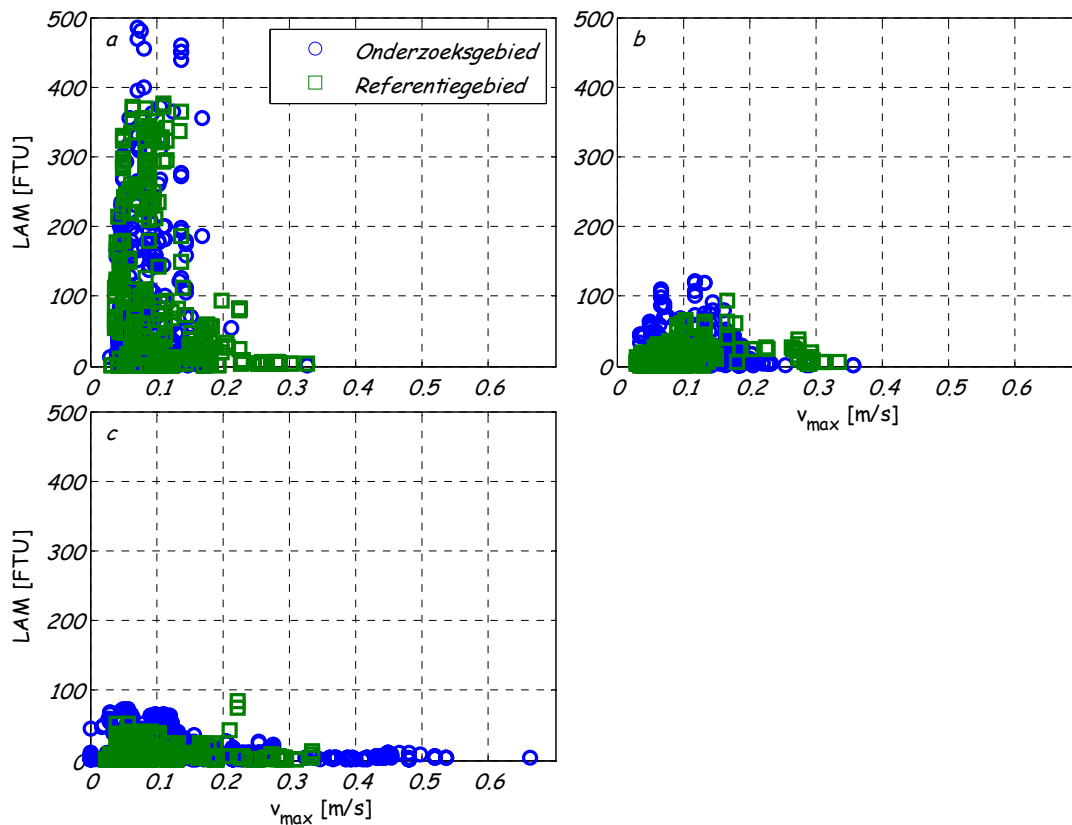


Figuur 3-2 Gemiddeld verwijderd sediment per gespuide lengte (FTU/m) in het PWN onderzoeks- en referentiegebied in oktober 2008 ( $t=0$ ), maart 2010 ( $t=17$ ) en oktober 2010 ( $t=24$ ). Met de stippellijn is aangegeven hoeveel sediment in 17 maanden ( $t=17$  tot  $t=34$ ) opgebouwd zou zijn.

De troebelheid tijdens spuien is gekoppeld aan de locatie van de leiding waar het sediment is opgewerveld door met behulp van de spuisnelheid de tijd om te rekenen naar de locatie in de leiding; we noemen dit 'locally accumulated material' (LAM, in FTU). Dit omrekenen was niet voor alle spuiacties mogelijk: sommige spuiacties waren te kort of zijn niet goed gegaan (ten gevolge van slecht functionerende afsluiters, brandkranen of loggers). Ook werd bij sommige spuiacties nog relatief veel sediment verwijderd na de eerste verversing ( $> 20\%$ ). Uiteindelijk bleek van de spuiingen in 2008 9,8 km (ca. 50% van de gespuide lengte) bruikbaar. In maart 2010 was er 6,7 km aan bruikbare data; in oktober 2010 was er 8,8 km aan bruikbare data. De LAM is gekoppeld aan de maximale snelheid in de leiding tijdens normale bedrijfsvoering. Dit levert een figuur op met op de horizontale as  $v_{\max}$  en op de verticale as LAM (Blokker 2010).

In Figuur 3-3 staat de LAM uitgezet tegen  $v_{\max}$  van de drie spuiingen. Ten opzichte van het onderzoek in 2008 (Figuur 3-3a, Blokker 2010) is te zien dat er tijdens de derde meting (Figuur 3-3c) in het onderzoeksgebied meer hoge snelheden voorkomen, die ook schoon blijven; ook zijn er meer locaties met lagere maximale snelheden (of zelfs stilstand), hier treedt mogelijk meer vervuiling op. Hoewel in 7 maanden het net minder sterk vervuild is dan in 5-10 jaar, bevestigt Figuur 3-3c wel dat bij een  $v_{\max}$  boven 0,25 m/s de leiding schoon blijft ( $< 50$  FTU).





Figuur 3-3 Locally accumulated material (LAM) versus maximale snelheid tijdens normale operatie ( $v_{max}$ ) a) oktober 2008 na 5-10 jaar vervuilingstijd; b) maart 2010 na 17 maanden vervuilingstijd; c) oktober 2010 na 7 maanden vervuilingstijd.

## 4 Discussie

### 4.1 Meetlocaties

In Tabel 4-1 zijn de meetlocaties van de verschillende deelnemende bedrijven beoordeeld op criteria van §2.2, namelijk

- A. de gebieden zijn vergelijkbaar voor wat betreft ingaande waterkwaliteit en leidingnetkenmerken,
- B. er is een meetbare hervervuiling tijdens de proef,
- C. de afsluitermanipulatie kan worden uitgevoerd zonder dat dat problemen oplevert voor bluswatervoorziening en leveringsdruk,
- D. de afsluitermanipulatie levert voldoende verhoging van de maximale snelheid op.

De geschiktheid van de meetlocaties is beoordeeld als - (niet bruikbaar), + (bruikbaar), ++ (goed bruikbaar).

Op basis van de kenmerken van het leidingnet (lengte, diameters, berekende maximale snelheid  $v_{\max}$ ) kwamen alle locaties in aanmerking. Het bleek mogelijk om vrijwel alle oorspronkelijk vermaasde leidingnetten vertakt te maken en hogere maximale snelheden te bewerkstelligen. Bij Brabant Water is expliciet een afsluiterconfiguratie gekozen die het minste invloed had op de brandkraancapaciteit; dit betekende geen concessies aan het afsluiterplan zodanig dat bijvoorbeeld minder snelheidsverhoging werd gerealiseerd. Bij het ontwerp van Pidpa, PWN, WbGr en WML is niet zo expliciet met de brandkraancapaciteit rekening gehouden; van Dunea en Waternet is dit niet bekend.

Sommige testlocaties zijn niet zozeer op theoretische als wel op praktische gronden minder geschikt bevonden. Het gebied van Waternet was niet vervuild en was daarom niet geschikt. Het gebied van Dunea was niet duidelijk opgesplitst in een onderzoeks- en referentiegebied en zou alleen een indicatie per leiding kunnen opleveren en niet voor een heel gebied. Omdat bovendien het spuien niet heel goed is gegaan op alle locaties was dit geen geschikte meetlocatie. De oorspronkelijke meetlocatie van Pipda werd te veel bezocht vanwege geplande werkzaamheden; er is daarom naar een andere locatie uitgeweken. De meetlocatie van PWN is op een andere manier bemeten dan de overige meetlocaties. Deze overige meetlocaties bleken in de meetperiode (van 6 - 14 maanden) niet sterk vervuild te zijn (beperkt verschil tussen OPM2 en OPM3), dat maakt het lastig om conclusies te trekken uit de metingen. De meetlocaties met een beperkt verschil tussen OPM2 en OPM3 zijn met een '+' beoordeeld, niet met een '++'.

Bij PWN is de vervuiling van het leidingnet niet beoordeeld met OPM, maar met troebelheidsmetingen tijdens het spuien. Het eindresultaat van het spuien in de nulsituatie voor de proef. Dit leverde relatief veel informatie op; zeker ook omdat er een meetset van spuiresultaten is van de meetgebieden na 17 maanden ongestoorde situatie én een meetset van de meetgebieden na 7 maanden met gesloten afsluiters in het onderzoeksgebied. Ondanks dat de 7 maanden van de test ook een beperkte hervervuiling lieten zien is deze meetlocatie daarom toch met een '++' beoordeeld.

De waterbedrijven is gevraagd meetlocaties te selecteren waarvan zij dachten dat ze in een meetperiode van een halfjaar zouden vervuilen. De OPM-metingen bij de vier bedrijven lieten allemaal zien dat de meetperiode eigenlijk erg kort was; de waarden van de effectmeting (OPM3) waren telkens veel lager dan de metingen van de oorspronkelijke vervuilingsgraad (OPM1), maar wel iets hoger dan de metingen vlak na het spuien (OPM2). De spuiingen van PWN lieten zien dat in 17 maanden een goed meetbare vervuiling gevonden werd, en dat 7 maanden eigenlijk aan de korte kant is voor dit soort metingen. Dat betekent dat de afsluitermanipulatie een positieve uitwerking heeft op de hervervuilingssnelheid, maar dat dit niet met zekerheid geconcludeerd kan worden.

Tabel 4-1 Beoordeling geschiktheid van de meetlocaties

	Brabant Water	Dunea	Pidpa	PWN	WbGr	Waternet	WML
A1 - gelijke ingaande waterkwaliteit	ja, wijken liggen naast elkaar. Op basis van huidige leidingnetmodellen is geen reden aan te nemen dat voeding van verschillende kanten komt.						
A2 - vergelijkbare leidingnetten	<p>lengte R korter R en O zijn één gebied</p> <p>diameters R groter</p> <p># huis-houdens ja</p> <p>statistische verdeling <math>v_{max}</math> ja</p>		<p>R korter</p> <p>ja</p> <p>ja</p> <p>+/-</p>	<p>R groter</p> <p>R groter</p> <p>R 15% meer</p> <p>ja</p>		<p>ja, R bevat aanvoer-leiding met grotere diameter</p> <p>ja</p>	
B - meetbare hervervuiling tijdens meetperiode (6 mnd)	<p>OPM1 hoog</p> <p>OPM2 laag</p> <p><math>\Delta_{OPM2-OPM3}</math> meetbaar, maar laag</p>	<p>hoog</p> <p>niet altijd laag</p> <p>laag</p>	<p>hoog</p> <p>laag</p>	<p>n.v.t.</p>	<p>hoog</p> <p>laag in R, in O iets hoger</p> <p>meetbaar, maar laag</p>	<p>laag</p> <p>n.v.t.</p>	<p>hoog</p> <p>laag</p> <p>meetbaar, maar laag</p> <p>nee</p>
C - randvoorwaarden WLB leiden tot concessies aan afsluiterplan?	nee	onbekend	nee	nee	nee	onbekend	nee
D - potentiële winst op basis van $v_{max} > 0,2$ m/s	11 → 26%	alleen per leiding	5 → 12%	5 → 38%	R: 10% O: 20 → 30%	$v_{max}$ in R hoger dan in O	2 → 18%
<b>Geschiktheid onderzoekslocatie</b>	+	-	+	++	+	-	+

## 4.2 Meetmethode

De metingen van PWN laten zien dat in het referentiegebied de hervervuilingssnelheid (FTU/m.maand) na 17 maanden gelijk is aan de hervervuilingssnelheid na 7 maanden. De totale vervuiling tot aan de metingen in oktober 2008 is echter niet proportioneel. Mogelijke verklaringen zijn dat in de jaren voorafgaand aan oktober 2008

- het leidingnet een lagere hervervuilingssnelheid had (bijvoorbeeld vanwege een andere ingaande waterkwaliteit);
- het leidingnet dezelfde hervervuilingssnelheid had, maar ten gevolge van werkzaamheden, blussen of een hoge watervraag een keer (gedeeltelijk) is gereinigd;
- het leidingnet dezelfde hervervuilingssnelheid had, maar een maximale vervuilinggraad heeft bereikt (de hervervuilingssnelheid is dan niet lineair).

Dit maakt duidelijk dat de metingen aan hervervuiling de meeste waarde hebben als de historie goed bekend is en dus ook behoren te starten met een goed schoongemaakt leidingnet. In dit geval zijn de PWN-metingen tijdens het spuien van maart 2010 en oktober 2010 met name waardevol, de spuiingen van oktober 2008 zijn minder waardevol door de onbekende historie. De metingen van oktober 2008 hebben als voordeel dat er veel meer sediment is gemeten.

Een andere mogelijke verklaring is dat de relatie tussen gesuspendeerde stoffen (in mg/l) en troebelheid niet gelijk is voor oud en nieuw sediment. Dit is eerder ook vastgesteld bij metingen in Hoofddorp (Blokker and Schaap 2006) en Rosmalen (Blokker and Beverloo 2008). Dit is voor Purmerend niet onderzocht.

De troebelheidsmetingen tijdens het spuien leverde meer informatie op dan de OPM-metingen. Ten eerste omdat de hervervuiling in de relatief korte meetperiode beperkt was en metingen van het gehele gebied dan meer zeggen dan slechts enkele metingen. Ten tweede omdat van deze meetlocatie eigenlijk twee meetsets bekend zijn, namelijk één van 17 maanden en één van 7 maanden (eerst ongestoord, daarna met afsluitermanipulatie in het onderzoeksgebied). Hiermee konden niet alleen het onderzoeks- en referentiegebied met elkaar vergeleken worden, maar ook konden de gebieden ook over de tijd vergeleken worden. Ten derde omdat ook de relatie tussen lokaal geaccumuleerd sediment en maximale snelheid tijdens normale operatie gelegd kon worden.

## 4.3 Praktische overwegingen en implementatie

Uit dit onderzoek blijkt dat er veel afsluiters gesloten kunnen worden zonder dat dit tot leveringsproblemen leidt. Dit is een bevestiging dat het leidingnet veerkrachtig is. Dit betekent dat onderzoek in het distributienet geen problemen hoeft op te leveren.

Een nadeel bij het vertakt maken van bestaande vermaasde netten is dat dode einden kunnen ontstaan, waarin de waterkwaliteit kan verslechteren. Dit nadeel is niet aanwezig bij nieuw te ontwerpen netten omdat dan altijd op het laatste eind nog een verbruiker geplaatst wordt. Een oplossing voor de dode einden kan zijn de laatste aansluiting te verplaatsen tot tegen de afsluiter. Een oplossing van een heel andere orde is om bijvoorbeeld de Exeter University te vragen een algoritme te ontwikkelen voor een optimale afsluiterconfiguratie (welke zijn gesloten en welke open), eventueel zelfs twee alternatieven die iedere 3-6 maanden worden toegepast, zodat dode einden worden doorgespoeld. Een andere oplossing is in een wijk met veel bruinwaterklachten eerst te testen of door afsluitermanipulatie de klachten afnemen. Bij een positief resultaat kan altijd nog worden besloten om de situatie permanent te maken en de dode einden te verwijderen en eventueel de laatste stukken eindleidingen te vervangen door leidingen van een kleinere diameter. Deze methode is bijvoorbeeld gevolgd door WMD, zoals beschreven in hoofdstuk 4.2 van het rapport BTO 2009.053(s) (Blokker and Beverloo 2009).

## 4.4 Aanbevelingen voor onderzoek

Het is interessant om te zien dat hoewel de verschillende paren van onderzoeksgebied en referentiegebied heel vergelijkbaar zijn in leidingnetkenmerken (lengte, diameter, inhoud van de leidingen, verblijftijd - als combinatie van inhoud en aantal aansluitingen, cumulatieve verdeling van de maximale snelheid in de leidingen, etc.) er toch een verschil in vervuilingssnelheid lijkt te bestaan. Dat is in Purmerend heel duidelijk te zien (Figuur 3-2 tussen  $t = 17$  en  $t = 24$  maanden). Bij WML, Pidpa en Brabant Water is de initiële vervuiling verschillend (Figuur 3-1, OPM1). Wanneer het onderzoeks- en

referentiegebied een gelijke historie hebben voor wat betreft de laatste keer spuien en gebruik van brandkranen dan duiden deze verschillen in OPM1 ook op verschillen in vervuilingssnelheid. Het is aan te bevelen om met een PSM-achtig model (Vogelaar and Blokker 2010) te onderzoeken of het verschil in de vervuilingssnelheid verklaard kan worden uit het samenspel van alle verbruikers en de geometrie van het leidingnet.

# 5 Conclusies

## 5.1 Effect afsluitermanipulatie

In een eerdere fase van het project is gekeken naar het theoretische effect van afsluitermanipulatie, dat wil zeggen bepaald is of door het dichtzetten van een aantal afsluiters de maximale snelheid in een substantieel aantal leidingen boven de 0,2 m/s kon worden gebracht. De methodiek was veelbelovend (Blokker and Beverloo 2009); dit is nu ook in de praktijk getest.

Vijf bedrijven hebben gedurende 6 tot 14 maanden in hun testgebieden afsluiters dichtgezet met als doel een meer unidirectionele stroming en meer leidingen waar de stroomsnelheid boven de zogenaamde zelfreinigende snelheid (van ca. 0,2 – 0,25 m/s; Blokker 2010) uitkomt. Vier van de vijf bedrijven hebben OPM-metingen gedaan, één bedrijf (PWN) heeft troebelheidsmetingen tijdens spuien gedaan. De OPM-metingen wijzen bij drie bedrijven op een positief effect van de afsluitermanipulatie: het onderzoeksgebied vervuult minder snel. Bij één bedrijf is geen positief effect van de afsluitermanipulatie waargenomen. Bij PWN, met de troebelheidsmetingen tijdens spuien, is een positief effect van de afsluitermanipulatie gevonden: het onderzoeksgebied vervuult minder snel dan voorheen. Met de metingen van PWN is aangetoond dat leidingen met verhoogde stroomsnelheid relatief schoon zijn gebleven (Figuur 3-3), maar het is geen lokaal effect: de totale vervuiling van het gehele meetgebied is lager (Figuur 3-2). De hervervuilingssnelheid in het gebied van PWN is met ca. 25% afgenomen; wanneer voorheen eens in de 3 jaar gespuid moest worden zou dat nu eens in de vier jaar kunnen worden.

Een vertakt net met relatief grote diameters is dus niet zelfreinigend, maar vervuult wel minder snel.

## 5.2 Methoden om bestaande netten minder snel te laten vervuilen

In eerder onderzoek zijn verschillende methodes onderzocht waarmee een bestaand leidingnet meer zelfreinigend gemaakt kan worden (Blokker and Beverloo 2009; Horst 2008). Een goede optie is om bij reconstructies het terug te leggen leidingnet (eventueel gefaseerd) zelfreinigend aan te leggen. Een mogelijkheid zonder vervangen van leidingen is om het net wel vertakt te maken maar niet de leidingdiameters te verkleinen, en zo pendelzones te vermijden en een meer eenduidige stroming en een hogere stroomsnelheid te forceren. De werking van de “wokkel” is alleen in het laboratorium aangetoond, de toepassing in het leidingnet moet nog worden onderzocht.

Op de volgende pagina is een tabel opgenomen waarin de verschillende methoden beoordeeld zijn op het effect op schoonmaakfrequentie, op de investerings- en beheerkosten en praktische problemen. Met kleuren is aangegeven of een methode gunstig (groen), matig (oranje) of ongunstig (rood) scoort op een aspect. De beste optie is een leidingnet zelfreinigend aan te leggen, vertakt en met kleinere diameters. Een leidingnet alleen vertakt maken (afsluitermanipulatie, of permanent door afsluiters te verwijderen en eventueel ook dode einden te verwijderen) is een tweede keus. De toepasbaarheid van de wokkel is nog onvoldoende onderzocht. Een bezinkbak (vuilvanger) lijkt geen goede optie te zijn.

methode	mechanisme	effect op schoonmaakfrequentie	effect op extra investeringskosten	effect op extra beheerkosten	praktische problemen
zelfreinigend aanleggen bij reconstructie	vertakt: eenduidige stroomrichting, kleine diameters: hoge stroomsnelheid	+	- reconstructie wordt toch gedaan, zelfreinigend net is goedkoper	-	+/- 30 m <sup>3</sup> /h brandkraan in een bestaande wijk
afsluiter-manipulatie	vertakt: eenduidige stroomrichting	+/-	- 25 % verbetering	+ dode einden spoelen, registratie gesloten afsluiters	+/- 30 m <sup>3</sup> /h brandkraan
afsluiter-manipulatie permanent maken	vertakt: eenduidige stroomrichting	+/-	+ 25 % verbetering	- dode einden eruit halen	+/- 30 m <sup>3</sup> /h brandkraan; mogelijk invloed op OLM; mogelijk minder goed spuibaar
wokkel	lokale verandering van schuifspanning waardoor deeltjes opgewerveld worden	+/-	+ lokaal zelfreinigend	- wokkel moet worden goedgekeurd, aangeschaft en ingebracht; wokkel moet nog in praktijk getest worden	- beperkt extra drukverlies
vuilvangervanger*	lokale afvang van deeltjes, zodat deeltjeslast in achterliggend gebied lager is	+/-	+ lagere deeltjeslast, effect niet gekwantificeerd	+ vuilvangervanger moet worden geleegd	- lange verblijftijd in vuilvangervanger, mogelijke voedingsbodem voor microbiologie

\* De vuilvangervanger zoals bij Evides was geïnstalleerd werkt niet; hier wordt uitgegaan van een veel langer exemplaar waar deeltjes wel in kunnen bezinken

## 6 Referenties

- Blokker, E. J. M., and 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., and 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., and Beverloo, H. (2009). *Methoden om vermaasde netten schoon te houden*, KWR, Nieuwegein. BTO 2009.053 (s).
- Blokker, E. J. M. (2010). "Stochastic water demand modelling for a better understanding of hydraulics in water distribution networks," Delft University of Technology.
- Geudens, P. J. J. G. (2008). *Waterleidingstatistiek 2007*, Vewin, Rijswijk. 2008/82/6259.
- Horst, P. (2008). *Gefaseerde aanleg van een zelfreinigend leidingnet in bestaande wijken*, KWR, Nieuwegein. BTO 2008.047 (s).
- Vogelaar, A. J., and Blokker, E. J. M. (2010). *Particle Sediment Modelling. Test and analysis of programme WQDMTB v4.3*, KWR, Nieuwegein. BTO 2010.011.
- Vreeburg, J. H. G., Schaap, P. G., and van Dijk, J. C. (2004). "Measuring discoloration risk: resuspension potential method." Leading edge Technology conference, IWA, Prague.
- Vreeburg, J. H. G. (2007). *Discolouration in drinking water systems: a particular approach*. Ph.D. thesis report.





# I Casestudie Brabant Water

## Leidingnetmodel

Brabant Water heeft twee wijken in Bergen op Zoom geselecteerd voor de proeven. Enkele kenmerken van het meetgebied zijn samengevat in Tabel I-1. De gebieden zijn geselecteerd op basis van de beschikbaarheid van 1-op-1-modellen, de mate van vervuiling van het leidingnet en de planning voor spuiwerkzaamheden. Het referentiegebied kent mogelijk meer doorstroming omdat dit gebied het onderzoeksgebied voedt en omdat er meer hoogbouw is dan in het onderzoeksgebied.

Tabel I-1 Gegevens leidingnet in de meetgebieden in Bergen op Zoom.

Leidingen	Onderzoeksgebied A		Referentiegebied B
	Diameter	Materiaal	Lengte (km)
	≤ Ø 60 mm	PVC	2,4
	Ø 100 mm	PVC	7,2
	Ø 150 mm	PVC	2,7
	≥ Ø 180 mm	PVC	1,0
	totaal		12,2
Aansluitingen	Aantal huishoudens		1483
	Aantal aansluitingen		1034
			817



Figuur I-1 Bergen op Zoom, onderzoeks- en referentiegebied.

Het 1-op-1 (basis) ALEID-model met slechts één verbruikspatroon op tijdbasis van 1 uur is geconverteerd naar twee nieuwe ALEID-modellen met SIMDEUM-verbruikspatronen op tijdbasis van 10 seconden. Het aantal SIMDEUM-verbruikspatronen is gelijk aan het aantal aansluitingen uit Tabel I-1.

Op basis van gezond verstand zijn de (17) afsluiters bepaald die dichtgezet moeten worden tijdens de proef om een goed vertakt net te creëren. Op basis van het basis-ALEID-model is vastgesteld wat het

effect van de afsluitermanipulatie is op de minimale druk en de brandkraancapaciteit (voor onderzoeksgebied A):

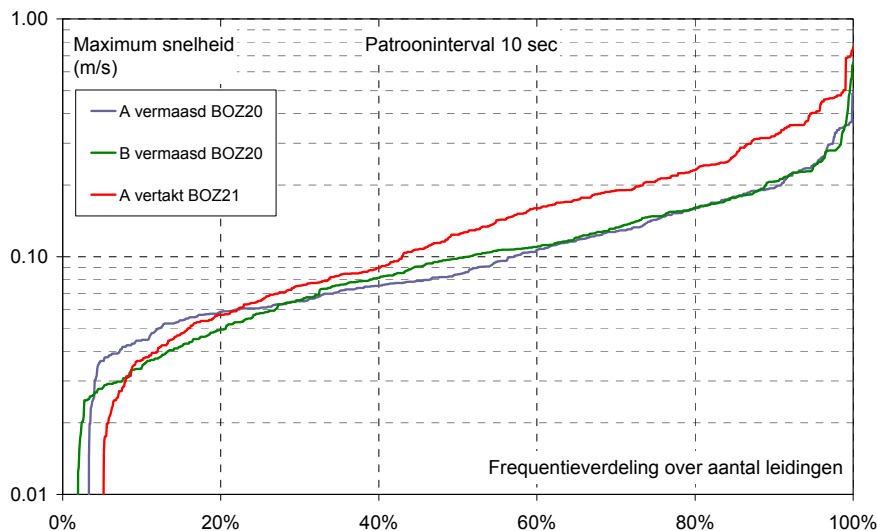
- Op een maxdag + maxuur is een maximale drukverlaging van circa 30 kPa berekend. De berekende minimumdruk blijft boven 400 kPa boven maaiveld.
- Op een aantal locaties is de brandkraancapaciteit tijdens de proef theoretisch berekend en getoetst aan de door de brandweer gewenste capaciteit. Hierbij is rekening gehouden met een maxdag + maxuur, een drukafhankelijk verbruik en een drempel van 20 m+mv. Vanwege plaatselijke hoogbouw aan de noordoostzijde van onderzoeksgebied A is voor vijf brandkranen een minimum capaciteit van 60 m<sup>3</sup>/h aangehouden. Voor de overige brandkranen in onderzoeksgebied A is 30 m<sup>3</sup>/h per brandkraan aangehouden.

Waar nodig is het plan voor afsluitermanipulatie bijgesteld.

Om vooraf in te schatten welke snelheidsverhoging de afsluitermanipulatie in proefgebied A teweeg brengt, is een ‘gemiddelde’ dag (met SIMDEUM-patronen) doorgerekend voor onderzoeksgebied A vóór (vermaasd) en tijdens de proef (vertakt) en in referentiegebied B. De resultaten zijn samengevat in Figuur I-2:

- In de vermaasde situatie wordt bij circa 11% van de leidingen een dagelijkse maximale snelheid van 0,2 m/s berekend. Tijdens de proef loopt het aandeel leidingen met een dagelijkse snelheid van 0,2 m/s in onderzoeksgebied A op tot circa 26%.
- In referentiegebied B (vermaasd) blijft de snelheid gelijk en is deze vergelijkbaar met onderzoeksgebied A vóór de proef.

N.B. het aantal “dode” leidingen (met stilstaand water) neemt iets toe van ca. 2% tot ca. 5%.



Figuur I-2 Frequentieverdeling van maximale snelheid in leidingen binnen gebied A en B, voor en tijdens de proef.

De beide wijken zijn zeer vergelijkbaar en door de afsluitermanipulatie (dicht zetten van 16 afsluiters) treedt in theorie een substantiële verandering in het snelheidsprofiel op in het onderzoeksgebied.

### OPM

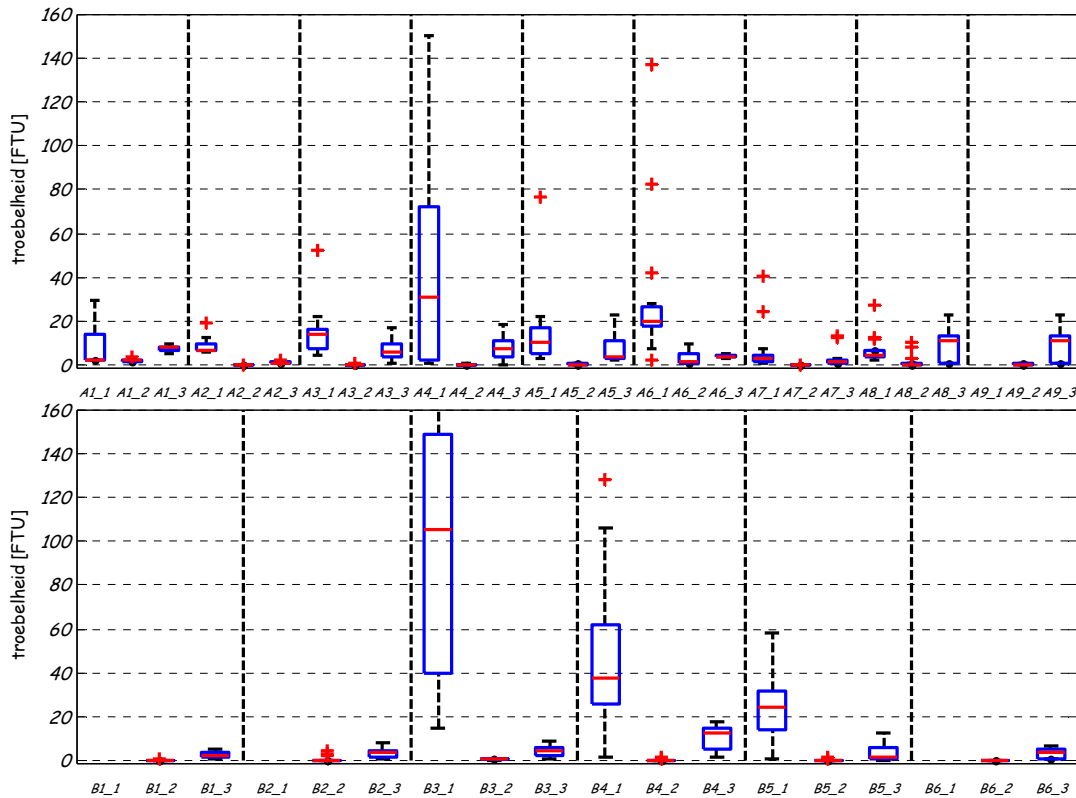
Op 2 april 2009 zijn de 9 OPM1-metingen gedaan in wijk A en op 9 april zijn de 6 OPM1-metingen gedaan in wijk B; in wijk A is 1 en in wijk B zijn 3 OPM-en niet gelukt. Op 10 en 13 juli 2009 zijn de 9 OPM2-metingen gedaan in wijk A en op 9 april zijn de 6 OPM2-metingen gedaan in wijk B. Op 23 september 2010 zijn de OPM-3 metingen gedaan. In onderzoeksgebied A zijn drie extra OPM-locaties gekozen om na afsluitermanipulatie ook extra te meten op afgesloten PVC160-leidingdelen.

De OPM is als volgt gedaan:

- Er is verstoord gedurende 15 minuten;
- gedurende 15 minuten is de troebelheid elke minuut gelogd.

De resultaten staan in Figuur I-3; iedere OPM-actie van 15 minuten (15 meetwaarden) is als een box-whiskerplot\* weergegeven.

In wijk B zijn de meetlocaties meer vervuild dan in wijk A. De troebelheid voor het spuien (OPM1) is voldoende hoog om een verschil te kunnen meten tussen een gereinigd net (OPM2) en een vervuild net na de proefperiode (OPM3). De OPM-3 waardes zijn echter veel lager dan de OPM-1 waardes. De OPM2-waardes zijn laag; er is goed gespuid. Alleen acties A6\_2 laat een wat hogere troebelheid zien.



Figuur I-3 OPM1 (\_1), OPM2 (\_2) en OPM3 (\_3) box-whiskerplots voor a) wijk A, actie A1 – A9; en b) wijk B, actie B1-B6. De acties die niet gelukt zijn (A1\_9, B1\_1, B2\_1, B6\_1) zijn “leeg”. N.B. de uitschieter van 410 FTU bij actie B3\_1 is niet getoond.

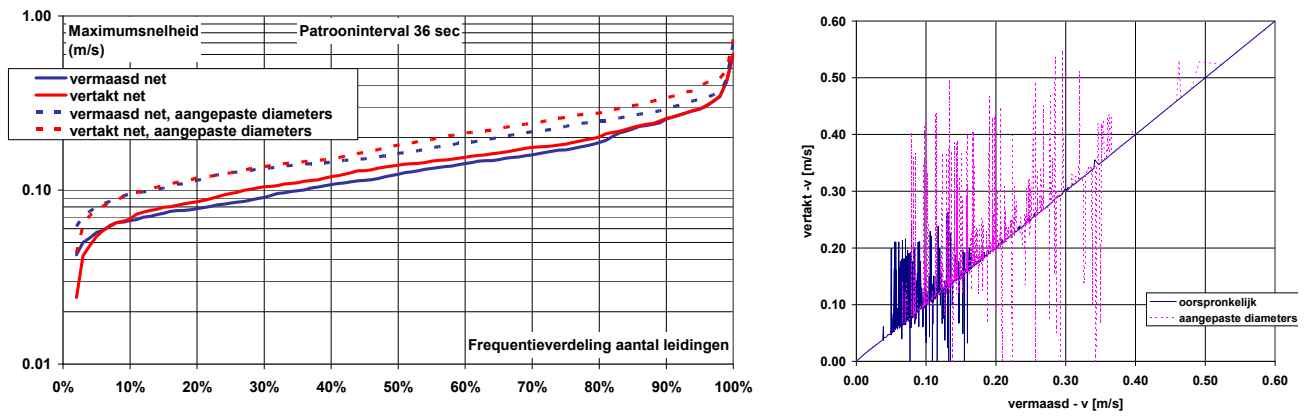
### Overige opmerkingen

Vóór OPM3 heeft BW controle uitgevoerd, één afsluiter bleek abusievelijk niet gesloten te zijn. Onduidelijk is wanneer deze geopend is. Er is niet doorgerekend wat het effect was op Figuur I-2.

\* In de box-whisker-plot is de mediaan (50-percentiel) aangegeven door een rode horizontale lijn; de blauwe rechthoek (de box) geeft het 25 tot 75-percentiel aan. De zwarte stippellijn geeft de minimale en maximale waarden aan binnen een statistisch criterium; de rode plusjes (+) zijn de uitschieters.







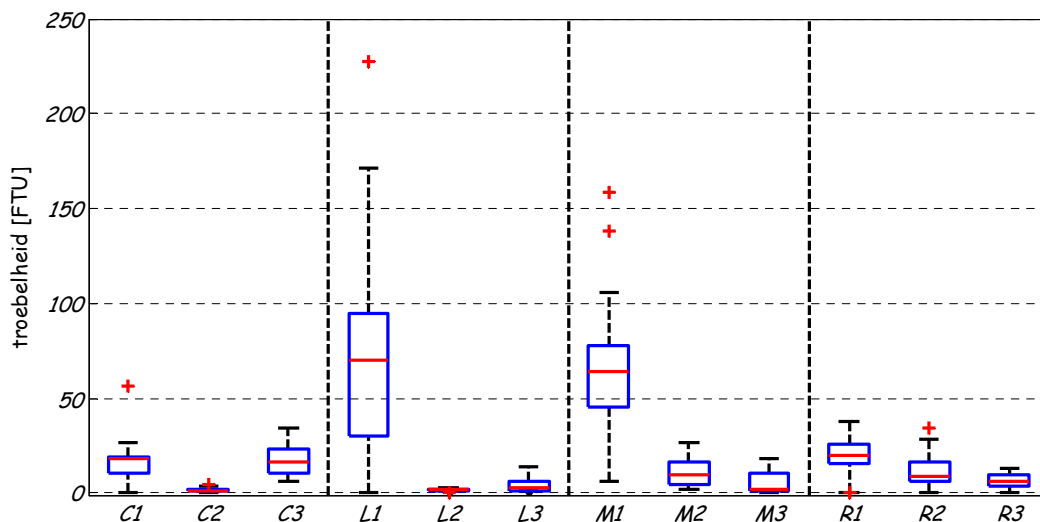
Figuur II-2 Verskil in maximumsnelheid in de oorspronkelijke situatie (vermaasd) en de nieuwe situatie (vertakt) in Be Zuidenhout; a) frequentieverdeling van maximumsnelheid in leidingen in de vermaasde en vertakte situatie; b) uitgezet per leiding.

### OPM

Op 28 april 2009 zijn OPM1- en OPM2-metingen uitgevoerd op 2 locaties per meetgebied. Op 8 oktober 2009 zijn de OPM-3 metingen uitgevoerd. Omdat in dit gebied in het jaar na OPM-3 veel (geplande) werkzaamheden zijn uitgevoerd kunnen de resultaten van het eventuele vervolgonderzoek mogelijk sterk verstoord zijn; er is geen OPM-4 uitgevoerd in oktober 2010. De OPM is als volgt gedaan:

- Er is verstoord gedurende 5 minuten;
- gedurende 15 - 17 minuten is de troebelheid elke minuut gelogd.

OPM2 laat over het algemeen lagere waarden zien dan OPM1, en dus heeft het spuien een reinigend effect gehad. De OPM2 op locaties R en M zijn nog relatief hoog vergeleken met OPM1 op locaties R en C. De reden is dat de leidingen niet helemaal gespuid zijn volgens de regelen der kunst; niet in alle gevallen is gespuid vanaf een schoonwaterfront. De OPM-3 op locaties C en L is hoger dan OPM-2; op locaties M en R lijkt OPM-3 lager te zijn dan OPM-2. Conclusies zijn moeilijk te trekken.



Figuur II-3 OPM1 - OPM3 box-whiskerplots voor locaties L (van Lansbergenstraat), R (van Reestraat), M (Joan Maetsuykerstraat) en C (Johannes Camphuijsstraat).

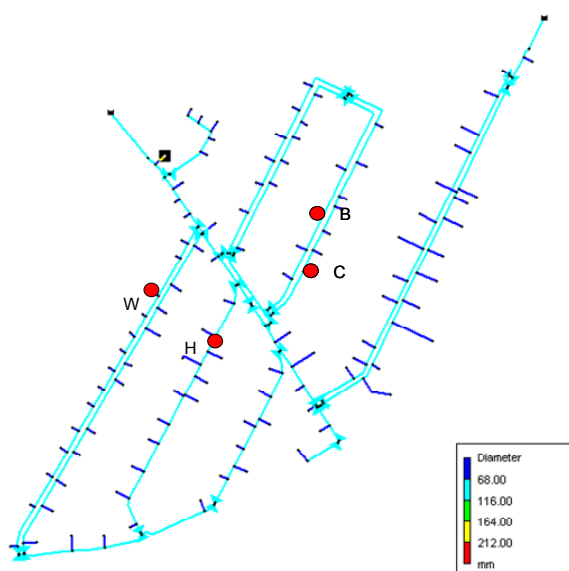
# III Casestudie Pidpa

## Leidingnetmodel

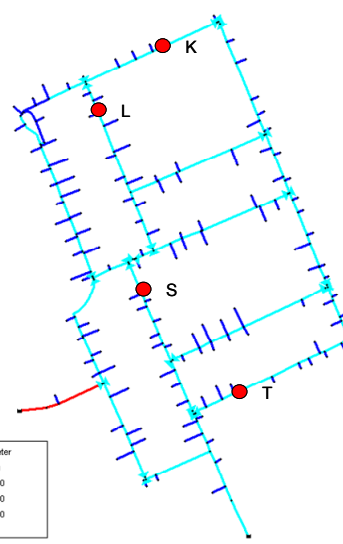
De gebieden van Pidpa liggen in Oud Turnhout. Beide wijken voorzien ca. 110-130 woningen, maar het onderzoeksgebied heeft iets meer lengte. Dit heeft ermee te maken dat in een aantal straten in het onderzoeksgebied leidingen aan beide kanten van de straat liggen. Het onderzoeksgebied kan vertakt worden gemaakt door 9 afsluiters dicht te zetten.

Tabel III-1. Aandeel van verschillende diameters in lengte en aantal leidingen van onderzoeksgebied en referentiegebied.

	leidinglengte				aantal leidingen			
	Onderzoek		Referentie		Onderzoek		Referentie	
	km	%	km	%	#	%	#	%
Ø50 mm	0.0	(0%)	0.1	(3.4%)	0	(0%)	6	(4.0%)
Ø80 mm	6.0	(100%)	4.2	(94.0%)	147	(100%)	140	(94.0%)
Ø250 mm			0.1	(2.7%)			3	(2.0%)
Totaal	6.0		4.4		147		149	



Figuur III-2 Onderzoeksgebied.

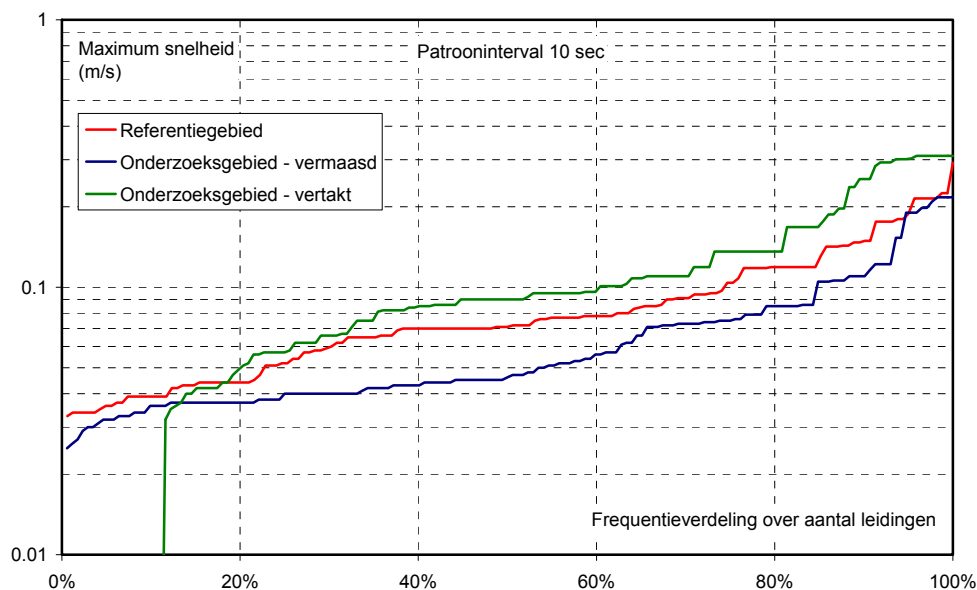


Figuur III-3 Referentiegebied.

Het leidingnetmodel is in EPANET doorgerekend met SIMDEUM-patronen met een tijdbasis van 10 seconden. De gebruikte SIMDEUM-patronen zijn gegenereerd met gegevens van Nederlandse huishoudens. Er is niet onderzocht in hoeverre Belgische huishoudens een ander verbruikspatroon hebben.

In het onderzoeksgebied zijn in de normale (vermaasde) situatie de snelheden lager dan in het referentiegebied. De verklaring ligt in de grotere lengte van het leidingnet in het onderzoeksgebied. Na het vertakt maken van het onderzoeksgebied neemt de snelheid wel significant toe en is dan ook hoger dan in het referentiegebied. De snelheid van 0,2 m/s wordt in 12% van de leidingen overschreden. 13% van de leidingen krijgt met stilstaand water te maken.





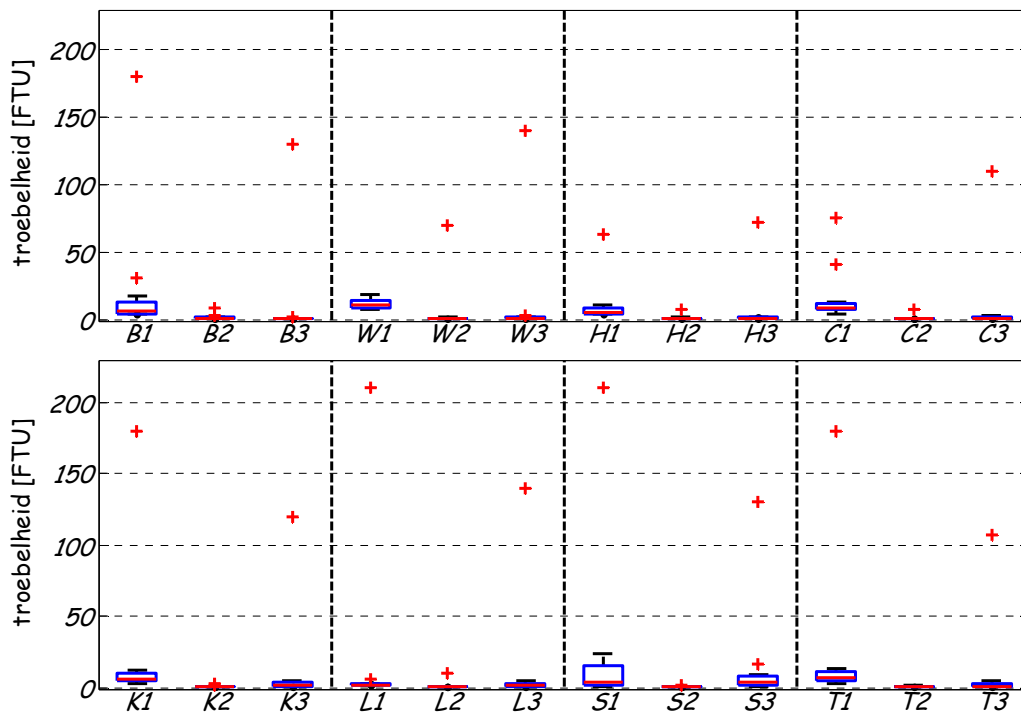
Figuur III-4 Frequentieverdeling van maximale snelheid in leidingen binnen onderzoeks- en referentiegebied, voor en tijdens de proef.

### OPM

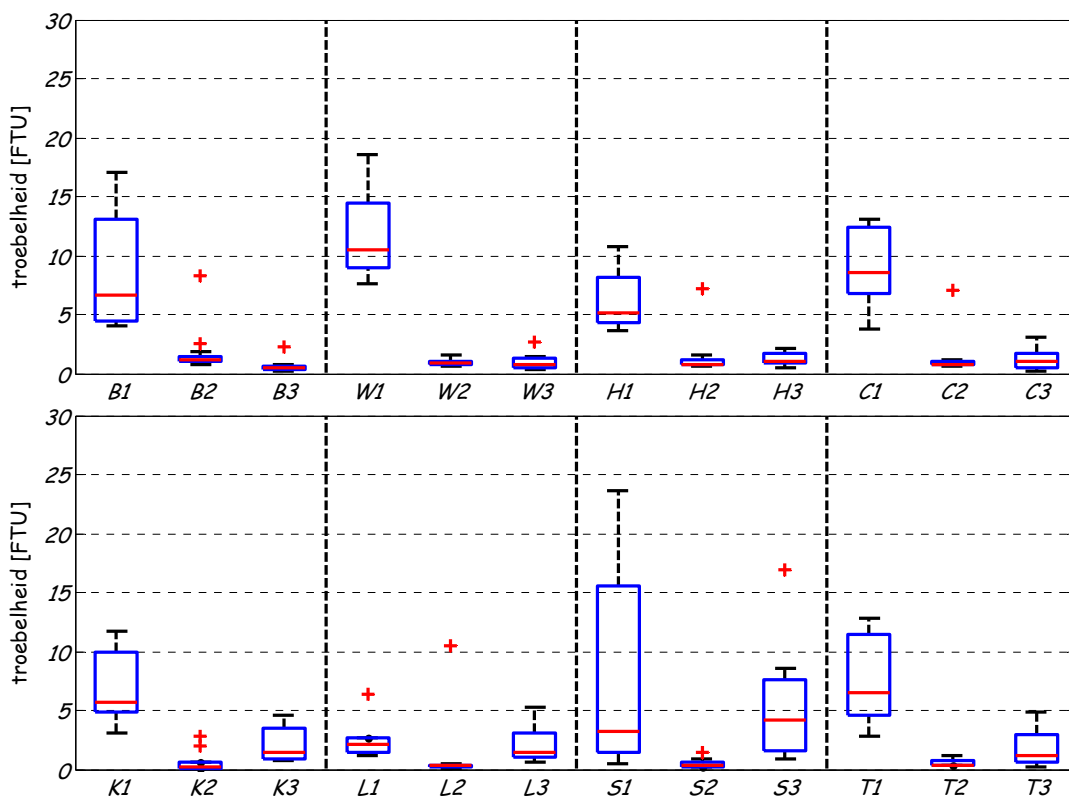
Op 28 december 2009 en 26 januari 2010 zijn OPM1- en OPM2-metingen uitgevoerd op 4 locaties in het onderzoeks- en het referentiegebied. Op 9 september 2010 zijn de OPM3-metingen gedaan. De OPM is als volgt gedaan:

- Er is verstoord gedurende 8 tot 12 minuten;
- gedurende die tijd is elke minuut een monster genomen waarvan de troebelheid is bepaald met een Eutech TN-100 turbiditeitsmeter.

In Figuur III-5 en ingezoomd in Figuur III-6 zijn de resultaten te zien. OPM2 laat duidelijk lagere waarden zien dan OPM1, en dus heeft het spuien een reinigend effect gehad. OPM3 is over het algemeen hoger dan OPM2; er heeft dus hervervuiling plaatsgevonden.



Figuur III-5 OPM1 – OPM3 box-whiskerplots voor onderzoeksgebied: B (Bosdreef, thv 11), W (Winterdreef), H (Herfstdreef) en C (Bosdreef thv 6) en voor referentiegebied: K (Koekoekdreef), L (Lijsterdreef), S (Spreeuwendreef) en T (Torteldreef). N.B. in W1 en H1 zijn de uitschieters van boven de 500 FTU niet te zien.



Figuur III-5 Ingezoomde op de OPM1 – OPM3 box-whiskerplots voor onderzoeksgebied: B (Bosdreef, thv 11), W (Winterdreef), H (Herfstdreef) en C (Bosdreef thv 6) en voor referentiegebied: K (Koekoekdreef), L (Lijsterdreef), S (Spreeuwendreef) en T (Torteldreef). N.B. de waarden boven de 30 FTU zijn niet te zien.

### **Overige opmerkingen**

Pidpa heeft in de testperiode één werk uitgevoerd waarbij de leidingen gespoeld dienden te worden: vervanging op 18-2-2010 van draadstang en bouten aan 1 afsluitkraan op de hoek van Koekoekdreef en Lijsterdreef (stond niet op de plannen noch het model). Daarnaast hebben we tijdens de testperiode aan 4 hydranten gewerkt (2 x omrandingen en straatkast correct plaatsen, 1x omranding en straatkast correct plaatsen en deksel vervangen, 1x nieuwe klauwkoppeling en sleutelkap plaatsen). Hiervoor diende de leiding niet gespoeld te worden.

# IV Casestudie PWN

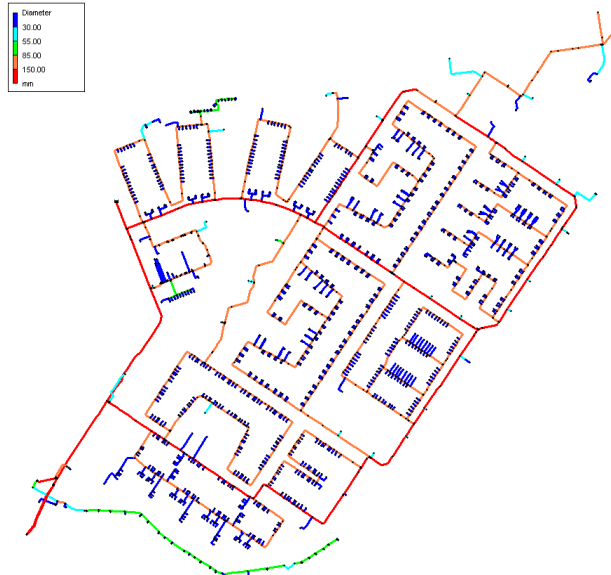
## Leidingnetmodel

De gebieden van PWN liggen in Purmerend. Beide gebieden bestaan vooral uit Ø100 mm AC-leidingen (onderstaande tabel). De meetlocaties en wijze van spuien zijn uitgebreid beschreven in hoofdstuk 7 van (Blokker 2010).

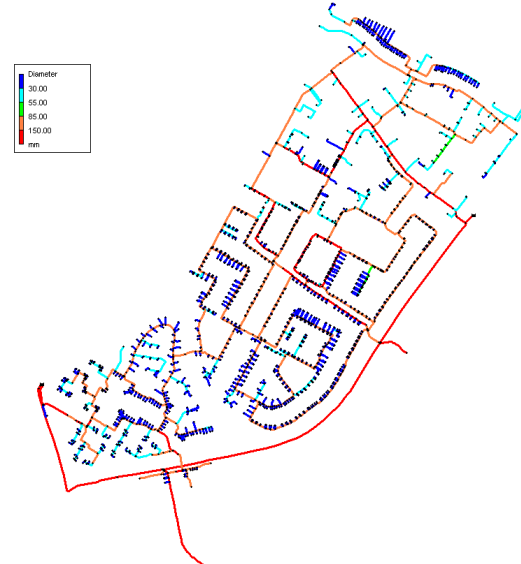
Tabel IV-1 Aandeel van verschillende diameters in lengte en aantal leidingen van referentiegebied Purmerend A en onderzoeksgebied Purmerend B.

	Leidinglengte				Aantal leidingen			
	Purmerend A		Purmerend B		Purmerend A		Purmerend B	
	km	%	km	%	#	%	#	%
Ø63 PVC	0.7	5.6%	0.2	1.6%	65	4.5%	25	2.0%
Ø90 PVC	0.1	1.2%	0.5	5.3%	22	1.5%	46	3.6%
Ø100 AC	7.0	57.9%	5.5	54.4%	996	68.9%	834	65.2%
Ø110 PVC	1.1	8.9%	1.4	13.5%	138	9.5%	97	7.6%
Ø150 AC			1.3	12.6%			198	15.5%
Ø160 PVC	0.6	4.9%	0.4	4.1%	28	1.9%	35	2.7%
Ø200 AC	1.7	14.3%	0.3	3.3%	101	7.0%	12	0.9%
Ø250 AC	0.5	3.8%	0.0	0.5%	41	2.8%	3	0.2%
Ø300 AC			0.3	3.2%			16	1.3%
rest	0.4	3.5%	0.2	1.6%	55	3.8%	14	1.1%
Totaal	12.1		10.0		1446		1280	

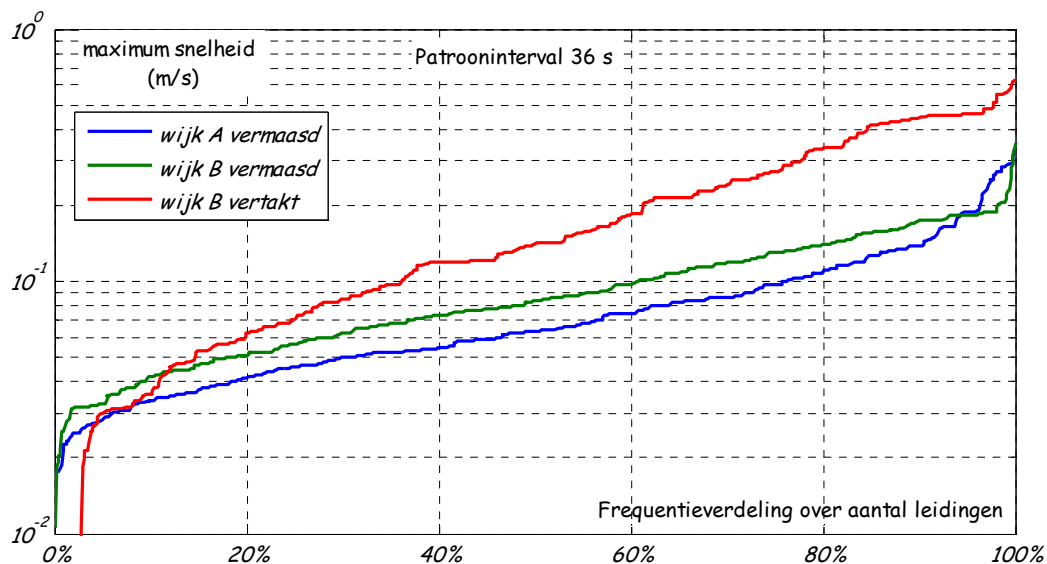
Het leidingnetmodel is in SynerGEE (en ook in EPANET) doorgerekend met SIMDEUM-patronen met een tijdbasis van 36 seconden (0.01 h). De frequentieverdeling van de maximale snelheden voor gebied A en B is vergelijkbaar, en verandert aanzienlijk door 17 afsluiters dicht te zetten (Figuur IV-3).



Figuur IV-1 Purmerend A; referentiegebied.



Figuur IV-2 Purmerend B; onderzoeksgebied.

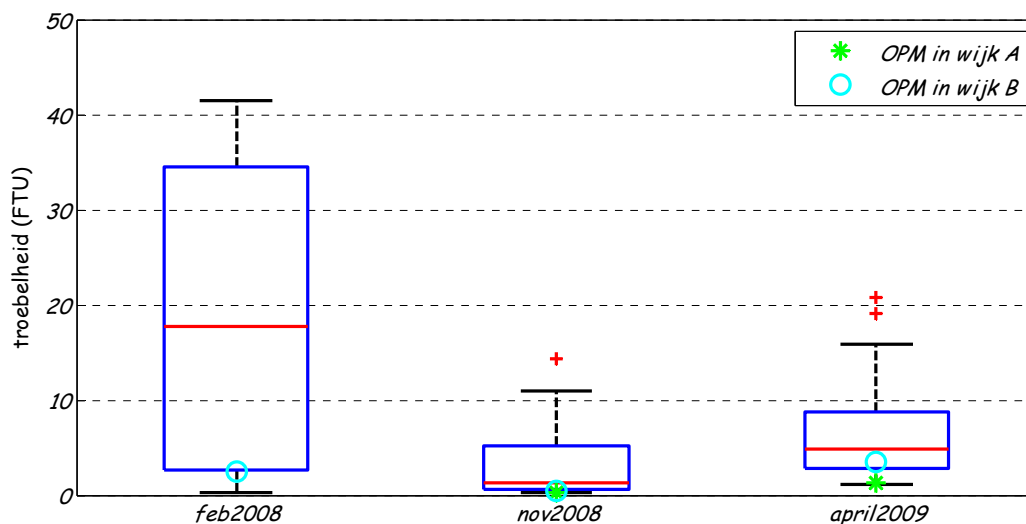


Figuur IV-3 Frequentieverdeling van maximale snelheid binnen gebied A en B, voor en tijdens de proef.

### OPM

In februari 2008 zijn op ca. 20 locaties verspreid over Purmerend OPM's gedaan; in wijk A en B die in deze paragraaf zijn beschreven is (toevallig) ook in elke wijk een OPM gedaan. Vervolgens is Purmerend gespuid, in oktober 2008 zijn wijk A en B gedaan. In november is op dezelfde locaties middels een OPM een effectmeting gedaan. In april 2009 zijn in het kader van het reguliere OPM-programma op dezelfde locaties weer OPM's uitgevoerd. De boxwhiskerplots van deze OPM's staan in Figuur IV-4. De OPM-metingen is voor elk van de 20 meetlocaties in één getal gevat (gemiddelde waarde); deze 20 getallen zijn in een box-whiskerplot weergegeven. Daarnaast is de waarde van de meting specifiek in wijk A en wijk B als getal weergegeven.

De figuur laat zien dat de OPM voor schoonmaken behoorlijk hoog kan zijn, dat het schoonmaken effect heeft gehad en dat na een half jaar ook weer enige vervuiling optreedt. Dat geldt voor zowel Purmerend als geheel (de 20 meetlocaties) als voor de wijken A en B. Dit betekent dat in de proef met de afsluiters een meetbaar effect moet optreden. In december 2009 is een OPM2 gedaan op 5 locaties in wijk A en 5 locaties in wijk B. Deze metingen gaven een indicatie van vervuiling, maar zijn niet goed bruikbaar in dit experiment omdat niet alle data betrouwbaar is doordat niet alle afsluiters in het onderzoeksgebied zijn gedraaid.



Figuur IV-4 OPM1 en OPM2 box-whiskerplots voor Purmerend; ook zijn twee OPM's gedaan in wijk A en B. Op 20 locaties is de gemiddelde troebelheid na 3, 6, 9 en 12 minuten genomen. N.B. de uitschieters in februari 2008 van 95, 120 en 229 (wijk A), zijn niet zichtbaar in de figuur.

### Spuimetingen

In maart 2010 is opnieuw gespuid omdat het leidingnet al te veel vervuild was om van een schone beginsituatie uit te kunnen gaan. Tijdens het spuien is de troebelheid gemeten, er is geen OPM na het spuien gedaan. Aan het einde van de proef is wederom gespuid en de troebelheid gemeten in plaats van OPM-metingen. De casestudie van PWN is dus op een andere manier uitgevoerd.

In oktober 2008 zijn de twee gebieden in het kader van het reguliere spuiplan gespuid waarbij de troebelheid is gemeten. De troebelheid tijdens spuien is gekoppeld aan de locatie van de leiding waar het sediment is opgewerveld door met behulp van de spuisnelheid (volumestroom) en de tijd de lengte van de leiding te bepalen. Dit was niet voor alle spui-acties mogelijk: sommige spui-acties waren te kort of zijn niet goed gegaan (ten gevolge van slecht functionerende afsluiters, brandkranen of loggers). Ook werd bij sommige spui-acties nog relatief veel sediment verwijderd na de eerste verversing (> 20%). Uiteindelijk bleek 9,8 km (ca. 50% van de gespuide lengte) bruikbaar. Dit 'locally accumulated material' (LAM, in FTU) is gekoppeld aan de maximale snelheid in de leiding tijdens normale bedrijfsvoering. Dit levert een figuur op met op de horizontale as  $v_{\max}$  en op de verticale as LAM (Blokker 2010).

In maart 2010 zijn de twee gebieden opnieuw gespuid en is de troebelheid gemeten (6,7 km aan bruikbare data). Vervolgens zijn in het onderzoeksgebied de geselecteerde afsluiters dichtgezet. Tijdens de duur van de proef zijn de ontstane *dode eind*en periodiek doorstroomd geweest door de 17 afsluiters een voor een te openen en nadat de laatste geopend was alle 17 afsluiters weer een voor een te sluiten (in dezelfde volgorde); deze actie nam ca. 4 uur in beslag. Dit doorstromen is 2 maal gebeurd, namelijk in juni en augustus 2010. In oktober 2010 zijn de gebieden voor een derde keer gespuid en is de troebelheid gemeten (8,8 km aan bruikbare data).



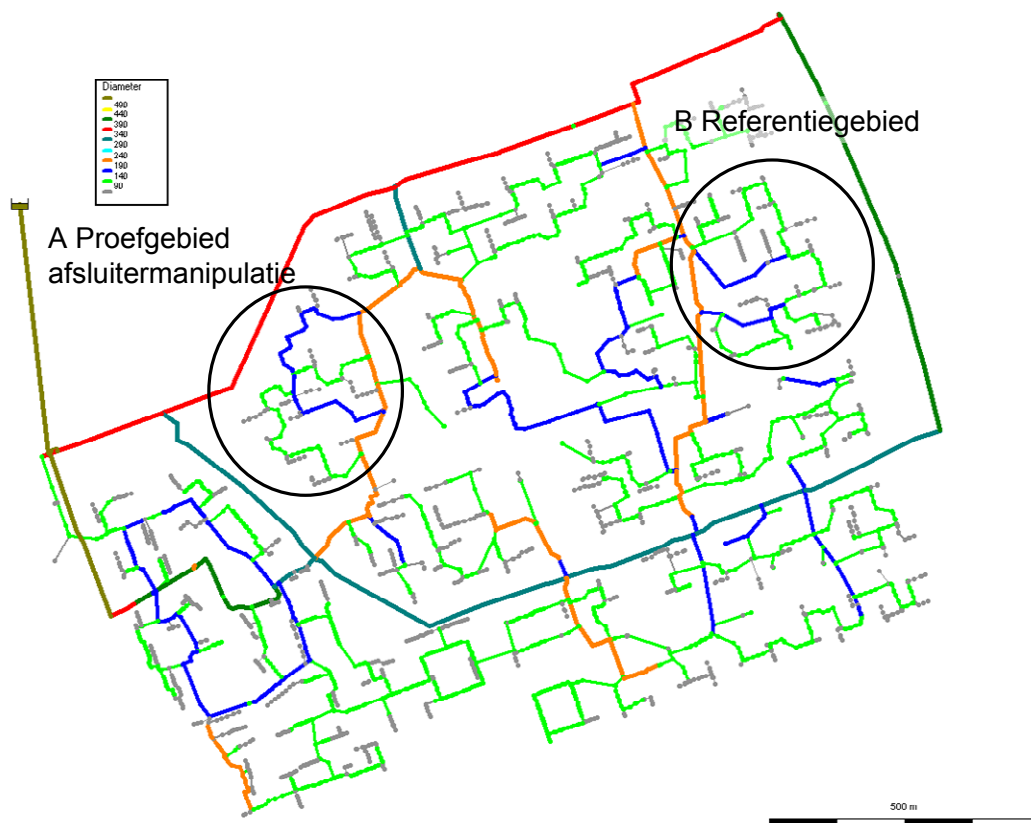
# V Casestudie Waterbedrijf Groningen

## Leidingnetmodel

De gebieden van Waterbedrijf Groningen liggen in de wijk Lewenburg in de stad Groningen. De twee gebieden zijn vergelijkbaar in de verdeling van de maximale stroomsnelheden. Door gebied A vertakt te maken (3 afsluiters dicht zetten) worden de stroomsnelheden zeer duidelijk beïnvloed.

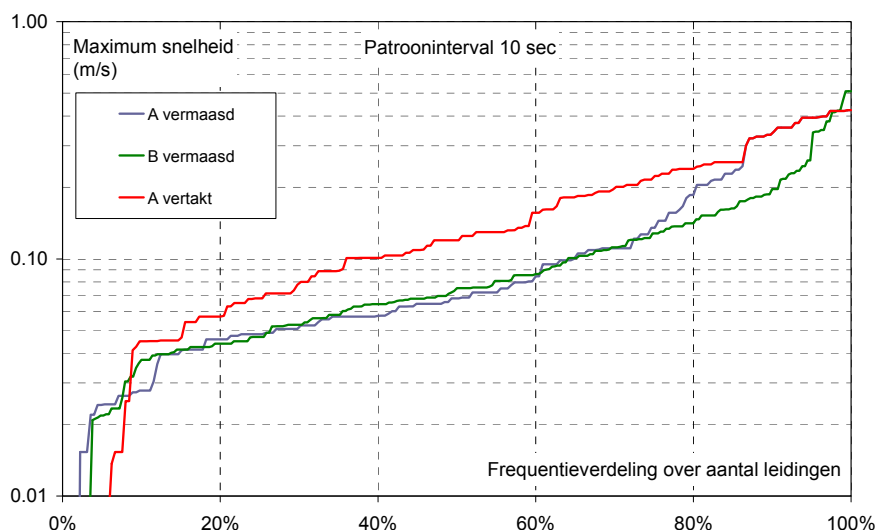
Tabel V-1 Aandeel van verschillende diameters in lengte en aantal leidingen van onderzoeksgebied A en referentiegebied B.

	leidinglengte				aantal leidingen			
	A		B		A		B	
	km	%	km	%	#	%	#	%
< Ø100 mm	0.4	19.9%	0.5	24.1%	74	29.7%	99	33.2%
Ø100 mm	0.7	35.3%	1.1	50.8%	95	38.2%	160	53.7%
Ø150 mm	0.6	28.8%	0.4	19.1%	56	22.5%	24	8.1%
Ø200 mm	0.3	16.1%	0.1	5.9%	24	9.6%	15	5.0%
Totaal	2.0		2.2		249		298	



Figuur V-1 Onderzoeks- en referentiegebied.





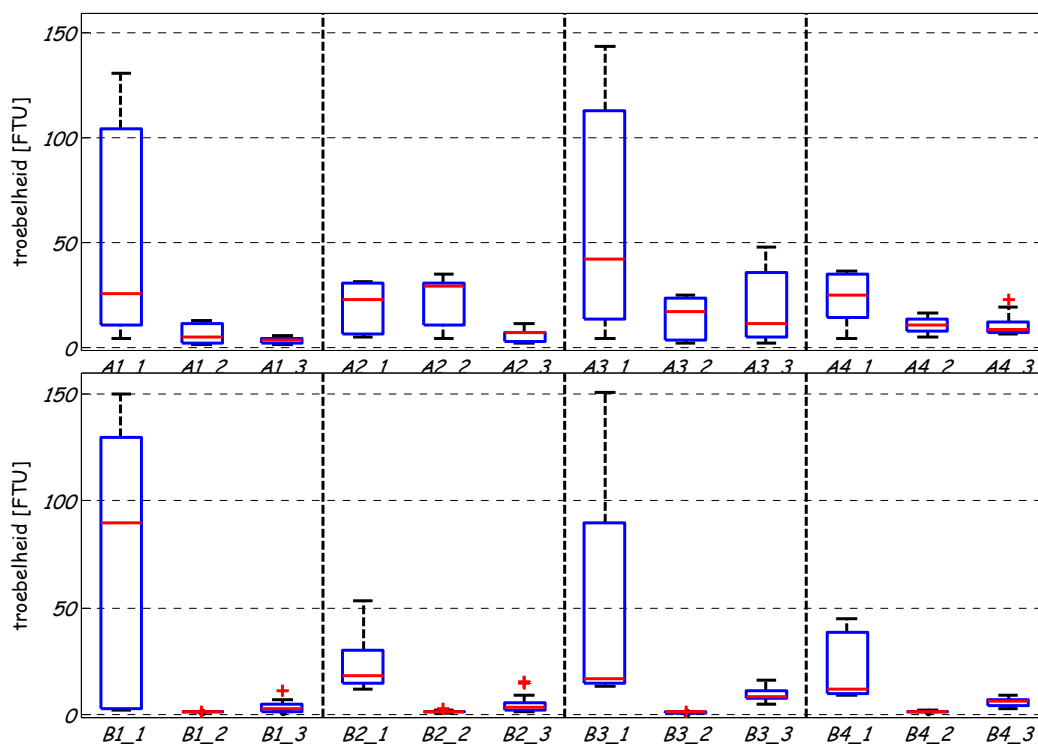
Figuur V-2 Frequentieverdeling van maximale snelheid in leidingen binnen gebied A en B, voor en tijdens de proef.

### OPM

Op 14 oktober 2009 zijn OPM1-metingen uitgevoerd op 4 locaties in meetgebied A en 4 locaties in meetgebied B. Op 2 december 2010 zijn de OPM2-metingen uitgevoerd en zijn de afsluiters gedraaid. Op 13 juli 2010 zijn de OPM3-metingen uitgevoerd. De OPM is als volgt gedaan:

- Er is verstoord gedurende 5 minuten met 0,35 m/s;
- gedurende 7-21 minuten is de troebelheid elke minuut gelogd. Alleen de eerste 15 minuten zijn meegenomen in onderstaande figuur.

Wijk A lijkt minder goed schoongemaakt te zijn dan gebied B (OPM2).

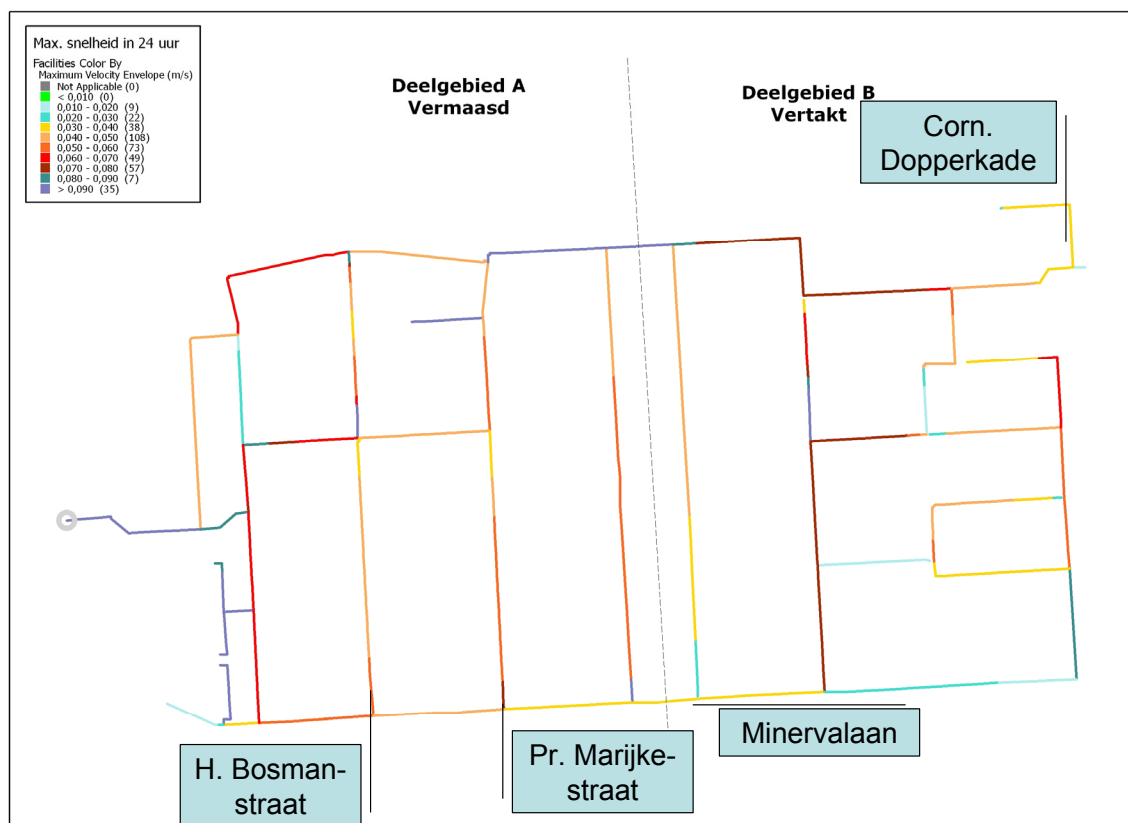


Figuur V-3 OPM1-OPM3 box-whiskerplots voor wijk A (onderzoeksgebied) en B (referentiegebied).

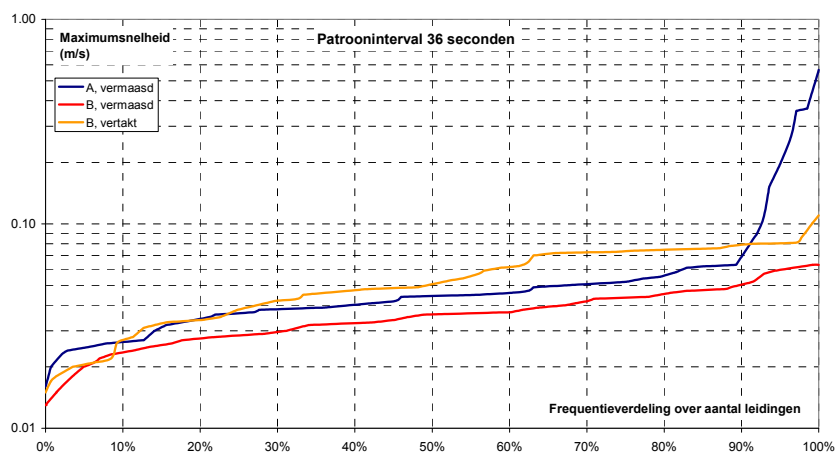
# VI Casestudie Waternet

## Leidingnetmodel

Het leidingnetmodel is in SynerGEE gemaakt met SIMDEUM-patronen met een tijdstap van 36 s (0.01 h). Doordat deelgebied A deelgebied B voedt, komen in de voedende leidingen in A een aantal hoge snelheden voor. De meetlocaties zijn gekozen op aftakkingen van de voedende leidingen. Door de grote diameters blijft in B ook na afsluitermanipulatie de snelheid laag, lager dan 0,2 m/s.



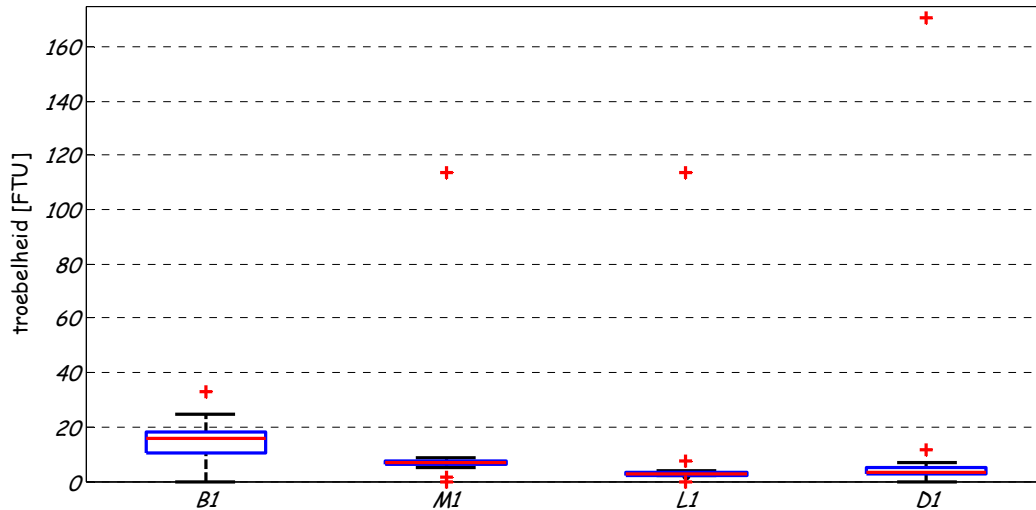
Figuur VI-1 Minerva buurt met maximale snelheden en OPM-locaties in referentiegebied A en onderzoeksgebied B.



Figuur VI-2 Frequentieverdeling van maximale snelheid in leidingen binnen gebied A en B, voor en tijdens de proef.

## OPM

Op 24 februari 2009 zijn OPM1-metingen uitgevoerd op 4 locaties in meetgebied A en B. De minimale, gemiddelde en maximale troebelheid is elke minuut gelogd voor 10 minuten. De troebelheid is erg laag en het is de vraag of een verschil kan worden gemeten tussen een gereinigd net (OPM2) en een vervuild net na de proefperiode (OPM3). Besloten is om niet te spuien, OPM2 is dus gelijk aan OPM1. Waternet heeft de test niet verder uitgevoerd.



Figuur VI-3 OPM1 box-whiskerplots: B (H. Bosmanstraat) en M (Prinses Marijkestraat) in referentiegebied A en L (Minervalaan) en D (Cornelis Doppekkade) in onderzoeksgebied B.

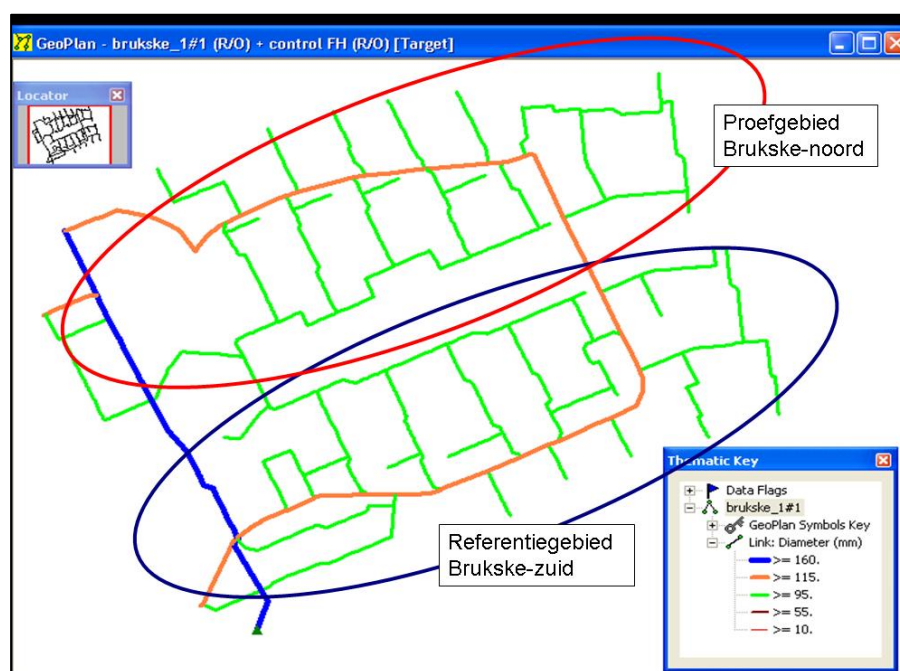
# VII Casestudie WML

## Leidingnetmodel

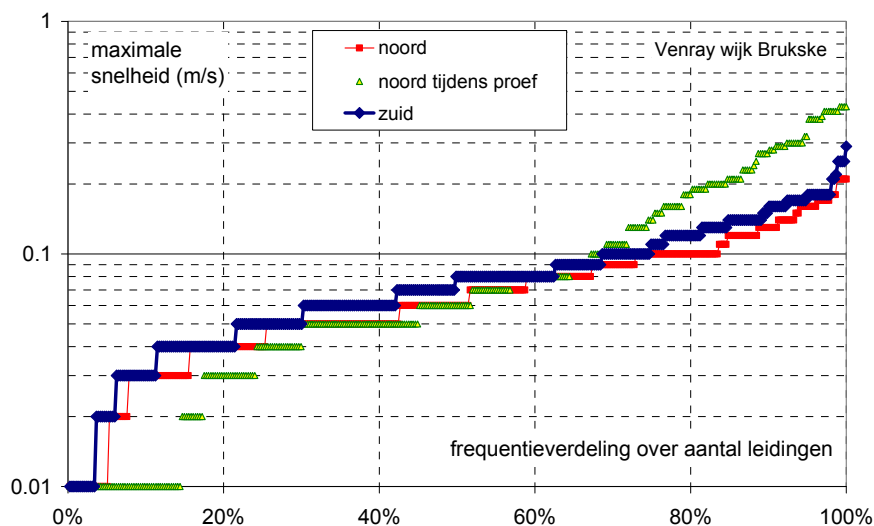
Het leidingnetmodel van Venray is in InfoWorks® gemaakt, met SIMDEUM-patronen met een tijdstap van 1 minuut. Het onderzoeksgebied (na sluiten van 8 afsluiters) laat een duidelijke snelheidsverhoging zien, ca. 20% van de leidingen heeft een maximale snelheid van 0,2 m/s of hoger.

Tabel VII-1 Aandeel van verschillende diameters in lengte en aantal leidingen van onderzoeksgebied A en referentiegebied B.

	leidinglengte			
	Noord		Zuid	
	km	%	km	%
Ø 100 NGIJ		0.17	5	
Ø 100 AC	2.45	78	2.48	77
Ø 150 AC	0.71	22	0.58	18
Totaal	3.16		3.22	



Figuur VII-1 Noord (onderzoeksgebied) en Zuid (referentiegebied) in Venray.



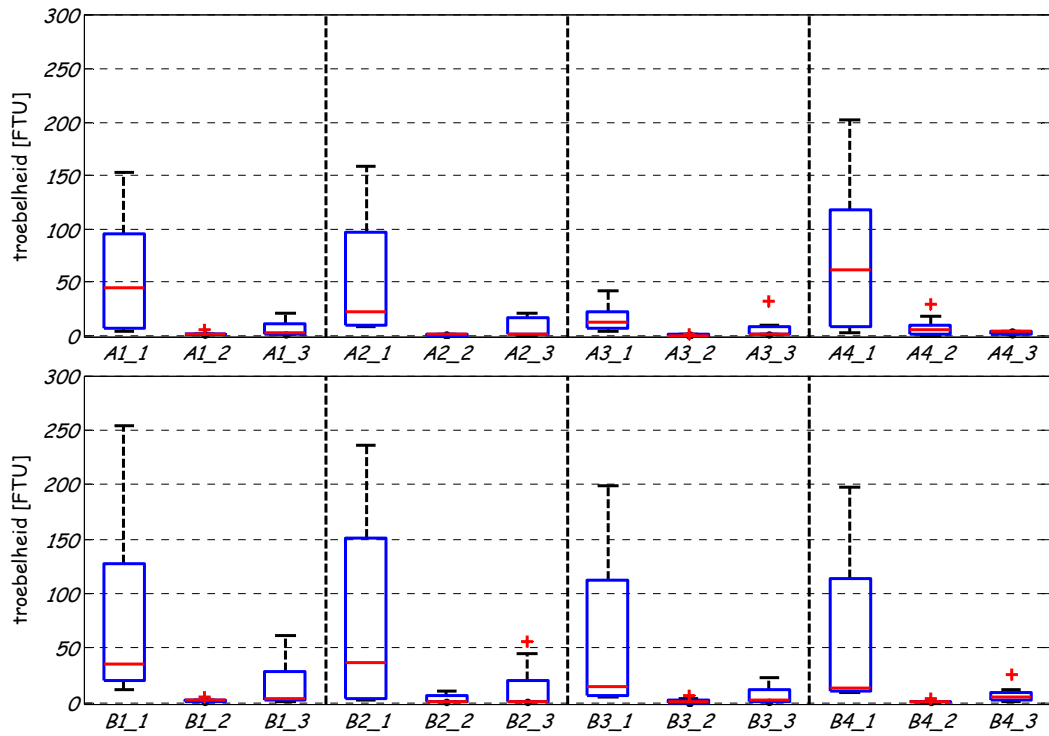
Figuur VII-2 Frequentieverdeling van maximale snelheid in leidingen binnen gebied Noord en Zuid, voor en tijdens de proef.

### OPM

In mei en juni 2009 zijn OPM1 en OPM2 uitgevoerd op 4 meetpunten per gebied. In december 2009 is OPM3 uitgevoerd. De OPM is als volgt gedaan:

- 5 minuten stabiliseren – geen flow in het leidingdeel
- 5 minuten verstoren – met 0,35 m/s.
- 30 min. nameten – geen flow in leidingdeel;
- gedurende 40 minuten is de troebelheid elke minuut gelogd; alleen de eerste 15 minuten zijn meegenomen in Figuur VII-3.

OPM1 gaf hoge waarden en OPM2 was laag; het schoonmaken is zeer effectief gebleken. Bij OPM3 blijkt dat het leidingnet in 6 maanden wel meetbaar vervuild is.



Figuur VII-3 OPM1 – OPM3 box-whiskerplots voor proefgebied Noord (meetpunt A1-A4) en referentiegebied Zuid (meetpunt B1-B4).N.B. in A1, B1 en B4 zijn de uitschieters > 300 FTU niet te zien.

