

BTO 2007.003
Februari 2007

Metten op transportleidingen

Meetmethode voor het bepalen van de mate van
vervuiling van een transportleiding

BTO 2007.003
Februari 2007

Metten op transportleidingen

Meetmethode voor het bepalen van de mate van
vervuiling van een transportleiding

2006 Kiwa Water Research
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.

Kiwa Water Research
Groningehaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Tel. 030 606 95 11
Fax 030 606 11 65
www.kiwawaterresearch.eu

Colofon

Titel

Meten op transportleidingen

Projectnummer

11.1525.100

Projectmanager

ir. W.J.M.K. Senden

Kwaliteitsborger

ir. J.H.G. Vreeburg

Auteurs

ing. P.G. Schaap en ir. C.F.T. Kivit

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

Sedimentophoping in leidingen ontstaat door bezinking van deeltjes. Deze deeltjes kunnen worden aangevoerd vanuit het pompstation, maar kunnen ook in het leidingnet worden gevormd. Opgehoopt sediment kan onder bepaalde hydraulische omstandigheden opwervelen en leiden tot bruinwaterklachten. Door het periodiek verwijderen van opgehoopt sediment (door te spuien met hoge stroomsnelheid) zal het de kans op bruinwaterklachten verminderen.

Randvoorwaarde voor een goed schoonmaakeffect is dat het aangevoerde water, meestal een transportleiding, schoon is. Om vast te stellen of deze leiding als SWF kan dienen moet de mate van vervuiling van de leiding worden bepaald.

Belang

Het reinigen van transportleidingen gaat gepaard met hoge kosten. Hoewel een aantal transportleidingen regelmatig worden gereinigd is de verleiding groot om deze leidingen niet op te nemen in schoonmaakprogramma's maar te beschouwen als een schoonwaterfront (SWF).

Indien achteraf blijkt dat de 'schone' leidingen toch vervuild zijn, gaat dit ten koste van het schoonmaakeffect in het achterliggende distributienet. Er is dan sprake van een 'vals-schoonverklaring'. Daarnaast kan het ook gebeuren dat een schone leiding wordt gespuid. In beide gevallen treedt kapitaalvernietiging op. Er is behoefte aan een uniforme meetmethode en aan beoordelingsrichtlijnen voor het bepalen van de mate van vervuiling van een transportleiding.

Aanpak

Tussen maart 2004 en oktober 2005 zijn 4 praktijkproeven op transportleidingen uitgevoerd, drie bij Hydron Flevoland en één bij Oasen. De gebruikte leidingen stonden bij de bedrijven op de nominatie om gespuid te worden.

Elke proef bestaat uit twee delen:

- Het aanbrengen van een verstoring om een voorspelling van de mate van vervuiling te kunnen doen;
- Het feitelijke schoonmaken van de leiding door middel van spuien, waarmee het werkelijke vervuilingsbeeld wordt gemeten.

Tijdens een praktijkproef zijn op maximaal vijf punten troebelheidsmetingen uitgevoerd. Hieronder volgt een korte beschrijving van de meetpunten:

1. een brandkraan op de transportleiding
2. een brandkraan op een zijtak van de transportleiding, zo dicht mogelijk bij de transportleiding
3. een aanboring bovenop de transportleiding
4. op drie verschillende niveaus in de transportleiding met een steeklans via een aanboring
5. op het spuipunt.

Resultaten

Uit de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de aanwezigheid van sediment in een transportleiding sluit het gebruik van de transportleiding als SWF tijdens het spuien van een aftak niet uit
- het grootste deel van de vervuiling wordt verwijderd tijdens de eerste verversing; hoe hoger de spuisnelheid hoe meer sediment er met de eerste verversing wordt verwijderd
- de beoordeling van de mate van vervuiling wordt beïnvloed door de locatie van het onttrekkingspunt van het monster van het water in de transportleiding
- meten op een spuipunt geeft een goed beeld van de mate van vervuiling van een transportleiding.
- meten op een brandkraan op een aftak geeft een goed beeld van de mate van vervuiling van een transportleiding. Een randvoorwaarde hierbij is dat de brandkraan zo dicht mogelijk bij de transportleiding ligt (korte verblijftijd) en er een hoge stroomsnelheid is in de aftak teneinde bezinking van sediment te voorkomen
- meten op een brandkraan op een transportleiding, indien aanwezig, geeft een goed beeld van de vervuiling van een transportleiding. Een randvoorwaarde hierbij is dat er via de brandkraan een hoge volumestroom wordt onttrokken.
- meten op een aanboring geeft geen goed beeld van de vervuiling van een transportleiding i.v.m. de beperkte hoeveelheid onttrokken water.
- stratificatie van sediment is tijdens drie praktijkproeven aangetoond
- de Main Trunk Sampler is geschikt voor het lokaal bepalen van sedimentlaagdiktes en voor visuele inspectie; de Engelse normen zijn niet direct toepasbaar in de Nederlandse situatie

Advies

De aanwezigheid van sediment sluit het gebruik van de transportleiding als SWF niet uit. Of een transportleiding als SWF kan worden gebruikt hangt niet af van de totale vervuiling, maar van het effect van een verstoring op het aanwezige sediment. Daarom dient de troebelheid tijdens een verstoring bij voorkeur op een brandkraan op een aftak te worden gemeten. Meting op een brandkraan op de transportleiding en meting op het spuipunt zijn ook mogelijk. De mate van vervuiling van een transportleiding kan op twee momenten worden bepaald:

- 1) Voorafgaand aan de spuiactie; door de troebelheid van een verstoring te meten, die zo groot is als het benodigde spuivolume voor het spuien met 1,5 m/s van de leiding met de grootste diameter (zie 2.4.2). De verstoring kan over een spuipunt en /of meerdere brandkranen worden aangebracht.
- 2) Na de spuiactie; de te spuien leiding kan direct gereinigd worden vanuit de transportleiding, waarbij de troebelheid op het spuipunt of een brandkraan op de aftak wordt gemeten. Wanneer blijkt dat de troebelheid na een aantal keer verversen niet een lage basiswaarde

bereikt, is de transportleiding dusdanig vervuild dat deze leiding niet als schoonwaterfront kan worden gebruikt. De consequentie is dan dat de transportleiding alsnog moet worden schoongemaakt, waarna de aftakleiding opnieuw moet worden gespuid.

Van de voorgestelde methoden is de tweede het meest praktisch. Wanneer uit de metingen blijkt dat de verstoring een gering effect heeft op het sediment in de transportleiding, kan het spuien van de aftak worden voortgezet.

Voor het beoordelen van het effect van een verstoring kunnen de volgende richtlijnen worden aangehouden:

- basiswaarde <2 FTU: transportleiding kan als SWF worden gebruikt; het schoonmaakeffect wordt niet beïnvloed.
- basiswaarde 2-5 FTU: transportleiding kan als SWF worden gebruikt; schoonmaakeffect is echter licht verminderd.
- basiswaarde > 5 FTU het wordt afgeraden om de transportleiding als SWF te gebruiken.

Inhoud

| | | |
|----------|--|-----------|
| | Samenvatting | 1 |
| | Inhoud | 5 |
| 1 | Inleiding | 7 |
| 1.1 | Vervuiling en reiniging van leidingnetten | 7 |
| 1.2 | Aanleiding | 7 |
| 1.3 | Hypothese | 8 |
| 1.4 | Literatuurstudie | 9 |
| 1.5 | Leeswijzer | 9 |
| 2 | Het onderzoek | 11 |
| 2.1 | Meetapparatuur | 11 |
| 2.1.1 | Main Trunk Sampler | 11 |
| 2.1.2 | Steeklans | 11 |
| 2.1.3 | Troebelheidsmeter | 12 |
| 2.2 | Uitvoering | 12 |
| 2.2.1 | Meetpunten | 12 |
| 2.2.2 | Verstoring | 13 |
| 3 | Theoretische beschouwing meetmethode | 15 |
| 3.1 | Inleiding | 15 |
| 3.2 | Beschrijving methode | 15 |
| 3.3 | Resultaten | 16 |
| 3.4 | Conclusie | 16 |
| 4 | Praktijkproef Lelystad (Hydron Flevoland) | 19 |
| 4.1 | Meetlocatie en meetpunten | 19 |
| 4.1.1 | Situatieschets | 19 |
| 4.1.2 | Meetopstelling | 20 |
| 4.2 | Resultaten | 21 |
| 4.2.1 | Druk en volumestroom | 21 |
| 4.2.2 | Troebelheid | 22 |
| 4.2.3 | Andere parameters | 24 |
| 4.3 | Conclusie | 25 |
| 5 | Praktijkproef Almere 1 (Hydron Flevoland) | 27 |
| 5.1 | Meetlocatie | 27 |
| 5.1.1 | Situatieschets | 27 |
| 5.1.2 | Meetopstelling | 27 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.2 | Resultaten | 28 |
| 5.2.1 | Druk en volumestroom | 28 |
| 5.2.2 | Troebeelheid | 29 |
| 5.2.3 | Andere parameters | 30 |
| 5.3 | Conclusie | 31 |
| 6 | Praktijkproef Woerdense Verlaat (Oasen) | 33 |
| 6.1 | Meetlocatie | 33 |
| 6.1.1 | Situatieschets | 33 |
| 6.1.2 | Meetopstelling | 34 |
| 6.2 | Resultaten | 34 |
| 6.2.1 | Druk | 34 |
| 6.2.2 | Troebeelheid | 36 |
| 6.2.3 | Andere parameters | 38 |
| 6.2.4 | Discussie | 39 |
| 6.3 | Conclusie | 39 |
| 7 | Praktijkproef Almere 2 (Hydron Flevoland) | 41 |
| 7.1 | Meetlocatie | 41 |
| 7.1.1 | Situatieschets | 41 |
| 7.1.2 | Meetopstelling | 42 |
| 7.2 | Resultaten | 43 |
| 7.2.1 | Druk | 43 |
| 7.2.2 | Troebeelheid | 44 |
| 7.2.3 | Andere parameters | 46 |
| 7.3 | Conclusie | 46 |
| 8 | Vergelijking praktijkproeven | 47 |
| 8.1 | Stratificatie | 47 |
| 8.2 | Verstoring versus spuiactie | 48 |
| 8.3 | Geconstateerde verschillen | 49 |
| 8.4 | Main Trunk Sampler | 50 |
| 9 | Beoordelingsrichtlijnen | 51 |
| 10 | Conclusies en aanbevelingen | 1 |
| 10.1 | Conclusies | 1 |
| 10.2 | Aanbevelingen | 1 |
| 11 | Literatuur | 3 |
| I | Resultaten CFD-modeling | 1 |

1 Inleiding

1.1 Vervuiling en reiniging van leidingnetten

Sedimentophoping in leidingen ontstaat door bezinking van deeltjes. Deze deeltjes kunnen worden aangevoerd vanuit het pompstation, maar kunnen ook in het leidingnet worden gevormd. Zo kunnen deeltjes in de leiding ontstaan door corrosie van leidingmateriaal, nacoagulatie van colloïdale deeltjes tot grotere (bezinkbare) deeltjes en door afstervende biofilm.

Opgehoopt sediment kan onder bepaalde hydraulische omstandigheden opwervelen en leiden tot bruinwaterklachten. Door het periodiek verwijderen van opgehoopt sediment (door te spuien met hoge stroomsnelheid) zal de kans op bruinwaterklachten kleiner worden. De toename van de stroomsnelheid veroorzaakt een hoge schuifspanning in de leiding die een kracht uitoefent op het sediment dat vervolgens opwervelt en via het spuipunt wordt afgevoerd.

Randvoorwaarde voor een goed schoonmaakeffect is dat het aangevoerde water schoon is. Daarom worden spuiacties uitgevoerd vanuit een schoonwaterfront (SWF), meestal een transportleiding. Om vast te stellen of deze leiding als SWF kan dienen moet de mate van vervuiling van de leiding worden bepaald. Met deze informatie kan worden voorkomen dat:

- een vervuilde transportleiding als schoon wordt beschouwd
- een schone transportleiding wordt gespuid.

1.2 Aanleiding

Het reinigen van transportleidingen gaat gepaard met hoge kosten. Hoewel een aantal transportleidingen regelmatig worden gereinigd is de verleiding groot om deze leidingen niet op te nemen in schoonmaakprogramma's maar te beschouwen als een schoonwaterfront (SWF).

Indien achteraf blijkt dat de 'schone' leidingen toch vervuild zijn, gaat dit ten koste van het schoonmaakeffect in het achterliggende distributienet. Er is dan sprake van een 'vals-schoonverklaring'. Daarnaast kan het ook gebeuren dat een schone leiding wordt gespuid. In beide gevallen treedt kapitaalvernietiging op.

Proeven met de steeklans in het Bedrijfstakonderzoek van 2000 en 2001 (BTO 2000.231 "Vorstudie sedimentgedrag in transportleidingen" en BTO 2001.198 "Onderzoek sedimentgedrag") hebben aangetoond dat in leidingen met grote diameters stratificatie optreedt. Hieruit is geconcludeerd dat het meten aan de bovenkant van een leiding tijdens een verstoring niet de beste methode is.

Vals-schoonverklaringen en het spuien van schone leidingen hebben geleid tot de behoefte aan een meetmethode en aan beoordelingsrichtlijnen voor het bepalen van de mate van vervuiling van transportleidingen zodat beheer- en onderhoudsbudgetten optimaal kunnen worden ingezet.

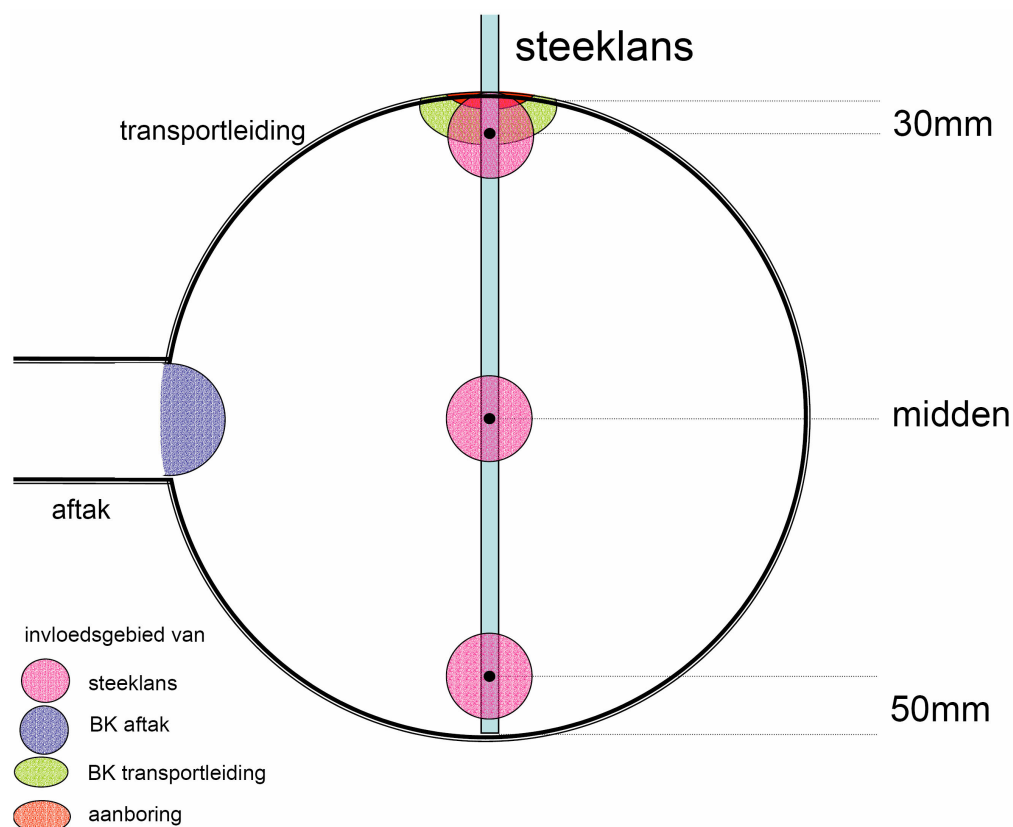
Het doel van het onderzoek is:

- het formuleren van een uniforme meetmethode om vervuiling in transportleidingen te meten
- het formuleren van beoordelingsrichtlijnen om de gemeten vervuiling te vertalen naar een classificatie in de range van 'schoon' tot 'sterk vervuild'

In het onderzoek zijn verschillende meetmethoden in het veld beoordeeld en is Computational Fluid Dynamics (CFD) ingezet voor de theoretische onderbouwing van de monsternamen.

1.3 Hypothese

Sediment hoopt zich op de bodem van de leiding op; bij lage stroomsnelheden treedt er stratificatie op (BTO 2000.231 en BTO 2001.198). Bij stratificatie is de hoeveelheid opgewerveld sediment onderin de leiding groter dan bovenin (zie figuur 1). Stratificatie neemt toe met de diameter van de leiding en speelt bij transportleidingen dus een grotere rol dan bij distributieleidingen. Het resultaat van het meten van de vervuiling is naast de hydraulische omstandigheden en de mate van vervuiling als gevolg van stratificatie ook afhankelijk van de hoogte in de transportleiding waar de meting wordt uitgevoerd en het onttrokken meetvolume.



figuur 1 Doorsnede van een transportleiding met verschillende meetpunten. Per meetpunt is een indicatie gegeven van het invloedsgebied.

1.4 Literatuurstudie

Uit enquêtes en gesprekken met waterleidingbedrijven in 2002 is gebleken dat het beleid ten aanzien van het schoonmaken van transportleidingen per bedrijf verschilt (Prince, Discussion report for [CLEAN?], BTO 2003.025). Brabant Water, Hydron Flevoland en WML maken transportleidingen met een bepaalde regelmaat schoon. Bij een aantal bedrijven worden de transportleidingen alleen schoongemaakt wanneer dit nodig is om een schoonwaterfront voor een distributiegebied te creëren. Er zijn ook bedrijven die de transportleidingen nagenoeg nooit schoonmaken.

Wanneer transportleidingen wel worden gereinigd gebeurt dit vaak zonder dat er is geanalyseerd of dit inderdaad noodzakelijk is. Evaluatie van een uitgevoerde schoonmaakactie van een transportleiding vindt niet plaats. Uit de discussies op het internationale [CLEAN?] platform kwam de Main Trunk Sampler van Mayfield Consulting uit Engeland naar voren als onderzoekstechniek voor het prioriteren van de mate van vervuiling van een transportleiding. Deze techniek is daarom opgenomen in het onderzoek.

1.5 Leeswijzer

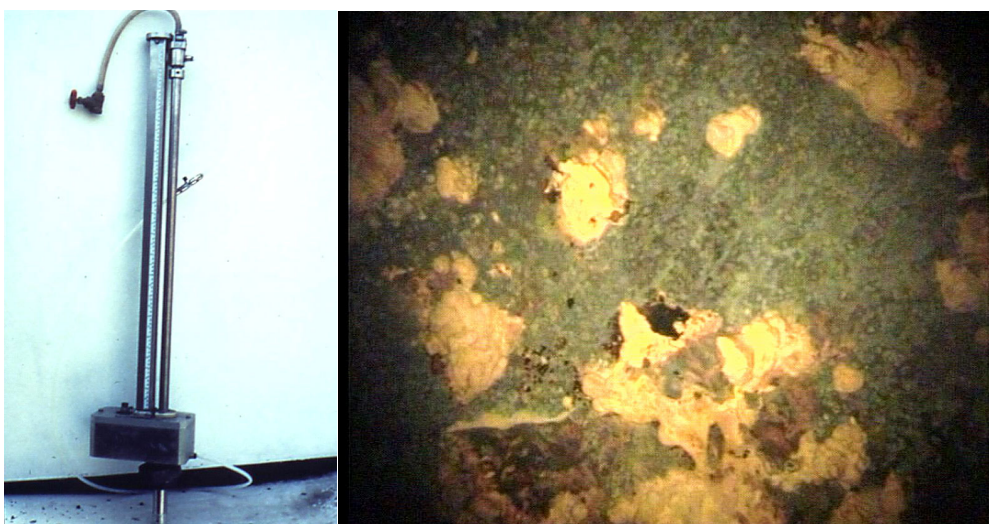
In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving van de gebruikte meetapparatuur en de werkwijze gegeven. Een theoretische beschouwing over het invloedsgebied van de onttrekking van het monstervolume m.b.v. CFD wordt gegeven in hoofdstuk 3. In hoofdstukken 4 -7 worden de individuele praktijkproeven besproken. In hoofdstuk 8 worden de verschillende meetlocaties beoordeeld en in hoofdstuk 9 worden er richtlijnen gegeven. De conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 10.

2 Het onderzoek

2.1 Meetapparatuur

2.1.1 *Main Trunk Sampler*

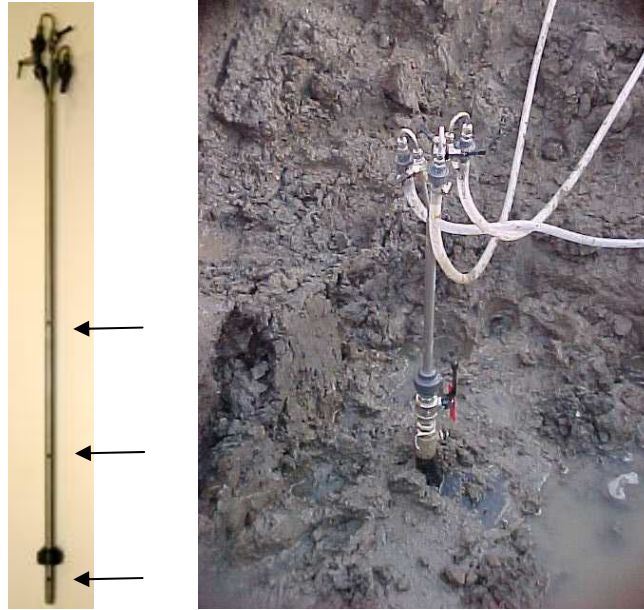
De *main trunk sampler* (MTS) is een visuele, niet-destructieve inspectiemethode voor de binnenkant van leidingen. De MTS is ontwikkeld door Sue Williams van Mayfield Consulting en is in Engeland al op meer dan 1000 transportleidingen ingezet. Door middel van een 2" aanboring wordt onder druk een statief ingebracht in de leiding. Met de MTS kan een monster worden genomen van het sediment dat zich op de bodem bevindt. Daarnaast kan via het statief een camera in de leiding worden gebracht. De MTS en een voorbeeld van een videobeeld zijn weergegeven in figuur 2.



figuur 2 Links de Main Trunk Sampler en rechts een cameraopname van een aangetaste bitumen coating aan de binnenkant van een transportleiding

2.1.2 *Steeklans*

Met de steeklans kan op eenvoudige wijze op verschillende niveaus in leidingen watermonsters worden genomen. De steeklans bestaat uit een metalen mantelbuis met hierin drie monsterbuizen, waarmee op drie niveaus een monster kunnen worden onttrokken. De steeklans wordt door een 1" aanboring onder druk in een leiding ingebracht. Het inbrengen van de steeklans vindt plaats zonder onderbreking van de levering.



figuur 3 Links: steeklans in zijn geheel. De pijlen geven de monsterpunten aan, rechts: steeklans in gebruik

De monsterpunten van de steeklans bevinden zich op 50 mm van de onderkant, halverwege de leiding en op 30 mm van de bovenkant van de leiding. Een steeklans kan door de locatie van de monsterpunten alleen worden toegepast voor één leidingdiameter.

2.1.3 Troebelheidsmeter

Tijdens de praktijkproef zijn twee typen troebelheidsmeters toegepast: de Sigrist CT65 en de Dr. Lange Conturb. De Sigrist troebelheidsmeter maakt deel uit van een bestaande meetopstelling van Kiwa Water Research. Met behulp van deze opstelling kunnen naast de troebelheid ook andere parameters worden gemeten, waaronder de druk.

De Sigrist troebelheidsmeter is ingezet voor meting van de troebelheid in het lage bereik en de Dr. Lange troebelheidsmeter voor meting in het hoge bereik.

2.2 Uitvoering

Tussen maart 2004 en oktober 2005 zijn 4 praktijkproeven uitgevoerd, drie bij Hydron Flevoland en één bij Oasen. De gebruikte leidingen stonden bij de bedrijven op de nominatie om gespuid te worden.

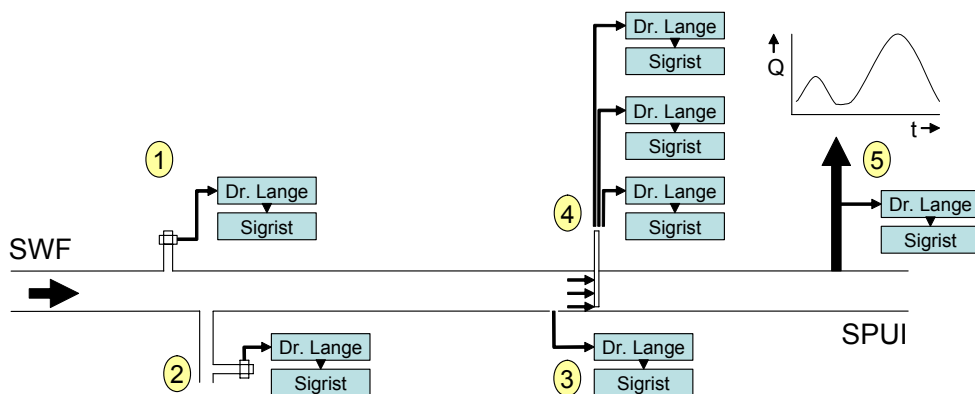
Elke proef bestaat uit twee delen:

- Het aanbrenge van een verstoring om een voorspelling van de mate van vervuiling te kunnen doen;
- Het feitelijke schoonmaken van de leiding door middel van spuien, waarmee het werkelijke vervuilingsbeeld wordt gemeten.

2.2.1 Meetpunten

Tijdens de verstoring en de spuiactie zijn op maximaal 5 punten troebelheidsmetingen uitgevoerd. De opzet is schematisch weergegeven in figuur 4. Hieronder volgt een korte beschrijving van de meetpunten:

1. een brandkraan op de transportleiding.
2. een brandkraan op een zijtak van de transportleiding, zo dicht mogelijk bij de transportleiding. Via de brandkraan wordt met een hoge volumestroom water onttrokken om de verblijftijd in de aftak en brandkraan te verkleinen
3. een aanboring bovenop de transportleiding
4. op drie verschillende niveaus in de transportleiding met een steeklans via een aanboring
5. op het spuipunt.



figuur 4 Schematische weergave van de meetopstelling (niet op schaal)

Van alle meetpunten zal de locatie “steeklans” de meeste informatie over de mate van vervuiling van een transportleiding opleveren, aangezien op deze locatie op drie niveaus in de leiding wordt gemeten.

Om het interpreteren van de metingen van de andere meetpunten zo overzichtelijk mogelijk te maken, zal het meetpunt “steeklans midden” als referentiemeting dienen.

2.2.2 Verstoring

Tijdens elke praktijkproef is een verstoring aangebracht, met de volgende specificaties:

- De normale volumestroom in de transportleiding wordt verhoogd met de volumestroom die nodig is om de aansluitende leiding met 1,5 m/s te spuien.

Tussen de verstoring en de spuiactie is een pauze van ongeveer 15 minuten opgenomen. Bij de spuiactie wordt gestreefd naar de maximaal haalbare volumestroom.

3 Theoretische beschouwing meetmethode

3.1 Inleiding

Het doel van een meting of een monstername is om iets te kunnen zeggen over een specifieke parameter in een leiding. Hierbij is een belangrijke randvoorwaarde dat het monster of de meting representatief is voor het totale volume in de leiding. De representativiteit van een monster wordt bepaald door:

- de locatie van het meetpunt
- het monstervolume en daarmee het invloedsgebied van monstername.
- de hydraulische omstandigheden (stratificatie)

Dit hoofdstuk gaat in op het bepalen van het invloedsgebied van monstername in relatie tot monstervolume en de hydraulische omstandigheden met behulp van CFD-modeling (Computational Fluid Dynamics).

3.2 Beschrijving methode

Voor het bepalen van het invloedsgebied van monstername zijn verschillende situaties gekozen. De situaties verschillen onderling met betrekking tot de diameter van de leiding en het onttrekkingspunt en de volumestroom in zowel de leiding als de aanvoerleiding naar het meetpunt. Om het aantal situaties te beperken en de opbrengst te maximaliseren is gekozen voor situaties met een duidelijk onderling verschil in de waarde van de hydraulische omstandigheden, zoals weergegeven in tabel 1.

tabel 1 Gekozen situaties voor het bepalen van het invloedsgebied van monstername

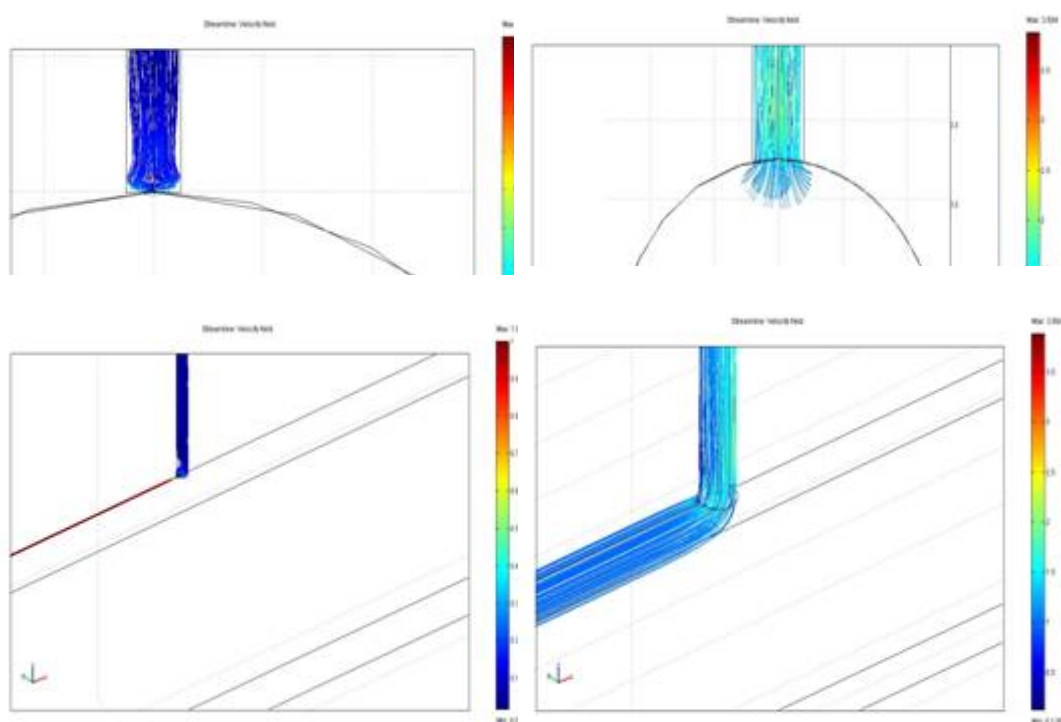
| Naam | Code | Diam. hoofdleiding | Diam. aftapleiding | Snelheid in hoofdleiding | Monstervolume | Snelheid in aftapleiding |
|-------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|
| | | mm | mm | m/s | m ³ /h | m/s |
| BK_TL | BK_TL-0.25-80 | 500 | 80 | 0,25 | 80 | 4,42 |
| | BK_TL-0.5-80 | 500 | 80 | 0,50 | 80 | 4,42 |
| | BK_TL-1-80 | 500 | 80 | 1,00 | 80 | 4,42 |
| | BK_TL-2-80 | 500 | 80 | 2,00 | 80 | 4,42 |
| AB_TL | AB_TL-0.05-0.2 | 500 | 25 | 0,05 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_TL-0.35-0.2 | 500 | 25 | 0,35 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_TL-0.35-1 | 500 | 25 | 0,35 | 1 | 0,57 |
| | AB_TL-1-0.2 | 500 | 25 | 1,00 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_TL-2-0.2 | 500 | 25 | 2,00 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_DL | AB_DL-0.05-0.2 | 110 | 25 | 0,05 | 0,2 |
| AB_DL | AB_DL-0.35-0.2 | 110 | 25 | 0,35 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_DL-0.35-1 | 110 | 25 | 0,35 | 1 | 0,57 |
| | AB_DL-0.35-2 | 110 | 25 | 0,35 | 2 | 1,13 |
| | AB_DL-1-0.2 | 110 | 25 | 1 | 0,20 | 0,11 |
| | BK_DL | BK_DL-110-0.2 | 110 | 80 | 0,35 | 0,2 |
| BK_DL-110-2 | | 110 | 80 | 0,35 | 2 | 0,11 |

TL Transportleiding
DL Distributieleiding
BK Brandkraan
AB Aanboring 25mm

Met behulp van Computational Fluid Dynamics (CFD) kan per situatie het invloedsgebied van het monster worden bepaald door het berekenen van een stabiele situatie, gegeven de gekozen stroomsnelheid, monstervolume en snelheid in de aftapleiding. Het invloedsgebied wordt weergegeven door het afbeelden van stroomlijnen (zie figuur 5).

3.3 Resultaten

Per situatie is met behulp van CFD een grafische weergave gemaakt van de stroomlijnen in de transportleiding (zie figuur 5). Uit deze afbeeldingen blijkt dat het invloedsgebied sterk verschilt tussen de meetpunten 'aanboring' en 'brandkraan op transportleiding'. Verder blijkt er een duidelijke afname van het invloedsgebied bij een hogere stroomsnelheid in de hoofdleiding of een lagere volumestroom op het meetpunt.



figuur 5 Resultaten CFD; afgebeeld is de transportleiding en meetpunt met de stroomlijnen. Links: aanboring op een transportleiding met een monstervolume van $0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ en een stroomsnelheid in de transportleiding van $1,0 \text{ m/s}$. Rechts een brandkraan op een transportleiding met een monstervolume van $80 \text{ m}^3/\text{h}$ en een stroomsnelheid in de transportleiding van $1,0 \text{ m/s}$.

De resultaten van de overige CFD-berekeningen zijn opgenomen in bijlage 1.

3.4 Conclusie

Met CFD wordt het verloop van de stroomlijnen in de verschillende situaties inzichtelijk gemaakt. Hieruit blijkt dat het invloedsgebied van monsternamen met een aanboring en een kleine volumestroom beperkt is: het monster wordt onttrokken aan de bovenste paar millimeter van de leiding. Het

invloedsgebied van een brandkraan met een groot monstervolume is groter, maar blijft beperkt in verhouding tot de doorsnede van een transportleiding. Afhankelijk van de hydraulische omstandigheden (wel of niet optredende stratificatie) zal met zowel een aanboring als met een brandkraan op een transportleiding een onderschatting van de werkelijke vervuiling worden gemaakt.

4 Praktijkproef Lelystad (Hydron Flevoland)

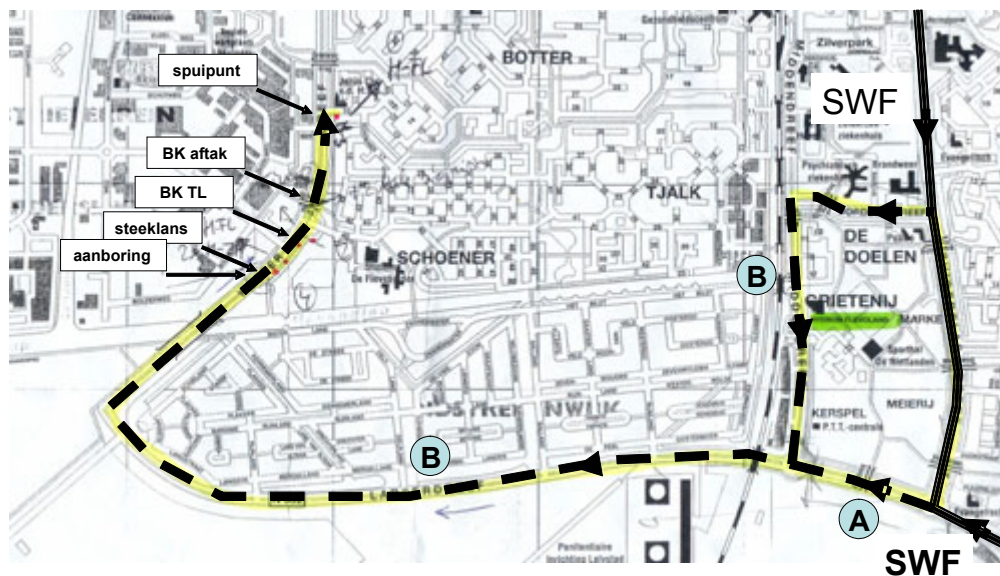
4.1 Meetlocatie en meetpunten

4.1.1 Situatieschets

Op 23 maart 2004 is een praktijkproef uitgevoerd bij Hydron Flevoland Lelystad. De proef paste in het bestaande spuiprogramma waarin op deze locatie twee trajecten moesten worden gespuid (zie figuur 6 en tabel 2). Alle leidingdelen hebben dezelfde diameter en kunnen apart worden geïsoleerd.

De praktijkproef is als volgt uitgevoerd:

- verstoring op het spuipunt
- spuiactie over traject A (traject B gesloten)
- spuiactie over traject B (traject A gesloten)



figuur 6 Overzicht van het spuitraject (gestreepte lijn) en het SWF (rechts)

tabel 2 Kerngegevens praktijkproef Lelystad

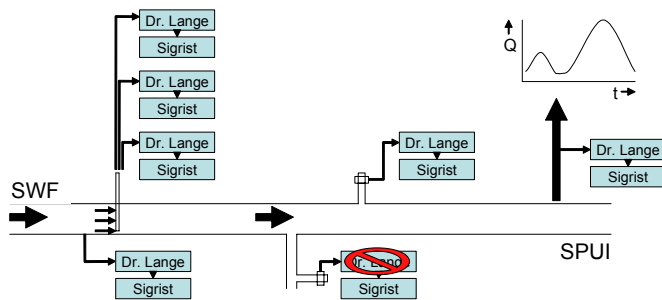
| | | |
|---------------------------|------|----|
| Lengte spuittraject via A | 3973 | m |
| Lengte spuittraject via B | 4748 | m |
| Uitwendige diameter | 500 | mm |

| | volumestroom (m ³ /h) | snelheid (m/s) | duur (min) | spuilengte (m) | verversingen |
|---------------------------|----------------------------------|----------------|------------|----------------|--------------|
| Verstoring | 550 | 0.9 | 33 | 1782 | - |
| Spuien spuittraject via A | 1100 | 1.9 | 22 | 2508 | 0.6 |
| Spuien spuittraject via B | 1100 | 1.9 | 60 | 6840 | 1.4 |

4.1.2 Meetopstelling

De meetopstelling wijkt op de volgende punten af van de standaardopstelling (zie paragraaf 2.2 en figuur 7):

- de meting op de brandkraan op de aftak is niet meegenomen in verband met een technisch probleem
- de aanboring is vanaf 15:35 gebruikt voor visuele inspectie met de Main Trunk Sampler
- het meetpunt 'steeklans boven' is naast de on-line troebelheidsmetingen ook gebruikt voor het nemen van waterkwaliteitsmonsters.



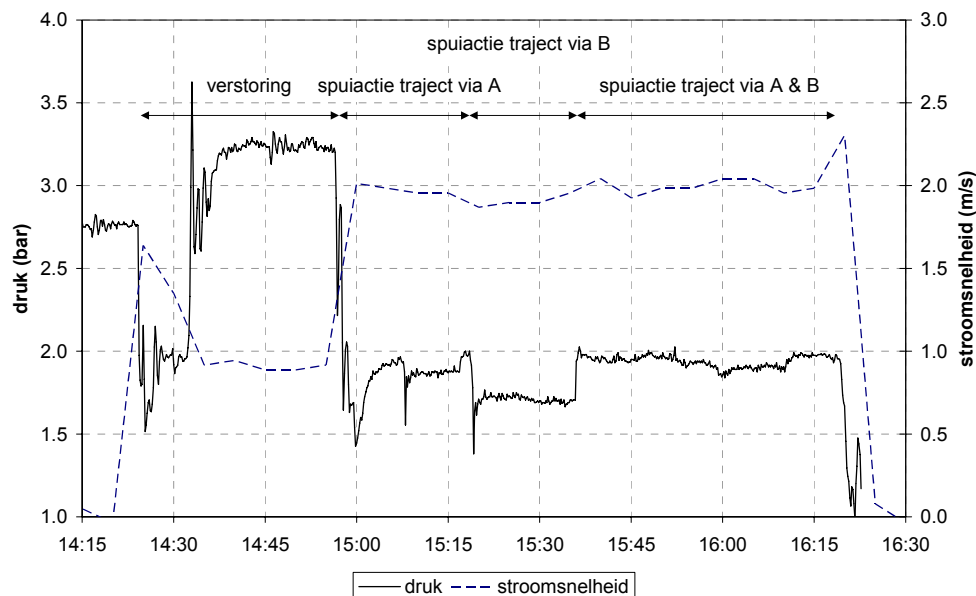
figuur 7 Meetopstelling Lelystad exclusief meetpunt aftak brandkraan

4.2 Resultaten

4.2.1 Druk en volumestroom

Aan de hand van de gemeten druk kan het verloop van de proef worden gevolgd (zie figuur 8):

- de verstoring is om 14:24 gestart;
- de stroomsnelheid in de transportleiding is bepaald op basis van de volumestroom op pompstation Aquaterp;
- de initiële stroomsnelheid tijdens de verstoring is doorgeschoten naar 1,6 m/s en vervolgens teruggebracht tot 0,9 m/s;
- de snelheid tijdens de spuiactie was ongeveer 1,9 m/s;
- het spuien van traject A is begonnen om 14:57;
- het spuien van traject B is begonnen om 15:19;
- de afsluiter op traject A is om 15:36 geopend om een maximale voordruk voor op traject B te realiseren;
- de spuiactie is om 16:20 gestopt.

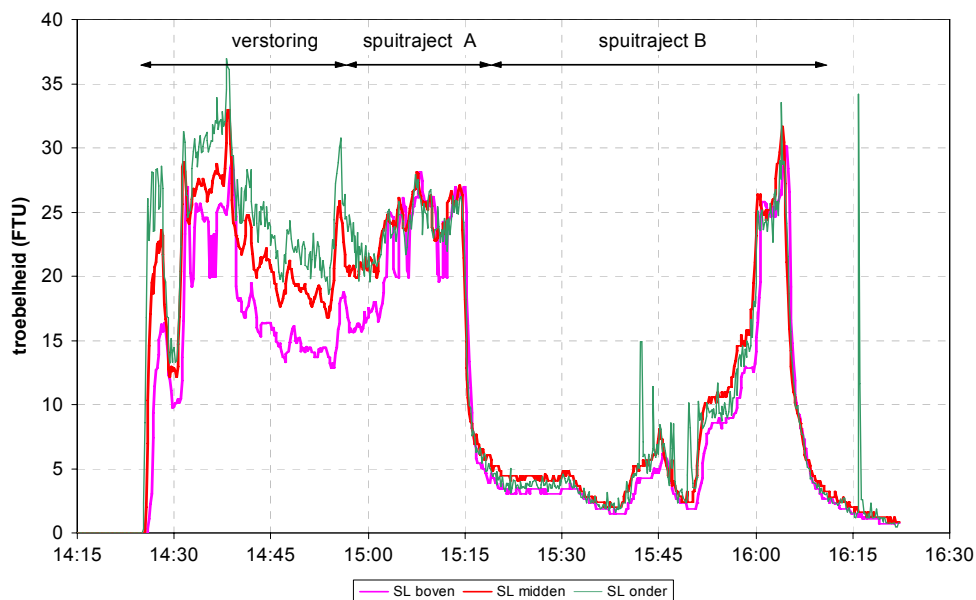


figuur 8 Druk en stroomsnelheid op het meetpunt 'steeklans midden' en stroomsnelheid in de transportleiding tijdens de verstoring en de spuiacties.

4.2.2 Troebelheid

De resultaten van de steeklans (figuur 9 en tabel 3) laten de volgende opvallende zaken zien:

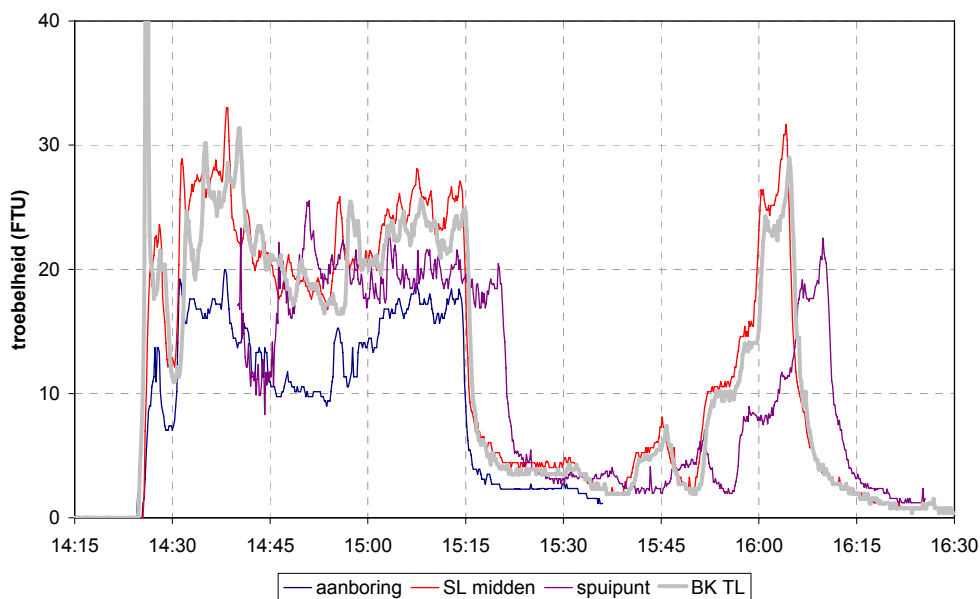
- bij het begin van de verstoring stijgt de troebelheid naar 28 FTU door de hoge initiële stroomsnelheid. Nadat de stroomsnelheid is verlaagd tot het gewenste niveau en het effect van de initiële stroomsnelheidsverhoging afneemt halveert de troebelheid;
- een hoge troebelheidspiek van 37 FTU om 14:38, 14 minuten na het begin van de verstoring;
- de gemiddelde troebelheid tijdens de verstoring (22 FTU) is ongeveer gelijk aan de troebelheid tijdens de spuiactie van traject A (21 FTU). Voor traject B is het gemiddelde troebelheid met 16 FTU (bepaald tussen 15:50 en 16:08) iets lager;
- Omstreeks 15:15 vindt een scherpe daling van de troebelheid plaats, op dat moment is de inhoud van het leidingtraject éénmaal verversd. De troebelheid daalt dan in korte tijd van 25 tot minder dan 5 FTU. Dit komt overeen met het berekenen van de spuitijd, eerst is er 33 min verstoord met een stroomsnelheid van 0,9 m/s ($33 \cdot 60 \cdot 0,9 = 1782$ m), waarna er van 14:57 tot en met 15:15 met 1,9 m/s is gespuid ($18 \cdot 60 \cdot 1,9 = 2052$ m). Gerekend met gemiddelde spuisnelheden is 3834 m gespuid, traject A heeft een totale lengte van 3973 m;
- rond 16:00 is een tweede troebelheidspiek gemeten afkomstig van traject B. Ook hier is na de eerste verversing om 16:08 een scherpe daling van de troebelheid zichtbaar.



figuur 9 Troebelheid steeklans tijdens verstoring en spuiactie

Uit de resultaten van de andere meetpunten (figuur 10 en tabel 3) blijkt dat:

- de troebelheid op het spuipunt
 - het patroon van de steeklans midden (referentiewaarde) volgt met een vertraging van ongeveer 6 minuten. Deze vertraging wordt veroorzaakt door de onderlinge afstand;
 - ongeveer 20 % lager is dan de referentiewaarde.
- de troebelheid op de aanboring
 - het patroon volgt van de referentiewaarde
 - ongeveer 30% lager is dan de referentiewaarde.



figuur 10 Troebelheid op alle meetpunten tijdens de verstoring en spuiactie

tabel 3 Samenvatting troebelheidsmetingen Lelystad (op basis van de volledige verstoring en de eerste verversing tijdens de spuiactie)

| | verstoring | | | spuiactie A | | | spuiactie B | | |
|-----------|------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
| | min | max | gem | min | max | gem | min | max | gem |
| SL boven | 0 | 29 | 17 | 4 | 28 | 19 | 2 | 30 | 15 |
| SL midden | 10 | 33 | 22 | 6 | 28 | 21 | 5 | 32 | 16 |
| SL onder | 13 | 37 | 25 | 5 | 28 | 21 | 4 | 34 | 16 |
| aanboring | 5 | 20 | 13 | 3 | 19 | 14 | x | x | x |
| spuipunt | 8 | 26 | 18 | 4 | 23 | 17 | 6 | 23 | 12 |
| BK TL | 11 | 31 | 21 | 4 | 26 | 20 | 3 | 29 | 15 |

4.2.3 Andere parameters

Naast de troebelheid en druk is ook de ijzer-, mangaan- en gesuspendeerde-stofconcentratie bepaald. Daarnaast is met de Main Trunk Sampler (MTS) een monster genomen van het slib en is de leiding visueel geïnspecteerd.

De resultaten van de ijzer-, mangaan- en gesuspendeerde-stofbepaling zijn weergegeven in tabel 4. Voor het ijzer is aangenomen dat Fe_2O_3 de meest voorkomende verbinding in het sediment is en dat al het opgeloste ijzer uit het sediment komt. Voor het mangaan is aangenomen dat MnO_2 de meest voorkomende verbinding in het sediment is.

Uit de resultaten blijkt dat de ijzerconcentratie bijna vijfmaal groter is dan de mangaanconcentratie. Daarnaast blijkt dat de gesuspendeerde stof voor 16% uit ijzer bestaat en voor 3,8 % uit mangaan.

De relatie tussen troebelheid en gesuspendeerde-stofconcentratie kan door het beperkte aantal metingen niet nauwkeurig worden bepaald.

tabel 4 Resultaten van de analyse van de monsters

| | troebelheid* | Ijzer-totaal (mg/l) | | mangaan-totaal ($\mu\text{g/l}$) | | gesuspendeerde-stofconcentratie |
|-------|--------------|---------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------|---------------------------------|
| | FTU | Fe^{3+} | Fe_2O_3 | Mn^{4+} | MnO_2 | mg/ l |
| 14:58 | 20 | 1,9 | 2,72 | 485 | 767 | 14 |
| 15:08 | 26,5 | 3 | 4,29 | 735 | 1163 | 20 |
| 15:20 | 5,2 | 0,74 | 1,06 | 160 | 253 | 6,7 |
| 15:30 | 4,4 | 0,46 | 0,66 | 85 | 135 | 4,9 |
| 15:40 | 3,2 | 0,5 | 0,71 | 105 | 166 | 4,9 |
| 15:50 | 2,4 | 0,36 | 0,51 | 59 | 93 | 3,2 |
| 16:00 | 23,1 | 1,7 | 2,43 | 380 | 601 | 9,1 |
| 16:10 | 4 | 0,3 | 0,43 | 43 | 68 | 8 |
| 16:20 | 1,2 | 0,12 | 0,17 | 17 | 27 | 1,2 |

* troebelheid on-line gemeten

De MTS leverde de volgende resultaten op:

- de sliblaag voor het spuien was < 0,1 mm
- voor het spuien is er sediment zichtbaar in de leiding, maar na het spuien is het sediment verdwenen (figuur 11).



figuur 11 Opname van de leidingwand met de main trunk sampler (links voor het spuien, rechts erna)

Opvallend is dat deze leiding volgens de huidige Engelse classificatie als schoon wordt beschouwd. Tijdens het spuien is echter een maximale troebelheid van 37 FTU gemeten (tabel 3).

4.3 Conclusie

Uit de resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

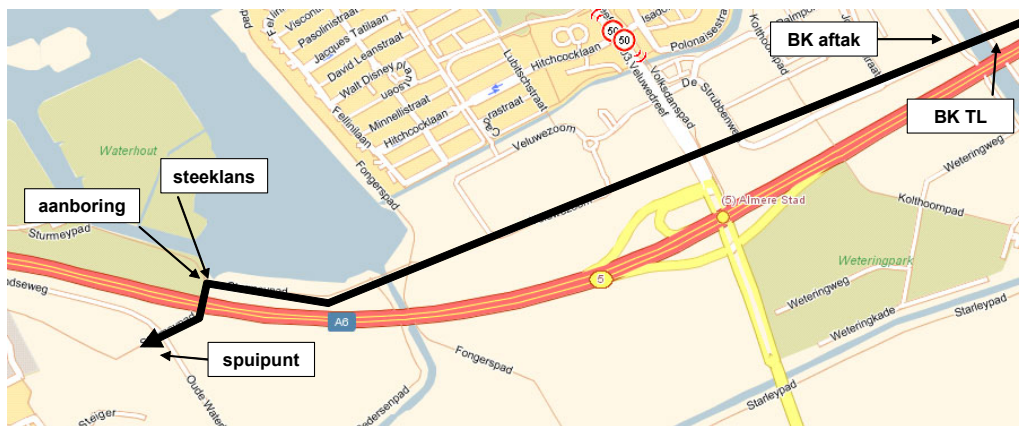
- Aanbrengen van een verstoring door de volumestroom op het pompstation te sturen, werkt niet nauwkeurig genoeg;
- De gemiddelde troebelheid tijdens de verstoring ligt op hetzelfde niveau (22 FTU) als tijdens het spuien (21 en 16 FTU). De leiding is vervuild;
- Meten op een aanboring levert een 30% lagere troebelheid op dan de referentiewaarde;
- Meten op een brandkraan op een transportleiding is een goed alternatief voor meten met een steeklans;
- De Engelse normen voor de interpretatie van de MTS zijn niet direct toepasbaar op de Nederlandse situatie.

5 Praktijkproef Almere 1 (Hydron Flevoland)

5.1 Meetlocatie

5.1.1 Situatieschets

Op 5 oktober 2004 is een praktijkproef uitgevoerd bij Hydron Flevoland, de eerste in Almere (zie figuur 12 en tabel 5). De proef bestaat uit een verstoring en spuiactie waarbij op verschillende punten de troebelheid is gemeten. De spuiactie is een onderdeel van het schoonmaakprogramma van Hydron Flevoland.



figuur 12 Overzichtskartaal van meetlocatie Almere

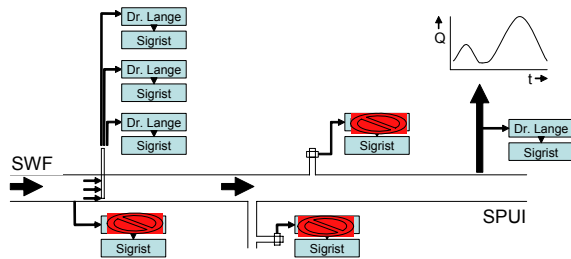
tabel 5 Kerngegevens praktijkproef Almere

| | | | | | |
|---------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Lengte spuittraject | 3800 | m | | | |
| Uitwendige diameter | 630 | mm | | | |
| | volumestroom (m3/h) | snelheid (m/s) | duur (min) | lengte (m) | verversingen |
| verstoring | 400 | 1.25 | 14 | 1050 | 0.3 |
| spuien | 1500 | 1.50 | 66 | 5940 | 1.6 |

5.1.2 Meetopstelling

De meetopstelling wijkt op de volgende punten af van de standaardopstelling (zie paragraaf 2.2 en figuur 13):

- de afstand tussen het spuipunt en de brandkraan op de aftak en transportleiding is groot
- de Dr. Lange troebelheidmeters op de brandkraan op de aftak en transportleiding functioneerden niet goed
- in verband met de beperkte beschikbaarheid van meetapparatuur is op de aanboring geen Dr. Lange geplaatst



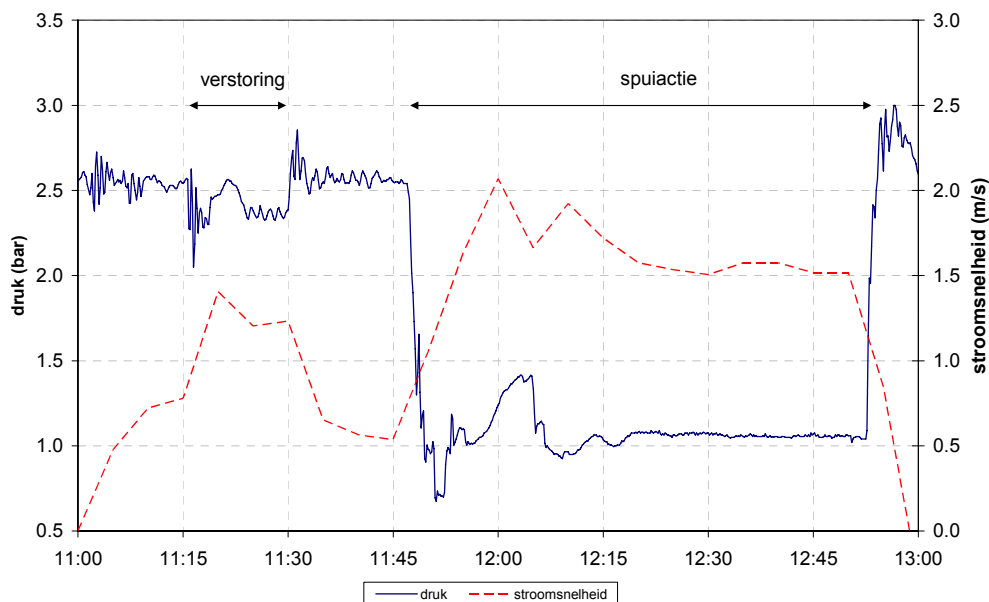
figuur 13 Meetopstelling Almere1 exclusief meetpunt aftak brandkraan, brandkraan TL en aanboring

5.2 Resultaten

5.2.1 Druk en volumestroom

Aan de hand van de gemeten druk kan het verloop van de proef worden gevolgd (zie figuur 14):

- de stroomsnelheid in de transportleiding is bepaald op basis van de volumestroom op de pompstations Westerterp en Buitenterp
- de verstoring is aangebracht om 11:17 gedurende 13 minuten
- de stroomsnelheid tijdens verstoring was ongeveer 1,25 m/s
- tussen de verstoring en spuiactie is een pauze van 18 minuten aangehouden
- de spuiactie is om 11:50 gestart
- de stroomsnelheid tijdens spuiactie was in eerste instantie 2,0 m/s maar bereikte na een half uur een stabiel niveau ongeveer 1,5 m/s

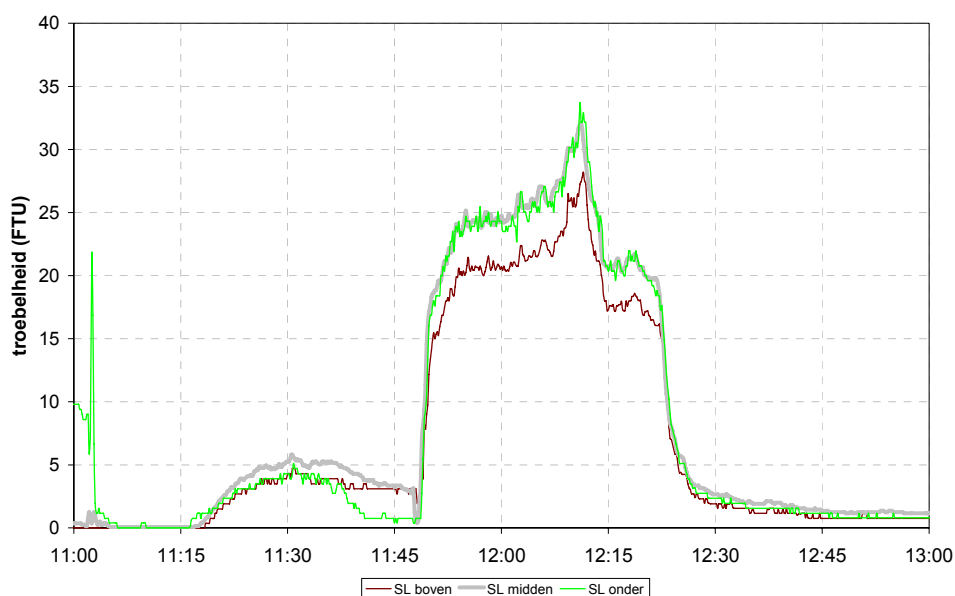


figuur 14 Druk en stroomsnelheid op het meetpunt 'steeklans midden' en stroomsnelheid in de transportleiding tijdens de verstoring en de spuiactie

5.2.2 Troebelheid

De resultaten van de steeklans (figuur 15 en tabel 6) laten de volgende opvallende zaken zien:

- de gemiddelde troebelheid tijdens de verstoring (3,3 FTU) is een stuk lager dan tijdens de spuiactie (23,1 FTU)
- na de eerste verversing vindt een scherpe daling van de troebelheid plaats. De eerste verversing eindigt om 12:23, de troebelheid daalt dan in korte tijd van 20 tot 2 FTU rond 12:28
- op het meetpunt 'steeklans onder' wordt een lagere troebelheid gemeten dan op het meetpunt 'steeklans midden'

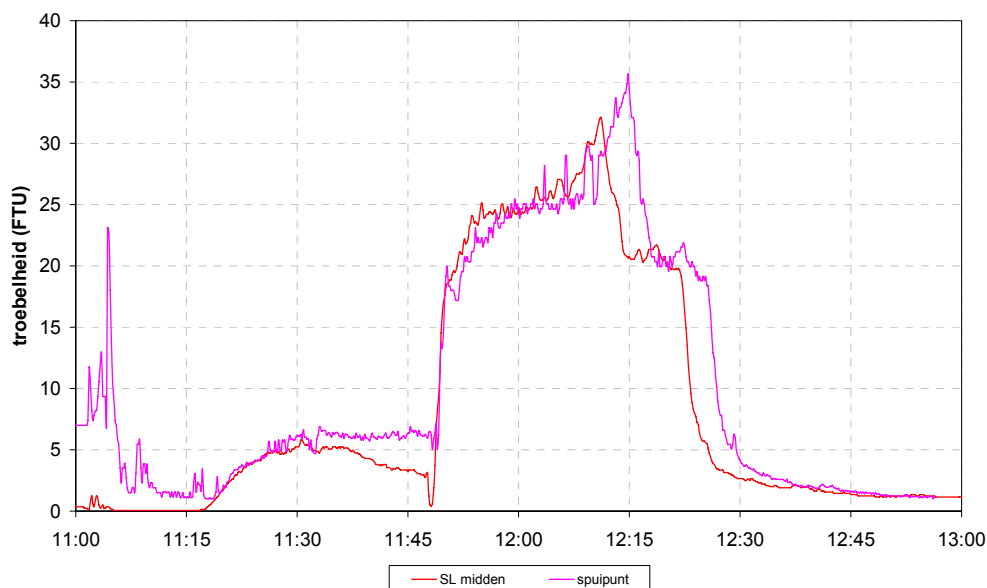


figuur 15 Troebelheid steeklans tijdens verstoring en spuiactie

Opvallend is dat de troebelheid op 'steeklans onder' lager is dan de meting in het midden en bovenin de leiding, hetgeen verdacht is. De resultaten staan haaks op alle metingen die tot nu toe zijn uitgevoerd met de steeklans. Vermoed wordt dat de meetpunt 'steeklans onder' en 'steeklans boven' zijn omgedraaid. Bestudering van de foto's van de proef geeft echter geen uitsluitsel. Er is geen sluitende verklaring voor deze resultaten.

Uit de resultaten van de metingen op het spuipunt (figuur 16 en tabel 6) blijkt dat:

- de troebelheid het patroon van de referentiewaarde (steeklans midden) volgt met een vertraging van ongeveer 5 minuten. De vertraging wordt veroorzaakt door de afstand tussen het spuipunt en de steeklans
- de gemiddelde waarde van de troebelheid (23,7 FTU) komt overeen met de referentiewaarde (23,1 FTU).



figuur 16 Troebelheid op alle meetpunten tijdens de verstoring en spuiactie

tabel 6 Samenvatting troebelheidsmetingen Almere (op basis van de volledige verstoring en de eerste verversing tijdens de spuiactie)

| | verstoring | | | spuiactie | | |
|------------------|------------|-----|-----|-----------|------|------|
| | min | max | gem | min | max | gem |
| SL boven | 0.0 | 4.3 | 2.4 | 0.8 | 28.2 | 19.5 |
| SL midden | 0.2 | 5.3 | 3.3 | 0.4 | 32.1 | 23.1 |
| SL onder | 0.8 | 4.3 | 2.8 | 0.8 | 33.7 | 22.8 |
| spuipunt | 1.0 | 6.2 | 3.7 | 1.2 | 35.7 | 23.7 |

5.2.3 Andere parameters

Tijdens de praktijkproef in Almere zijn geen andere parameters of metingen uitgevoerd naast degene die hiervoor beschreven zijn.

5.3 Conclusie

Uit de resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Aanbrengen van een verstoring door de volumestroom op het pompstation te sturen werkt niet nauwkeurig genoeg;
- De verstoring heeft tot een beperkte toename van de troebelheid (gemiddeld 3,3 FTU) geleid. Op basis van de verstoring is de leiding matig vervuild;
- De gemiddelde troebelheid op het meetpunt 'steeklans midden' is tijdens de spuiactie 23,1 FTU en bedraagt maximaal 32,1 FTU. De leiding is vervuild;
- Het meten op het spuipunt is een goed alternatief voor meten met een steeklans.

6 Praktijkproef Woerdense Verlaat (Oasen)

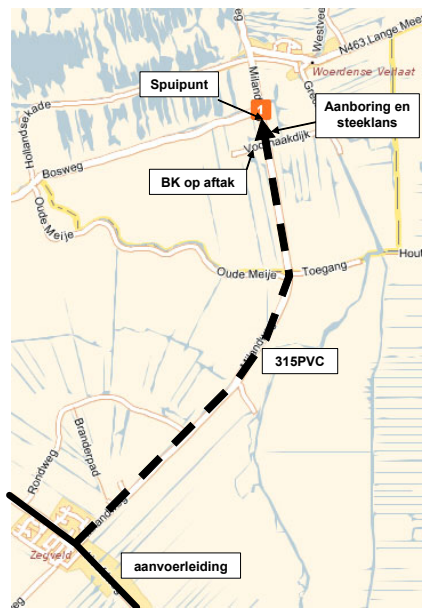
6.1 Meetlocatie

6.1.1 Situatieschets

Van 14 op 15 september 2005 is een praktijkproef uitgevoerd bij Oasen in het Woerdense Verlaat (zie figuur 17 en tabel 7). In verband met het maximaliseren van de aanvoercapaciteit en minimaliseren van de effecten voor het achterliggende voorzieningsgebied is de proef in de avond- en nachturen uitgevoerd. De spuiactie is een onderdeel van het schoonmaakprogramma van Oasen.

Voor het spuien van dit traject heeft Oasen vlak voor de proef een spui punt ingebouwd en speciaal voor deze proef een brandkraan op de aftak geplaatst. Hiervoor is de leiding tijdelijk drukloos geweest.

De praktijkproef bestaat uit een verstoring en spuiactie waarbij op verschillende punten de troebelheid wordt gemeten.



figuur 17 Overzichtskartaal van meetlocatie Woerdense Verlaat

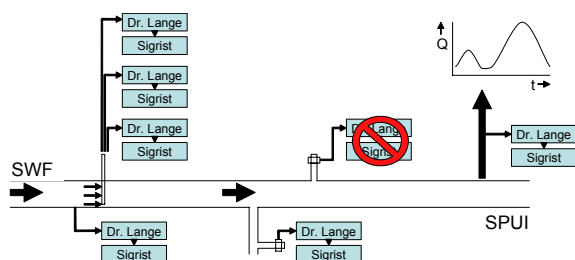
tabel 7 Kerngegevens praktijkproef Woerdense Verlaat

| | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| Lengte spuittraject | 7463 | m | | | |
| Uitwendige diameter | 315 | m | | | |
| | volumnestroom (m3/h) | snelheid (m/s) | duur (min) | lengte (m) | Verversingen |
| verstoring | 157 | 0.62 | 21 | 775 | 0.1 |
| spuien 1 | 236 | 0.93 | 190 | 10564 | 1.4 |
| spuien 2 (vanaf 3:10) | 297 | 1.17 | nvt | nvt | nvt |

6.1.2 Meetopstelling

De meetopstelling wijkt op de volgende punten af van de standaardopstelling (zie paragraaf 2.2 en figuur 18):

- er was geen brandkraan op de transportleiding aanwezig waardoor dit meetpunt is komen te vervallen;
- de Dr. Lange troebelheidmeter op het meetpunt 'brandkraan aftak' functioneerde niet goed waardoor de meting pas na de verstoring is gestart;
- het meetpunt 'steeklans boven' is naast de on-line troebelheidsmetingen ook gebruikt voor het nemen van waterkwaliteitsmonsters.



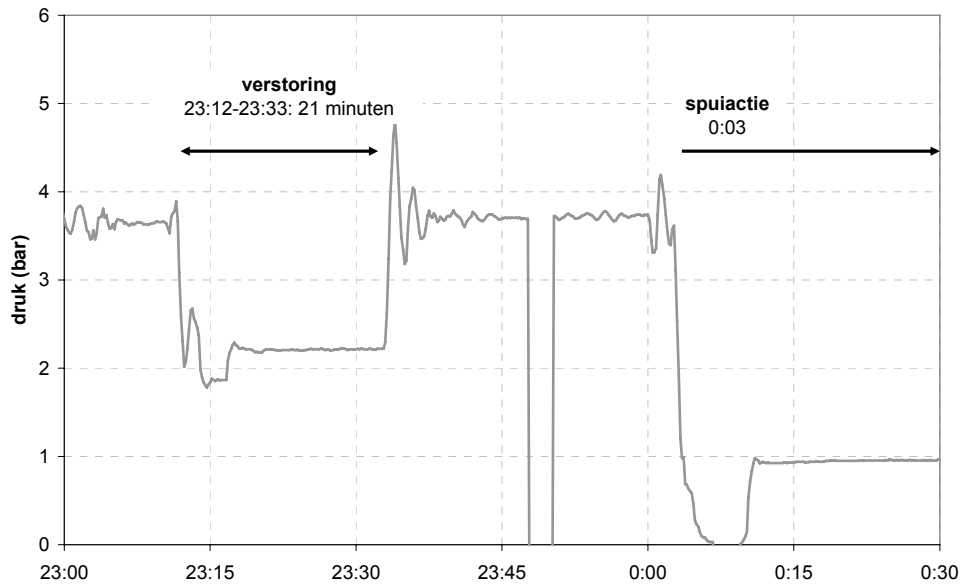
figuur 18 Meetopstelling Woerdense Verlaat exclusief meetpunt brandkraan TL

6.2 Resultaten

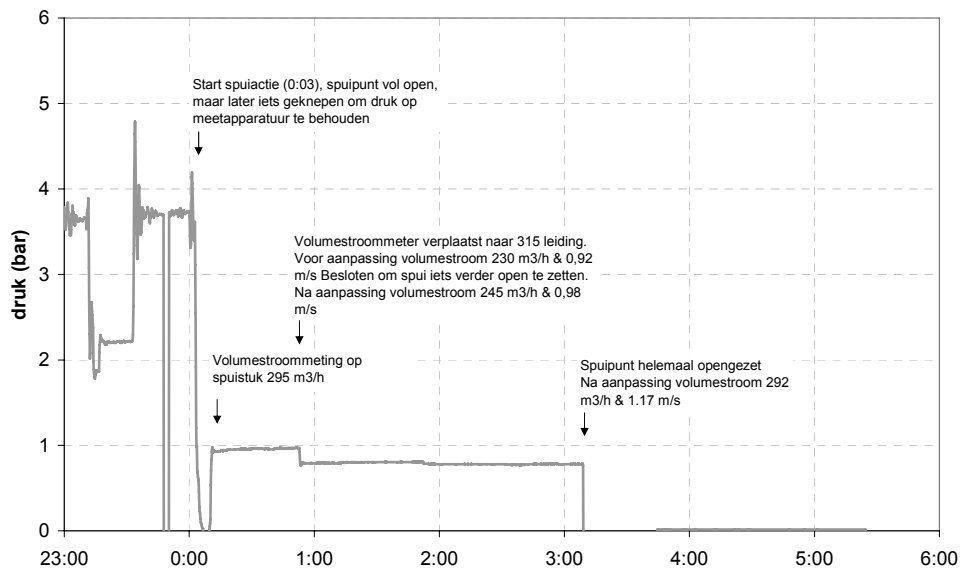
6.2.1 Druk

Aan de hand van de gemeten druk kan het verloop van de proef worden gevolgd (zie figuur 19 en figuur 20):

- de stroomsnelheid in de leiding is bepaald met een ultrasone volumestroommeter. Na iedere aanpassing van de stroomsnelheid is de volumestroommeter afgelezen en de stroomsnelheid genoteerd. Er heeft geen continue stroomsnelheidsmeting plaatsgevonden. In eerste instantie is de volumestroommeter direct op het spuipunt geplaatst. Vanwege turbulentie is de volumestroommeter om 0:58 verplaatst naar de transportleiding
- de verstoring is aangebracht om 23:12 gedurende 21 minuten
- de snelheid tijdens verstoring was ongeveer 0,62 m/s
- tussen de verstoring en spuiactie is een pauze van 30 minuten aangehouden
- de spuiactie is om 00:03 gestart
- de stroomsnelheid tijdens spuiactie was ongeveer 0,93 m/s. Vanwege onvoldoende voordruk voor de meetapparatuur is het spuipunt niet volledig geopend.
- de stroomsnelheid tijdens de spuiactie is rond 0:56 verhoogd tot bijna 1,0 m/s
- het spuipunt is om 3:10 volledig opgedraaid waardoor geen metingen meer mogelijk waren



figuur 19 Druk op het meetpunt 'steeklans midden' tijdens de verstoring

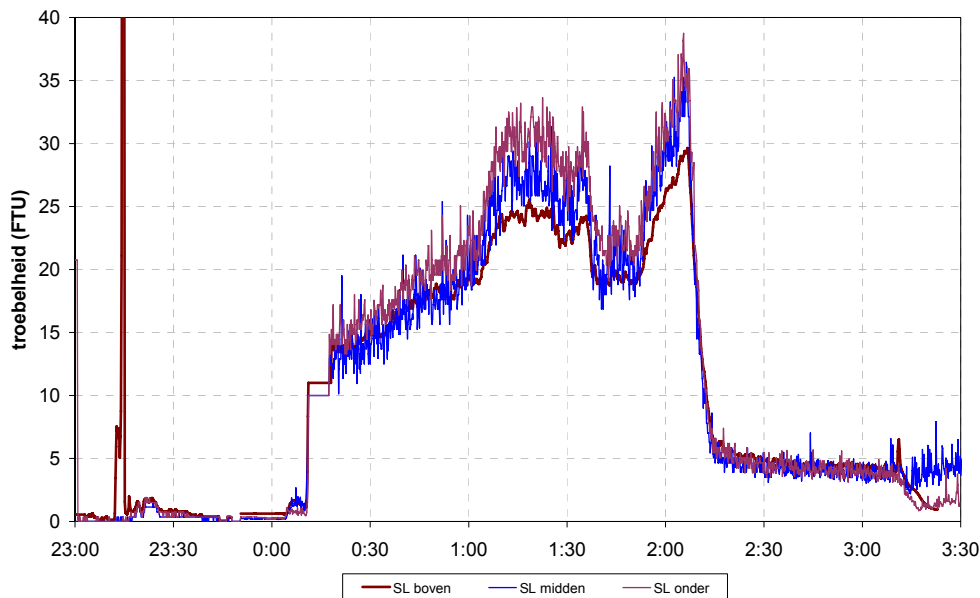


figuur 20 Druk op het meetpunt 'steeklans midden' tijdens de spuiactie

6.2.2 Troebelheid

De resultaten van de steeklans (zie figuur 21 en tabel 8) laten de volgende opvallende zaken zien:

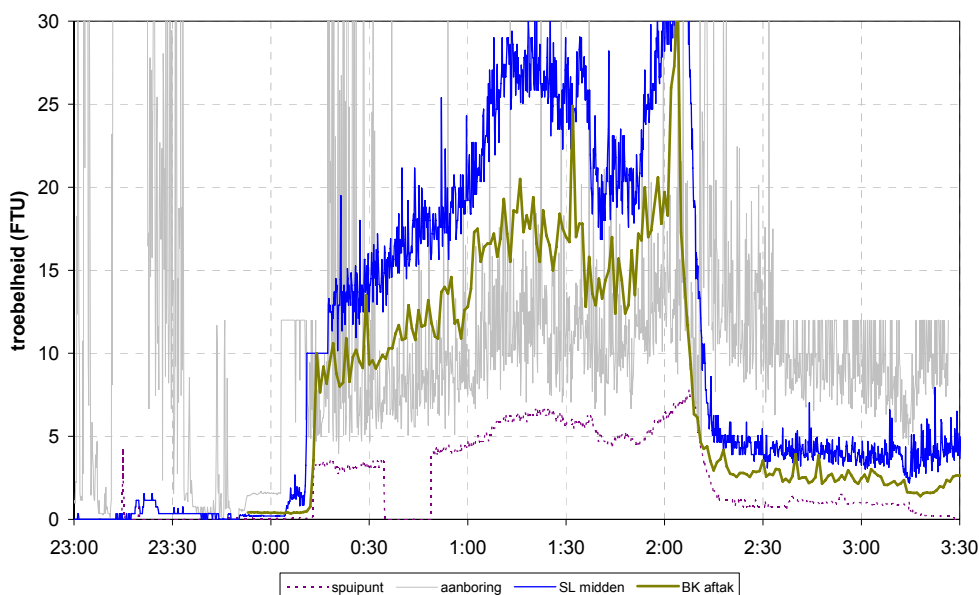
- de verstoring heeft geresulteerd in een zeer beperkte troebelheidsverhoging. Tijdens de verstoring stijgt de troebelheid tot maximaal 1,9 FTU; hierbij zijn de eerste troebelheidspieken (steeklans boven) niet meegenomen. Deze pieken waren het gevolg van lucht in de leiding en daarmee niet representatief voor de troebelheid in de leiding
- de spuiactie heeft geresulteerd in een toename van de troebelheid die gedurende de eerste verversing langzaam stijgt tot maximaal 39,9 FTU.
- na de eerste verversing vindt een scherpe daling van de troebelheid plaats. De eerste verversing eindigt om 2:07, de troebelheid daalt dan in korte tijd van 35 tot rond de 5 FTU.



figuur 21 Troebelheid steeklans tijdens verstoring en spuiactie

Uit de resultaten van de andere meetpunten (zie figuur 22 en tabel 8) blijkt dat:

- de troebelheid op het spuipunt
 - het patroon van de referentiewaarde (steeklans midden) volgt
 - gemiddeld veel lager ligt (4,4 FTU) in vergelijking met de referentiewaarde (steeklans midden) (21,7 FTU)
- de troebelheidsmeting op de aanboring is verstoord door lucht en daarmee niet representatief voor de troebelheid in de leiding
- de troebelheid op het meetpunt 'brandkraan aftak'
 - het patroon van de referentiewaarde volgt
 - gemiddeld 30% lager ligt (14,8 FTU) in vergelijking met de referentiewaarde (21,7 FTU). Deze lage waarde wordt mogelijk veroorzaakt door een relatief lage stroomsnelheid (0,5 m/s) in de aftak.



figuur 22 Troebelheid op alle meetpunten tijdens de verstoring en spuiactie

Troebelheid op het spuipunt is verdacht laag; vermoedelijk is het meetbereik anders ingesteld. Nadere inspectie van de Dr. Lange troebelheidsmeter heeft dit vermoeden niet bevestigd. Er is geen overtuigende verklaring voor de gemeten lage troebelheid op het spuipunt.

tabel 8 Samenvatting troebelheidsmetingen Woerdense Verlaat (op basis van de volledige verstoring en de eerste verversing tijdens de spuiactie)

| | verstoring | | | spuiactie | | |
|-----------|------------|-------|------|-----------|------|------|
| | min | max | gem | min | max | gem |
| SL boven | 0.6 | 2.0 | 1.1 | 13.5 | 29.7 | 20.3 |
| SL midden | 0.0 | 1.6 | 0.6 | 10.2 | 36.5 | 21.7 |
| SL onder | 0.0 | 1.9 | 0.8 | 13.3 | 38.8 | 23.8 |
| aanboring | 1.6 | 120.0 | 40.0 | 4.0 | 51.6 | 11.8 |
| BK aftak | x | x | x | 8.0 | 32.0 | 14.8 |
| spuipunt | 0.0 | 0.7 | 0.0 | 0.0 | 7.4 | 4.4 |

6.2.3 Andere parameters

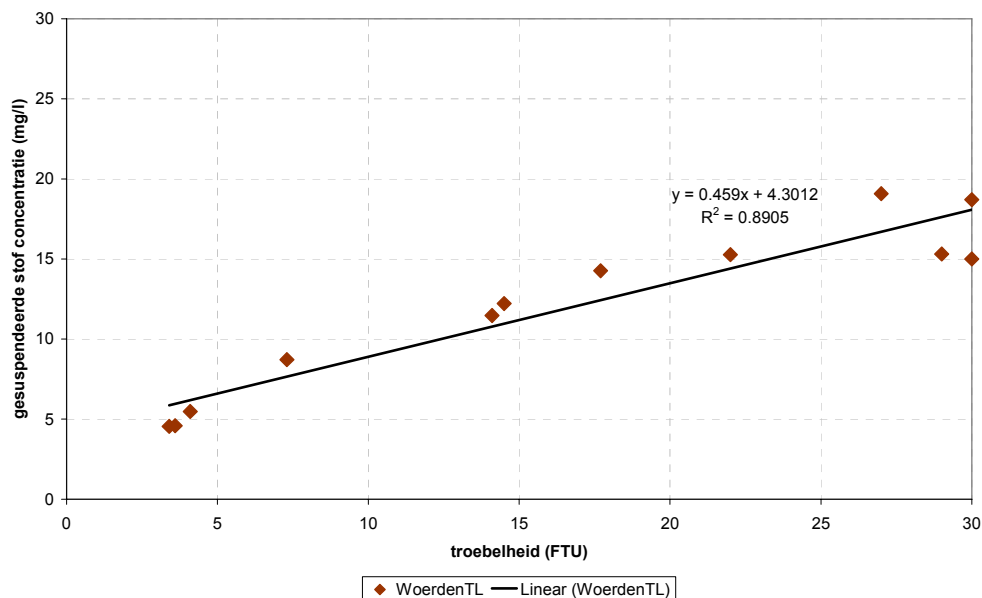
Naast de troebelheid en druk zijn ook de ijzer-, mangaan- en gesuspendeerde-stof en ATP-concentratie en gloeirest bepaald. Voor het ijzer is aangenomen dat Fe_2O_3 de meest voorkomende verbinding in het sediment is en dat al het opgeloste ijzer uit het sediment komt. Voor het mangaan is aangenomen dat MnO_2 de meest voorkomende verbinding in het sediment is. Door de gesuspendeerde stof te verhitten tot 600 graden Celsius blijft de anorganische fractie in de gloeirest over. Hiermee kan het percentage organisch materiaal van de gesuspendeerde stof worden bepaald. De resultaten zijn weergegeven in tabel 9.

Uit de resultaten blijkt de ijzerconcentratie ruim 35-maal groter is dan de mangaanconcentratie. Daarnaast blijkt dat de gesuspendeerde stof voor 14% uit ijzer, voor 0,4% uit mangaan en voor bijna 49% uit organisch materiaal bestaat.

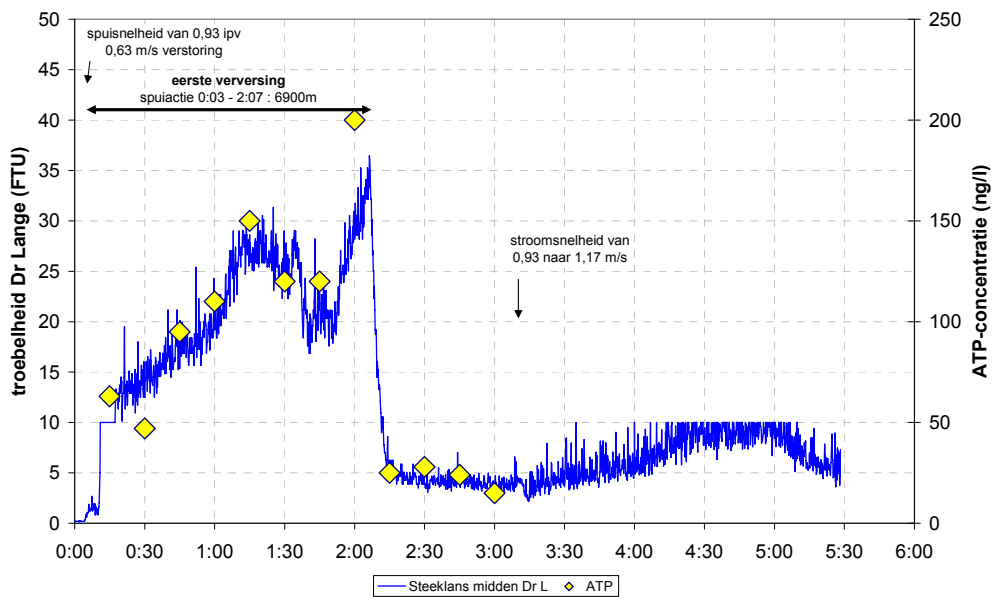
De relatie tussen troebelheid en gesuspendeerde stof en troebelheid en ATP is weergegeven in respectievelijk figuur 23 en figuur 24.

tabel 9 Resultaten van de analyse van de monsters

| | troebelheid | ijzer-totaal (mg/l) | | mangaan-totaal ($\mu\text{g/l}$) | | ATP | gloeirest 600°C | gesusp. stof |
|------|-------------|---------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------|--------|-----------------|--------------|
| | (FTU) | Fe^{3+} | Fe_2O_3 | Mn^{4+} | MnO_2 | (ng/l) | (mg/l) | (mg/l) |
| 0:15 | 14,1 | | | | | 63 | 5,58 | 11,47 |
| 0:30 | 14,5 | 1,3 | 1,9 | 30 | 47,5 | 47 | 6 | 12,22 |
| 0:45 | 17,7 | | | | | 95 | 6,67 | 14,27 |
| 1:00 | 22 | 1,7 | 2,4 | 43 | 68,0 | 110 | 7,31 | 15,27 |
| 1:15 | 30 | 2,1 | 3,0 | 55 | 87,0 | 150 | 8,39 | 18,71 |
| 1:30 | 30 | | | | | 120 | 4,69 | 15 |
| 1:45 | 29 | | | | | 120 | 7,29 | 15,31 |
| 2:00 | 27 | | | | | 200 | 8,16 | 19,08 |
| 2:15 | 7,3 | 0,65 | 0,9 | 16 | 25,3 | 25 | 6,51 | 8,72 |
| 2:30 | 4,1 | 0,53 | 0,8 | 12 | 19,0 | 28 | 2,86 | 5,48 |
| 2:45 | 3,6 | | | | | 24 | 2,14 | 4,59 |
| 3:00 | 3,4 | | | | | 15 | 4,12 | 4,54 |



figuur 23 Relatie tussen troebelheid en gesuspendeerde-stofconcentratie



figuur 24 Troebelheid en ATP-concentratie tijdens de spuiactie

6.2.4 Discussie

Door het inbouwen van het spui punt is een deel van de transportleiding verstoord. Bij het drukloos maken van dit leidingdeel is een deel van het opwervelbaar sediment verwijderd. Dit verklaart hoogstwaarschijnlijk de beperkte opwerveling van sediment tijdens de verstoring. Bij het vullen van de leiding is lucht achtergebleven. Hierdoor zijn de metingen op de aanboring verstoord en de metingen tijdens de verstoring op het meetpunt 'steeklans boven' beïnvloed door luchtballen.

Verder kunnen vraagtekens worden gezet bij de Dr. Lange-metingen op het spui punt. Deze metingen zijn een stuk lager dan mag worden verwacht. Het is onduidelijk waar de oorzaak ligt. Een foutieve instelling is onwaarschijnlijk omdat de Dr. Lange achteraf is gecontroleerd.

6.3 Conclusie

Uit de resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de verstoring heeft een zeer gering effect gehad op de troebelheid
- de transportleiding is vervuild: de gemiddelde troebelheid tijdens spuien bedraagt 21,7 FTU
- voor het sediment in deze leiding bestaat een duidelijke relatie tussen de troebelheid en gesuspendeerde-stofconcentratie en tussen de troebelheid en ATP-concentratie
- meten op een brandkraan op een aftak is een goed alternatief voor de steeklans, maar geeft wel een iets lagere troebelheid

7 Praktijkproef Almere 2 (Hydron Flevoland)

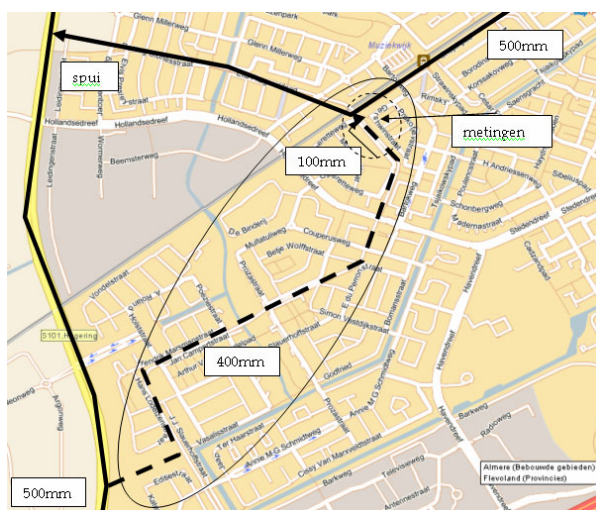
7.1 Meetlocatie

7.1.1 Situatieschets

Vanaf 25 oktober 2005 is een tweede praktijkproef uitgevoerd bij Hydron Flevoland in Almere (zie figuur 25 en tabel 10). Omdat dit de tweede praktijkproef is in Almere wordt naar deze praktijkproef verwezen met 'Almere 2'.

Het traject dat betrekking heeft op de praktijkproef is in figuur 25 gestippeld weergegeven.

De praktijkproef bestaat uit een verstoring en spuiactie waarbij op verschillende punten de troebelheid wordt gemeten. De spuiactie is een onderdeel van het schoonmaakprogramma van Hydron Flevoland. Tijdens deze praktijkproef is een delegatie van Engelse waterbedrijven op bezoek geweest.



figuur 25 Overzichtskaart van meetlocatie Almere2

tabel 10 Kerngegevens praktijkproef Almere 2

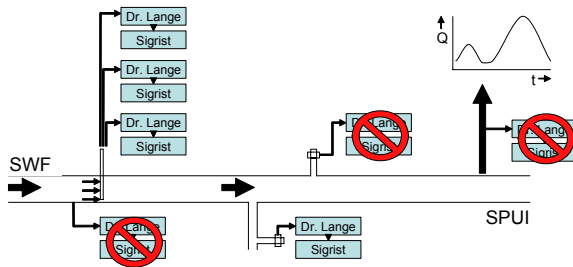
| | | |
|---------------------|------|----|
| Lengte spuittraject | 2170 | m |
| Uitwendige diameter | 400 | mm |
| Lengte TL-BK110 | 15 | m |

| | volumestroom (m3/h) | snelheid (m/s) | duur (min) | lengte (m) | Verversingen |
|-------------|---------------------|----------------|------------|------------|--------------|
| verstoring | 140 | 0.34 | 18 | - | - |
| proefspuien | 100 | 0.24 | 20 | - | - |
| spuien | 800 | 1.96 | 35 | 4115 | 1.9 |

7.1.2 Meetopstelling

De meetopstelling wijkt op de volgende punten af van de standaardopstelling (zie paragraaf 2.2 en figuur 26):

- de verstoring is aangebracht met brandkranen op een aftak
- tijdens het plaatsen van de standpijp op de transportleiding brak de klauw van de brandkraan af waardoor hierop geen metingen konden worden uitgevoerd
- het spuipunt bevindt zich op een grote afstand van de leiding waarop de andere metingen hebben plaatsgevonden
- er is geen aanboring aangebracht
- de aanboring voor de steeklans is voor en na de praktijkproef gebruikt voor visuele inspectie met de Main Trunk Sampler.



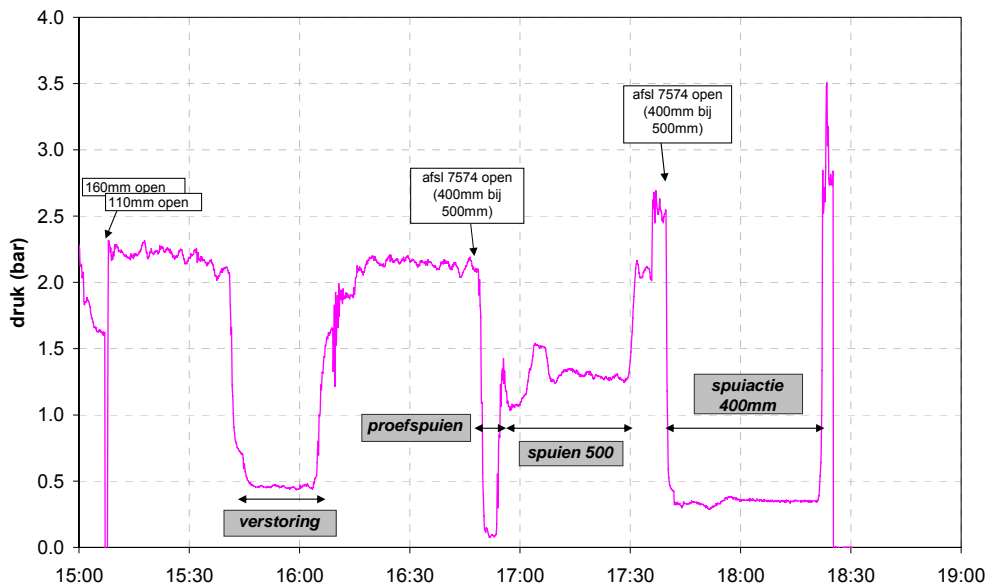
figuur 26 Meetopstelling Almere 2 exclusief meetpunt brandkraan TL, spuipunt en aanboring

7.2 Resultaten

7.2.1 Druk

Aan de hand van de gemeten druk kan het verloop van de proef worden gevolgd (figuur 27):

- de stroomsnelheid tijdens de verstoring is op basis van de stand van de brandkranen geschat op 0,34 m/s
- de stroomsnelheid tijdens de spuiactie is op basis van een volumestroommeter op het spuipunt bepaald op bijna 2,0 m/s
- de verstoring is aangebracht om 15:42 gedurende 20 minuten
- na de verstoring heeft rond 16:52 een tweede (ongeplande) verstoring plaatsgevonden door het draaien van een afsluiter
- door een probleem met een afsluiter is de spuiactie pas rond 17:42 begonnen.

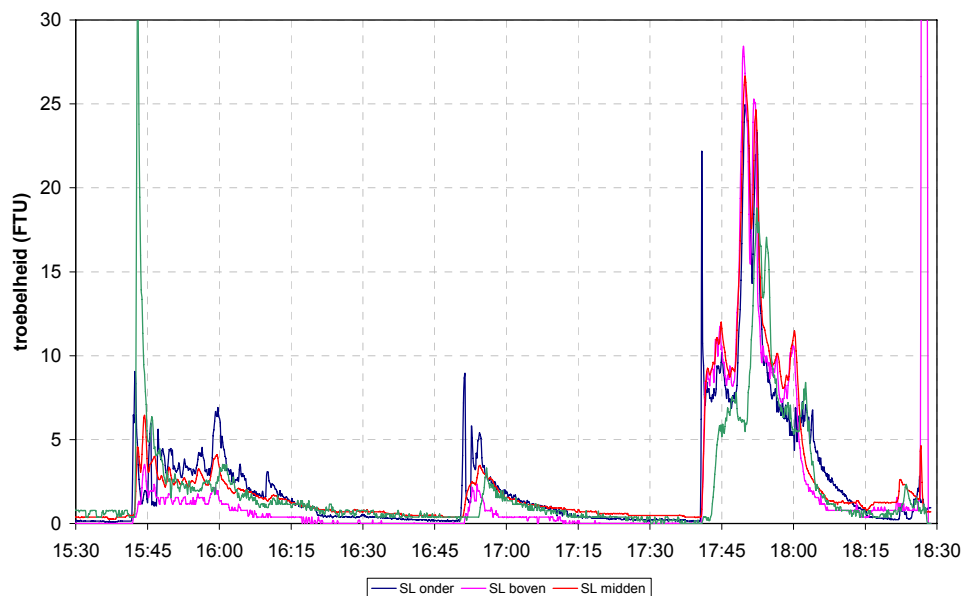


figuur 27 Het verloop van de meting aan de hand van de druk op het meetpunt 'steeklans midden'

7.2.2 Troebelheid

De resultaten van de steeklans (figuur 28 en tabel 11) laten de volgende opvallende zaken zien:

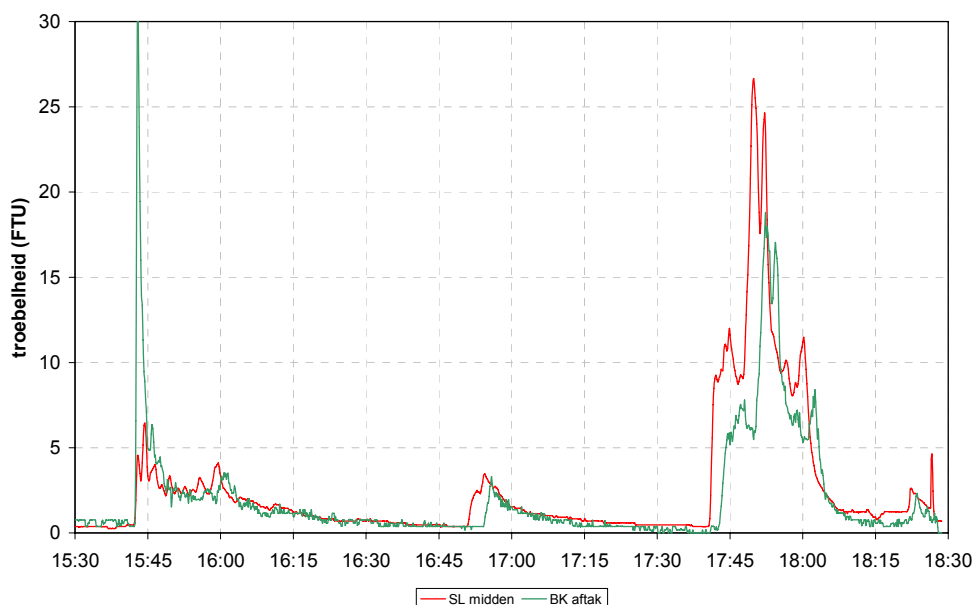
- de verstoringen van 15:42 en 16:52 hebben een beperkte troebelheidsverhoging veroorzaakt (gemiddeld 3,0 en 2,4 FTU)
- de spuiactie heeft geresulteerd in een gemiddelde troebelheid van 12,8 FTU en een maximum van 26,4 FTU op het meetpunt steeklans midden
- na de eerste verversing vindt een scherpe daling van de troebelheid plaats. De eerste verversing eindigt rond 18:05, de troebelheid daalt dan in korte tijd van 8 tot onder de 2 FTU



figuur 28 Troebelheid op alle meetpunten tijdens de verstoring en spuiactie

Uit de resultaten op het meetpunt 'brandkraan aftak' (figuur 29 en tabel 11) blijkt dat:

- de troebelheid op de brandkraan aftak het patroon volgt van de referentiewaarde (steeklans midden)
- de troebelheid tijdens de verstoring vergelijkbaar is met de referentiewaarde, maar tijdens de spuiactie gemiddeld 30% lager (8,9 FTU) is in vergelijking met de referentiewaarde (12,8 FTU).



figuur 29 Troebelheid op de meetpunten 'steeklans midden' en 'brandkraan aftak'

tabel 11 Samenvatting troebelheidsmetingen Almere2 (op basis van de volledige verstoring en de eerste verversing tijdens de spuiactie)

| | verstoring | | | verstoring 2 | | | spuiactie | | |
|-----------|------------|------|-----|--------------|-----|-----|-----------|------|------|
| | min | max | gem | min | max | gem | min | max | gem |
| SL boven | 0.4 | 3.5 | 1.5 | 0.0 | 2.3 | 1.0 | 3.5 | 28.4 | 12.0 |
| SL midden | 1.8 | 6.5 | 3.0 | 0.8 | 3.5 | 2.4 | 4.7 | 26.7 | 12.8 |
| SL onder | 1.1 | 8.3 | 3.6 | 1.2 | 8.9 | 3.1 | 4.4 | 24.9 | 10.7 |
| BK aftak | 1.6 | 31.3 | 4.3 | 0.2 | 3.3 | 1.4 | 5.2 | 18.8 | 8.9 |

7.2.3 Andere parameters

Tijdens de praktijkproef is met de Main Trunk Sampler (MTS) een monster genomen van het slib en is de leiding visueel geïnspecteerd. De MTS leverde de volgende resultaten op:

- de sliblaag voor het spuien was $< 0,1$ mm. Het sediment is visueel beoordeeld en bestaat uit 'donkere vlokken en een paar zandkorrels'
- voor het spuien is er (een zeer beperkte hoeveelheid) sediment zichtbaar in de leiding, maar na het spuien is het sediment verdwenen (figuur 30).



figuur 30 Opname van de leidingwand met de main trunk sampler voor spuien (het beeld is vaag, omdat de leiding dermate schoon is dat de camera met moeite scherp te stellen is)

7.3 Conclusie

Uit de resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de verstoring heeft geleid tot een beperkte toename van de troebelheid (gemiddeld 3,0 FTU). Op basis van de verstoring is de leiding matig vervuild
- de leiding is vervuild: de gemiddelde troebelheid op het meetpunt 'steeklans midden' tijdens de spuiactie is 12,8 FTU en bedraagt maximaal 26,7 FTU
- meten op een brandkraan op een aftak is een alternatief voor de steeklans, maar geeft wel een 30 % lagere troebelheid
- De Engelse normen voor de interpretatie van de MTS zijn niet direct toepasbaar op de Nederlandse situatie.

8 Vergelijking praktijkproeven

8.1 Stratificatie

Tijdens de verstoring is bij drie van de vier praktijkproeven stratificatie waargenomen; de troebelheid onder in de leiding is hoger dan boven in de leiding.

In tabel 12 is een overzicht gegeven van de stratificatie voor de vier praktijkproeven, waarbij het Re-getal is berekend aan de hand van de gemiddelde snelheid tijdens de verstoring en spuiactie in de leiding. De gemeten stratificatie is aangegeven met een stratificatiefactor, gebaseerd op de gemiddelde troebelheid. Deze factor geeft de relatieve afwijking van de troebelheid ten opzichte van troebelheid gemeten in het midden van de steeklans, waarbij een factor groter dan 1 betekent dat de troebelheid hoger is dan in het midden van de steeklans; een factor kleiner dan 1 betekent dat de troebelheid lager is dan in het midden van de leiding. De resultaten van meetlocatie Almere 1 zijn verdacht (zie paragraaf 5.2.2) en daarom cursief weergegeven.

Ondanks dat de stroming in de leiding volledig turbulent is, blijkt uit de metingen dat er stratificatie optreedt. Hierbij valt op dat:

- bij een Re-getal kleiner dan 100.000 een duidelijke stratificatie plaatsvindt en
- bij een Re-getal vanaf 550.000 de stratificatie beperkt is.

tabel 12 Samenvatting van de stratificatie voor de vier praktijkproeven. In de laatste twee kolommen zijn de stratificatiefactoren aangegeven ten opzichte van de steeklans midden (de resultaten voor Almere 1 zijn verdacht en zijn daarom cursief weergegeven)

| | Diameter | Snelheid | Re | stratificatiefactor | |
|-------------------|----------|----------|---------|---------------------|------------|
| | | | | Boven | Onder |
| | mm | m/s | - | - | - |
| Lelystad | 500 | 0,9 | 320.000 | 0,77 | 1,14 |
| | | 1,9 | 670.000 | 0,90 & 0,94 | 1,06 & 1,0 |
| Almere 1 | 630 | 1,25 | 520.000 | 0,72 | 0,85 |
| | | 1,5 | 620.000 | 0,84 | 0,99 |
| Woerdense Verlaat | 315 | 0,62 | 140.000 | - | - |
| | | 0,93 | 200.000 | 0,94 | 1,10 |
| Almere 2 | 400 | 0,34 | 96.000 | 0,50 | 1,20 |
| | | 0,24 | 68.000 | 0,42 | 1,29 |
| | | 1,96 | 550.000 | 0,94 | 0,84 |

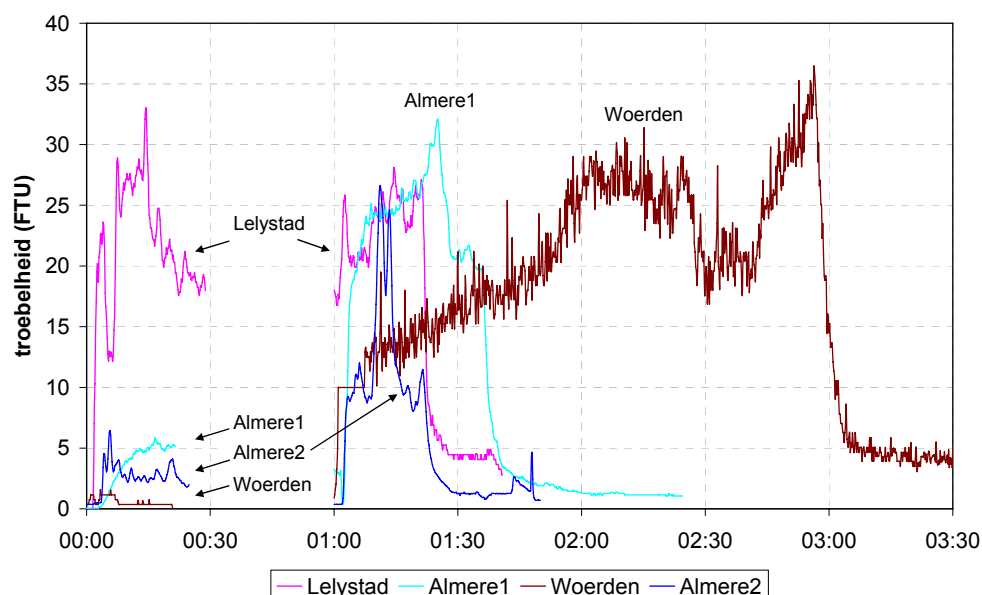
8.2 Verstoring versus spuiactie

In figuur 31 is voor de vier praktijkproeven de troebelheid tijdens de verstoring en de spuiactie zichtbaar gemaakt.

De grafiek is zodanig opgezet dat de begintijdstippen van verstoringen en spuiacties van de afzonderlijke proeven in de grafiek op dezelfde plek beginnen. De tweede troebelheidspiek afkomstig van traject B op de meetlocatie Lelystad is voor de overzichtelijkheid niet weergegeven. Voor de meetlocatie Almere 2 is alleen de eerste verstoring afgebeeld.

Uit de figuur blijkt dat alle leiding zijn vervuild: tijdens iedere spuiactie komt de troebelheid boven 20 FTU. De **verstoring** geeft echter alleen bij Lelystad een hoge troebelheid!

Uit de metingen blijkt dat aanwezigheid van sediment het gebruik van de transportleiding als SWF tijdens het spuien van een aftak niet uitsluit. Hoewel sediment in de transportleiding bij een hoge stroomsnelheid opwervelt, blijkt dat op drie van de vier locaties de opwerveling tijdens de verstoring beperkt is en derhalve de transportleiding op de locaties Almere 1 en 2 en Woerdense Verlaat als SWF kan dienen.



figuur 31 Troebelheid tijdens de vier praktijkproeven

8.3 Geconstateerde verschillen

Ieder meetpunt is beoordeeld op de geschiktheid voor het meten van de vervuiling van een transportleiding. De resultaten zijn afkomstig uit paragrafen 4.2.2, 5.2.2, 6.2.2 en 7.2.2. Het meetpunt 'steeklans midden' is hierbij als referentiewaarde gebruikt. De beoordeling per meetpunt is als volgt (zie ook de samenvatting in tabel 13):

- brandkraan aftak
 - de metingen volgen het patroon van 'steeklans midden' en liggen lager dan de referentiewaarde.
 - het meetpunt is in de meeste gevallen goed bereikbaar, voldoende beschikbaar in het leidingnet en de actie is relatief eenvoudig uit te voeren.
- brandkraan transportleiding
 - de metingen volgen het patroon van 'steeklans midden' en liggen op een vergelijkbare hoogte als de referentiewaarde. Dit meetpunt is echter alleen tijdens één praktijkproef (Lelystad) ingezet. De betrouwbaarheid van deze uitspraak is daarom beperkt.
 - de beschikbaarheid van het meetpunt is sterk afhankelijk van het leidingontwerp. In veel gebieden is het aantal brandkranen op transportleidingen beperkt.
- aanboring
 - de metingen wijken af van het patroon van 'steeklans midden' en liggen lager dan de referentiewaarde.
 - de aanboring op een transportleiding moet speciaal voor de meting worden gemaakt. Gezien de benodigde inspanning voor het maken van een aanboring is de praktische toepasbaarheid beperkt.
- spuipunt
 - op drie meetlocaties volgen de metingen het patroon van 'steeklans midden' en liggen de metingen op een vergelijkbare hoogte als de referentiewaarde. Op één locatie is de hoogte duidelijk lager dan de referentiewaarde.
 - de beschikbaarheid van spui punten is sterk afhankelijk van eerdere spuiacties. Op veel transportleidingen zijn geen spui punten beschikbaar.

tabel 13 Beoordeling van de verschillende meetpunten per meetlocatie in vergelijking met meetpunt 'steeklans midden'

| Meetpunt | Meetlocatie | | | | Totaalscore |
|-----------------------------|-------------|----------|-------|----------|-------------|
| | Lelystad | Almere 1 | Oasen | Almere 2 | |
| Brandkraan aftak | nvt | nvt | - | o | o |
| Brandkraan transportleiding | + | nvt | nvt | nvt | o |
| Aanboring | o | nvt | - * | nvt | - |
| Spuipunt | + | + | - | nvt | + / o |

+ goed, o redelijk en - slecht

* lucht op de aanboring

8.4 Main Trunk Sampler

Uit de metingen met de MTS kunnen de volgende conclusies worden trokken:

- de MTS is geschikt om de vervuiling van een leiding visueel te inspecteren
- de MTS is geschikt om lokaal de sedimentdikte in een transportleiding te bepalen
- de Engelse normen voor de interpretatie van de MTS-resultaten zijn niet direct toepasbaar op de Nederlandse situatie

9 Beoordelingsrichtlijnen

De aanwezigheid van sediment sluit het gebruik van de transportleiding als SWF niet uit. Of een transportleiding als SWF kan worden gebruikt hangt niet af van de totale vervuiling, maar van het effect van een verstoring op het aanwezige sediment. Daarom wordt de troebelheid tijdens een verstoring gemeten, bij voorkeur op een brandkraan op een aftak. Meting op een brandkraan op de transportleiding en meting op het spuipunt zijn ook mogelijk. De mate van vervuiling van een transportleiding kan op twee momenten worden bepaald:

1. Voorafgaand aan de spuiactie; door de troebelheid van een verstoring te meten, die zo groot is als het benodigde spuivolume voor het spuien met 1,5 m/s van de leiding met de grootste diameter (zie 2.4.2). De verstoring kan over een spuipunt en /of meerdere brandkranen worden aangebracht.
2. Na de spuiactie; de te spuien leiding kan direct gereinigd worden vanuit de transportleiding, waarbij de troebelheid op het spuipunt of een brandkraan op de aftak wordt gemeten. Wanneer blijkt dat de troebelheid na een aantal keer verversen niet een lage basiswaarde bereikt, is de transportleiding dusdanig vervuild dat deze leiding niet als schoonwaterfront kan worden gebruikt. De consequentie is dan dat de transportleiding alsnog moet worden schoongemaakt, waarna de aftakleiding opnieuw moet worden gespuid.

Van de voorgestelde methoden is de tweede het meest praktisch. Wanneer uit de metingen blijkt dat de verstoring een gering effect heeft op het sediment in de transportleiding, kan het spuien van de aftak worden voortgezet.

Voor het beoordelen van het effect van een verstoring kunnen de volgende richtlijnen worden aangehouden:

- basiswaarde <2 FTU: transportleiding kan als SWF worden gebruikt; het schoonmaakeffect wordt niet beïnvloed.
- basiswaarde 2-5 FTU: transportleiding kan als SWF worden gebruikt; schoonmaakeffect is echter licht verminderd.
- basiswaarde > 5 FTU: het wordt afgeraden om de transportleiding als SWF te gebruiken.

10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Conclusies

Uit de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- de aanwezigheid van sediment in een transportleiding sluit het gebruik van de transportleiding als SWF tijdens het spuien van een aftak niet uit
- het grootste deel van de vervuiling wordt verwijderd tijdens de eerste verversing; hoe hoger de spuisnelheid hoe meer sediment er met de eerste verversing wordt verwijderd
- de beoordeling van de mate van vervuiling wordt beïnvloed door de locatie van het onttrekkingspunt van het monster van het water in de transportleiding
- meten op een spui punt geeft een goed beeld van de mate van vervuiling van een transportleiding.
- meten op een brandkraan op een aftak geeft een goed beeld van de mate van vervuiling van een transportleiding. Een randvoorwaarde hierbij is dat de brandkraan zo dicht mogelijk bij de transportleiding ligt (korte verblijftijd) en er een hoge stroomsnelheid is in de aftak teneinde bezinking van sediment te voorkomen
- meten op een brandkraan op een transportleiding, indien aanwezig, geeft een goed beeld van de vervuiling van een transportleiding. Een randvoorwaarde hierbij is dat er via de brandkraan een hoge volumestroom wordt onttrokken
- meten op een aanboring geeft geen goed beeld van de vervuiling van een transportleiding i.v.m. de beperkte hoeveelheid onttrokken water
- stratificatie van sediment is tijdens drie praktijkproeven aangetoond
- de Main Trunk Sampler is geschikt voor het lokaal bepalen van sedimentlaagdiktes en voor visuele inspectie; de Engelse normen zijn niet direct toepasbaar in de Nederlandse situatie

10.2 Aanbevelingen

In hoofdstuk 9 is een methodiek aangereikt waarmee kan worden beoordeeld of een transportleiding als SWF kan worden gebruikt.

Wanneer deze methode op ruime schaal wordt toegepast kan een database met praktijkresultaten worden opgebouwd en ervaring worden opgedaan met de methode in het algemeen. Evaluatie in de nabije toekomst kan leiden tot verdere verbetering van de methode en normen.

In het totale sediment onderzoek zijn de resultaten van dit onderzoek aanleiding om de relatie ATP en sediment/troebelheid en verschillende sedimenttypen in relatie tot stroomsnelheden nader te onderzoeken.

11 Literatuur

Blokker, E. J. M. en P. G. Schaap (2003). *Pulserend spuien, theorie en praktijk*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2003.050.

Kreukniet, A.A. en P.G. Schaap (2000). *Voorstudie sedimentgedrag in transportleidingen*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2000.231

Kreukniet, A.A. en P.G. Schaap (2001). *Onderzoek sedimentgedrag, onderzoek met steeklans in Ø400 mm en Ø600 mm*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2001.198

Prince, R. (2003). *Discussion report for [CLEAN?]*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2003.025.

Schaap, P.G., G.A.M. Mesman, J.H.G. Vreeburg (1999). *Schoonmaken leidingnetten, handleiding voor opzetten, uitvoeren en controleren van schoonmaakprogramma's*, Kiwa N.V., Nieuwegein, SWE 99.009

Vreeburg, J.H.G. (1996). *Bruinwater, oorzaak en gevolg. Effectiviteit van spuien, water/lucht en proppen*, Kiwa N.V., Nieuwegein, SWE 96.008

I Resultaten CFD-modeling

Uitgangspunt(en) (vanuit gebruiker)
 ronde buis met aftapping aan de bovenkant van de leiding
 aftapping sluit direct aan op de leiding met een perfecte uitsluitrand

Uitgangspunt(en) (vanuit model)
 hydraulisch gladde wand

| Naam | Code | D1 | D2 | v1 | m3/h Q1 | v2 |
|-------|----------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| | | Diam. hoofdleiding mm | Diam. aftapleiding mm | Snelheid in hoofdleiding m/s | Aftapdebiet m3/h | Snelheid in aftapleiding m/s |
| BK_TL | BK_TL-0.25-80 | 500 | 80 | 0,25 | 80 | 4,42 |
| | BK_TL-0.5-80 | 500 | 80 | 0,50 | 80 | 4,42 |
| | BK_TL-1-80 | 500 | 80 | 1,00 | 80 | 4,42 |
| | BK_TL-2-80 | 500 | 80 | 2,00 | 80 | 4,42 |
| AB_TL | AB_TL-0.05-0.2 | 500 | 25 | 0,05 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_TL-0.35-0.2 | 500 | 25 | 0,35 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_TL-0.35-1 | 500 | 25 | 0,35 | 1 | 0,57 |
| | AB_TL-1-0.2 | 500 | 25 | 1,00 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_TL-2-0.2 | 500 | 25 | 2,00 | 0,2 | 0,11 |
| AB_DL | AB_DL-0.05-0.2 | 110 | 25 | 0,05 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_DL-0.35-0.2 | 110 | 25 | 0,35 | 0,2 | 0,11 |
| | AB_DL-0.35-1 | 110 | 25 | 0,35 | 1 | 0,57 |
| | AB_DL-0.35-2 | 110 | 25 | 0,35 | 2 | 1,13 |
| | AB_DL-1-0.2 | 110 | 25 | 1 | 0,2 | 0,11 |
| BK_DL | BK_DL-110-0.2 | 110 | 80 | 0,35 | 0,2 | 0,01 |
| | BK_DL-110-2 | 110 | 80 | 0,35 | 2 | 0,11 |

TL Transportleiding
 DL Distributieleiding
 BK Brandkraan
 AB Aanboring 25mm

