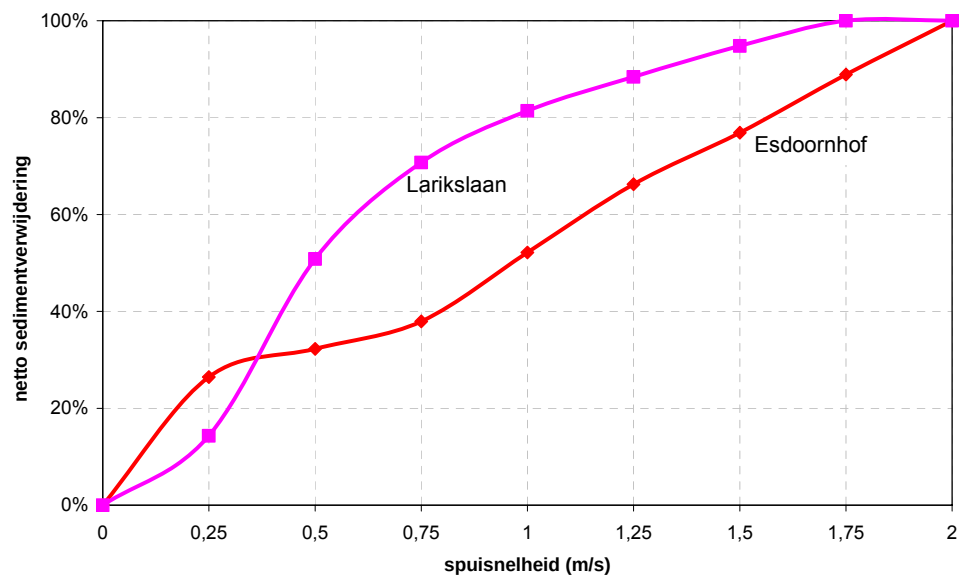


BTO 2006.070
Januari 2007

Sedimentverwijdering bij verschillende spuisnelheden



BTO 2006.070
Januari 2007

Sedimentverwijdering bij verschillende spuisnelheden

© 2007 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
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

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

Colofon

Titel

Sedimentverwijdering bij verschillende
spuisnelheden

Projectnummer

111526.100

Projectmanager

W.J.M.K. Senden

Opdrachtgever

CvO

Kwaliteitsborger(s)

J.H.G. Vreeburg

Auteur(s)

E.J.M. Blokker en P.G. Schaap

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar

Samenvatting

Schoonmaken van distributienetten gebeurt meestal met waterspuien, waarbij wordt gestreefd naar een minimale spuisnelheid van 1,5 m/s. Deze snelheid is echter niet overal haalbaar, bijvoorbeeld in lange spuittrajecten met grote drukval en in delen van het leidingnet met lage druk. Doel van het beschreven onderzoek was inzicht te verkrijgen in de relatie tussen de spuisnelheid en sedimentverwijdering.

Op vier locaties zijn spuiproeven gedaan. Op elke locatie is gestart met een spuisnelheid van 0,25 m/s. Na één- tot tweemaal verversen is de spuisnelheid in stappen van 0,25 m/s verhoogd tot 2,0 m/s. Tijdens het spuien zijn on-line troebelheidsmetingen en deeltjestellingen uitgevoerd en zijn spuimonsters genomen. De monsters zijn geanalyseerd op troebelheid, massa gesuspendeerde stof en grootte van de deeltjes. Gebruik makend van de relatie tussen troebelheid en gesuspendeerde stof is de (on-line) gemeten troebelheid omgezet in verwijderde sedimentmassa. De samenstelling van het sediment is wat betreft de diameter van de deeltjes voor de verschillende spuisnelheden met elkaar vergeleken.

De eerste meting (in Oud-Beijerland) is gebruikt om de methode en het protocol te optimaliseren. De tweede en derde meting (beide in Leusden) zijn met succes uitgevoerd. De laatste meting (in Maassluis) kon slechts gedeeltelijk worden uitgevoerd. De conclusies van dit rapport zijn derhalve gebaseerd op de twee proeven in Leusden. Omdat de twee locaties in Leusden onder vrijwel dezelfde omstandigheden sediment hebben “verzameld” (gelijke kwaliteit van het inkomende water, hetzelfde aanvoertraject, gelijk leidingmateriaal en ongeveer even lang in bedrijf) kunnen op basis van de resultaten van deze twee proeven voorzichtige conclusies worden getrokken.

Hoewel de twee meetlocaties in Leusden een gelijke sedimentsamenstelling lieten zien (wat betreft deeltjesgrootte en de relatie tussen massa en troebelheid) is op de locatie Larikslaan bijna tweemaal zoveel sediment verwijderd als op de locatie Esdoornhof. De sedimentverwijderingscurve van de Esdoornhof suggereert echter dat bij 2,0 m/s nog niet alle sediment is verwijderd. Het verschil tussen de twee locaties kan wellicht worden verklaard uit de hydraulische omstandigheden.

In het schoonwaterfront waren geen deeltjes groter dan 40 µm aanwezig. In de spuiwatermonsters zijn deeltjes gevonden met een diameter van 100 µm. Voor de locatie Esdoornhof is een verschil in sedimentsamenstelling gevonden voor spuisnelheden tot 0,75 m/s en spuisnelheden vanaf 1,0 m/s. De sedimentsamenstelling op de locatie Larikslaan was bij alle spuisnelheden vrijwel gelijk aan de sedimentsamenstelling op de locatie Esdoornhof bij hogere spuisnelheden.

Omdat onbekend is wat de normaal optredende snelheden in de leiding zijn kan geen uitspraak worden gedaan over de oorzaak van de verschillen tussen sedimentverwijderingscurven. Geconstateerd is dat op de locatie Larikslaan de spuisnelheid van 1,5 m/s nodig was om 95% van het sediment te verwijderen. Voor de locatie Esdoornhof is 1,5 m/s zeker de minimale spuisnelheid om een substantieel deel van het sediment te verwijderen. Daarom wordt de aanbeveling spuien met 1,5 m/s gehandhaafd.

Wanneer lokaal veel bruinwaterklachten voorkomen is het mogelijk om met een relatief lage spuisnelheid het gebied te ontdoen van het gemakkelijk opwervelbaar sediment (het type sediment dat bruinwaterklachten veroorzaakt). Met deze lage spuisnelheid wordt het net niet geheel gereinigd, maar wordt het risico van bruin water beperkt.

Inhoud

	Samenvatting	1
1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Leeswijzer	5
2	Theoretische achtergrond	7
2.1	Processen in distributieleidingen van leidingwater	7
2.2	Deeltjesgrootte	9
2.3	Samenstelling sediment	9
2.4	Sedimentverwijderingscurve	10
2.5	Hypothesen spuisnelheden en sedimentverwijdering	11
3	Uitvoering	13
3.1	Locaties	13
3.2	Meetprotocol	13
3.3	Deeltjesanalyse	16
4	Dr. Duyvendakhof, Oud-Beijerland (Evides)	19
4.1	Beschrijving van de meetlocatie	19
4.2	Troebelheid	19
4.3	Deeltjesgrootte - deeltjesteller	20
4.4	IJzer- en gesuspendeerde-stofconcentratie	21
5	Esdoornhof, Leusden (Hydron MN)	23
5.1	Beschrijving van de meetlocatie	23
5.2	Troebelheid	23
5.3	Deeltjesgrootte - deeltjesteller	25
5.4	Deeltjesgrootte – particle analyzer	26
5.5	IJzer, mangaan-, en gesuspendeerde-stofconcentratie	27
6	Larikslaan, Leusden (Hydron MN)	29
6.1	Beschrijving van de meetlocatie	29
6.2	Troebelheid	29
6.3	Deeltjesgrootte - deeltjesteller	31
6.4	Deeltjesgrootte – particle analyzer	31

6.5	IJzer, mangaan- en gesuspendeerde-stofconcentratie	32
7	Weverskade, Maassluis (Evides)	33
7.1	Beschrijving van de meetlocatie	33
7.2	Troebelheid	33
7.3	IJzer- en gesuspendeerde-stofconcentratie	34
8	Vergelijking meetresultaten	35
8.1	Troebelheid	35
8.2	Sedimentkenmerken	36
8.2.1	ERF	36
8.2.2	Deeltjesgrootteverdeling	37
8.2.3	IJzer- en mangaanconcentratie	38
8.2.4	ATP-concentratie	39
8.3	Relatie sedimentkenmerken en troebelheid	39
8.4	Sedimentverwijdering	40
8.4.1	Sedimentverwijdering - Esdoornhof	40
8.4.2	Sedimentverwijdering - Larikslaan	41
8.4.3	Sedimentverwijdering – Evides	42
8.4.4	Sedimentverwijderingscurve	42
9	Discussie	45
10	Referenties	47
I	Resultaten Oud-Beijerland	49
II	Resultaten Esdoornhof	51
III	Resultaten Larikslaan	55
IV	Resultaten Maassluis	57

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het schoonmaken van distributienetten gebeurt voornamelijk door middel van waterspuien, waarbij wordt gestreefd naar een minimale spuisnelheid van 1,5 m/s. Deze snelheid is echter in 10% tot 15 % van de leidingen niet haalbaar, bijvoorbeeld in lange spuittrajecten met grote drukval en in delen van het leidingnet met lage druk. Het aanpassen van het leidingnet om de snelheid van 1,5 m/s te halen vraagt relatief hoge investeringen en alternatieve spuittechnieken worden nog slechts beperkt toegepast. Door beter inzicht in het proces van sedimentverwijdering in relatie tot de gerealiseerde spuisnelheid kunnen deze afwegingen beter onderbouwd worden.

Een tweede aanleiding voor dit onderzoek is een rapport van de AWWARF getiteld 'Establishing site-specific flushing velocities' [3], waarin per leidingmateriaal wordt aangegeven wat de optimale spuisnelheid is. Naar aanleiding van het AWWA-rapport is onder de Nederlandse waterbedrijven discussie ontstaan over de noodzaak van de minimale spuisnelheid van 1,5 m/s.

Het doel van voorliggend onderzoek is inzicht te verkrijgen in de relatie tussen sedimentverwijdering en spuisnelheid. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde sedimentverwijderingscurve.

In dit onderzoek wordt ook gekeken naar de samenstelling van het sediment (ijzer- en mangaangehalte) als mogelijk verklaring voor de verschillen in de sedimentverwijderingscurve. Ook is het ATP-gehalte van de sedimentmonsters bepaald. De resultaten hiervan worden in de bijlagen beschreven en zullen in een ander onderzoek worden gebruikt.

1.2 Leeswijzer

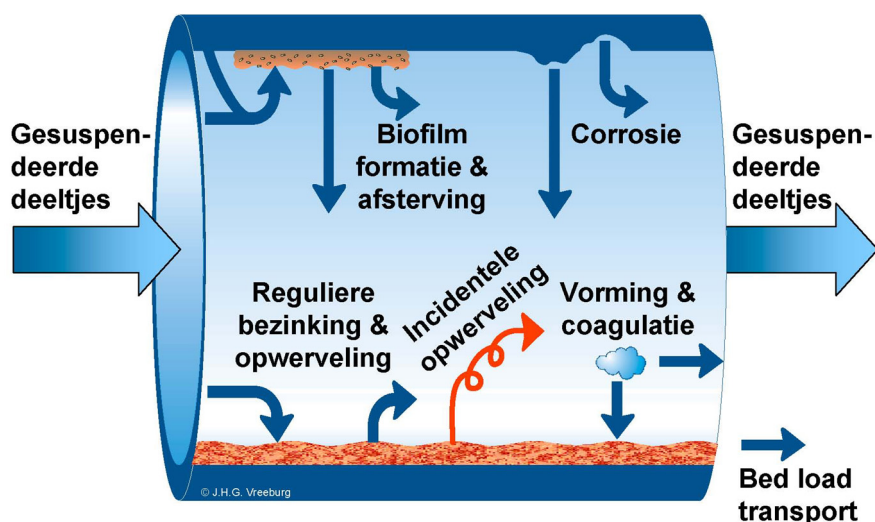
In hoofdstuk 2 wordt de theorie met betrekking tot sedimentvorming en sedimentopwerveling in relatie tot stroomsnelheden besproken. In hoofdstuk 3 wordt het meetprotocol toegelicht. In de hoofdstukken 4 t/m 7 zijn de metingen en de meetresultaten op 4 meetlocaties beschreven (met de details in de bijlagen). In hoofdstuk 8 worden de metingen vertaald in een sedimentverwijderingscurve en worden de resultaten van de verschillende metingen vergeleken. Het rapport eindigt met een discussie.

2 Theoretische achtergrond

2.1 Processen in distributieleidingen van leidingwater

Vervuiling van distributienetten wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door bezinking van deeltjes die door accumulatie tot een sedimentlaag leiden (zie figuur 2-1). Het transport van deeltjes door het leidingnet is afhankelijk van de aard en het gewicht van de deeltjes in combinatie met de hydraulische omstandigheden in het leidingnet. Bij lage stroomsnelheden zal bezinking plaatsvinden en wordt een sedimentlaag gevormd, terwijl bij een hogere stroomsnelheid deeltjes weer kunnen worden opgewerveld en afgevoerd.

De ingaande massa in het leidingnet bestaat uit gesuspendeerde deeltjes in het water af pompstation; de uitgaande massa bestaat uit gesuspendeerde deeltjes in het water plus eventueel over de bodem rollend materiaal. De groei van biomassa in een biofilm in het leidingnet kan een bijdrage leveren aan de totale hoeveelheid massa in de leiding. Ook het corrosieproces van onbekleed gietijzeren leidingen levert een bijdrage aan de totale hoeveelheid sediment. Deze processen zullen gesuspendeerde deeltjes direct aan het water af kunnen geven, maar een gedeelte zal bezinken in het leidingnet en als los sediment in de leiding accumuleren.



figuur 2-1 Massabalansmodel [6]

Water dat door een leiding stroomt, oefent een schuifspanning uit op de leidingwand en de eventueel aanwezige sedimentlaag. Onder normale hydraulische omstandigheden (d.w.z. normaal voor een specifieke leiding in het net) heerst een evenwichtssituatie voor wat betreft de schuifspanning. Dit betekent dat er reguliere bezinking optreedt, maar nauwelijks opwerveling. Pas wanneer er een afwijkende (hogere) snelheid optreedt, zal er sediment opwervelen. Onder ongecontroleerde omstandigheden kan deze opwerveling tot bruinwaterklachten leiden. Spuien is een vorm van gecontroleerde

opwerveling, bedoeld om door het tijdig afvoeren van sediment bruinwaterklachten te voorkomen.

De formule van Berlamont [1;4] geeft de benodigde snelheid om sediment (korrelvormig en niet-cohesief materiaal in rivieren en kanalen) in suspensie te houden en om sediment op te wervelen:

$$u_{cr} = \sqrt{\alpha g \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} d_s}$$

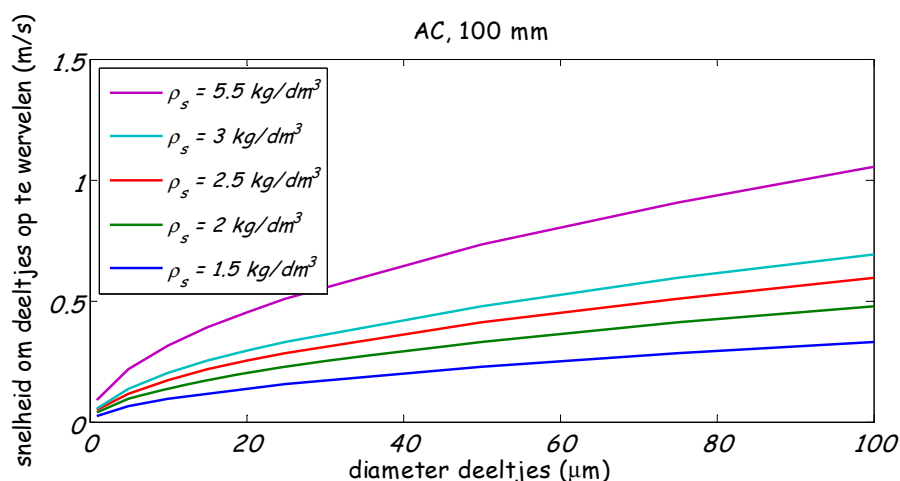
Hierin is u_{cr} de kritische schuifspanningsnelheid (m/s), α is de Berlamontconstante ($\alpha = 0,04$ om deeltjes in suspensie te houden, $\alpha = 0,8$ om deeltjes op te wervelen), g is de valversnelling ($9,81 \text{ m/s}^2$), ρ_s is de dichtheid van het sediment (kg/m^3), ρ_w is de dichtheid van water (ca. 1000 kg/m^3) en d_s is de diameter van het sediment.

De relatie tussen de kritische schuifspanningsnelheid en de stroomsnelheid (v) in de leiding volgt uit:

$$v = \frac{u_{cr}}{\sqrt{f/8}}$$

Hierin is f de Darcy-Weisbach-frictiefactor, welke samenhangt met het Reynoldsgetal en de stroomsnelheid v (via de Colebrook-White vergelijking).

Volgens deze formule zouden bijvoorbeeld ijzeroxide deeltjes ($\rho_s = 5,5 \text{ kg/dm}^3$) van $25 \mu\text{m}$ een kritische schuifspanningsnelheid van ca. $0,030 \text{ m/s}$ hebben en derhalve in een $\text{Ø}100 \text{ mm}$ AC-leiding bij een snelheid van $0,51 \text{ m/s}$ opwervelen. In figuur 2-2 is voor verschillende deeltjesgrootte en -dichtheid de opwervelings-stroomsnelheid uitgezet.



figuur 2-2 Snelheid benodigd om deeltjes op te wervelen in een $\text{Ø}100 \text{ mm}$ AC-leiding, afhankelijk van de diameter en dichtheid van de deeltjes.

Uit de Berlamont-formule blijkt dat met toenemende deeltjesgrootte de kritische snelheid toeneemt met de wortel van de deeltjesgrootte. Wanneer tijdens het spuien de snelheid wordt verhoogd zullen grotere deeltjes dus steeds gemakkelijker opwervelen. De hypothese is derhalve dat bij hogere

spuisnelheden het aandeel grote deeltjes groter is dan bij lagere spuisnelheden.

Uit labmetingen aan waterleidingen [4] blijkt dat bij een gegeven stroomsnelheid minder grote deeltjes opwervelen, dan voorspeld door Berlamont. Ook blijkt dat versnelling van belang is. De formule van Berlamont is gebaseerd op snelheid en niet op schuifspanning en derhalve niet geheel juist. De schuifspanning op de wand (en het sediment) wordt bepaald door de snelheid van het water plus de versnelling. Om de formule van Berlamont verder te testen is het aan te bevelen om eerst meer labmetingen te doen; metingen in het leidingnet zullen tot een meer praktische benadering leiden.

2.2 Deeltjesgrootte

De verwachting is dat onder normale omstandigheden minder grote deeltjes aanwezig zijn. Bij normale bediening van het pompstation komen minder grote deeltjes uit de zuivering en bij een lage snelheid bezinken grote deeltjes eerder dan kleine deeltjes. Bij opwerveling zullen er meer grote deeltjes zijn, omdat deze eerder bezonken zijn en omdat er mogelijk coagulatie is opgetreden in de leiding.

De verdeling van de deeltjesgrootte kan in een getal worden gevat, namelijk de *extreme range factor* (*ERF*). Deze factor geeft de verhouding weer tussen het aantal kleine (2-3 µm) en grote deeltjes (> 15 µm):

$$ERF = \frac{\text{deeltjesconcentratie in de kleinste groottecategorie}}{\text{deeltjesconcentratie in de grootste groottecategorie}}$$

In eerder onderzoek [5] is gebleken dat de *ERF* stijgt wanneer de verblijftijd lang is (s' nachts) en daalt wanneer het waterverbruik stijgt (s' ochtends). Een hoge waarde van de *ERF* is representatief voor water dat onder normale hydraulische omstandigheden (lage stroomsnelheden) naar de meetlocatie wordt getransporteerd; een lage waarde van de *ERF* duidt op water dat deeltjes bevat die zijn opgewerveld van de bodem van de leiding door een plotselinge verandering van de hydraulische omstandigheden.

Op basis van bovenstaande is in het onderhavige onderzoek de volgende hypothese gekozen:

Wanneer na het spuien (onder normale hydraulische omstandigheden) de *ERF* laag is duidt dit op een efficiënte spuiactie.

2.3 Samenstelling sediment

De spui monsters zijn onderzocht op een aantal parameters, namelijk troebelheid, gesuspenderde stof, ijzer-, mangaan- en ATP-concentratie. De eerste twee parameters worden gebruikt om de relatie tussen troebelheid en massa van het verwijderde sediment vast te stellen, zie §2.4, stap 3. In eerder onderzoek was het meestal mogelijk om een lineaire relatie vast te stellen tussen troebelheid en massa gesuspenderde stof.

IJzeroxide en mangaanoxide zijn naar verwachting belangrijke bestanddelen van het sediment (afhankelijk van de concentratie ijzeroxide en mangaanoxide af pompstation) en dienen als alternatief wanneer er geen (logische) relatie tussen troebelheid en gesuspendeerde stof gevonden kan worden. ATP is gebruikt voor een ander onderzoek, en wordt in dit rapport alleen in de bijlagen gepresenteerd.

2.4 Sedimentverwijderingscurve

Het schoonmaakeffect wordt uitgedrukt in de netto sedimentverwijdering met als eenheid massa verwijderd sediment per leidinglengte (mg/m).

De sedimentverwijdering wordt als volgt bepaald:

1. neem een schoonwaterfront (SWF); meet de troebelheid;
2. spui de leiding vanuit het SWF; meet de spuisnelheid en de troebelheid;
3. neem tijdens het spuien monsters; bepaal de relatie tussen troebelheid en massa van de gesuspendeerde stof (zie §2.3);
4. bepaal uit deze relatie en het verschil in troebelheid tussen SWF en spuiactie de massa van het verwijderde sediment.

Wanneer de sedimentverwijdering wordt uitgezet tegen de snelheid ontstaat de sedimentverwijderingscurve (SVC). Een lineair verband betekent dat bij een verdubbeling van de snelheid een verdubbeling van de sedimentverwijdering optreedt. Een afvlakkende SVC (een curve die aanvankelijk steil loopt en langzaam afvlakt) betekent dat de grootste sedimentverwijdering bij lage snelheid plaatsvindt en bij een toename van de snelheid slechts een beperkte hoeveelheid extra sediment wordt verwijderd. Met de SVC kan worden beoordeeld wat de relatie is tussen sedimentverwijdering en spuisnelheid en kan een uitspraak worden gedaan over de minimaal benodigde spuisnelheid.

Om verschillende SVC's met elkaar te vergelijken is het handiger om de sedimentverwijdering als percentage uit te zetten. In voorliggend onderzoek wordt gesteld dat 100% van het (opwervelbare) sediment is verwijderd bij een spuisnelheid van 2,0 m/s.

Bruinwaterklachten kunnen worden voorkomen door te zorgen dat er geen sediment achterblijft dat opwervelt bij een onverwachte grote stroomsnelheid (zoals ten gevolge van gebruik van bluswater of bij een leidingbreuk) of bij stroomomkeringen ten gevolge van afsluitermanipulatie (bijvoorbeeld bij gepland werk). Dat betekent dat na spuien met 1,5 m/s er mogelijk nog wel sediment in de leiding ligt, maar dit sediment niet tot bruin water zal leiden. In voorliggend onderzoek is getest tot een snelheid van 2,0 m/s. Na het spuien met 2,0 m/s is de leiding schoon verklaard en wordt dus gesteld dat 100% van het (opwervelbare) sediment is verwijderd.

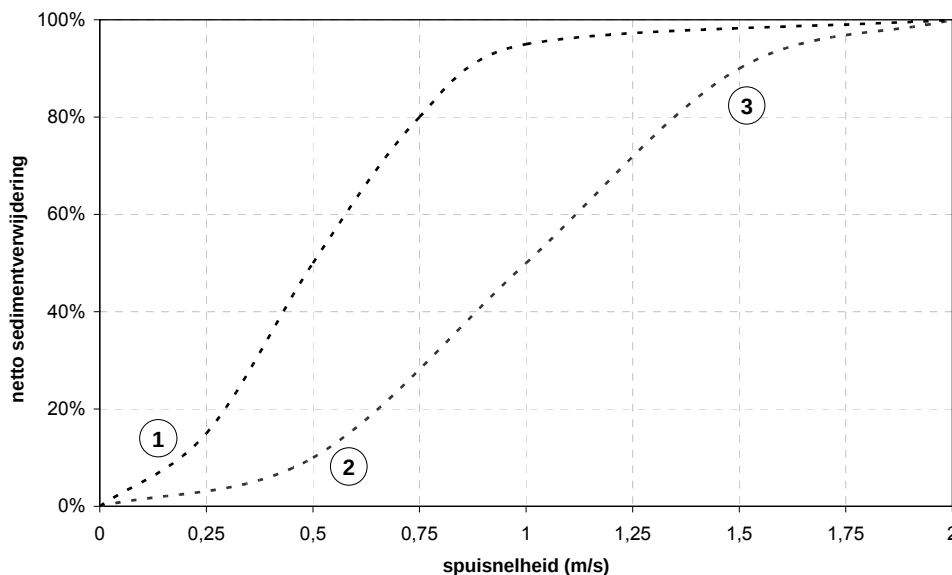
2.5 Hypothesen spuisnelheden en sedimentverwijdering

Op basis van theorie en praktijkervaring is een aantal hypothesen opgesteld met betrekking tot de relatie tussen spuisnelheid en sedimentverwijdering:

1. bij een lage stroomsnelheid (kleiner dan 0,25 m/s) is de sedimentverwijdering beperkt (< 10%), omdat een deel van het 'zeer gemakkelijk' opwervelbaar sediment onder normale omstandigheden al wordt opgewerveld;
2. de sedimentverwijdering zal bij een bepaalde snelheid (0,5-1,5 m/s) significant stijgen. Bij deze snelheid wordt een omslagpunt bereikt waardoor spontaan een grote hoeveelheid sediment opwervelt (bijv. 50% wordt opgewerveld tussen 0,5 en 1,0 m/s);
3. bij een stroomsnelheid groter dan 1,5 m/s is de extra sedimentverwijdering gering (< 10%).

Het verloop van de sedimentverwijderingscurve zal per locatie verschillen door de variatie in verblijftijden, leidingmateriaal en waterkwaliteit af pompstation (deze zaken kunnen het aantal, type en diameter van de deeltjes beïnvloeden). Wanneer de verwijdering niet binnen de aangegeven bandbreedte blijft kan worden geconstateerd dat ofwel de spuisnelheid van 1,5 m/s niet hoog genoeg is (bij een minder steil lopende curve) of dat met een lagere snelheid kan worden gespuid (bij een steiler lopende curve).

De hypothesen zijn samengevat in figuur 2-3, waarin de relatie tussen de sedimentverwijdering en de spuisnelheid is aangegeven. De linkercurve komt het meest overeen met de conclusies uit het AWWA-rapport [3].



figuur 2-3 Hypothesen voor het verloop van de sedimentverwijderingscurve. De getallen 1, 2 en 3 verwijzen naar de genummerde tekst hierboven.

3 Uitvoering

3.1 Locaties

Op vier locaties zijn metingen uitgevoerd: Oud-Beijerland (Evides), 2 locaties in Leusden (Hydron Midden-Nederland) en Maassluis (Evides), zie tabel 1. Om de variatie binnen een voorzieningsgebied te bepalen, zijn in Leusden twee metingen uitgevoerd op korte afstand van elkaar: Esdoornhof en Larikslaan.

De metingen zijn uitgevoerd op distributieleidingen met een diameter van circa 100 mm. Deze diameter is een goede afspiegeling van de gemiddelde diameter in distributienetten en is geschikt voor het uitvoeren van proeven omdat de volumestroom ook bij hoge stroomsnelheid beperkt blijft (bij 2 m/s blijft de volumestroom onder de 60 m³/h). Gekozen is voor een spuittraject van ongeveer 300 meter. Deze lengte geeft een goed beeld van de vervuiling van een leiding terwijl de totale tijdsduur van een proef beperkt is (eenmaal verversen van de leidinginhoud duurt 10 minuten bij een snelheid van 0,5 m/s).

tabel 1 Overzicht meetlocaties

		Oud- Beijerland Dr. Duyvendakhof	Leusden Esdoornhof	Leusden Larikslaan	Maassluis Weverskade
Lengte spuittraject	m	284	398	365	334
Diameter spuittraject	mm	110	100	100	110
Leidingmateriaal	-	PVC	AC	AC	HPE/PVC

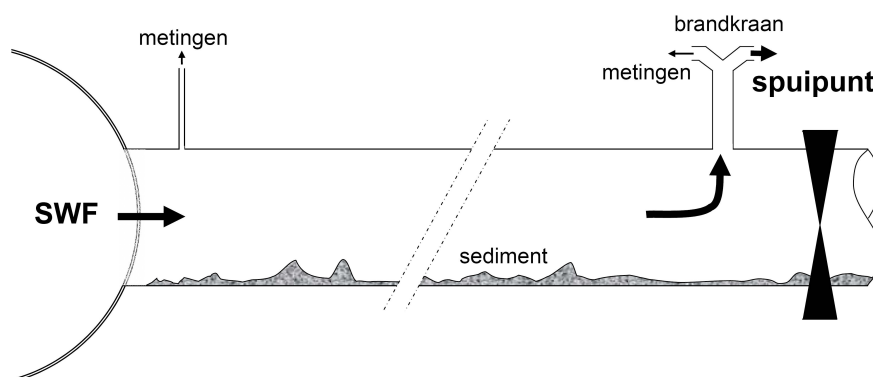
Uit de waterkwaliteitsgegevens (REWAB 2002) blijkt dat de meetlocatie Leusden wordt gevoed door een pompstation met een hoge troebelheid en een hoge ijzer- en mangaanconcentratie, de meetgebieden in Oud-Beijerland en Maassluis worden gevoed met een lage troebelheid en ijzer- en mangaanconcentratie.

3.2 Meetprotocol

De metingen zijn uniek en hoewel deze goed zijn voorbereid is in de praktijk eerst het meetprotocol op zijn waarde beoordeeld. Bij de invulling van het meetprotocol is daarom uitgegaan van *learning-on-the-job*: na de uitvoering van iedere proef is deze geëvalueerd en indien nodig werd het meetprotocol aangepast. De eerste meting is daarom beschouwd als een testmeting waarbij het meetprotocol werd getoetst op de toepasbaarheid in de praktijk.

Tijdens de metingen is een distributieleiding gespuid vanuit een schone aanvoerleiding, oftewel een schoonwaterfront (SWF, zie figuur 3-1). De stroomsnelheid in de distributieleiding werd met een brandkraan, voorzien van een volumestroommeter, met stappen van 0,25 m/s verhoogd van 0,0

m/s tot 2,0 m/s. Door deze kleine stappen is de invloed van de versnelling op de schuifspanning beperkt, zie kader op pagina 16 (zie ook [2]). Bij iedere snelheid werd het spuittraject minimaal éénmaal ververs.



figuur 3-1 Distributieleiding met meetpunten

Er zijn verschillende metingen uitgevoerd (zie ook tabel 2):

- Bij iedere meetlocatie werd op twee punten de troebelheid gemeten: op het SWF en op het spuipunt. De troebelheid is gemeten met twee typen troebelheidsmeters (Sigrist en Dr. Lange). Met de Sigrist troebelheidsmeter is het lage bereik tot 2 FTU gemeten, terwijl met de Dr. Lange troebelheidsmeter de hogere troebelheden zijn geregistreerd. Het exacte meetbereik van de Dr. Lange troebelheidsmeter wordt per proef bepaald op basis van de te verwachten maximale troebelheid. Om plotselinge veranderingen van de troebelheid te kunnen waarnemen zijn de troebelheidsmeters ingesteld op een meetfrequentie van eens per 10 seconden.
- Ook is een deeltjesteller gebruikt (zie tabel 2). De deeltjesteller telt alle deeltjes met een diameter tussen de 2 en 100 μm en verdeelt deze op basis van de deeltjesgrootte over zes categorieën. De deeltjesteller heeft een meetfrequentie van één per minuut.
- Daarnaast zijn per spuisnelheid monsters genomen voor analyse in het laboratorium. Van deze monsters zijn de ijzer-, mangaan-, ATP- en gesuspendeerde-stofconcentratie bepaald.
- Ook is een particle analyzer gebruikt voor de analyse van monsters in het laboratorium. De particle analyzer is vergelijkbaar met de deeltjesteller, maar is in staat om kleinere deeltjes te meten en de deeltjes op basis van hun grootte over een groter aantal categorieën te verdelen. Van ieder monster wordt minstens viermaal per categorie het aantal deeltjes geteld en daarvan wordt het gemiddelde genomen.

tabel 2 Overzicht gemeten parameters en meetapparatuur per meetlocatie

Parameter	Eenheid	Oud-Beijerland	Leusden (Esd.)	Leusden (Lariksl.)	Maassluis
Druk	mPa	X	X	X	X
Troebelheid Sigris	FTU	X	X	X	X
Troebelheid Dr Lange	FTU	X	X	X	X
Deeltjesconcentratie	#/ml	X	X	X	
Deeltjesgrootteverdeling	-		X	X	
Troebelheid monsters	FTU		X	X	X
IJzerconcentratie	mg/l	X	X	X	X
Mangaanconcentratie	µg/l		X	X	
ATP-concentratie	ng/l	X	X		X
Gesuspenderde-stofconcentratie	mg/l	X	X	X	X
Opmerking		meting via aanboring vlak voor spuipunt	meting via brandkraan	meting met steeklans	

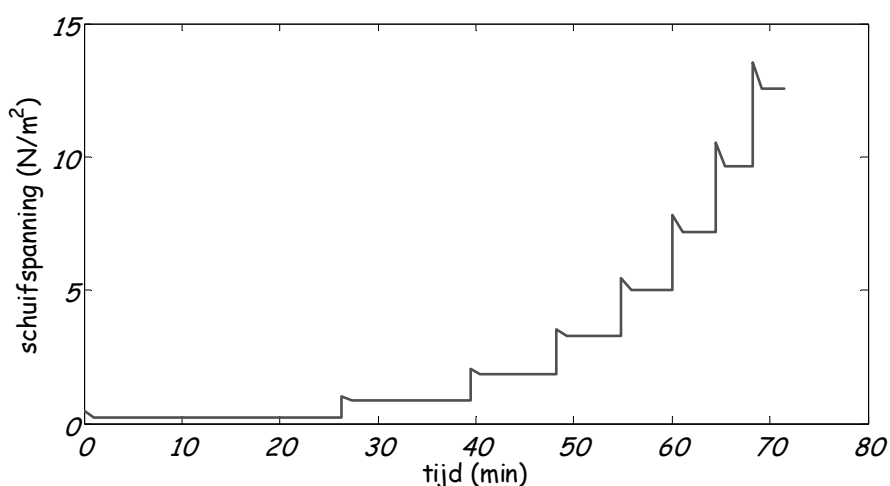
Na de metingen in Oud-Beijerland is het meetprotocol op enkele punten aangepast:

- tussen twee snelheidstoenames moet de leidinginhoud minimaal 1,5 (bij lage snelheden) tot 2 (bij hogere snelheden) maal worden verversd. Hierdoor wordt het effect van het opdraaien van de brandkraan op de resultaten verkleind;
- minimaal twee monsters per parameter zijn per spuisnelheid nodig, zodat vlak na de start van het spuien (en dus bij een hoge troebelheid) een monster genomen kan worden en na een halve verversing van de leidinginhoud een tweede monster genomen kan worden;
- het meetpunt bij het spuipunt wordt verplaatst van aanboring vlak vóór de brandkraan naar op de brandkraan.

Schuifspanning

De schuifspanning op de wand (en het sediment) wordt bepaald door de stroomsnelheid en de versnelling van het water. De versnelling treedt op door het vergroten van de drukval over de leiding. Tijdens de versnellingsperiode wordt een nieuwe evenwicht in de drukval bereikt. Daarbij is de schuifspanning tijdelijk hoger dan in de eindsituatie. Om de invloed van de versnelling enigszins te beperken is tijdens de proeven gewerkt met stapsgewijze verhoging van de snelheid van telkens 0,25 m/s (de schuifspanning tijdens de versnelling was telkens ca. 10% hoger dan tijdens de eindsnelheid).

Het verloop van de versnelling kan worden berekend (met een gegeven brandkraankarakteristiek, zie [1]) en daarmee kan ook het verloop van de versnelling en de schuifspanning in de tijd worden bepaald. Een versnelling van 0 naar 0,25 m/s kost volgens berekening 35 seconden en een versnelling van 1,75 naar 2,0 m/s duurt 5 seconden. In onderstaande figuur is voor de situatie van de meetlocatie Esdoornhof het verloop van de schuifspanning tegen de tijd uitgezet.



Schuifspanning in een 100 mm AC-leiding van 398 m lang (zie ook Esdoornhof), waarin de snelheid met stappen van 0,25 m/s wordt verhoogd na 1 maal verversen van de leiding.

3.3 Deeltjesanalyse

Tijdens een tweetal proeven (in Leusden) zijn monsters genomen voor deeltjesanalyse. De deeltjesanalyse is uitgevoerd met een Particle Analyzer (Ankerschmidt) in het lab die een andere analysemethode gebruikt dan de deeltjesteller (in het veld). Deeltjesanalyse is onder andere toegepast om de toegevoegde waarde van deze nieuwe techniek te onderzoeken.

De *particle analyzer* is in staat om de gemeten deeltjes op basis van deeltjesgrootte in te delen in een groot aantal categorieën. Met deze informatie kan het deeltjesvolume per categorie worden berekend. Het deeltjesvolume wordt berekend op basis van het volume van een deeltje met

de gemiddelde diameter binnen een categorie. In formulevorm ziet dit er als volgt uit:

$$V_k = \frac{\left(\frac{x_{k,b} - x_{k,o}}{2} \right)^3 \cdot \pi}{6}$$

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^k V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$$

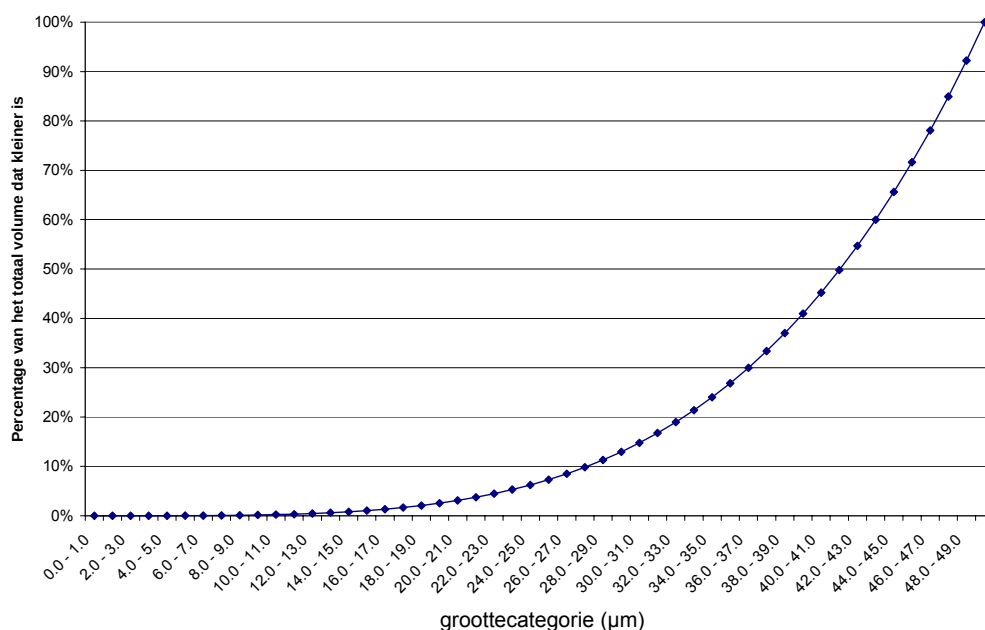
V_k = totale deeltjesvolume van groottecategorie k [μm^3]

$x_{k,b}$ = bovengrens van groottecategorie k [μm]

$x_{k,o}$ = ondergrens van groottecategorie k [μm]

C_k = percentage van het totaal volume kleiner dan x_k [%]

Een voorbeeld van het verloop van de deeltjesvolumeverdeling is weergegeven in figuur 3-2. Hierin is per categorie een cumulatief aandeel van het totale volume weergegeven (C_k uit bovenstaande formule). In dit voorbeeld is aangenomen dat de deeltjesconcentratie per categorie gelijk is. De exponentiële stijging wordt in dit geval veroorzaakt doordat grote deeltjes een groter volume hebben.

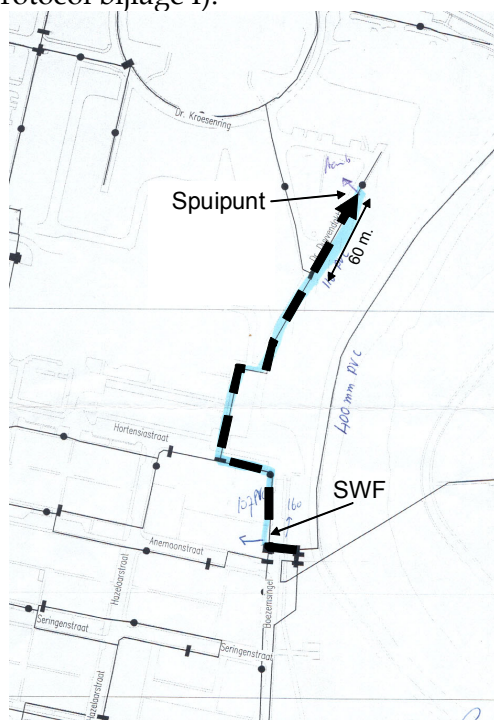


figuur 3-2 Voorbeeld van het verloop van de deeltjesvolumeverdeling

4 Dr. Duyvendakhof, Oud-Beijerland (Evides)

4.1 Beschrijving van de meetlocatie

Bij Evides zijn op 11 mei 2004 op meetlocatie Dr. Duyvendakhof in Oud-Beijerland metingen uitgevoerd op een PVC-leiding met een diameter van 110 mm. Het spuittraject heeft een lengte van 284 meter en wordt gevoed door een PVC-leiding met een diameter van 400 mm (zie figuur 4-1). De meting op deze locatie dient mede om het meetprotocol te toetsen op uitvoerbaarheid (zie voor het meetprotocol bijlage I).



figuur 4-1 Distributienetwerk meetlocatie Oud-Beijerland

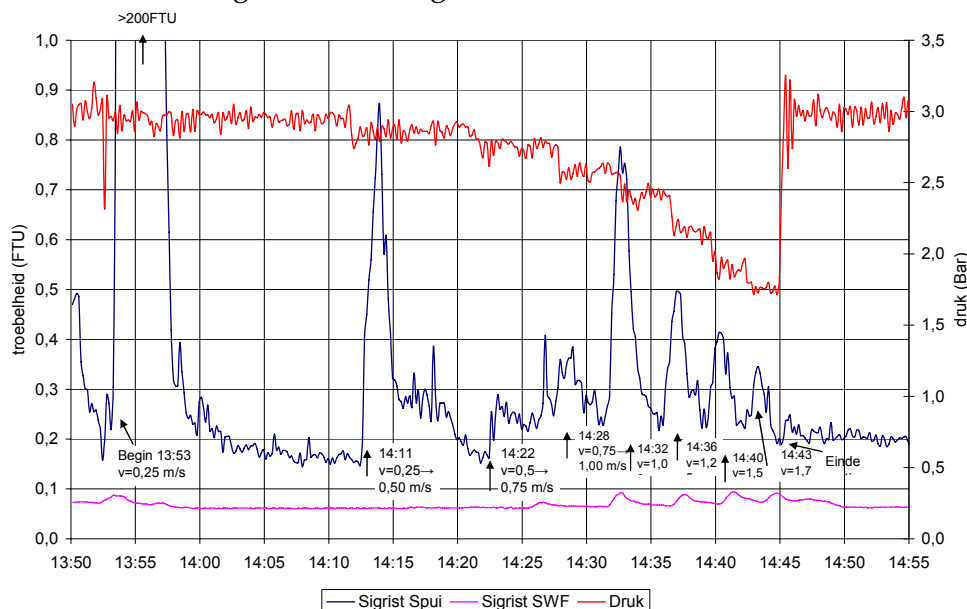
4.2 Troebelheid

De resultaten van de troebelheidsmeting zijn weergegeven in figuur 4-2 en laten het volgende zien:

- Een hoge troebelheidspiek bij de eerste snelheidsverhoging. Deze wordt veroorzaakt door een grote hoeveelheid gemakkelijk opwervelbaar sediment in de leiding. De duur van de piek en de stroomsnelheid in de leiding wijzen erop dat de leiding over een lengte van 60 meter is vervuild. Deze afstand komt overeen met de lengte van de aftakking (zie figuur 4-1).
- De rest van de leiding (na 60 meter) is blijkbaar schoon. Op basis van deze metingen kan niet worden geconcludeerd waaraan dat ligt. Voor een verklaring voor de schone leidingdelen is het nodig om de historie

te kennen: wanneer is er voor het laatst gespuid, wat zijn de normale hydraulische omstandigheden (stroomsnelheden)?

- Bij de tweede snelheidsverhoging (0,5 m/s) is een troebelheidspiek (< 1 FTU) te zien, vervolgens is bij de 3^e versnelling (0,75 m/s) nauwelijks een piek te zien. Bij de volgende versnellingen is wel telkens een kleine troebelheidsverhoging te zien, d.w.z. er kan wel een verandering worden waargenomen, maar het verschil is klein.

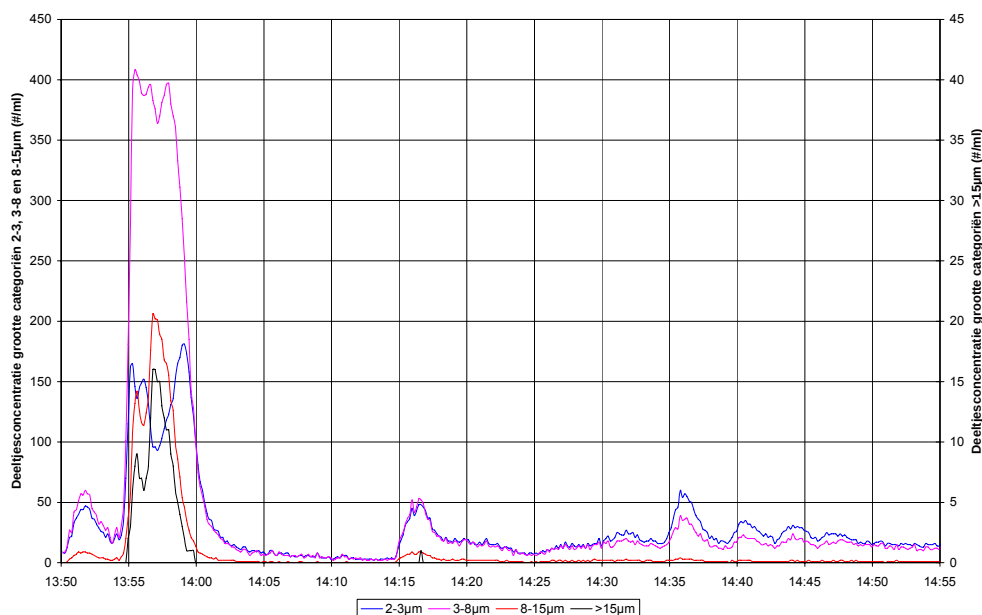


figuur 4-2 Troebelheid en druk op de locaties SWF en spuipunt

4.3 Deeltjesgrootte - deeltjesteller

De gemeten deeltjes zijn op basis van grootte ingedeeld in vier categorieën: 2-3, 3-8, 8-15 en >15 μm (zie figuur 4-3, waarbij de categorie groter dan 15 μm is uitgezet op de rechter y-as). De resultaten van de deeltjestelling laten het volgende zien:

- drie duidelijk te onderscheiden pieken op de tijdstippen: 13:55, 14:17 en 14:36;
- de duur van de eerste twee pieken wijst erop dat de deeltjes afkomstig zijn van de eerste 60 meter van de proefleiding (zie figuur 4-1);
- bij de eerste snelheidsverhoging is het aandeel grote deeltjes (groter dan 8 μm) relatief hoog, terwijl bij een verdere verhoging van de spuisnelheid de grote deeltjes nagenoeg afwezig zijn.



figuur 4-3 Deeltjesconcentratie voor vier categorieën

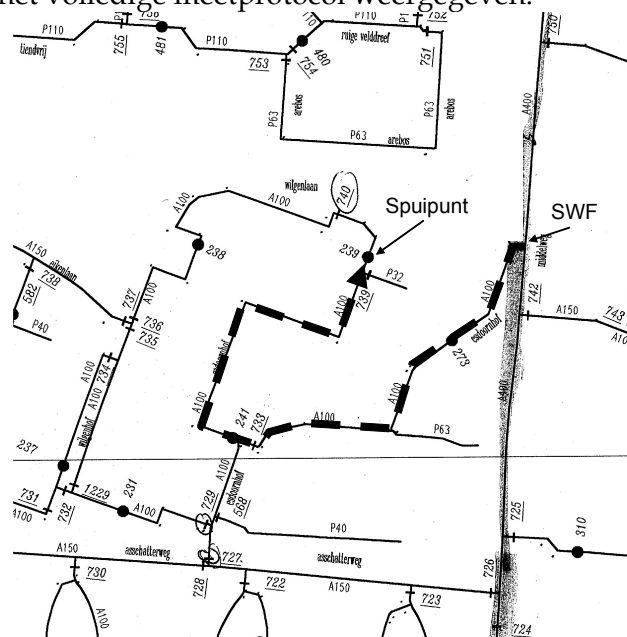
4.4 IJzer- en gesuspendeerde-stofconcentratie

Er is vrijwel geen ijzer gemeten in de gesuspendeerde stof. Omdat de troebelheid niet gemeten is in het lab kan geen relatie tussen troebelheid en gesuspendeerde stof worden vastgesteld.

5 Esdoornhof, Leusden (Hydron MN)

5.1 Beschrijving van de meetlocatie

Bij Hydron Midden-Nederland zijn op meetlocatie Esdoornhof te Leusden op 12 augustus 2004 metingen uitgevoerd op een AC-leiding met een diameter van 100 mm. Het spuittraject heeft een lengte van 398 meter en wordt gevoed door een AC-leiding met een diameter van 400 mm (zie figuur 5-1). Naast de continue metingen zijn monsters genomen voor analyse in het laboratorium. In bijlage II is het volledige meetprotocol weergegeven.

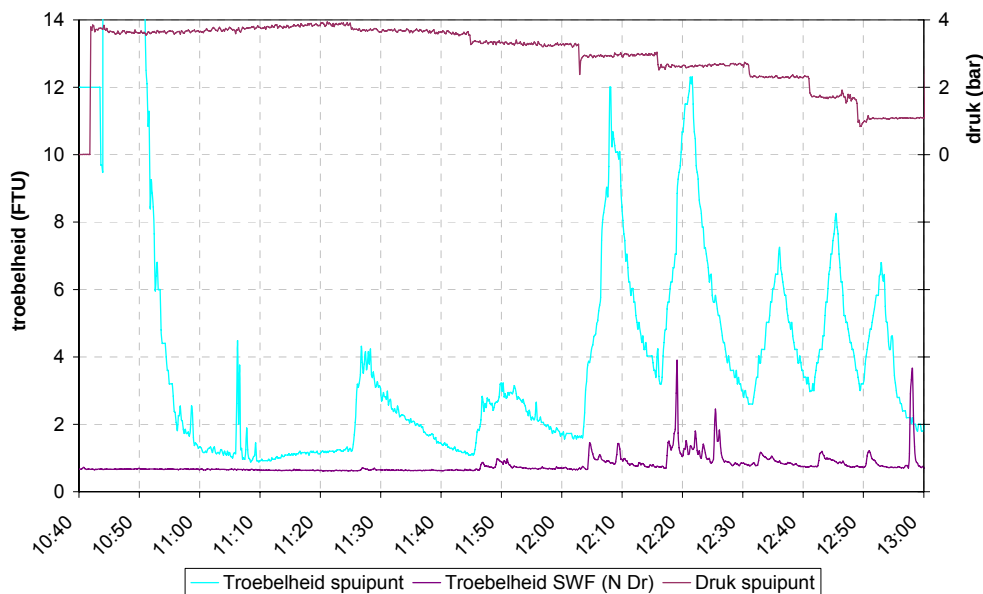


figuur 5-1 Distributienetwerk meetlocatie Esdoornhof te Leusden

5.2 Troebelheid

De resultaten van de troebelheidsmeting zijn weergegeven in figuur 5-2 en laten het volgende zien:

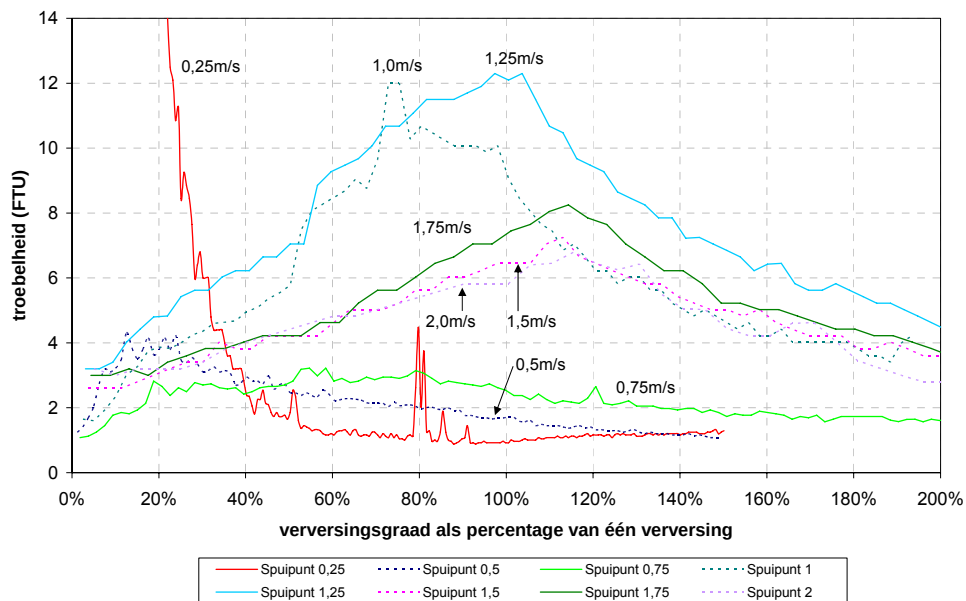
- bij de eerste snelheidsverhoging tot 0,25 m/s gaat de troebelheid gedurende 4 minuten door het meetbereik (100 FTU)
- de gemiddelde troebelheid per spuisnelheid neemt vanaf een spuisnelheid van 1,0 m/s toe.
- Het lijkt erop dat na de tweede verversing van bijv. de spuiactie met 1,0 m/s (eindigt om 12:20) nog niet alle sediment is verwijderd. Door dan de spuisnelheid te verhogen is onduidelijk of het extra sediment te wijten is aan de verhoging van de snelheid.



figuur 5-2 Troebelheid gemeten bij het spuipunt en SWF alsmede druk bij het spuipunt tijdens metingen op locatie Esdoornhof, Leusden.

Een maat om de duur van een spuiactie aan te geven is het aantal verversingen van de leidinginhoud. Bij één verversing is het spuivolume gelijk aan de inhoud van het spuittraject. De troebelheid lijkt afhankelijk van de verversingsgraad; zo wordt tijdens de eerste verversing het grootste deel van het sediment verwijderd waardoor de troebelheid hoger is dan tijdens de volgende verversingen. In figuur 5-3 is per spuisnelheid het verloop van de troebelheid weergegeven als percentage van de verversingsgraad.

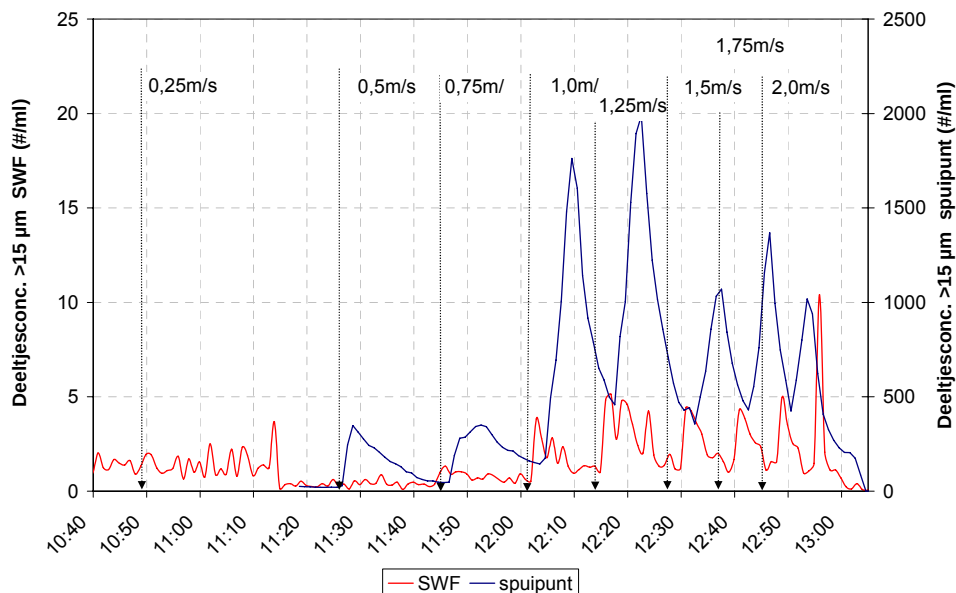
- De troebelheid bij een spuisnelheid van 0,25 m/s is duidelijk hoger dan bij andere spuisnelheden.
- De troebelheid bij een spuisnelheid groter dan 0,75 m/s laat een duidelijk patroon zien: de troebelheid verdrievoudigt gedurende de eerste verversing ten opzichte van het begin van de verversing. Deze stijging eindigt na ongeveer 80 tot 120% van de berekende verversingsperiode waarna een daling wordt ingezet.
- De top van de troebelheid verschuift naar rechts bij toename van de spuisnelheid. Bij de eerste spuisnelheid (0,25 m/s) is het grootste deel van het sediment verwijderd binnen 40% van de eerste verversing; bij hogere snelheden duurt het steeds langer voordat het grootste deel verwijderd is.



figuur 5-3 De troebelheid op het spuispunt bij een toenemende verversingsgraad voor verschillende spuisnelheden.

5.3 Deeltjesgrootte - deeltjesteller

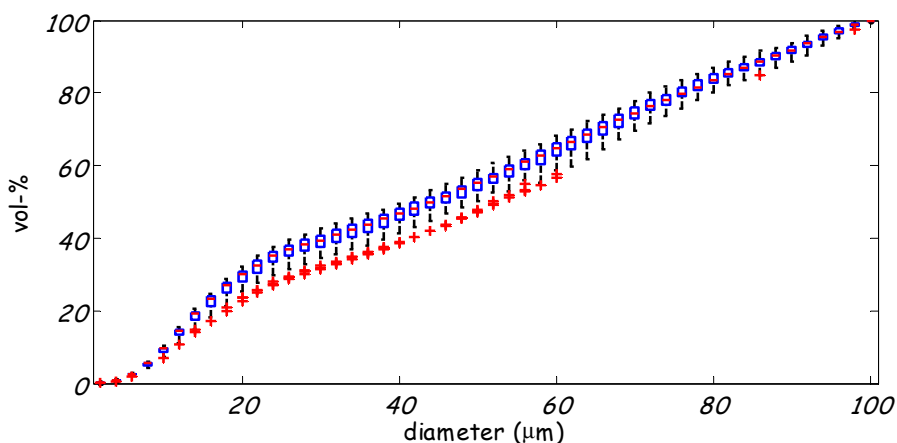
De gemeten deeltjes zijn op basis van grootte ingedeeld in vier categorieën: 2-3, 3-8, 8-15 en $>15 \mu\text{m}$. De resultaten van de categorie groter dan $15 \mu\text{m}$ (zowel SWF als op spuispunt) zijn weergegeven in figuur 5-4. De concentratie van grote deeltjes blijkt pas bij een spuisnelheid van $1,0 \text{ m/s}$ te stijgen.



figuur 5-4 Concentratie van deeltjes groter dan $15 \mu\text{m}$ bij het SWF en het spuispunt

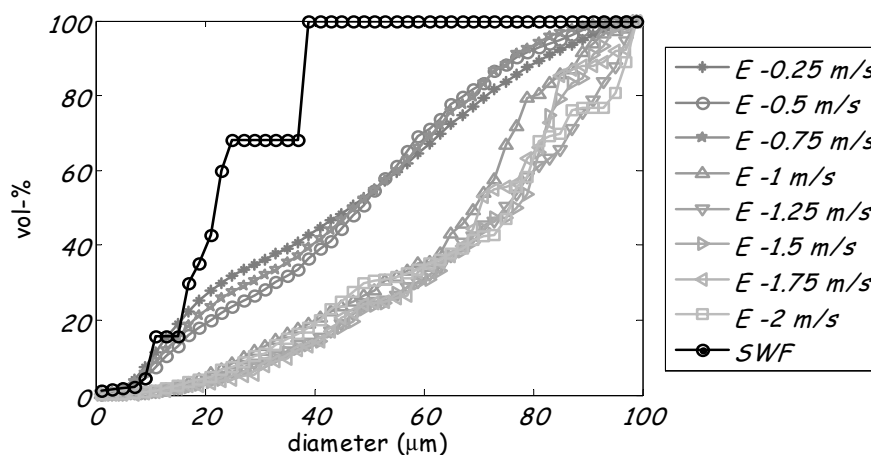
5.4 Deeltjesgrootte – particle analyzer

Met behulp van de particle analyzer is de deeltjesconcentratie een aantal malen bepaald van in het veld genomen monsters. Monster GS1 (eerste monster bij 0,25 m/s) is bijvoorbeeld 31 maal geanalyseerd. In figuur 5-5 is per deeltjescategorie het aandeel aan het totale deeltjesvolume uitgezet in een box-whisker-plot. Hiermee wordt niet alleen het gemiddelde, maar ook de variatie rond het gemiddelde weergegeven.



figuur 5-5 Box-whisker plot van de cumulatieve volumeverdeling verwijderd sediment per categorie voor monster GS1 (gespuid met 0,25 m/s).

In figuur 5-6 is de (deeltjes)volumeverdeling bij verschillende spuisnelheden uitgezet. De curves in de grafiek zijn gebaseerd op de gemiddelden van twee monsters genomen bij dezelfde spuisnelheid. De grafiek laat zien dat de monsters genomen op het SWF een relatief groot aantal kleine deeltjes bevat en weinig grote deeltjes. Er zijn twee groepen te onderscheiden. Bij een spuisnelheid van 0,25 tot 0,75 m/s is het totale sedimentvolume voor ca. 50% ten gevolge van de kleine deeltjes ($< 50 \mu\text{m}$) en grote deeltjes ($> 50 \mu\text{m}$). Bij spuisnelheden vanaf 1,0 m/s is er een duidelijke toename van grote deeltjes: 50% van het totale sedimentvolume komt voor rekening van deeltjes groter dan $70 \mu\text{m}$. De variatie binnen een spuisnelheid (figuur 5-5) is ongeveer net zo groot als de variatie binnen een groep van spuisnelheden en derhalve is het niet mogelijk om een verder onderscheid te maken tussen de verschillende spuisnelheden.



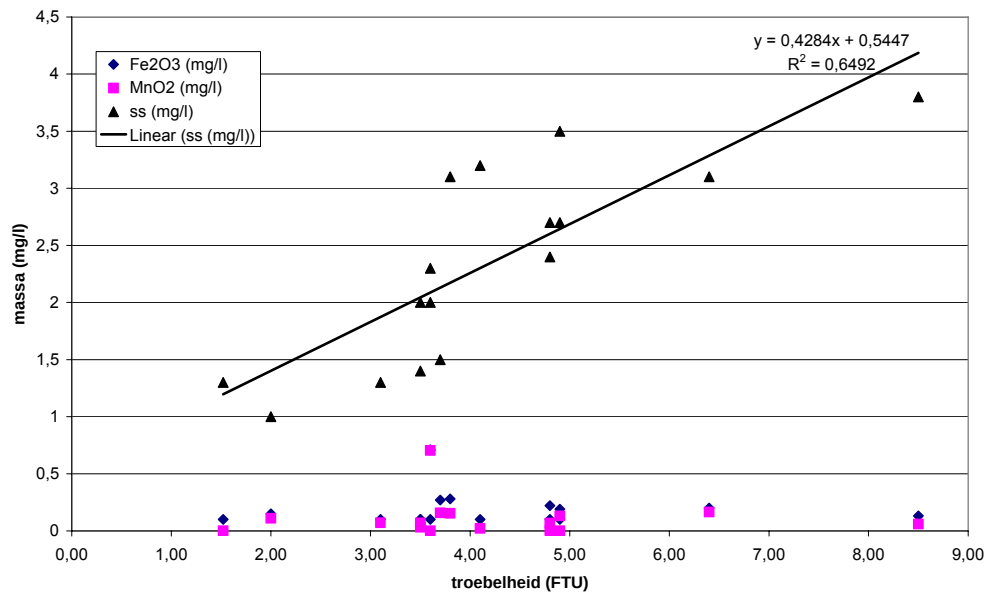
figuur 5-6 Cumulatieve volumeverdeling verwijderd sediment per categorie (bij 1,25 m/s is ook de variatie weergegeven) in Esdoornhof (E).

Zowel de deeltjesteller als de particle analyzer laten zien dat vanaf een spuisnelheid van 1,0 m/s het aandeel grote deeltjes toeneemt.

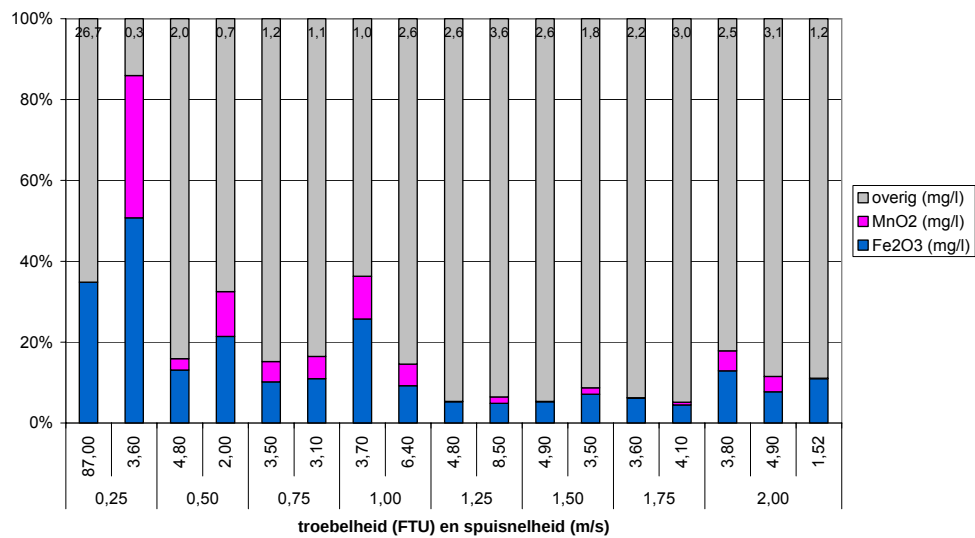
5.5 IJzer, mangaan-, en gesuspendeerde-stofconcentratie

Van ieder monster zijn in het laboratorium de troebelheid, de concentratie gesuspendeerde stof, ijzer en mangaan en het ATP-gehalte bepaald (zie bijlage II). Er blijkt geen relatie tussen de troebelheid en de ijzer- en mangaanconcentratie (figuur 5-7). Wel is een lineaire relatie gevonden tussen troebelheid en gesuspendeerde stof. In figuur 5-7 is niet de hoge troebelheid van 87 FTU meegenomen, maar de bijbehorende 41 mg/l gesuspendeerde stof past wel in de gevonden lineaire relatie.

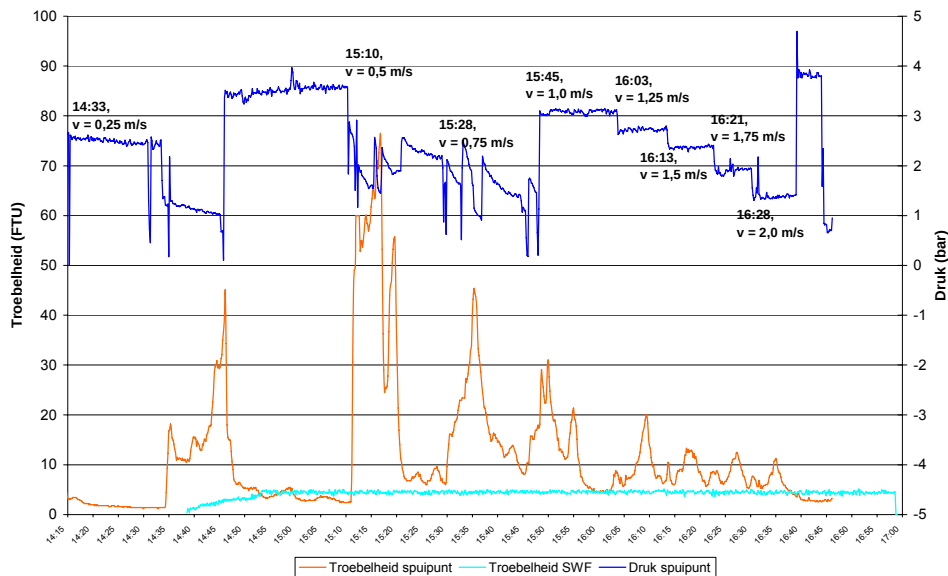
In figuur 5-8 is de sedimentsamenstelling van alle monsters weergegeven. De massa Fe is omgerekend naar de massa Fe_2O_3 en de massa Mn is omgerekend naar de massa MnO_2 . Over het algemeen bestaat minder dan 40% van het sediment uit Fe_2O_3 en MnO_2 . Omdat reeds een relatie tussen troebelheid en de massa van de gesuspendeerde stoffen is vastgesteld en omdat slechts een beperkt aandeel van het sediment ijzer- en mangaanoxide is wordt de informatie over ijzer en mangaan niet verder gebruikt in dit onderzoek.



figuur 5-7 Relatie tussen troebelheid en ijzer-, mangaan- en gesuspendeerde stofconcentratie.



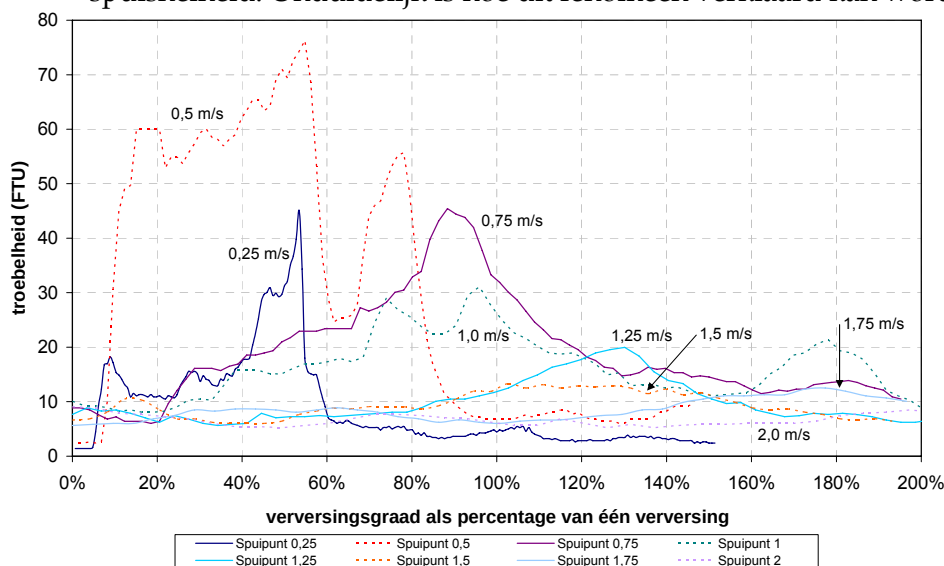
figuur 5-8 Samenstelling van de gesuspendeerde stof; de getallen bovenin geven het de totale concentratie in mg/l weer.



figuur 6-2 Troebelheid en druk gemeten bij het spuipunt en SWF tijdens metingen op locatie Larikslaan, Leusden.

In figuur 6-3 wordt het verloop van de troebelheid per spuisnelheid weergegeven als percentage van de verversingsgraad:

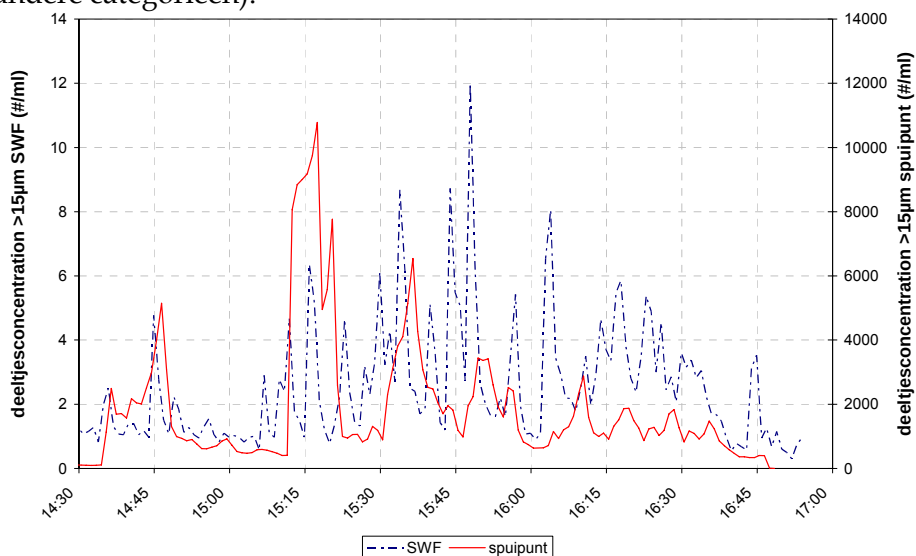
- De troebelheid verdrievoudigt gedurende de eerste verversing ten opzichte van het begin van de verversing. Het einde van deze stijging laat een grotere spreiding zien dan voor meetlocatie Esdoornhof, maar ligt over het algemeen tussen de 80 tot 120% van de berekende verversingsperiode. Na deze stijging wordt een daling ingezet.
- Bij een lage spuisnelheid is de daling steiler dan bij een hogere spuisnelheid.
- De top van de troebelheid verschuift naar rechts bij toename van de spuisnelheid. Onduidelijk is hoe dit fenomeen verklaard kan worden.



figuur 6-3 Het verloop van de troebelheid op het spuipunt bij verschillende spuisnelheden en een toenemende verversingsgraad

6.3 Deeltjesgrootte - deeltjesteller

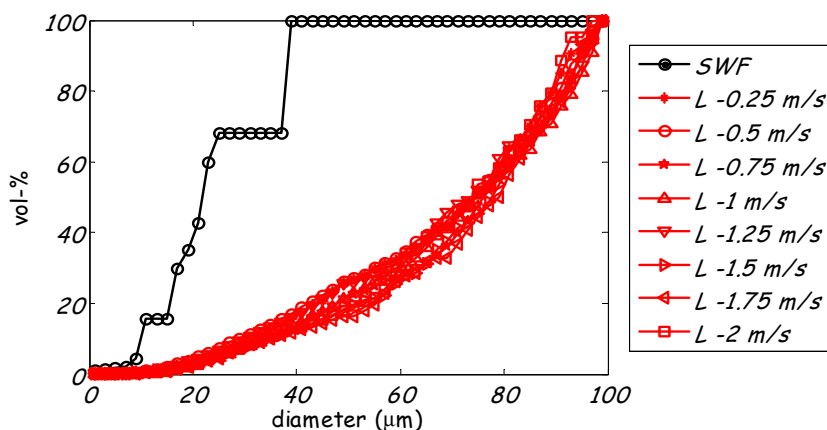
De gemeten deeltjes zijn op basis van grootte ingedeeld in vier categorieën: 2-3, 3-8, 8-15 en $>15\ \mu\text{m}$. De resultaten van de categorie groter dan $15\ \mu\text{m}$ op het SWF en het spuipunt zijn weergegeven in figuur 6-4. Opwerveling van grote deeltjes blijkt voornamelijk op te treden bij een spuisnelheid van 0,5 en 0,75 m/s (bij dezelfde snelheden wervelen ook de meeste deeltjes op uit de andere categorieën).



figuur 6-4 Deeltjesconcentratie op het SWF (waarden op linker y-as) en spuipunt (waarden op rechter y-as)

6.4 Deeltjesgrootte – particle analyzer

Met behulp van de particle analyzer is de deeltjesconcentratie bepaald van in het veld genomen monsters. In figuur 6-5 is de (deeltjes)volumeverdeling bij verschillende spuisnelheden uitgezet. De curves in de grafiek zijn gebaseerd op het gemiddelde van twee monsters genomen bij dezelfde spuisnelheid. De grafiek laat zien dat de monsters genomen op het SWF een relatief groot aantal kleine deeltjes bevat en weinig grote deeltjes. Voor alle spuisnelheden geldt grofweg dat ca. 50% van het sedimentvolume veroorzaakt wordt door deeltjes groter dan $70\ \mu\text{m}$.



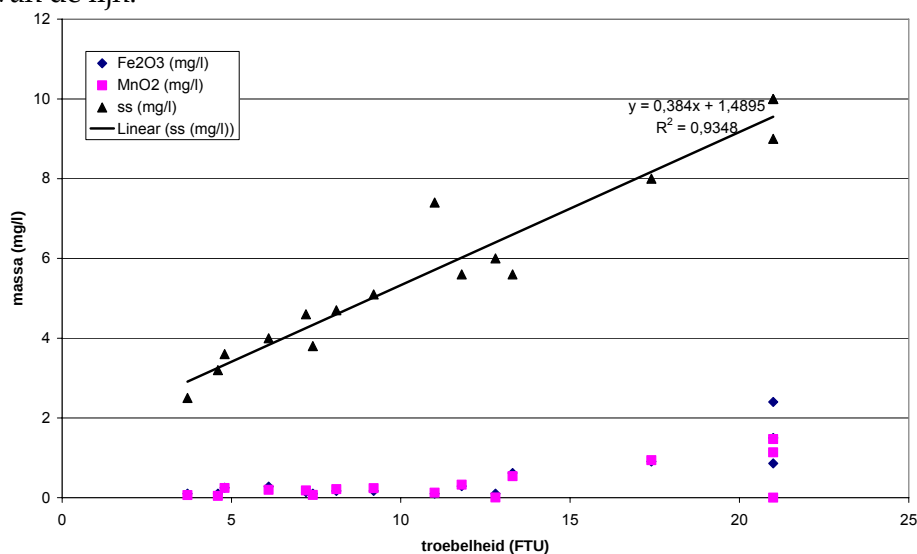
figuur 6-5 Cumulatieve volumeverdeling verwijderd sediment per deeltjesgroottecategorie in Larikslaan (L).

De particle analyzer laat geen verschillen in deeltjesgroottes zien voor de verschillende spuisnelheden. Ook de deeltjesteller laat geen verschillen in aandelen deeltjesgroottes zien bij verschillende spuisnelheden.

6.5 IJzer, mangaan- en gesuspendeerde-stofconcentratie

Van ieder monster is in het laboratorium de troebelheid bepaald. Uit de resultaten blijkt er een relatie met de ijzer- en mangaanconcentraties bestaat (figuur 6-6). De opbouw van het sediment is vergelijkbaar met dat van de Esdoornhof.

Voor het bepalen van de sedimentverwijdering is op basis van 15 monsters de relatie bepaald tussen troebelheid en gesuspendeerde-stofconcentratie (zie figuur 6-6). Voor een troebelheid tussen de 4 en 21 FTU is een lineaire relatie met de gesuspendeerde-stofconcentratie vastgesteld. Het monsterpunt bij 46 FTU is ligt met een massa van 20 mg/l gesuspendeerde stof in het verlengde van de lijn.

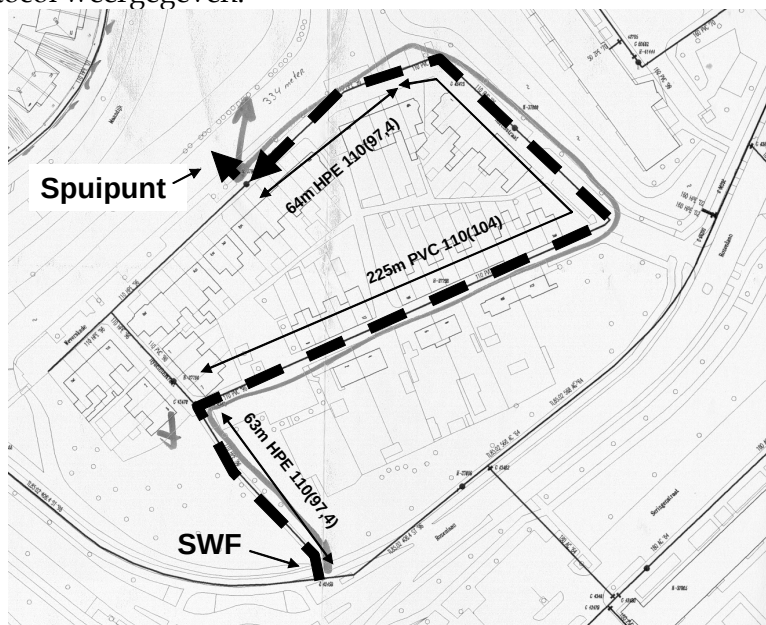


figuur 6-6 Relatie tussen troebelheid en ijzer-, mangaan- en gesuspendeerde stofconcentratie voor de locatie Larikslaan.

7 Weverskade, Maassluis (Evides)

7.1 Beschrijving van de meetlocatie

Bij Evides zijn op 1 april 2005 in de Weverskade te Maassluis metingen uitgevoerd op een PVC- en HPE-leiding met een diameter van 110 mm. Het spuittraject heeft een lengte van 334 meter en wordt gevoed door een stalen leiding met een diameter van 406 mm (zie figuur 7-1). Naast continue metingen zijn in totaal 18 monsters genomen voor het bepalen van de ijzer-, mangaan- en gesuspendeerde-stofconcentratie. In bijlage IV is het volledige meetprotocol weergegeven.



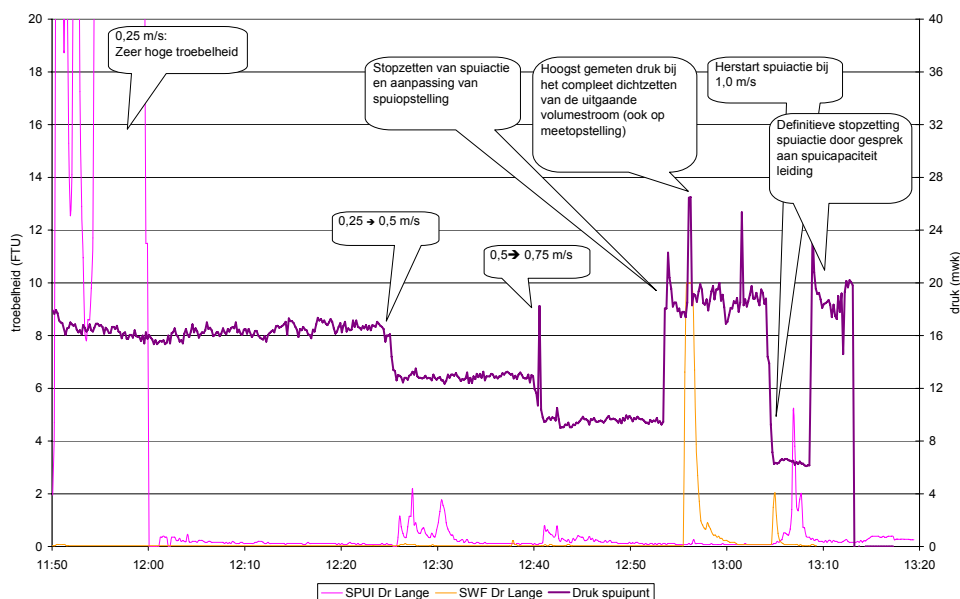
figuur 7-1 Distributienetwerk meetlocatie Weverskade te Maassluis

De proef is na het spuien met 0,75 m/s gestaakt omdat geen hogere spuisnelheid gehaald kon worden. Na aanpassing van de gebruikte spuiopstelling werd een spuisnelheid van ongeveer 1,0 m/s bereikt. De verwachting was echter dat een spuisnelheid van 2,0 m/s mogelijk was. Het afbreken van de meting betekent dat de resultaten onvolledig zijn en geen sluitende conclusie mogelijk is. Een mogelijke verklaring is dat er een obstructie in de leiding plaatsvond, zie verder bijlage IV.

7.2 Troebelheid

Tijdens deze proef is de troebelheid en druk op zowel het spuipunt als het SWF gemeten. De resultaten laten het volgende zien (figuur 7-2):

- een hoge waarde van de troebelheid tot 160 FTU gedurende de eerste 10 minuten van het spuien met een spuisnelheid van 0,25 m/s waarna de troebelheid daalt tot beneden de 0,5 FTU.
- Hieruit blijkt dat in de tweede helft van het spuittraject veel minder sediment aanwezig is, omdat een daling van de troebelheid pas na minimaal één verversing (22 minuten) werd verwacht.

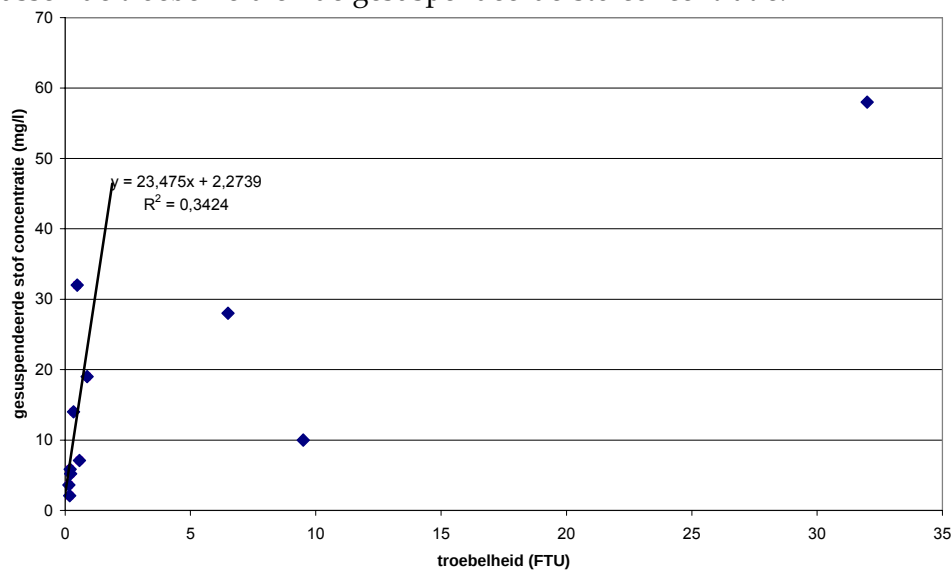


figuur 7-2 Uitvoering van de proef op meetlocatie Maassluis.

7.3 IJzer- en gesuspendeerde-stofconcentratie

Uit de analyse van de genomen monsters (zie bijlage IV) blijkt dat in 8 van de 14 monsters de ijzerconcentratie onder de detectiegrens van 0,1 mg/l ligt. De lage ijzerconcentratie wordt veroorzaakt door de geringe hoeveelheid sediment in de monsters.

Voor het bepalen van de sedimentverwijdering is op basis van 11 monsters geprobeerd de relatie vast te stellen tussen troebelheid en gesuspendeerde-stofconcentratie (zie figuur 7-3). Uit de resultaten blijkt geen lineaire relatie tussen de troebelheid en de gesuspendeerde-stofconcentratie.



figuur 7-3 Relatie tussen troebelheid en gesuspendeerde-stofconcentratie voor de locatie Maassluis.

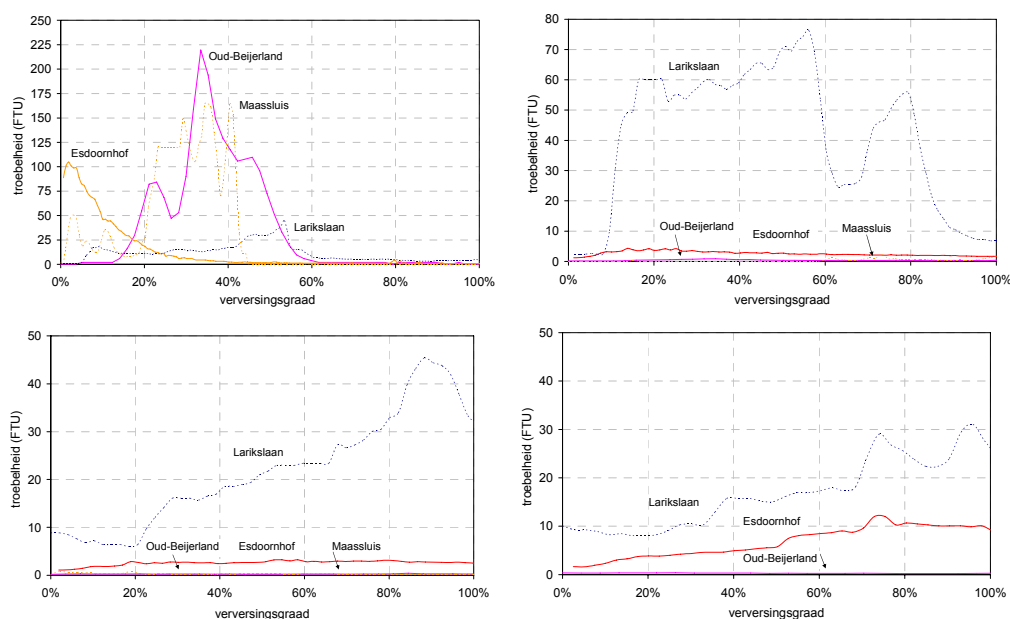
8 Vergelijking meetresultaten

In dit hoofdstuk worden de meetresultaten van de vier proeven met elkaar vergeleken op troebelheid, sedimentkenmerken en sedimentverwijdering.

8.1 Troebelheid

De troebelheid geeft het duidelijkst de waterkwaliteitsverandering weer doordat deze meting met een hoge meetfrequentie is uitgevoerd. De verandering van de troebelheid verloopt piekerig. De pieken vallen samen met het moment waarop de spuisnelheid wordt verhoogd. Er is gewerkt met een schoonwaterfront; een verandering van de troebelheid wordt dus veroorzaakt door de opwerveling van materiaal op of aan de wand.

Uit de vergelijking van de troebelheid van de vier meetlocaties blijkt dat de troebelheid bij een spuisnelheid van 0,25 m/s het hoogst is. Het grootste deel van het sediment wordt reeds bij een lage spuisnelheid opgewerveld. Tijdens het spuien met een constante spuisnelheid is een variatie van de troebelheid zichtbaar. Voor deze variatie zijn verschillende oorzaken denkbaar; het versnellingseffect, lokale vervuiling of geleidelijke erosie.



figuur 8-1 Troebelheid op verschillende meetlocaties met een spuisnelheid van 0,25 0,50 0,75 en 1,0 m/s

Voor de meetlocatie Esdoornhof lijkt de oorzaak van de piek bij een spuisnelheid van 0,25 m/s in het versnellingseffect te liggen. De piek is kort en éénmalig en loopt tijdens de eerste verversing terug terwijl de troebelheid in veel gevallen juist stijgt tijdens de eerste verversing.

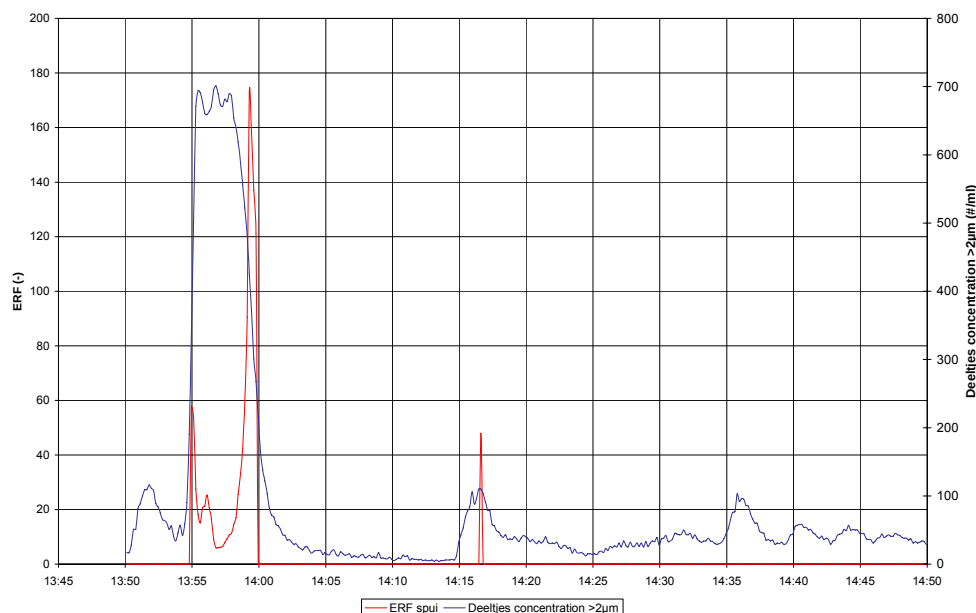
Voor de meetlocaties Oud-Beijerland en Maassluis lijkt de piek bij een spuisnelheid van 0,25 m/s door lokale ophoping van vervuiling (in een bepaald leidingsegment) veroorzaakt te worden. Op basis van het moment waarop de plotselinge daling van de troebelheid tijdens de eerste verversing optreedt kan worden bepaald op welke plek in het spuittraject de hoeveelheid sediment plotseling verandert.

Daarnaast is bij de meetlocaties Esdoornhof en Larikslaan tijdens de eerste verversing een duidelijke stijging van de troebelheid zichtbaar. Deze stijging kan duiden op geleidelijke erosie van het sediment.

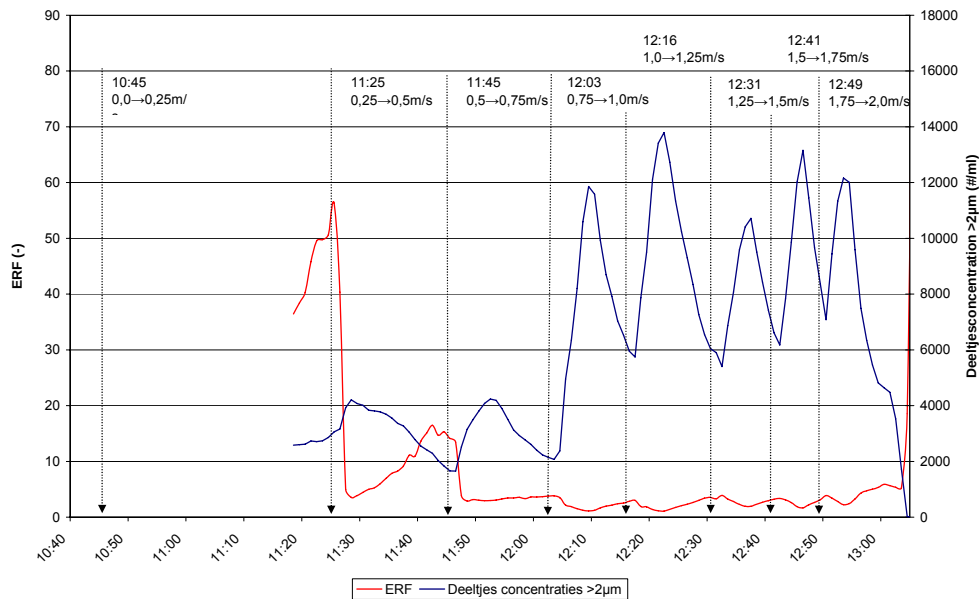
8.2 Sedimentkenmerken

8.2.1 ERF

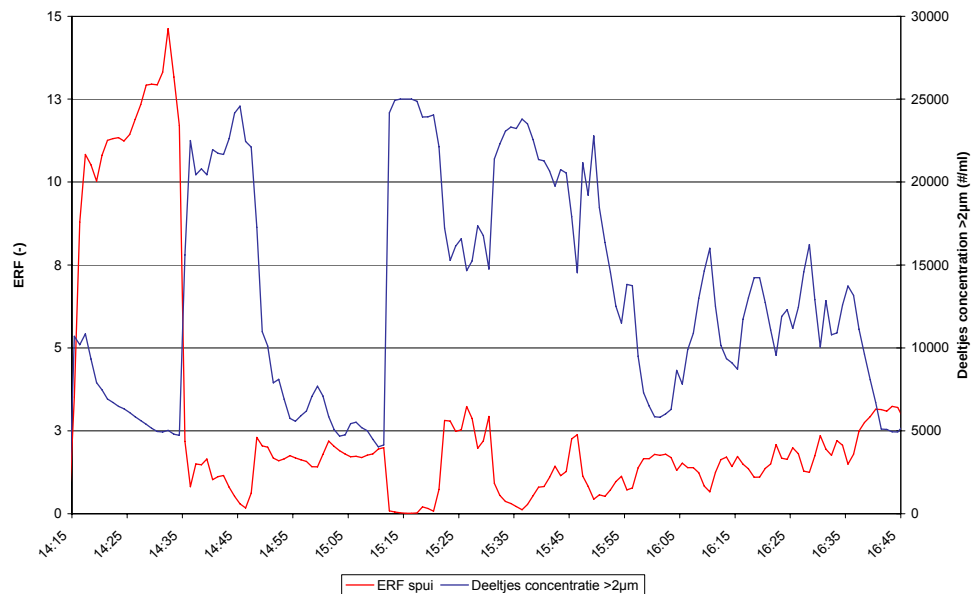
In onderstaande figuren zijn de *ERF* (= # kleine deeltjes / # grote deeltjes) en de som van het aantal deeltjes uitgezet. Voor Oud-Beijerland (figuur 8-2) is de *ERF* hoog tijdens de eerste piek in deeltjes, en verder vrijwel 0. De deeltjes in het SWF zijn niet gemeten. Voor de Esdoornhof, Leusden, (figuur 8-3) geldt dat de gemiddelde *ERF* van het SWF gelijk was aan 39, in de spuimonsters gemiddeld 9. Tijdens het spuien is te zien dat na de derde versnelling de *ERF* vrijwel gelijk blijft op ca. 3. Voor de Larikslaan, Leusden, (figuur 8-4) geldt dat de gemiddelde *ERF* van het SWF gelijk was aan 18, in de spuimonsters gemiddeld 3. Tijdens het spuien is te zien dat direct na de eerste versnelling de *ERF* vrijwel gelijk blijft op ca. 2. In Maassluis is de deeltjesgrootte niet bepaald.



figuur 8-2 ERF en deeltjesconcentratie ($> 2 \mu\text{m}$) Oud-Beijerland.



figuur 8-3 ERF en deeltjesconcentratie (> 2 µm) Esdoornhof, Leusden.



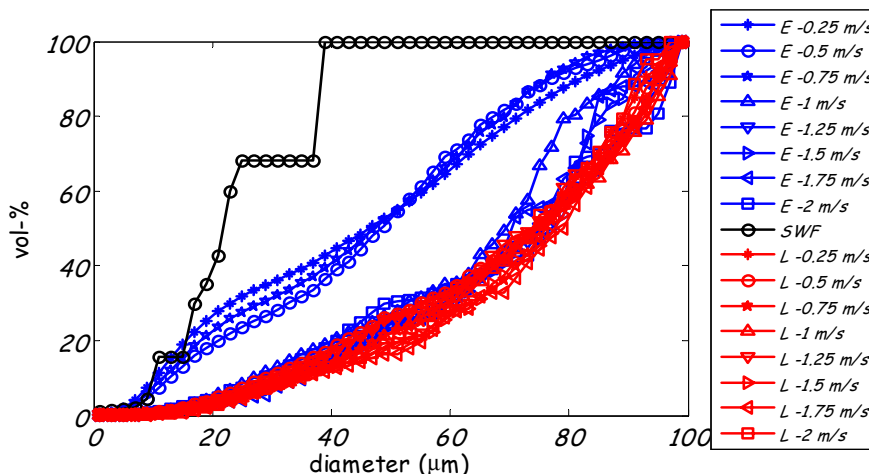
figuur 8-4 ERF en deeltjesconcentratie (> 2 µm) Larikslaan, Leusden.

Hoewel er bij het spuien met hogere snelheden nog wel deeltjes worden geteld is de troebelheid wel laag (< 5 FTU). De ERF is hier ook laag en dat bevestigt de hypothese dat de ERF laag is bij een efficiënte spuiactie.

8.2.2 Deeltjesgrootteverdeling

Voor de locaties Esdoornhof en Larikslaan is per spuisnelheid een (deeltjes)volumeverdeling gemaakt. In figuur 8-5 zijn deze verdelingen voor de twee locaties weergegeven. Uit de vergelijking blijkt dat de monsters genomen op meetlocatie Esdoornhof relatief minder grote deeltjes bevatten

dan Larikslaan, bij de spuisnelheden 0,25 m/s tot 0,75 m/s is dit duidelijk te zien, voor de hogere snelheden is de volumeverdeling voor beide locaties vrijwel gelijk. Het SWF bevat geen deeltjes groter dan 40 μm . Alle deeltjes groter dan 40 μm in het spuiwater komen dus niet uit het schone water, maar zijn ontstaan door coagulatie in de leiding. Ook wordt geconstateerd dat zelfs na spuien bij lage snelheden bij hoge snelheden nog altijd kleine deeltjes (< 10 μm) worden opgewerveld.



figuur 8-5 Gemiddelde deeltjesgrootteverdeling plus variatie bij lage en hoge spuisnelheden voor twee locaties (E: Esdoornhof, L: Larikslaan).

Er is een duidelijk verschil in deeltjessamenstelling (naar grootte) van SWF en spuiwater, maar voor het spuiwater is de deeltjessamenstelling niet goed te relateren aan de spuisnelheid. Omdat de relatie tussen deeltjesgrootte en spuisnelheid er nauwelijks is en (bijna) alle deeltjesgroottes vertegenwoordigd zijn in de spui monsters is het niet mogelijk om de formule van Berlamont te valideren.

De deeltjesteller deelt alle deeltjes > 15 μm in één categorie in. Uit figuur 8-5 blijkt dat 85 tot 95% van het totale deeltjesvolume door deeltjes groter dan 15 μm wordt veroorzaakt; de particle analyzer verstrekt dus meer informatie dan de deeltjesteller. De particle analyzer was zodanig ingesteld dat alleen deeltjes tot 100 μm geteld zijn. In het SWF zitten geen deeltjes groter dan ca. 40 μm , maar in het spuiwater zitten wellicht nog deeltjes die groter dan 100 μm zijn.

8.2.3 IJzer- en mangaanconcentratie

In Oud-Beijerland en Maassluis werd nauwelijks ijzer gemeten in het sediment. De hoeveelheid ijzer in de leidingen is gering door de kleine ijzerconcentratie van het water afkomstig van het pompstation en het ontbreken van gietijzeren leidingen.

Het totaal aan ijzer- en mangaanoxiden is in Leusden gemiddeld 15% tot 20% van het totale sediment (zie bijv. figuur 5-8). Het aandeel ijzer- en

mangaanoxiden in het sediment is nauwelijks afhankelijk van de spuisnelheid of de troebelheid.

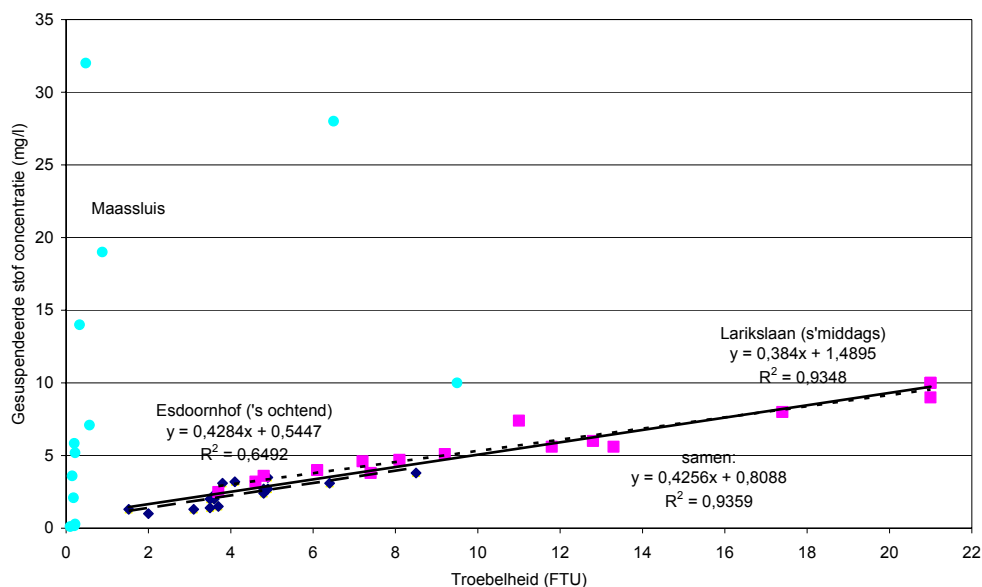
Volgens Berlamont (zie ook figuur 2-2) is een snelheid van 0,51 m/s nodig om deeltjes met een diameter van 25 μm en een dichtheid van 5500 kg/m³ op te wervelen in een Ø100 mm AC-leiding; voor deeltjes met een dichtheid van 1900 kg/m³ (20% 5500 kg/m³, 80% 1000 kg/m³) geldt een opwervelsnelheid van 0,21 m/s. In figuur 5-6 en figuur 6-5 is te zien dat er in het SWF 30% deeltjes groter dan 25 μm aanwezig zijn en in het spuiwater 70% tot 90% deeltjes groter dan 25 μm aanwezig zijn. De voorspelling met Berlamont is dus niet gefalsificeerd.

8.2.4 ATP-concentratie

Op twee locaties zijn monsters genomen voor het bepalen van de ATP-concentratie: Esdoornhof en Weverskade. Uit de analyses zijn (twee verschillende) lineaire verbanden tussen troebelheid en ATP-concentratie naar voren gekomen (zie bijlagen II en IV). Een hogere troebelheid had bij deze metingen een hogere ATP-concentratie tot gevolg. Dit duidt op de aanwezigheid van levende biomassa in het sediment.

8.3 Relatie sedimentkenmerken en troebelheid

Voor het bepalen van de sedimentverwijdering is op basis van de monsters van de Esdoornhof en Larikslaan in Leusden en de monsters van Maassluis de relatie bepaald tussen troebelheid en gesuspendeerde-stofconcentratie (zie figuur 8-6). Door de gegevens in één figuur te plotten wordt duidelijk dat de resultaten van de meetlocaties Esdoornhof en Larikslaan onderling vergelijkbaar zijn. De afwijking van de resultaten van meetlocatie Maassluis ten opzichte van de meetlocaties Esdoornhof en Larikslaan en andere metingen hangt wellicht samen met de leeftijd en samenstelling van het sediment.

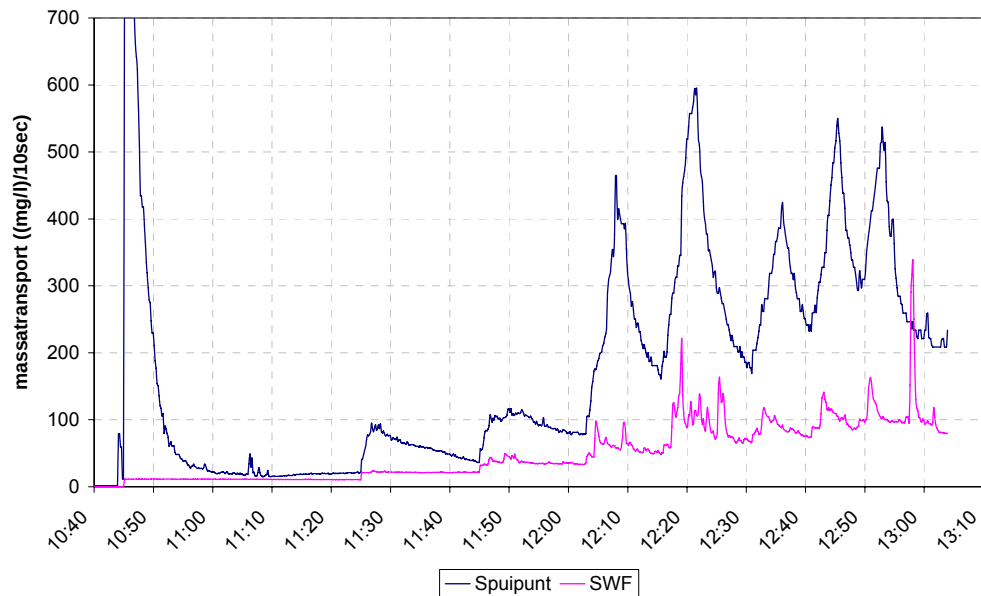


figuur 8-6 Relatie tussen gesuspendeerde-stofconcentratie en troebelheid voor Esdoornhof (linksonder gestippelde trendlijn, blauwe ruiten) en Larikslaan (bovenste gestippelde trendlijn, roze vierkanten) en gezamenlijke gegevens van Leusden (doorgetrokken trendlijn). De lichtblauwe cirkels zijn de gegevens van Maassluis.

8.4 Sedimentverwijdering

8.4.1 Sedimentverwijdering - Esdoornhof

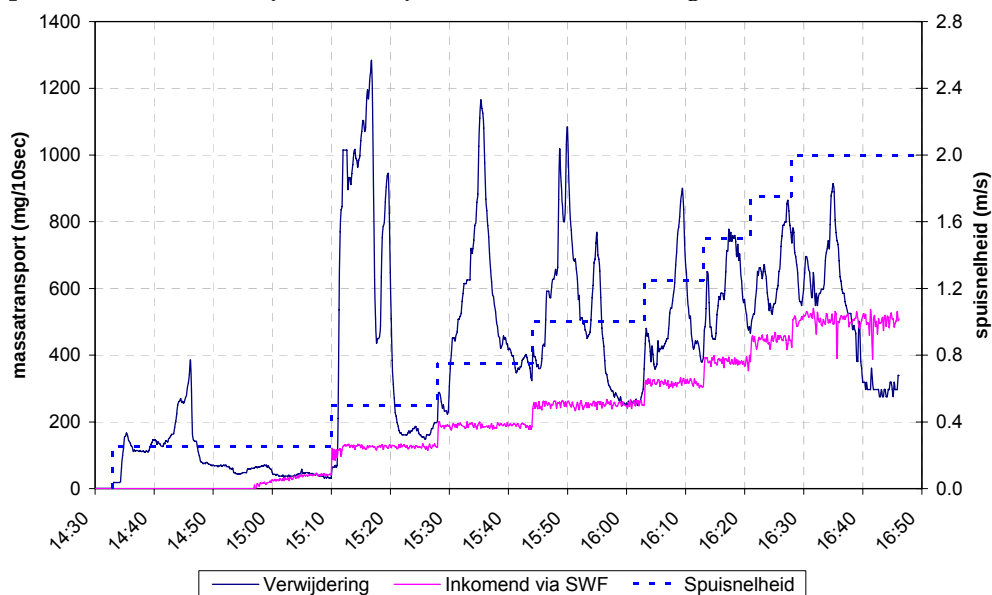
Voor het bepalen van het sedimenttransport wordt de troebelheid (figuur 5-2) met behulp van figuur 8-6 omgerekend naar sedimentmassa. Gedurende de eerste 4 minuten van de meting was de troebelheid groter dan het meetbereik; hiervoor kon niet worden gecorrigeerd. Het resultaat van de berekeningen is weergegeven in figuur 8-7. Hieruit blijkt dat de netto sedimentverwijdering (spuipunt minus SWF) toeneemt bij een hogere spuisnelheid (na de eerste hoeveelheid sedimentverwijdering bij 0,25 m/s).



figuur 8-7 Sedimenttransport per 10 sec bij het SWF en het spuipunt

8.4.2 Sedimentverwijdering - Larikslaan

Voor het bepalen van het sedimenttransport wordt de troebelheid (figuur 6-2) met behulp van figuur 8-6 omgerekend naar sedimentmassa. Het resultaat van de berekeningen is weergegeven in figuur 8-8. Hieruit blijkt dat de netto sedimentverwijdering (spuipunt minus SWF) snel afneemt bij een hogere spuisnelheid. Ook blijkt duidelijk dat het SWF niet erg schoon is.



figuur 8-8 Sedimenttransport per tijdstap van 10 sec bij het SWF en het spuipunt

8.4.3 Sedimentverwijdering – Evides

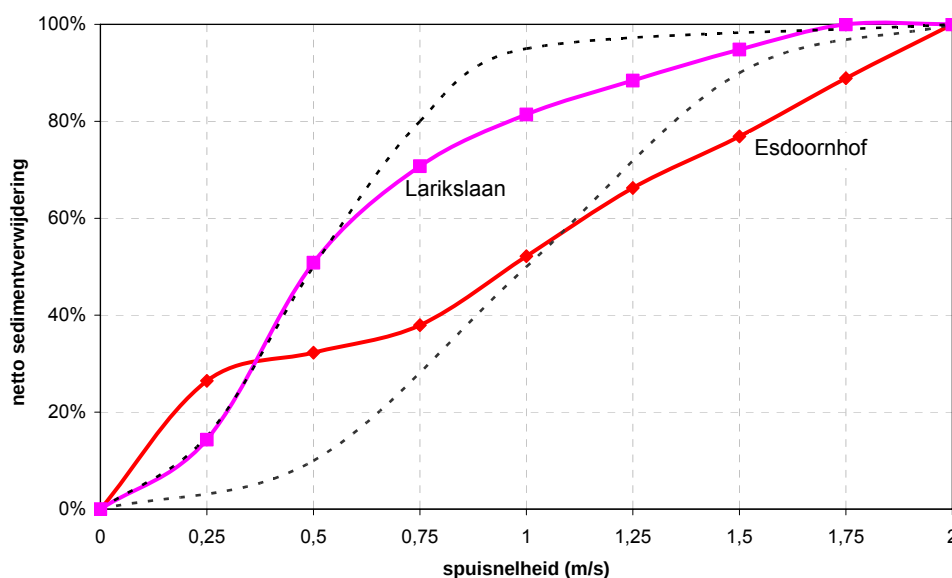
De meet sessie in Oud-Beijerland was bedoeld om de meetmethode te testen. Daarbij was het niet mogelijk om de relaties tussen troebelheid en sediment vast te stellen en is de sedimentverwijdering niet berekend.

Aangezien in Maassluis de meting niet tot 2,0 m/s uitgevoerd is en de relatie tussen troebelheid en sediment zeer afweek van die van Leusden en geen goed lineair verband liet zien is de sedimentverwijdering niet nader geanalyseerd.

8.4.4 Sedimentverwijderingscurve

In figuur 8-9 zijn op basis van het sedimenttransport de SVC van Esdoornhof en Larikslaan opgesteld.

- In figuur 8-9 valt voor de Esdoornhof op dat bij een verhoging van de spuisnelheid de sedimentverwijdering evenredig toeneemt. De steilheid van de lijn suggereert dat ook bij snelheden boven de 2,0 m/s nog sediment verwijderd zal worden. Daarom is het onduidelijk wat in dit geval de beste spuisnelheid is, maar deze is in elk geval niet lager dan 1,5 m/s. Het begin van Esdoornhof loopt in werkelijkheid steiler omdat de Dr. Lange door het meetbereik ging. De totale massa verwijderd sediment in de onderzochte leiding is berekend op 86 gram oftewel 216 mg/m.
- In figuur 8-9 valt voor de Larikslaan op dat bij een spuisnelheid tot 0,5 m/s een grote sedimentverwijdering plaatsvindt waarna de curve afvlakt. De totale massa verwijderd sediment in de onderzochte leiding wordt berekend op 152 gram oftewel 416 mg/m. Bij hogere snelheden wordt nauwelijks nog extra sediment verwijderd, zodat gesteld kan worden dat bij 2 m/s echt 100% is verwijderd. Bij 1,5 m/s is reeds 95% verwijderd. De aanbevolen spuisnelheid van 1,5 m/s blijft dus gelden voor de Larikslaan.



figuur 8-9 Sedimentverwijderingscurves Leusden; de stippellijnen zijn de hypothesen van figuur 2-3.

Een indicatieve berekening toont aan dat gedurende de proef in Maassluis (tot en met een spuisnelheid van 0,72 m/s) totaal 122 mg/m sediment is verwijderd (berekend over de totale lengte van de leiding).

9 Discussie

De eerste meting in Oud-Beijerland is gebruikt om de testmethode te optimaliseren. De laatste meting in Maassluis is gedeeltelijk uitgevoerd. De conclusies van dit rapport zijn derhalve gebaseerd op twee proeven in Leusden. Omdat de twee locaties in Leusden onder veelal dezelfde omstandigheden sediment hebben verzameld (hemelsbreed slechts 300 meter van elkaar verwijderd, gelijke kwaliteit van het inkomende water, hetzelfde aanvoertraject, hetzelfde leidingmateriaal en ongeveer even lang in bedrijf) is het mogelijk om op basis van de resultaten van deze twee proeven voorzichtige conclusies te trekken.

Hoewel de twee meetlocaties in Leusden een gelijke sedimentsamenstelling hadden (en ook de relatie tussen massa en troebelheid vrijwel gelijk was) is op de locatie Larikslaan bijna tweemaal zoveel sediment verwijderd als op de locatie Esdoornhof. De sedimentverwijderingscurve van de Esdoornhof suggereert echter dat bij 2,0 m/s nog niet alle sediment is verwijderd. Het verschil tussen de twee locaties kan wellicht worden verklaard uit de hydraulische omstandigheden. Omdat onbekend is wat de gewoonlijk optredende snelheden in de leiding zijn kan geen uitspraak worden gedaan over de reden voor de verschillende SVC's. Wel is geconstateerd dat bij de Larikslaan een spuisnelheid van 1,5 m/s nodig was om 95% van het sediment te verwijderen en bij de Esdoornhof lijkt 1,5 m/s ook de minimale spuisnelheid om een substantieel deel van het sediment te verwijderen. Daarom wordt de aanbeveling van spuien met 1,5 m/s gehandhaafd.

Een groot deel van het sediment wervelt op bij lage snelheden. Dit gemakkelijk opwervelbaar sediment heeft qua samenstelling van deeltjesgrootte nauwelijks een ander profiel dan het moeilijker opwervelbaar sediment (dat pas bij hogere snelheden wordt opgewerveld). De twee typen sediment verschillen in de snelheid waarbij ze worden opgewerveld, maar de metingen kunnen dit niet verklaren. Wellicht dat het gemakkelijk opwervelbaar sediment er minder lang ligt en minder aan de wand plakt.

Uit de troebelheidsmetingen blijken verschillende mechanismen te kunnen worden afgeleid voor de opwerveling van sediment, namelijk schuifspanning ten gevolge van een verhoging van de stroomsnelheid en schuifspanning ten gevolge van erosie door opgewervelde deeltjes in het water. Over het principe van geleidelijke erosie als mechanisme achter de opwerveling van sediment in drinkwaterleidingen is nog weinig bekend. Enig onderzoek in deze is gedaan in Groot-Brittannië, zie ook [7].

De vorm van de sedimentverwijderingscurve wordt voornamelijk bepaald door de sedimentsamenstelling en de hydraulische omstandigheden. Deze twee factoren worden bepaald door de zuivering, het leidingmateriaal van het aanvoertraject, de normale hydraulische omstandigheden en de historie (hoelang heeft sedimentopbouw plaats gevonden). De metingen in dit onderzoek zijn dan ook niet allesverklarend. Om vast te stellen wat de

invloed is van de vier kenmerken op de vorm van de SVW moeten zeer veel metingen worden gedaan (wel/geen gietijzer in aanvoertraject; verschillende gradaties in deeltjeslast af pompstation; verschillende leeftijden van sediment; verschillende normale stroomsnelheden in de leiding; een statistische verantwoorde steekproefgrootte per situatie). Binnen het BTO is geen ruimte om ca. 200 metingen te doen. Een mogelijkheid is om van de spuitproeven die bij waterleidingbedrijven toch al worden gedaan de resultaten in een database te verzamelen.

Wanneer lokaal veel bruinwaterklachten voorkomen is het mogelijk om met een relatief lage spuisnelheid het gebied te ontdoen van het gemakkelijk opwervelbaar sediment (het type sediment dat bruinwaterklachten veroorzaakt). Met deze lage spuisnelheid wordt het net niet gereinigd, maar wordt het risico op bruin water beperkt.

Tijdens de testen is in totaal de leidinginhoud ca. 13 maal ververst. Dit kan invloed hebben gehad op de resultaten. Bij de proef op de Larikslaan werd geconstateerd dat het SWF bij iedere verhoging van de spuisnelheid een hogere troebelheid vertoonde. In een volgende experiment is het aan te bevelen om de effecten van verversing en verandering van de troebelheid van het SWF nader te bekijken.

De metingen uit voorliggend onderzoek dragen bij aan het totaalbeeld van wat er gebeurt in het leidingnet op het gebied van waterkwaliteit. De gevonden relaties tussen sedimentmassa en troebelheid zullen in een vervolgonderzoek (in het onderzoek Q21 distributie) vergeleken worden met de relaties die op andere meetlocaties zijn gevonden. De ATP-metingen die tijdens dit onderzoek zijn gedaan zullen in een volgend onderzoek worden vergeleken met ATP-metingen op andere meetlocaties.

10 Referenties

- [1] Berlamont, J. (93), "The Characterisation of Cohesive Sediment Properties", *Coastal Engineering*, **21**, 105-128.
- [2] Blokker, E. J. M. en P. G. Schaap (2003). *Pulserend spuien, theorie en praktijk*, Kiwa N.V., Nieuwegein, BTO 2003.050.
- [3] Friedman, M. J., K Martel, A. Hill, D. Holt, S. Simth, T. Ta, C. Sherwin, D. Hildebrand, P. Pommerenk, Z. Hinedi en A. Camper (2003). *Establishing site-specific flushing velocities*, Awwa Research Foundation, Denver, CO, jointly sponsored by AwwaRF and Kiwa N.V.
- [4] Grefte, A. (2005). *Behaviour of particles in a network; test rig results*, Delft University of Technology, Delft, Master of Science thesis.
- [5] Kivit, C. F. T (2004). *Origin and behavior of particles in drinking water networks*, Kiwa N.V., Nieuwegein, M.Sc. Thesis report.
- [6] Vreeburg, J. H. G., C. F. T Kivit, J. C. van Dijk en J. Verberk (2005), "Herkomst en gedrag van deeltjes in drinkwaterleidingnetten", *H2O*, (2005-7), 43-46.
- [7] Vreeburg, J. H. G. and J.B. Boxall (TBP), "Discolouration in potable water distribution systems: a review", *Water Science and Technology* (TBP).

I Resultaten Oud-Beijerland

Volledig monsterschema Oud-Beijerland

tijd	tijd	interval	activiteit	v	Q	Q
hh:mm:ss s	mm:ss	mm:ss		m/s	m ³ /h	l/s
13:53:00	00:00	00:00	start	0,25	7,79	2,16
14:02:28	09:28	09:28	sample 1	0,25	7,79	2,16
14:11:56	18:56	09:28	verander snelheid;	0,50	15,59	4,33
14:16:40	23:40	04:44	sample 2	0,50	15,59	4,33
14:21:24	28:24	04:44	verander snelheid;	0,75	23,38	6,49
14:24:33	31:33	03:10	sample 3	0,75	23,38	6,49
14:27:43	34:43	03:09	verander snelheid;	1,00	31,17	8,66
14:30:05	37:05	02:22	sample 4	1,00	31,17	8,66
14:32:27	39:27	02:22	verander snelheid;	1,25	38,97	10,82
14:34:20	41:21	01:54	sample 5	1,25	38,97	10,82
14:36:14	43:14	01:54	verander snelheid;	1,50	46,76	12,99
14:37:49	44:49	01:35	sample 6	1,50	46,76	12,99
14:39:24	46:24	01:35	verander snelheid;	1,75	54,55	15,15
14:40:45	47:45	01:21	sample 7	1,75	54,55	15,15
14:42:06	49:06	01:21	verander snelheid;	2,00	62,34	17,32
14:43:17	50:17	01:11	sample 8	2,00	62,34	17,32
14:44:28	51:28	01:11	klaar	2,00	62,34	17,32

Analyseresultaten

Monster	Snelheid *	IJzer-concentratie	ATP-concentratie	Gesuspendeerde-stofconcentratie
	m/s	mg Fe/l	ng/l	mg/l
1	0.25	< 0,10	13.89	1.1
2	0.5	< 0,10	23.79	1.3
3	0.75	< 0,10	18.21	1.5
4	1	< 0,10	18.95	1.5
5	1.25	< 0,10	19.26	1.6
6	1.5	< 0,10	16.42	2.1
7	1.75	0.15	14.11	2.3
8	2	< 0,10	10.74	6.5

* De monsters zijn tegelijkertijd genomen, vlak na verhoging van de spuisnelheid

De ATP-concentratie ligt rond de 19 ng/l en vertoont geen duidelijk patroon. De vrij constante ATP-concentratie wijst op een gelijkmate spreiding van de ATP over gemakkelijk en minder gemakkelijk opwervelbaar sediment.

II Resultaten Esdoornhof

Monsterschema Esdoornhof

Monsterschema			Metingen Leusden			
tijdstip	type	m/s	monsternaam	m3/h	werkelijke tijd	opmerkingen
0:00:00	ATP		AO			
0:00:00	Fe +Mn		Fe +Mn0			
0:00:00	GS		GS0			
0:00:00	v =	0,25	Q =	7,07	10:45:00	
0:01:00	Fe +Mn		Fe +Mn1		10:46:00	
	GS		GS1			
0:02:00	ATP		A1		10:47:00	
0:04:00	ATP		A2		10:49:00	
0:06:00	ATP		A3		10:51:00	
0:08:00	ATP		A4		10:53:00	
0:10:00	ATP		A5		10:55:00	
0:12:00	ATP		A6		10:57:00	
0:13:00	Fe +Mn		Fe +Mn2		10:58:00	
	GS		GS2			
0:14:00	ATP		A7		10:59:00	
0:16:00	ATP		A8		11:01:00	
0:18:00	ATP		A9		11:03:00	
0:20:00	ATP		A10		11:05:00	
0:22:00	ATP		A11		11:07:00	
0:24:00	ATP		A12		11:09:00	
0:26:00	ATP		A13		11:11:00	
0:28:00	ATP		A14		11:13:00	
0:30:00	ATP		A15		11:15:00	
0:32:00	ATP		A16		11:17:00	
0:34:00	ATP		A17		11:19:00	
0:36:00	ATP		A18		11:21:00	
0:38:00	ATP		A19		11:23:00	
0:40:00	v =	0,50	Q =	14,1	11:25:00	
0:41:00	Fe +Mn		Fe +Mn3		11:26:00	
	GS		GS3			
0:42:00	ATP		A20		11:27:00	
0:44:00	ATP		A21		11:29:00	
0:46:00	ATP		A22		11:31:00	
0:47:00	Fe +Mn		Fe +Mn4		11:32:00	
	GS		GS4			
0:48:00	ATP		A23		11:33:00	
0:50:00	ATP		A24		11:35:00	
0:52:00	ATP		A25		11:37:00	
0:54:00	ATP		A26		11:39:00	
0:56:00	ATP		A27		11:41:00	
0:58:00	ATP		A28		11:43:00	
1:00:00	v =	0,75	Q =	21,2	11:45:00	
1:01:00	Fe +Mn		Fe +Mn5		11:46:00	
	GS		GS5			
1:02:00	ATP		A29		11:47:00	
1:04:00	ATP		A30		11:49:00	
1:04:30	Fe +Mn		Fe +Mn6		11:49:30	
	GS		GS6			
1:06:00	ATP		A31		11:51:00	
1:08:00	ATP		A32		11:53:00	
1:10:00	ATP		A33		11:55:00	
1:12:00	ATP		A34		11:57:00	
1:14:00	ATP		A35		11:59:00	
1:16:00	ATP		A36		12:01:00	
1:18:00	v =	1,00	Q =	28,3	12:03:00	
1:19:00	Fe +Mn		Fe +Mn7		12:04:00	
	GS		GS7			
1:20:00	ATP		A37		12:05:00	
1:21:00	Fe +Mn		Fe +Mn8		12:06:00	
	GS		GS8			
1:22:00	ATP		A38		12:07:00	
1:24:00	ATP		A38b		12:09:00	
1:26:00	ATP		A39		12:11:00	

1:28:00	ATP		A40		12:13:00	
1:30:00	ATP		A41		12:15:00	
1:31:00	v	1,25	Q =	35,3	12:16:00	
1:32:00	ATP		A42		12:17:00	
	Fe +Mn		Fe +Mn9			
	GS		GS9			
1:33:00	ATP		A43		12:18:00	
1:33:30	Fe +Mn		Fe +Mn10		12:18:30	
	GS		GS10			
1:34:00	ATP		A44		12:19:00	
1:35:00	ATP		A45		12:20:00	
1:36:00	ATP		A46		12:21:00	
1:37:00	ATP		A47		12:22:00	
1:38:00	ATP		A48		12:23:00	
1:39:00	ATP		A49		12:24:00	
1:40:00	ATP		A50		12:25:00	
1:41:00	ATP		A51		12:26:00	
1:42:00	ATP		A51a		12:27:00	Extra
1:43:00	ATP		A51b		12:28:00	Extra
1:44:00	ATP		A51c		12:29:00	Extra
1:45:00	ATP		A51d		12:30:00	Extra
1:46:00	v	1,50	Q =	42,4	12:31:00	
1:47:00	ATP		A52		12:32:00	
	Fe +Mn		Fe +Mn11			
	GS		GS11			
1:48:00	ATP		A52b		12:33:00	
	Fe +Mn		Fe +Mn12			
	GS		GS12			
1:49:00	ATP		A53		12:34:00	
1:50:00	ATP		A54		12:35:00	
1:51:00	ATP		A55		12:36:00	
1:52:00	ATP		A56		12:37:00	
1:53:00	ATP		A57		12:38:00	
1:54:00	ATP		A58		12:39:00	
1:55:00	ATP		A59		12:40:00	
1:56:00	v =	1,75	Q =	49,5	12:41:00	
1:57:00	ATP		A60		12:42:00	
	Fe +Mn		Fe +Mn13			
	GS		GS13			
1:58:00	ATP		A61		12:43:00	
	Fe +Mn		Fe +Mn14			
	GS		GS14			
1:59:00	ATP		A62		12:44:00	
2:00:00	ATP		A63		12:45:00	
2:01:00	ATP		A64		12:46:00	
2:02:00	ATP		A65		12:47:00	
2:03:00	ATP		A66		12:48:00	
2:04:00	v =	2,00	Q =	56,5	12:49:00	
2:05:00	ATP		A67		12:50:00	
	Fe +Mn		Fe +Mn15			
	GS		GS15			
2:06:00	ATP		A68		12:51:00	
	Fe +Mn		Fe +Mn16			
	GS		GS16			
2:07:00	ATP		A69		12:52:00	
2:08:00	ATP		A70		12:53:00	
2:09:00	ATP		A71		12:54:00	
2:10:00	ATP		A72		12:55:00	
2:11:00	ATP		A73		12:56:00	
			A73a		12:57:00	Extra
			A73b		12:58:00	Extra
			A73c		12:59:00	Extra
			A73d		13:00:00	Extra
2:30:00	ATP		A74		13:05:00	
(NA AFLOOP)	Fe +Mn		Fe +Mn17			
	GS		GS17			

Analyseresultaten meetlocatie Esdoornhof

Snelheid	Troebelheid*	IJzer-concentratie	Mn-concentratie	Gesuspendeerde stoffen
m/s	FTU	mg Fe/l	µg Mn/l	mg/l
0.25	87.00	10		41
	3.60	0.71	445	2
0.50	4.80	0.22	43	2.4
	2.00	0.15	70	<1
0.75	3.50	0.1	44	1.4
	3.10	0.1	45	1.3
1.00	3.70	0.27	100	1.5
	6.40	0.2	105	3.1
1.25	4.80	0.1	1	2.7
	8.50	0.13	38	3.8
1.50	4.90	0.1	1	2.7
	3.50	0.1	20	2
1.75	3.60	0.1	1	2.3
	4.10	0.1	14	3.2
2.00	3.80	0.28	97	3.1
	4.90	0.19	83	3.5
	1.52	0.1	1	1.3

* Troebelheid bepaald op basis van laboratorium

Resultaten ATP-analyses

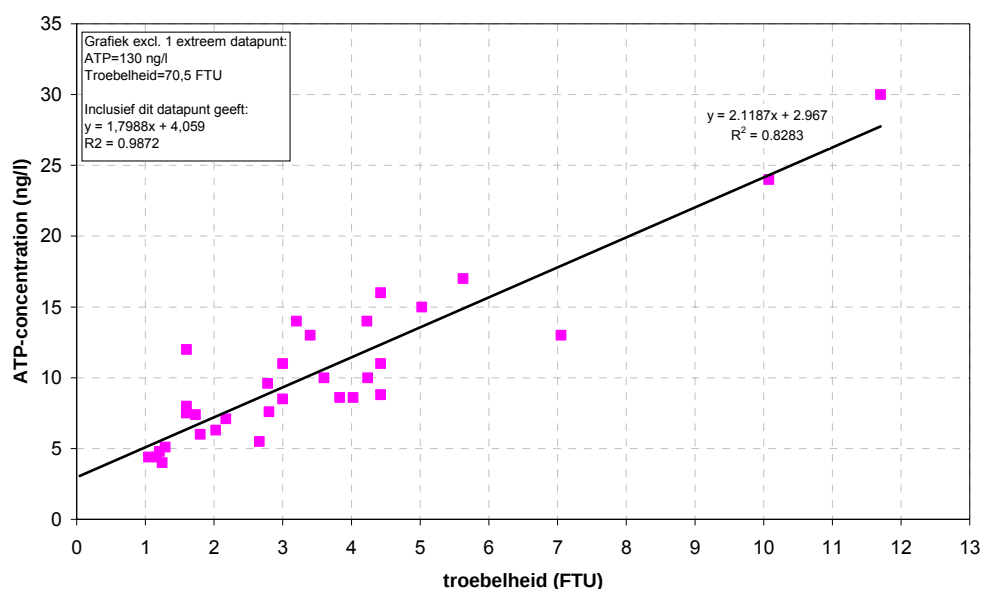
	Snelheid	Troebelheid*	ATP-concentratie
	m/s	FTU	ng/l
aanboring			13
klant			26
11:05:00	0.25	1.165	4.4
11:07:00		1.29	5.1
11:09:00		1.045	4.4
11:23:00		1.245	4.0
11:27:00	0.50	3.83	8.6
11:35:00		2.17	7.1
11:43:00		1.205	4.8
11:47:00	0.75	2.66	5.5
11:53:00		2.78	9.6
12:01:00		1.73	7.4
12:05:00	1.00	4.235	10.0
12:09:00		10.075	24.0
12:15:00		4.025	8.6
12:17:00	1.25	4.425	8.8
12:19:00		7.05	13.0
12:21:00		11.7	30.0
12:30:00	1.50	3	11.0
12:32:00		3	8.5
12:34:00		5.025	15.0
12:40:00	1.75	3.6	10.0
12:42:00		3.4	13.0
12:43:00		4.225	14.0
12:48:00	2.00	4.425	11.0
12:48:00		4.425	16.0
12:50:00		3.2	14.0
12:52:00		5.625	17.0
12:56:00		2.8	7.6
12:58:00		2.025	6.3
13:00:00		1.8	6.0
13:05:00		1.6	7.5
13:05:00		1.6	8.0
13:05:00		1.6	12.0
klant			8.0

* Troebelheid bepaald op basis van veldmetingen

Voorafgaande, tijdens en na de proef zijn monsters genomen voor de bepaling van de ATP-concentratie. Tijdens het spuien is bij een lage troebelheid de ATP-concentratie ongeveer 3 ng/l. De monsters genomen net voor het spuien hebben echter een ATP-concentratie van 13 en 26 ng/l.

- Het verschil ontstaat mogelijk door een verschil in volumestroom tijdens de monsternam. Wanneer een monster wordt genomen via een aanboring in combinatie met een lage volumestroom zal het monster voornamelijk langs de leidingwand worden onttrokken. Biofilm op de leidingwand kan de ATP-concentratie in het monster verhogen. Bij een aanboring plus een hoge volumestroom is een groter deel van het water afkomstig uit het midden van de leiding waar de invloed van de biofilm kleiner is. Het onttrekken van een monster bij een klant kan worden vergeleken met een onttrekking via een aanboring en een hoge snelheid. De monsters kunnen dan eigenlijk niet goed met elkaar worden vergeleken omdat de monsters op verschillende wijze zijn verkregen.
- Een andere mogelijke verklaring is dat in de aansluit- en binnenleiding van de klant ATP-afgifte heeft plaatsgevonden.

In onderstaande figuur is de relatie tussen troebelheid en ATP uitgezet. Er blijkt een lineaire relatie te bestaan.



ATP-concentratie als functie van de troebelheid met een lineaire trendlijn voor meetlocatie Esdoornhof te Leusden.

III Resultaten Larikslaan

Monsterschema Larikslaan

Monsterschema			Metingen Leusden		12-8-2004	
tijdstip	type	m/s	monsternaam	m3/h	werkelijke tijd	opmerkingen
0:00:00	Fe +Mn		Fe +Mn18		14:00:00	
0:00:00	GS		GS18		14:00:00	
0:00:00	v =	0,25	Q =	7,07	14:33:00	
0:01:00	Fe +Mn		Fe +Mn19		14:33:00	
	GS		GS19		14:33:00	
0:12:00	Fe +Mn		Fe +Mn20		14:45:00	
	GS		GS20		14:45:00	
0:37:00	v =	0,50	Q =	14,14	15:10:00	
0:38:00	Fe +Mn		Fe +Mn21		15:11:00	
	GS		GS21		15:11:00	
0:43:00	Fe +Mn		Fe +Mn22		15:16:00	
	GS		GS22		15:16:00	
0:55:00	v =	0,75	Q =	21,21	15:28:00	
0:56:00	Fe +Mn		Fe +Mn23		15:29:00	
	GS		GS23		15:29:00	
0:59:00	Fe +Mn		Fe +Mn24		15:32:00	
	GS		GS24		15:32:00	
1:11:00	v =	1,00	Q =	28,27	15:44:00	
1:12:00	Fe +Mn		Fe +Mn25		15:45:00	
	GS		GS25		15:45:00	
1:14:00	Fe +Mn		Fe +Mn26		15:47:00	
	GS		GS26		15:47:00	
1:30:00	v	1,25	Q =	35,34	16:03:00	
1:31:00	Fe +Mn		Fe +Mn27		16:04:00	
	GS		GS27		16:04:00	
1:32:30	Fe +Mn		Fe +Mn28		16:05:30	
	GS		GS28		16:05:30	
1:40:00	v	1,50	Q =	42,41	16:13:00	
1:41:00	Fe +Mn		Fe +Mn29		16:14:00	
	GS		GS29		16:14:00	
1:42:00	Fe +Mn		Fe +Mn30		16:15:00	
	GS		GS30		16:15:00	
1:48:00	v =	1,75	Q =	49,48	16:21:00	
1:49:00	Fe +Mn		Fe +Mn31		16:22:00	
	GS		GS31		16:22:00	
1:49:30	Fe +Mn		Fe +Mn32		16:22:30	
	GS		GS32		16:22:30	
1:55:00	v =	2,00	Q =	56,55	16:28:00	
1:56:00	Fe +Mn		Fe +Mn33		16:29:00	
	GS		GS33		16:29:00	
1:56:30	Fe +Mn		Fe +Mn34		16:29:30	
	GS		GS34		16:29:30	
2:01:00	KLAAR				16:34:00	
2:30:00 (NA AFLOOP)	Fe +Mn		Fe +Mn35			
	GS		GS35			

Analyseresultaten

Snelheid	Troebelheid*	IJzer-concentratie	Mangaan-concentratie	Gesuspendeerde stoffen
m/s	FTU	mg Fe/l	µg Mn/l	mg/l
0.25	12.8	0.1	1.9	6
	21	0.86	720	10
0.50	46	4		20
	21	2.4		10
0.75	13.3	0.62	340	5.6
	21	1.5	930	9
1.00	11.8	0.29	205	5.6
	17.4	0.91	595	8
1.25	11	0.1	79	7.4
	7.4	0.1	44	3.8
1.50	9.2	0.17	150	5.1
	8.1	0.17	135	4.7
1.75	7.2	0.14	115	4.6
	6.1	0.28	125	4
2.00	4.8	0.25	155	4.8
	4.6	0.1	30	4.6
	3.7	0.1	42	3.7

* Troebelheid bepaald op basis van veldmetingen op het moment van monsternamen

IV Resultaten Maassluis

Volledige monsterschema metingen locatie Maassluis

Monsterschema@334m															
tijdstip		type	m/s	monsternaam	m3/h	werkelijke tijd	opmerkingen	tijdstip		type	m/s	monsternaam	m3/h	werkelijke tijd	opmerkingen
2x ATP-monsters nemen bij het SWF front (ATP X1/X2)								1:04:00		v =	1,00	Q =	29,4	2x verversen	
2x grote volume monsters nemen bij het SWF front (GS X1/X2)								1:05:00		Fe		Fe10			
vooraf		ATP		ATP B1/B2/B3						GS		GS10			
		Fe		Fe B1/B2/B3						ATP		A30			
		GS		GS B1/B2/B3						ATP		A31			
0:00:00		v =	0,25	Q =	7,4	1,5x verversen		1:10:00		ATP		A32			
0:01:00		Fe		Fe1				1:11:00		Fe		Fe11			
		GS		GS1						GS		GS11			
0:01:00		ATP		ATPX3				1:12:00		ATP		A33			
0:01:00		GS		GSX3			SWF!								
0:02:00		ATP		A1				1:14:00		ATP		A34			
0:04:00		ATP		A2				1:15:00		Fe		Fe12			
0:06:00		ATP		A3						GS		GS12			
0:08:00		ATP		A4				1:16:00		v	1,25	Q =	36,8	2x verversen	
0:10:00		ATP		A5				1:17:00		Fe		Fe13			
0:12:00		ATP		A6						GS		GS13			
0:14:00		ATP		A7				1:17:00		ATP		ATPX5			SWF!
								1:17:00		GS		GSX4			SWF! 5L!
0:16:00		ATP		A8				1:18:00		ATP		A35			
0:18:00		ATP		A9				1:20:00		ATP		A36			
0:20:00		ATP		A10				1:21:00		Fe		Fe14			
0:22:00		ATP		A11						GS		GS14			
0:23:00		Fe		Fe2				1:22:00		ATP		A37			
		GS		GS2				1:22:30		ATP		A38			
0:24:00		ATP		A12				1:23:00		Fe		Fe15			
0:26:00		ATP		A13						GS		GS15			
0:28:00		ATP		A14				1:24:00		v	1,50	Q =	44,1	2x verversen	
0:30:00		ATP		A15				1:25:00		Fe		Fe16			
0:32:00		ATP		A16						GS		GS16			
0:33:00		Fe		Fe3				1:26:00		ATP		A39			
		GS		GS3				1:28:00		ATP		A40			
0:34:00		v =	0,50	Q =	14,7	1,5x verversen		1:29:00		Fe		Fe17			
0:35:00		Fe		Fe4						GS		GS17			
		GS		GS4				1:30:00		ATP		A41			
0:36:00		ATP		A17				1:30:30		ATP		A42			
0:38:00		ATP		A18				1:31:00		Fe		Fe18			
0:40:00		ATP		A19						GS		GS18			
0:42:00		ATP		A20				1:32:00		v =	1,75	Q =	51,5	2x verversen	
0:44:00		ATP		A21				1:33:00		Fe		Fe19			
0:45:00		Fe		Fe5						GS		GS19			
		GS		GS5				1:33:00		ATP		ATPX6			SWF!
0:46:00		ATP		A22				1:34:00		ATP		A43			
0:48:00		ATP		A23				1:34:30		ATP		A44			
0:49:00		Fe		Fe6				1:35:00		Fe		Fe20			
		GS		GS6						GS		GS20			
0:50:00		v =	0,75	Q =	22,1	2x verversen		1:36:00		ATP		A45			
0:51:00		Fe		Fe7				1:36:30		ATP		A46			
		GS		GS7				1:37:00		Fe		Fe21			
0:51:00		ATP		ATPX4						GS		GS21			
0:52:00		ATP		A24				1:38:00		v =	2,00	Q =	58,8	2x verversen	
0:54:00		ATP		A25				1:39:00		Fe		Fe22			
0:56:00		ATP		A26						GS		GS22			
0:57:00		Fe		Fe8				1:40:00		ATP		A47			
		GS		GS8				1:40:30		ATP		A48			
0:58:00		ATP		A27				1:41:00		Fe		Fe23			
1:00:00		ATP		A28						GS		GS23			
1:02:00		ATP		A29				1:42:00		ATP		A49			
1:03:00		Fe		Fe9				1:42:30		ATP		A50			
		GS		GS9				1:43:00		Fe		Fe24			
										GS		GS24			
achteraf		ATP		ATP E1/E2/E3											
		Fe		Fe E1/E2/E3											
		GS		GS E1/E2/E3											
2x ATP-monsters nemen bij het SWF front (ATP X7/X8)								1xspui 2xhuis!							
2x grote volume monsters nemen bij het SWF front (GS X5/X6)															

Nadere toelichting drukval meetlocatie Maassluis

Om de oorzaak van de lage maximale spuisnelheid te bepalen is de afname van de druk in de leiding tijdens een verandering van de stroomsnelheid geanalyseerd. Hieruit blijkt dat afname van de druk in de leiding veel hoger is dan op basis van berekeningen verwacht mag worden.

Drukvalanalyse voor verschillende snelheidsveranderingen

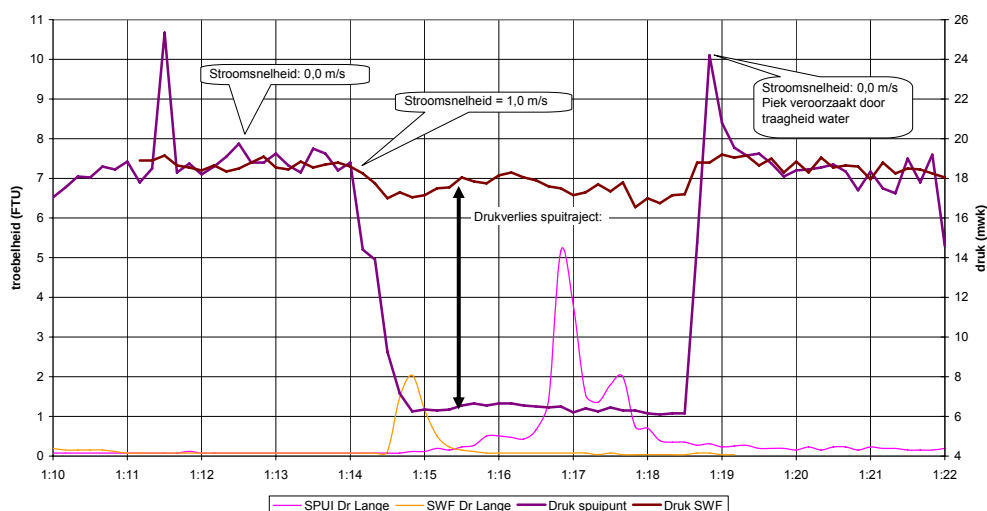
Originele stroomsnelheid (m/s)	Nieuwe stroomsnelheid (m/s)	Berekende afname druk (mwk)	Gemeten afname druk (mwk)
0,0	0,25	0,3	2,5
0,25	0,5	0,7	3,7
0,5	0,72*	0,9	3,2
0,0	0,92*	3,0	12,0

* De gewenste stroomsnelheid van respectievelijk 0,75 en 1,0 m/s is in deze gevallen niet bereikt

Bij een snelheid vanaf 0,25 m/s is de gemeten drukafname is ongeveer 3 tot 4 maal de berekende drukval. Dit grote verlies komt overeen met het drukverlies dat de gehele leiding zou hebben bij een binnendiameter van 77 mm (in plaats van 102 mm). De resultaten van de troebelheidsmetingen doen vermoeden dat het drukverlies op één locatie wordt veroorzaakt, mogelijk veroorzaakt door:

- Een niet op de kaart aanwezige afsluiter die bijna geheel dicht staat (meer dan 90%);
- Een vernauwing van de leiding, bijvoorbeeld over een lengte van 1 meter waarbij de diameter slechts 26 mm bedraagt.

De drukval tijdens het spuien met een spuisnelheid van 1,0 m/s is weergegeven in onderstaande figuur. Hierin is te zien dat het drukverschil tussen het SWF en spuipunt 11 mwk bedraagt. Van de gemeten drukafname op het spuipunt kan 1 mwk worden verklaard door een afname van de druk op het SWF. Aangezien het SWF slechts enkele meters van de transportleiding verwijderd is kan de 1 mwk drukafname alleen in de transportleiding worden veroorzaakt. Dit is opmerkelijk, want onder deze omstandigheden¹ is een voortraject van 9 km noodzakelijk om een dergelijk drukval te veroorzaken.



¹ Initiële stroomsnelheid 0,1 m/s, binnendiameter 568 mm (aanvoerleiding 100 meter verderop) en wandruwheid 0,2 mm (AC)

Drukanalyse bij een spuisnelheid van 1,0 m/s

De analyse van de drukmetingen leidt tot de conclusie dat een **obstructie in het spuittraject** de weerstand in de leiding vergroot tot 3 tot 4 maal de verwachte waarde. Indien de drukafname verloopt zoals berekend zou een maximale spuisnelheid van 2,0 m/s gemakkelijk mogelijk zijn geweest.

Analyseresultaten van de monsters

	Snelheid	Troebelheid*	IJzer-concentratie	Gesuspendeerde stoffen
	m/s	FTU	mg Fe/l	mg/l
spuipunt	huisaansluiting		3,0	
	vooraf	9.5	<0,1	10
	vooraf		0.77	
	vooraf			
	0.25	32.00	8.2	58
		6.50	0.1	28
		0.18	0.11	2.1
	0.50	0.88	0.69	19
		0.48	<0,1	32
		0.57	<0,1	7.1
	0.75	0.22	<0,1	5.2
		0.33	<0,1	14
		0.20	<0,1	5.85
	achteraf		<0,1	
SWF	vooraf	0.10	<0,1	0.11
	vooraf	0.22		0.28
	0.25	0.20		0.17

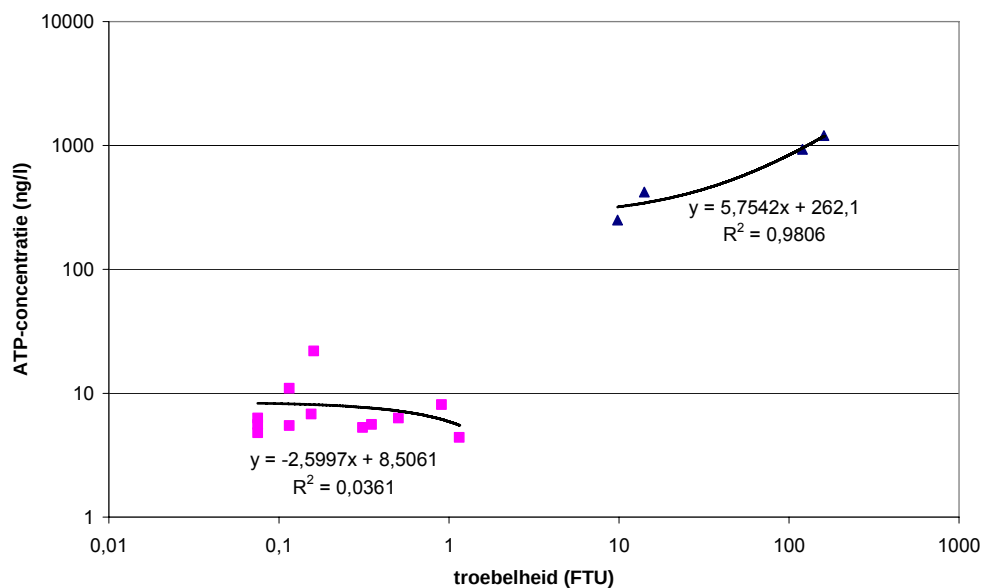
* Troebelheid bepaald op basis van veldmetingen op het moment van monsternamen
Troebelheid voor- en achteraf slechts indicatief

Resultaten ATP-analyses (apart weergegeven omdat het moment van monstername en het aantal niet overeen komt met de andere parameters)

Snelheid	Troebelheid*	ATP-concentratie
m/s	FTU	µg ATP/l
vooraf	0.16	22
vooraf	0.16	5.6
vooraf	0.16	21
0.25	14.1	420
	9.8	250
	120.0	930
	160.5	1200
	0.1	5.5
	0.1	6.3
0.50	1.2	4.4
	0.5	6.3
	0.9	8.1
	0.2	6.8
	0.1	5.6
0.75	0.4	5.6
	0.3	5.3
	0.1	4.8
achteraf	0.16	5.4
achteraf	0.16	3.7

* Troebelheid bepaald op basis van veldmetingen op het moment van monstername
Troebelheid voor- en achteraf slechts indicatief

De monsters kunnen op basis van de ATP-concentratie worden ingedeeld in twee categorieën: 1) 0-25 ng/l (tot 1 FTU) en 2) groter dan 100 ng/l (vanaf 10 FTU). Voor de eerste categorie is geen relatie gevonden tussen de troebelheid en de ATP-concentratie. Voor de tweede categorie is een lineaire relatie gevonden tussen de troebelheid en de ATP-concentratie, maar de betrouwbaarheid van deze relatie is beperkt door het kleine aantal monsters (zie onderstaande figuur).



Relatie tussen ATP-concentratie en troebelheid (schalen zijn logaritmisch)