

Optimalisatie van de sturing van pompstations

Case studie: snelfiltratie pompstation Loosdrecht

April 2002

R. Keijser



Eindrapport

DEFINITIEF

Optimalisatie van de sturing van Pompstations

Case studie: snelfiltratie pompstation Loosdrecht

Student:
R. Keijser

Hoogleraar:
Prof. ir. J.C. van Dijk

Afstudeercommissie:
Prof. dr. R. Babuska (TUDelft)
Ir. A.W.C. van der Helm (DHV)
H. Leysen (Hydron)
Ir. L.C. Rietveld (TUDelft)

VOORWOORD

Dit rapport is het verslag van mijn afstudeeronderzoek, het laatste onderdeel binnen de studie Civiele Techniek. Het bevat conclusies en aanbevelingen waarmee, naar ik hoop, de drinkwatervoorziening in het algemeen en pompstation Loosdrecht in het bijzonder zich verder kunnen ontwikkelen.

Zaken die ik persoonlijk geleerd heb blijven echter onderbelicht. Ik heb bijvoorbeeld ervaren hoe een onderzoek wel (en beter niet) moet worden opgezet. Ik heb het verschil kunnen zien tussen drinkwaterproductie in theorie en praktijk. Verder is het mij veel duidelijker geworden wat ik leuk en wat ik minder leuk vind binnen de techniek.

Het onderzoek is een poging om de in computermodellen gevatte theorie te gebruiken voor de optimalisatie van het beheer van de drinkwaterproductie. Mogelijkheden daartoe blijken er voldoende.

Gedurende mijn afstudeeronderzoek ben ik veel mensen tegengekomen die mij op verschillende manieren de goede weg wisten te wijzen. Ik wil deze mensen hiervoor graag bedanken. Allereerst de leden van de examencommissie: prof. Ir. J.C. van Dijk, ir. L.C. Rietveld (TUDelft). Ir. A.W.C. van der Helm (DHV) en H. Leysen (Hydron). Verder wil ik graag noemen Simon en Hylke (Hydron) voor de steun bij het opzetten van de metingen en Kim (DHV) voor de hulp bij de OPIR-optimalisatie.

Tot slot wil ik graag familie en vrienden bedanken, die in de afgelopen jaren achter me bleven staan en aanzitten.

Delft, maart 2002

Remco Keijser

SAMENVATTING

Door wijzigingen in de inrichting van de drinkwatersector en veranderde eisen van de consument is de wens ontstaan de drinkwaterproductie verder te optimaliseren. Anderzijds zijn onder invloed van de ontwikkelingen van de computer, modellen ontwikkeld die de verschillende facetten van de productie beter beschrijven. Gebruik van deze modellen in de sturing van de productie is één van de mogelijkheden om optimalisatie te realiseren.

Ten aanzien van de hoeveelheid water (kwantiteit) zijn dergelijke modellen inmiddels met succes opgenomen in de sturing van de productie. Zo wordt de werkelijke productie bepaald op basis van een gemodelleerde voorspelling van de vraag.

Inmiddels zijn voor de beschrijving van het waterkwaliteitsverloop in de verschillende zuiveringsstappen modellen aanwezig of in ontwikkeling. Deze modellen geven een beter inzicht in de werking van de installatie. Gebruik hiervan in de sturing (als *Model Predictive Control*) kan leiden tot kwalitatief beter drinkwater en minimalisatie van de kosten. Daarnaast ontstaat door middel van continue monitoring een betere informatievoorziening met betrekking tot de noodzaak van onderhoud.

Invoering van een dergelijke Model Predictive Control houdt een ingrijpende wijziging in de bedrijfsvoering in. In dit onderzoek zijn de mogelijkheden voor optimalisatie van de snelfiltratie van pompstation [PS] Loosdrecht beschreven. Daartoe zijn in het pompstation metingen verricht om de zuiveringsprestaties en de variaties daarin in kaart te brengen en is het programma “Stimela” gebruikt om het gevonden gedrag te simuleren. Aan de hand hiervan worden de mogelijkheden tot verbetering en de beperkingen nader uitgewerkt.

PS Loosdrecht zuivert grondwater door middel van achtereenvolgens versproeiing, droogfiltratie, torenbeluchting, vlokmiddeldosering en natfiltratie. Hoge ijzergehalten in het rein water en een daarbij behorende hoge vuillast worden als de belangrijkste problemen van deze zuivering gezien.

Het onderzoek naar de mogelijkheden van sturing c.q. verbeteringen op basis van modellering richt zich voornamelijk op de natfiltratie. De ijzerverwijdering in de natfilters is laag (ongeveer 50 %), zodat er relatief veel ruimte is voor verbeteringen. Een betere ijzerverwijdering betekent een lage belasting van het drinkwaterleidingnet, wat een aanzienlijke reductie in de spuikosten kan geven. Uit de in de installatie verrichte metingen blijkt een variatie van de effluentkwaliteit met de filtratiesnelheid en met de looptijd. De zuivering verloopt over het algemeen beter bij lagere snelheden. In de eerste uren van een nieuwe looptijd verbetert de zuivering enigszins, waarna de zuivering voor een bepaalde tijd min of meer constant verloopt. Door een verslechterende effluentkwaliteit aan het eind van de looptijd is men genooddaakt het filter terug te spoelen.

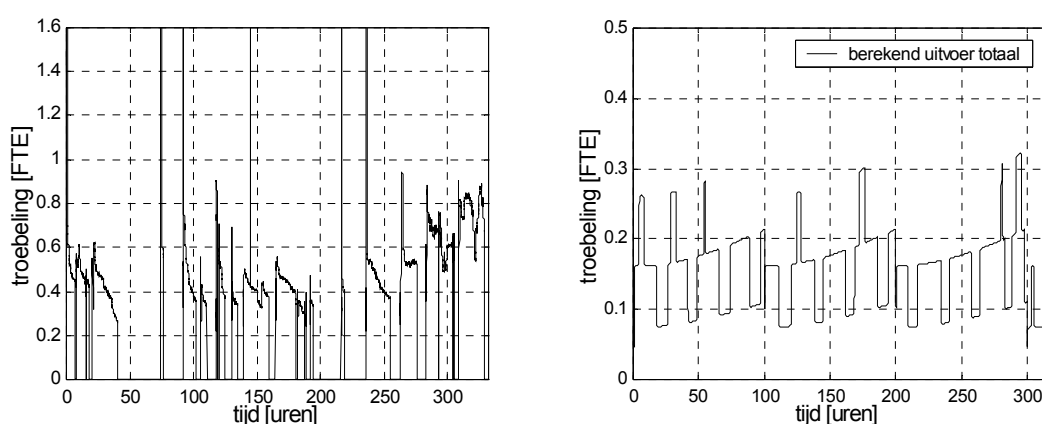
In het stimela-model wordt het verloop van de effluentkwaliteit is in kaart gebracht met behulp van de benadering van Ives:

$\frac{\partial c}{\partial t} = -v_p \cdot \frac{\partial c}{\partial y} - v_p \cdot \lambda \cdot c$	c	: concentratie zwevende stof [g/m ³]
	v	: filtratiesnelheid [m/s]
	v _p	: poriesnelheid [m/s]
	y	: diepte van het filterbed [m]
$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = -v \cdot \frac{\partial \sigma}{\partial y}$	λ	: filtratiecoëfficiënt [m ⁻¹]
	λ _o	: schoonbedfiltratiecoëfficiënt (=n ₃ / v _p) [m ⁻¹]
	n ₁ , n ₂	: constanten
$\lambda = \lambda_o \cdot (1 + n_1 \cdot \sigma_v - n_2 \cdot \frac{\sigma_v^2}{p_0 - \sigma_v}) (Ives)$	σ	: porievervuiling [g/m ³]
	σ _v	: volumeconcentratie in de poriën [m ³ /m ³]
	p _o	: de initiële porositeit [%]

De hoeveelheid zwevende stof die op een bepaalde plaats (in het filter) en op een bepaald moment wordt afgevangen is afhankelijk van de filtratiecoëfficiënt, de concentratie zwevende stof en de poriesnelheid. De filtratiecoëfficiënt is mede afhankelijk van de porievervuiling. Met behulp van de gemeten zuiveringsresultaten werden de calibratieparameters λ_o , n_1 en n_2 van het model bepaald.

In de huidige bedrijfsvoering volgt de productie van het pompstation grotendeels de vraag. Verder staan, afhankelijk van de productie nul, één, twee of drie filters aan, zodat ook regelmatig filters volledig uitgeschakeld zijn.

Met behulp van het gecalibreerde model kan worden aangetoond dat een verdeling van de productie over de drie aanwezige filters en een afvlakking van de totale productie tot verbeteringen zal leiden. Hierbij wordt mede gebruik gemaakt van het bestaande model OPIR voor modellering van de kwantiteit. Door deze maatregelen zullen de filtratiesnelheden in het filter minder variëren. De totale vracht zal daarbij lager zijn en de troebelheid zal, in tegenstelling tot de situatie in de huidige productie, ook tijdens pieken onder de norm [VEWIN 0,4 FTE] blijven. (Zie figuur 1). De verwijdering verbetert van 82 % nu naar 95 %.



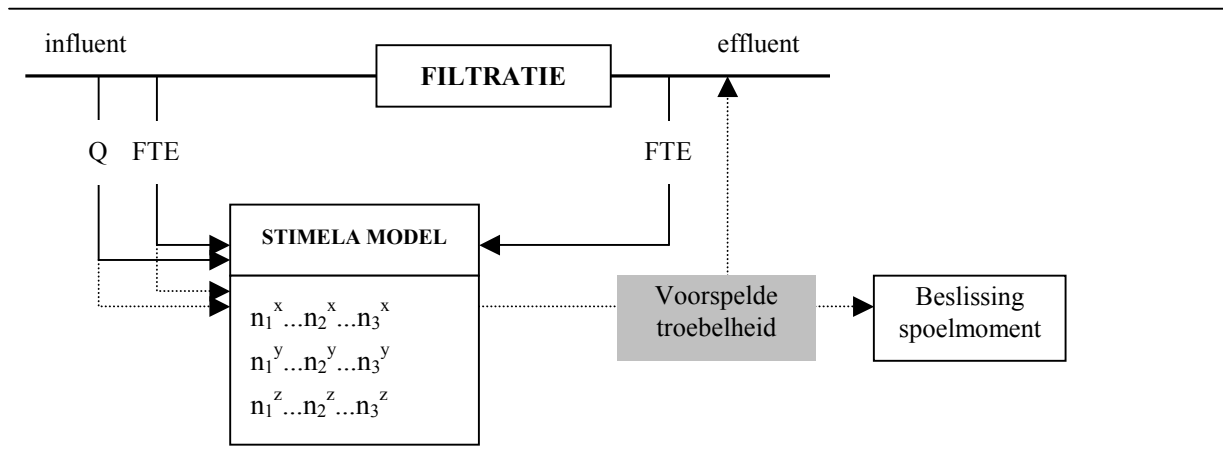
Figuur 1 : gemeten effluenttroebelheid nafilter 3 in de huidige situatie (links) en het in het model voorspelde verbeterde resultaat met opir en een verdeling van de productie over de filters (rechts)

Voor een verder verfijning van de sturing in de toekomst kan de modellering worden opgenomen in de aansturing van de natfiltratie. De stuurvariabelen die daarbij in aanmerking komen zijn:

De filtratiesnelheid: lagere snelheden aan het begin en eind van een looptijd zouden kunnen leiden tot een betere kwaliteit van de totale productie.

Het spoelmoment: een optimalisatie van het exacte moment van spoelen zou kunnen leiden tot een betere benutting van de looptijd van de filtratie. Momenteel wordt gespoeld op basis van een aantal uren of geproduceerd debiet. Optimalisatie moet zich richten op minimalisatie van de kosten voor spoelwaterverbruik, energie en spuien.

De cyclus van een snelfilter is relatief lang en de variatie in filtratiesnelheid en spoelmomenten relatief gering. Dit levert voor calibratie en validatie van de modellering nog veel onzekerheden op. Een model dat opgenomen wordt in de sturing zal daarom metingen en ervaringen van eerdere looptijden moeten meenemen in de beslissing over toekomstige looptijden. Daartoe dient de troebelheid van het influent en effluent van de nafilts, alsmede het productiedebiet over de filters te worden gemeten.



Figuur 2 : Opzet MPC voor snelfiltratie Loosdrecht

Uit de gemeten waarden van influent troebelheid en het debiet (zie figuur 2: de doorgetrokken lijnen) wordt met behulp van de calibratieparameters n_1 , n_2 en n_3 de gemeten effluenttroebelheid benaderd. Op basis van gemeten influent troebelheid en debiet en een verzameling van deze calibratieparameters kan vervolgens een voorspelling van het verloop van de effluenttroebelheid worden gedaan. De gebruikte parameters zullen in eerste aanleg een gemiddelde van de voorgaande looptijden zijn. Het is echter ook mogelijk dat een verband met bijvoorbeeld seizoensinvloeden of een teruglopende kwaliteit van het filtermateriaal wordt gevonden. Op basis van de voorspelde troebelheid kan nu het optimale spoelmoment of de waterverdeling over de filters worden bepaald.

INHOUD

BLAD

1	INLEIDING	5
2	THEORIE : STURING VAN POMPSTATIONS	7
2.1	De opbouw van een beheerssysteem	7
2.2	MPC - een voorbeeld uit de chemische industrie	10
2.3	Ontwikkelingen in de drinkwaterproductie	11
2.4	Sturing van pompstations	13
3	CASE - STUDIE : POMPSTATION LOOSDRECHT	17
3.1	Beschrijving van het pompstation	17
3.1.1	<i>Inleiding - zuiveringsopzet</i>	17
3.1.2	<i>Winning</i>	19
3.1.3	<i>Versproeiing en voorfiltratie</i>	22
3.1.4	<i>Beluchtings- en ontgassingstorens</i>	23
3.1.5	<i>Vlokmiddeldosering en nafiltratie</i>	24
3.1.6	<i>De sturing van pompstation Loosdrecht</i>	25
3.2	Probleemanalyse en onderzoeksdoelstelling	27
3.2.1	<i>Probleembeschrijving</i>	27
3.2.2	<i>Lopende onderzoeken</i>	27
3.2.3	<i>Probleemanalyse</i>	28
3.2.4	<i>Onderzoeksdoelstelling</i>	30
4	METINGEN EN CALIBRATIE MODELLERING	35
4.1	Modellering van de snelfiltratie	35
4.2	Opzet van de metingen	37
4.3	Resultaten metingen	38
4.4	Analyse van de meetgegevens van de nafiltratie	42
4.5	Calibratie	45
5	OPTIMALISATIE	49
5.1	Verdeling productiedebiet over de filters	49
5.2	Sturing van de productie	51
5.2.1	<i>De vraag</i>	51
5.2.2	<i>De distributie</i>	52
5.2.3	<i>De productie</i>	53
5.2.4	<i>Mogelijkheden voor afvlakking van het productiedebiet</i>	54
5.2.5	<i>Optimalisatie</i>	55
5.3	Kwantificering van de verbeterde zuivering	57

6	DISCUSSIE : INPASSING MODEL PREDICTIVE CONTROL	59
6.1	Ontwerp, onderhoud of sturing	59
6.2	Experimenteren in een praktijkinstallatie	60
6.3	MPC - Sturing van de snelfiltratie	60
6.4	Inpassing MPC in de sturing van de snelfiltratie van pompstation Loosdrecht	62
7	AANBEVELINGEN	65

LITERATUUR

BIJLAGEN

I	Schakelingen en instellingen Pompstation Loosdrecht
II	Herinrichtingsplannen winning Pompstation Loosdrecht
III	Logboek metingen 3 september 2001 tot 21 september 2001
IV	Resultaten analyse laboratorium
V	Meetresultaten en analyse voorfiltratie
VI	Schematisatie simulatie verdeling productie over drie filters

1 INLEIDING

Bij het beheer van de productie van drinkwater in kwantitatieve zin wordt al in ruime mate gebruikt gemaakt van modellering van de vraag. Voor wat betreft de zuivering - dus de kwaliteit - gebeurt dit nog niet. Sturing vindt over het algemeen plaats op basis van het bepalen van de effluentkwaliteit via het nemen van monsters. Als de effluentkwaliteit niet aan de gestelde eisen voldoet, worden de instellingen van de zuivering door de beheerder aangepast. Bij aanhoudende kwaliteitsproblemen wordt een onderzoek gestart door de desbetreffende afdeling, waarna eventueel het proces wordt aangepast. De probleemsignalering is traag, doordat het effluent slechts periodiek wordt bemonsterd. Wijzigingen in de instelling geschieden veelal op basis van de ervaring van de beheerder, in zijn taak wederom gehinderd door de trage terugkoppeling. De beheerder kan niet eenvoudig voorzien of met de maatregelen het beoogde doel wordt bereikt. Daarbij komt nog dat het doel beperkt zal zijn tot het verbeteren van de effluentkwaliteit. Dit hoeft geenszins in te houden dat een (economisch) optimum bereikt wordt.

Eén van de mogelijkheden voor verbetering van de prestatie van pompstations is het optimaliseren van de sturing van die pompstations. Door ontwikkeling van geavanceerde computersystemen ontstaan mogelijkheden om de veelal geautomatiseerde meet- en regelsystemen aan te sturen vanuit een modellering voor kwaliteit en kwantiteit. Achterliggende gedachte hierbij is dat de variatie in belasting en de verstoringen, alsmede de reactie van de zuiveringsprocessen daarop te voorspellen zijn. De gevolgen van een wijziging in de instellingen van de installatie worden in een model berekend en geoptimaliseerd, zodat de werkelijke productie optimaal is.

Waterkwaliteitsmodellen kunnen dienen als ondersteuning van de beheerder bij zijn taak en als off-line procesevaluatie voor ontwerp en aanpassingen. In de nabije toekomst kan de installatie op basis van de kwaliteitsmodellering worden gestuurd en kan deze gaan functioneren als *model predictive control* (MPC). MPC houdt een ingrijpende wijziging in de sturing in. Daarom is in overleg met *Hydron Midden Nederland* overeen gekomen de mogelijkheden te onderzoeken in een praktijkinstallatie.

Dit rapport bevat de resultaten van een onderzoek naar de mogelijkheden voor verbetering van de zuiveringsprestatie van pompstations door een optimalisatie van de processturing. Daarbij is een zuiveringsstap geanalyseerd op de automatiserings- en optimalisatiemogelijkheden. Ook de kwaliteitsaspecten van het gebruik van een kwantiteitsmodellering worden in dit onderzoek gekwantificeerd.

Het onderzoek richt zich voornamelijk op een casestudie van pompstation [PS] Loosdrecht. *Hydron Midden Nederland* doet samen met andere waterleidingbedrijven onderzoek naar het verminderen van de vuillast in leidingsystemen. Voor dit project is PS Loosdrecht geselecteerd, waarvan eerst een inventarisatie van de problematiek wordt gemaakt en vervolgens de mogelijkheden tot verbetering worden behandeld.

Voor het onderzoek naar de optimalisatie van de processturing wordt gebruik gemaakt van bestaande modellen voor waterkwaliteit [Stimela] en waterkwantiteit [OPIR].

Stimela ¹ is een door *DHV Water BV* en de *Technische Universiteit Delft* [TUD] ontwikkeld programma voor waterkwaliteitsmodellering. Er kunnen simulaties mee worden uitgevoerd voor bepaling van de invloed van zuiveringstappen op de waterkwaliteit. Verdere ontwikkeling moet leiden tot implementatie van Stimela in de aansturing van de installatie.

OPIR ² is een sturingsprogramma dat op enkele pompstations in Nederland met succes een constanter productiedebiet realiseert. Het bepaalt het productiedebiet op basis van een voorspelling van de drinkwatervraag.

Na deze inleiding worden in hoofdstuk 2 de theoretisch achtergronden van sturing in het algemeen en sturing van pompstations in het bijzonder besproken. Het onderzoek spitst zich vervolgens toe op PS Loosdrecht. Het ontwerp en de werking van het pompstation en de voor de installatie specifieke problemen worden in hoofdstuk 3 beschreven. Deze analyse leidt tot een afbakening van het onderzoek en de formulering van de precieze doelstelling.

In hoofdstuk 4 wordt het gebruikte model van de snelfiltratie beschreven, de verrichte metingen gepresenteerd en geanalyseerd en wordt aan de hand van deze metingen het model gecalibreerd.

Hoofdstuk 5 laat zien wat bereikt kan worden met een verbetering van de sturing op PS Loosdrecht. Met behulp van het in het voorgaande hoofdstuk gecalibreerde model wordt aangetoond waar verbeteringen in de sturing van PS Loosdrecht mogelijk zijn. Mogelijkheden van een verdeling van de productie over de filters en van een afvlakking van de productie worden beschreven en de voordelen gekwantificeerd.

In hoofdstuk 6 worden de mogelijkheden voor gebruik van de kwaliteitsmodellering als Model Predictive Control beschreven. Welke parameters moeten worden gemeten, welke gestuurd en wat zijn de te verwachten voordelen van een dergelijke sturing?

Tot slot worden in hoofdstuk 7 aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek en implementatie.

¹ Stimela betekend trein [*Zulu*], in het model kunnen zuiveringstappen aan elkaar gekoppeld worden.

² Optimale Productie door Intelligente Regeling.

2 THEORIE : STURING VAN POMPSTATIONS

In dit hoofdstuk wordt de theoretische achtergrond van beheerssystemen in het algemeen en de sturing van drinkwaterzuiveringen in het bijzonder beschreven. Na de definities en de opbouw van een beheerssysteem, volgt een beschrijving van sturingsconfiguraties. Vervolgens wordt een paragraaf gewijd aan een toepassing van MPC in de chemische industrie. In de laatste twee paragrafen wordt aandacht besteed aan recente ontwikkelingen in de drinkwatersector, de huidige sturing van pompstations in het algemeen en van de snelfiltratie in het bijzonder.

2.1 De opbouw van een beheerssysteem

Een *systeem* is een, ten aanzien van zijn omgeving, afgezonderd gedacht geheel waarbinnen een zekere ordening heerst en dat (eventueel) een zekere wisselwerking met zijn omgeving onderhoudt [Wieringa 1994]

Om van een systeem te kunnen spreken dienen derhalve eerst de systeemgrenzen te worden vastgelegd. Men is enigszins vrij in het vaststellen van systeemgrenzen. De mate van complexiteit en detail dat gewenst is, bepaalt de omvang van het systeem. In- en uitgangssignalen zijn variabelen die het systeem over de grenzen beïnvloeden, respectievelijk daaruit voortkomen. Ook het aantal en de complexiteit van de in- en uitgangssignalen worden derhalve door de ligging van de systeemgrenzen bepaald.

In veel gevallen wil men een systeem beheersen. Dat wil zeggen dat men behalve beschrijven hoe ingangssignalen in het systeem worden omgevormd tot uitgangssignalen, wil ingrijpen in de instellingen van het systeem. De belangrijkste motieven zijn:

- zorgen dat het systeem de toegedachte functies vervult en blijft vervullen.
- verzekeren van de stabiliteit.
- optimalisatie van de prestaties van het systeem.

Om een beheerssysteem te kunnen ontwerpen is het volgende nodig [van Straten 1992] :

1 - Specificatie van het gewenst gedrag

Dit kan op verschillende manieren.

- Het gewenste verloop van de toestands- cq. uitgangsvariabelen definiëren of begrenzen.
De kosten die moeten worden gemaakt om dit doel te bereiken spelen in deze aanpak geen rol.
- Optimale regeling : Het totale systeem (inclusief sturing of regeling) wordt geoptimaliseerd.
Optimalisering geschiedt bijvoorbeeld naar een economisch criterium.

2 - Waarneming

Het gedrag moet kunnen worden waargenomen. In veel gevallen zal het echter niet mogelijk en ook niet nodig zijn alle toestandsvariabelen waar te nemen. De verbinding met de buitenwereld wordt gevormd door de waarneembare uitgangsvariabelen.

3 - Regelmacht

Bij de keuze van de stuurvariabelen is uiteraard een belangrijk criterium dat met die variabele het systeemgedrag voldoende kan worden beïnvloed, d.w.z. dat men voldoende regelmacht heeft.

- *Stuurvariabelen* zijn ingangsvariabelen die worden gebruikt om via hun invloed het proces te sturen. [ook: regelvariabelen]
- *Instelvariabelen* zijn ingangsgrootheden die niet worden gebruikt voor de sturing maar wel een bepaalde waarde moeten hebben om het systeem te kunnen laten functioneren.
- *Verstoren* zijn ingangsvariabelen die niet zijn te beïnvloeden.
- *Gestuurde grootheid* is de grootheid die door middel van de sturing op een gewenste waarde wordt gebracht of gehouden. [ook: geregelde grootheid]

4 - Regelconfiguratie

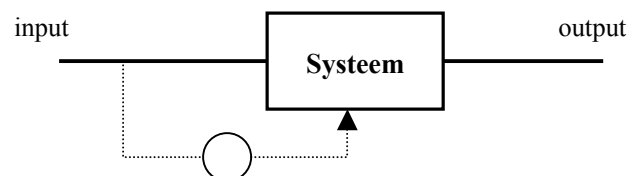
Een systeem, met input en output en op het systeem inwerkende verstoringen, kan op verschillende manieren worden geregeld dan wel gestuurd.

Regelen versus sturen

Als de gewenste waarde constant is in de tijd dan wordt wel gesproken van regelen. Bij het regelprobleem (regulator problem) staat de onderdrukking van externe verstoringen voorop.

Als de gewenste waarde variabel is in de tijd (bijvoorbeeld als gevolg van een optimalisatieberekening), dan is het belangrijkste probleem dat deze zo goed mogelijk wordt gevolgd (tracking problem). In dat geval wordt ook wel gesproken van volgen of sturen.

I - *Feed forward (Open Loop Control)* - Hierbij maakt de regelaar gebruik van een gemeten waarde van de verstoring, voor de aanpassing of sturing van de input. In zijn zuivere vorm is de feed forward dus een open lus: gemeten verstoring-regelaar-stuuringang-systeem-uitgang.



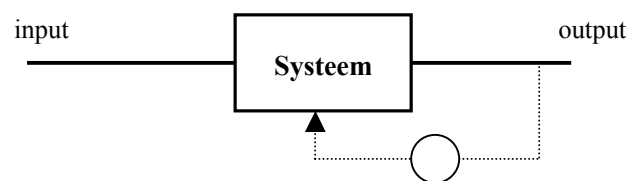
Er is altijd een zekere mate van modellering van het systeem nodig. Daarmee wordt bepaald welke regeling van de input nodig is om de verstoring zodanig te compenseren dat toch aan de gewenste output wordt voldaan.

In de praktijk is een zuivere open lus instabiel omdat een ontstane afwijking zich voortplant in het systeem en niet worden gecorrigeerd. Afwijkingen kunnen ontstaan doordat:

- niet alle verstoringen in het model zijn opgenomen

- de meting van gemodelleerde verstoringen niet exact is
- de invloed van verstoringen op het systeem niet exact gemodelleerd is
- de regeling van de input niet exact is

II - *Feedback (Closed Loop Control)* - Hierbij maakt de regelaar gebruik van een gemeten waarde van de output van een systeem, voor de aanpassing of sturing van de input. Het klassieke regelschema is dat van de teruggekoppelde regelaar. De uitgang wordt gemeten en vergeleken met de gewenste waarde. Indien er een verschil is, berekent de regelaar een waarde voor de sturingang zodanig dat de afwijking wordt tegengegaan.



Het principe van de terugkoppeling (feed back) is van groot belang. Toepassing van het terugkoppelprincipe houdt een gesloten lus sturingang-stuuruitgang regelaar-sturingang in.

Bij de gesloten lus regeling treden problemen met betrekking tot de stabiliteit veel minder op, omdat een afwijking zal worden geconstateerd en er vervolgens voor gecompenseerd wordt. Terugkoppeling geeft een stabiliserende werking, mits de parameters in het regelsysteem aan bepaalde voorwaarden voldoen. Het nagaan onder welke omstandigheden een voorgestelde regelconfiguratie en regellus stabiel zullen zijn is belangrijk voor het ontwerp in de praktijk, en voorwerp van uitvoerige studie in de regeltheorie.

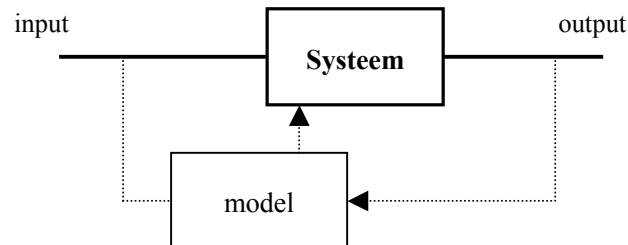
III - *Model Predictive Control [MPC]* - Aan de klassieke regeltechniek [*feedback*] kleven een aantal nadelen.

- Een verstoring wordt pas gemeten als de eerste afwijking is opgetreden
- Het is niet duidelijk hoe de regeling reageert op variaties in de parameters of structuur van het proces. Een bijbehorende conservatieve instelling om robuustheid te bereiken gaat ten koste van de prestaties.
- Als meerdere variabelen van hetzelfde proces elk door een eigen lus worden geregeld zal er vaak een interactie tussen de regellussen bestaan.
- De teruggekoppelde regelaar kan alleen goed worden gebruikt voor sturing via de setpoints als het proces plus regelaar snel zijn ten opzichte van de gewenste veranderingen.
- Bij het klassieke regelaarontwerp wordt geen rekening gehouden met de kosten van de sturing. De nadruk ligt eenzijdig op de prestaties aan de uitgang, ongeacht welke kosten daarmee gemoeid zijn.

In feite is *Model Predictive Control* een combinatie tussen voorwaartse en teruggekoppelde sturing.

Ook nu maakt de regelaar gebruik van een gemeten verstoring. Aan de hand van deze verstoring wordt met behulp van een modellering instellingen bepaald die een verwacht optimaal uitgangssignaal zullen opleveren.

Omdat een modellering per definitie de werkelijkheid benadert zal een afwijking ontstaan tussen het voorspelde en het werkelijk optredende uitgangssignaal. Voor de stabiliteit is derhalve tevens een terugkoppeling van het uitgangssignaal noodzakelijk. Afhankelijk van het model zijn er mogelijkheden om de modellering te laten leren van een geconstateerde afwijking.

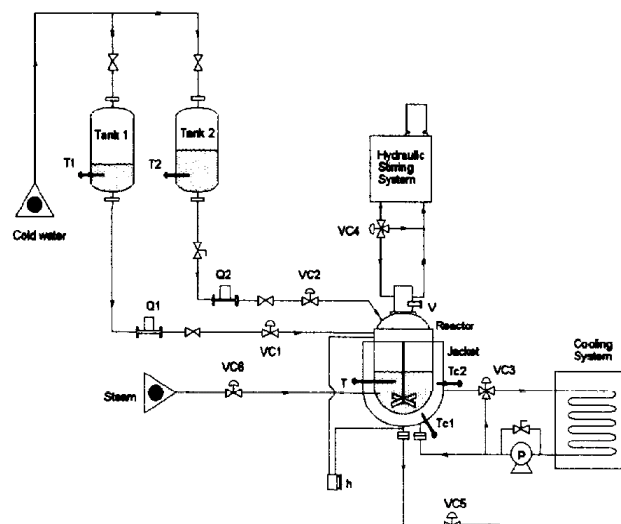


2.2 MPC - een voorbeeld uit de chemische industrie ¹

Het hier gepresenteerde voorbeeld uit de chemische industrie betreft een onderzoek, om de in de literatuur als succesvol beschreven simulaties met MPC, te testen in een proces in een praktijkinstallatie op industriële schaal.

De experimentele sturingstests werden uitgevoerd in een installatie ten behoeve van de plasticproductie, waarin een exothermische reactie deels wordt gesimuleerd.

In onderstaande figuur wordt de gebruikte installatie weergegeven. Twee vloeistoffen in tank 1 en tank 2 worden met debieten Q_1 en Q_2 en een temperatuur van respectievelijk T_1 en T_2 naar een reactorvat gevoerd. In het koelsysteem worden de ingaande en uitgaande temperatuur gemeten bij T_{c1} en T_{c2} . De



Figuur 2-1 : Procesdiagram van de chemische installatie

¹ [Afonso 1996]

temperatuur en het niveau in het vat worden respectievelijk T en h genoemd. De uitgaande stroom wordt geregeld door middel van regelklep VC5, de stromen Q1 en Q2 door regelkleppen VC1 en VC2.

Alle instrumenten voor meting van temperatuur, druk, niveau en debiet, alsmede de regelmacht in de vorm van regelkleppen en toerengeregelde pompen, zijn in de installatie aanwezig.

In het verleden werd de temperatuur geregeld op basis van de gemeten temperaturen in het koelsysteem. Een teruggekoppelde regeling die tot veel schommelingen in de temperatuur in het reactievat leidt.

In de Model Predictive Control worden de temperaturen T1 en T2 gemeten. Met behulp van een modellering, gebaseerd op een energiebalans, kan het verloop van de temperatuur (T) in de reactor worden bepaald. Iets soortgelijks geldt voor de andere geregelde grootheid, het niveau (h) in de reactor, die in de klassieke regeling werd gemeten in de reactor en geregeld met regelklep VC5.

De resultaten van de uitgevoerde experimenten geven aan dat het gebruik van de Model Predictive Control tot een significante verbetering van het niveau- en temperatuurbeheer in de reactor leidde. De MPC-gestuurde installatie was bovendien weinig gevoelig voor verstoringen en afwijkingen in de modellering van het proces.

Het hier gegeven voorbeeld toont de mogelijke voordelen van het gebruik van MPC aan. Het gaat in dit geval om een relatief snel proces in vergelijking met drinkwaterzuiveringsprocessen (zoals bijvoorbeeld filtratie).

2.3 Ontwikkelingen in de drinkwaterproductie ²

De drinkwaterproductie is voortdurend in ontwikkeling. Door wijzigingen in de inrichting van de bedrijfstak alsmede een verandering in de eisen van de consument ontstaan nieuwe wensen in informatievoorziening en bedrijfsvoering. Aan de andere kant zijn door de ontwikkeling van de computer een groot aantal mogelijkheden ontstaan om op een nieuwe manier aan deze wensen te voldoen.

Informatisering

Door voortdurende schaalvergroting in de drinkwatervoorziening neemt de afstand tussen het management en de installaties toe, waardoor een grotere behoefte aan informatievoorziening ontstaat. Het betreft hier zowel de actuele productie- en distributiegegevens als trends van verschillende aspecten als drinkwaterafgifte, energieverbruik, et cetera. Bij enkele waterleidingbedrijven wordt daarom reeds begonnen met het realiseren van management informatiesystemen. *Model Predictive Control* kan behalve als beheer [zie : automatisering] tevens dienen voor lange termijn trendregistratie ten behoeve van procesafdelingen en management. Een betere informatievoorziening naar de verantwoordelijken voor beheer, onderhoud en herziening van de zuiveringsinstallatie kan op deze wijze worden gerealiseerd.

Ook bij operationele afdelingen neemt het belang van informatisering toe. In dit kader kan onder andere het digitaliseren van tekenkamers genoemd worden. Enkele jaren geleden beschikte men alleen maar over

² [van Dijk 1992]

(analoge) kopieën van tekeningen. Wanneer een tekening nodig was, moest hiervan een kopie op de tekenkamer opgehaald worden. Tegenwoordig beschikt men steeds meer over een eigen verbinding met de tekeningen-database en kan vanuit de ontwerp- en productieafdelingen, direct de meest actuele tekening worden opgevraagd.

Ook de bedrijfsvoerings- en calamiteitenhandboeken verschijnen meer en meer in digitale vorm. De moeilijk te onderhouden boekenkasten op iedere locatie worden vervangen door centraal beheerde digitale systemen.

Tot op heden worden voor de informatiesystemen veelal conventionele technieken gebruikt. Met behulp van modems worden databronnen en datagebruikers direct verbonden. Thans komt men echter steeds vaker tot de ontdekking dat dergelijke 'custom made' systemen snel verouderen en derhalve duur in onderhoud zijn. Het gebruik van het internet en webtechnologie lijkt een veelbelovende oplossing voor deze problematiek te gaan bieden. Hierbij wordt immers gebruik gemaakt van een wereldwijde standaard, die bovendien tegen beperkte kosten onderhouden wordt.

Automatisering

De productie en distributie van drinkwater vindt op de meeste pompstations al vele tientallen jaren min of meer geautomatiseerd plaats: winning wordt ingeschakeld op basis van het niveau van de rein waterkelder, filters worden automatisch gespoeld, distributiepompen worden geregeld op druk. Veelal zijn dit autonome regelingen die alleen de besturing van het pompstation lokaal bepalen.

In de traditionele opzet worden pompstations veelal aangestuurd op basis van twee parameters, de kwantiteit en de kwaliteit. Ten eerste volgt de hoeveelheid geproduceerd water veelal de vraag uit het distributienet. Eventueel vertraagd- en afgevlakt door een buffer volgt op een hoger verbruik een hogere productie. De kwantitatieve sturing is altijd in zekere mate geautomatiseerd en in toenemende mate modelgestuurd.

Een tweede sturingsparameter betreft de kwaliteit van het rein water. Voldoet deze niet aan de gestelde eisen, dan is dat aanleiding in te grijpen in de bedrijfsvoering van het zuiveringsstation. De kwalitatieve sturing is minder vaak geautomatiseerd en niet modelgestuurd.

De trend is dat meer geavanceerde regelingen worden toegepast. Door het steeds krachtiger worden van besturingsinstallaties en de mogelijkheid om een PC te koppelen aan een besturingsinstallatie, zijn de mogelijkheden voor geavanceerde regelingen toegenomen. Een voorbeeld hiervan is het sturen van de productie op basis van een voorspellingsmodel [OPIR]. Bovendien geldt dat het ontwikkelen en wijzigen van regelingen veel toegankelijker wordt, wanneer hiervoor PC-technologie wordt gebruikt. Het regelen is hierdoor niet langer voorbehouden aan PLC programmeurs, maar kan (deels) ook gedaan worden door procestechnici.

De bedrijfsvoering gaat steeds meer toe naar onbemand draaiende pompstations met een centrale sturing van vanuit één locatie. Om zorg te dragen voor voldoende regelmacht word meer en meer gewerkt met inbel-systemen, waarin de instellingen in de installatie op afstand kunnen worden bekeken en zonodig bijgesteld.

Optimalisatie

Het streven naar een verhoging van de efficiency wordt gestimuleerd door een tweetal aspecten.

Ten eerste ontstaat bij de waterleidingbedrijven een toenemend markt bewustzijn, onder invloed van een zekere mate van privatisering. Ten tweede de introductie van benchmarking: waterleidingbedrijven worden onderling vergeleken, waarbij elk bedrijf geconfronteerd wordt met zijn eventuele lage score op een deelaspect van de drinkwatervoorziening.

Beide aspecten leveren bij de waterleidingbedrijven de trend op dat investeringen worden geminimaliseerd (uit- dan wel afgesteld) en dat de bestaande infrastructuur zo efficiënt mogelijk wordt ingezet.

De computer is in het streven naar verhoging van de efficiency van zeer groot belang. Geavanceerde modellen stellen waterleidingbedrijven in staat om beter inzicht in productie- en distributieprocessen te verkrijgen. Hierbij kan worden gedacht aan de thans aan de *TU Delft* in ontwikkeling zijnde modellenbank van de drinkwaterzuiveringsprocessen. Doordat met deze modellenbank tijdreeksen met verschillende bedrijfsvoeringen kunnen worden doorgerekend, kan de optimale bedrijfsvoering bepaald worden.

Behalve dat een verandering in de bedrijfsstructuur vraagt om een andere informatievoorziening, leiden ontwikkelingen in de IT ook tot een herziening van de bedrijfsstructuur. Thans vindt het bepalen van optimale bedrijfsvoering veelal op onderzoeksafdelingen op het hoofdkantoor plaats. Vervolgens wordt de optimale bedrijfsvoering als 'statische' regelingen in de besturing van de installaties geïmplementeerd.

Voorzien wordt echter dat in de toekomst een directe koppeling tussen (simulatie-)model en installatie zal plaatsvinden. De regelingen worden on-line geoptimaliseerd met behulp van optimalisatieroutines, hetgeen tot een verdere efficiëntieverbetering zal leiden.

2.4 Sturing van pompstations

Conventionele regeling

Bij het ontwerp van drinkwaterzuiveringsinstallaties wordt uitgegaan van veilige ontwerpcriteria (slechts denkbare influentkwaliteit, maximaal debiet, keuze van voldoende eenheden met het oog op storing en onderhoud). De sturing is gericht op het planmatig laten verlopen van de productie bij omstandigheden die gunstiger zijn dan de ontwerpwaarden (betere influentkwaliteit, lager debiet).

In de drinkwaterproductie wordt veelal de voorkeur gegeven aan zelfregelende processen boven ingrijpen door de mens. In de sturing zijn talloze voorbeelden te vinden van toepassingen van hydraulische basisprincipes, waardoor kunstmatige meet- en regelsystemen overbodig zijn. Debietverdeling door middel van overstort en variabele bovenwaterstand in snelfiltratie ter compensatie van drukvaltoename zijn voorbeelden van de toepassing van hydraulica als regelsysteem. In het algemeen geldt dat hydraulische regeling de voorkeur verdient boven kunstmatige meet- en regelsystemen vanwege de eenvoud, overzichtelijkheid en storings- en onderhoudsvrije werking [Van Dijk 1992].

Kunstmatige regeling wordt toegepast daar waar hydraulische regeling niet mogelijk is of aantoonbaar mindere resultaten oplevert. Voor de toepassing van kunstmatige regeling zijn metingen nodig van verschillende procesparameters. Onderscheid kan worden gemaakt naar metingen ten behoeve van debietregelingen en metingen ten behoeve van het beheer van de waterkwaliteit.

Debietregeling geschied voornamelijk op basis van niveaumetingen van rein waterkelders en tussenkelders. Bij overschrijding of onderscheiding van zogenaamde schakelpunten worden pompen aan -of uitgeschakeld. Ook druk- en flowmetingen worden toegepast in het beheer van de productie- en distributiedebieten. Aan de hand van de meetsignalen worden in een PLC de acties voor regeling van het pompstation bepaald.

Metingen ten behoeve van de waterkwaliteit worden om verschillende redenen verricht:

- Waterkwaliteitsbewaking. Periodieke metingen van de kwaliteit van het rein water zijn verplicht op basis van het waterleidingbesluit. Verder worden periodiek metingen verricht voor bewaking van de afzonderlijke processen en de kwaliteitsbewaking van het influent (vooral van belang bij zuivering van oppervlaktewater).
- Procesonderzoek. Deze metingen betreffen intensief onderzoek naar het verloop van de processen. Dergelijk onderzoek wordt gedaan tijdens het ontwerp (in een proefinstallatie) en het inwerken van een installatie. Intensief onderzoek wordt voorts geïnitieerd door meldingen vanuit de metingen voor waterkwaliteitsbewaking. De meetresultaten uit het procesonderzoek worden vaak vertaald naar vaste regelingen. Zo wordt aan de hand van metingen van het verloop van de effluentkwaliteit de looptijd (of de maximale drukopbouw) van de filtratie vastgesteld.
- Sturing van de processen. Directe regelingen op basis van kwaliteitsmetingen zijn niet gebruikelijk. Wel worden soms indicatoren gebruikt. Het besluit tot terugspoelen van een filter wordt ook wel op basis van de drukopbouw in het filter (een indicator voor de vervuiling van het filter) gedaan.

*Sturing van de snelfiltratie*³

Het principe van snelfiltratie is gebaseerd op de berging van zwevende deeltjes in de poriën van het filtermateriaal en de reiniging van deze poriën tijdens het spoelproces (in het algemeen discontinu, behalve bij moving bedfiltratie). Bij doorstroming van het filterbed daalt de concentratie van stoffen in het water van c_0 (influent) tot c_e (effluent), waarbij de drukval toeneemt van H_0 tot H .

Het rendement van snelfiltratie is afhankelijk van de influentsamenstelling (concentratie c_0 , temperatuur T , dichtheid ρ) en het filterontwerp (bedhoogte L , korreldiameter d , porositeit p_0 en filtersnelheid v).

Over het algemeen wordt de snelfiltratie zo ontworpen dat de looptijd altijd bepaald wordt door de drukval H en niet door de effluentkwaliteit c_e . Op basis van een onderzoek (vaak in proefinstallatie) naar het verband tussen de looptijd, de druk en de effluentkwaliteit, wordt een keuze gemaakt voor het spoelmoment. Het spoelen wordt aangevangen bij het overschrijden van een bepaalde tijd of druk.

Ook wordt in het ontwerp aandacht besteed aan het aantal eenheden in verband met de maximale filtratiesnelheid. Daarbij mag de maximaal toelaatbare filtratiesnelheid niet worden overschreden indien één filter wordt onderhouden, terwijl een ander wordt teruggespoeld. Deze ontwerpaanname biedt ruimte voor optimalisatie op alle momenten waarop dit extreme geval zich niet voordoet. Vaak wordt volstaan met het uitschakelen van filters of het gelijkmatig verdelen van de productie over de filters.

³ [[Van Dijk 1992]

Voorts is de compensatie van de drukopbouw H gedurende de looptijd van belang. Hiervoor zijn verschillende systemen ontwikkeld:

- een constante bovenwaterstand door een vlottergeregelde afsluiter in de effluentleiding.
- een variabele bovenwaterstand, waarbij de variatie van de snelheid trager (en dus gunstiger) verloopt door de berging in de bovenwaterstand.
- declining rate filtration, waarbij de drukopbouw gedurende de looptijd leidt tot een lagere snelheid in het filter

Model Predictive Control in pompstations

Bij de conventionele besturing wordt veel gebruik gemaakt van enkelvoudige regelingen: productie wordt geschakeld op basis van een niveaumeting in de rein waterkelder; pompen wordt ingeschakeld op basis van een drukmeting. Nadeel van deze wijze van besturing is dat alleen op basis van de actuele situatie wordt gestuurd en dat naar de toekomst noch naar het verleden wordt gekeken. Bij intelligente regelsystemen wordt voor de besturing gebruik gemaakt van meerdere metingen of wordt gestuurd op basis van een prognose. Dit biedt mogelijkheden om efficiënter met de beschikbare infrastructuur om te gaan.

Intelligente regeling wordt in de drinkwatersector al toegepast op het gebied van de regeling van de productie. OPIR is een besturingsprogramma dat op basis van een voorspelling van de drinkwatervraag de productie of inname bepaalt. Hierbij wordt gestreefd wordt naar een zo constant mogelijk productie -of innamedebiet. OPIR kan hierbij zowel zuiveringen als distributie- en suppletiepompstations aansturen.

Op basis van historische gegevens wordt een voorspelling gedaan van het verbruik, het productiedebiet en kelderniveau voor de komende 24 uur.

Voor de toepassing van intelligente regelingen in de sturing van de zuiveringsprocessen is een model nodig. Er zijn verschillende benaderingswijzen mogelijk. In zogenaamde *black-box modellen* als fuzzy logic of neurale netwerken worden processen via een puur wiskundige aanpak gemodelleerd. Een verband wordt gezocht tussen in- en uitgangssignalen, zonder de processen zelf daadwerkelijk te beschrijven.

Een andere benaderingswijze is het gebruik van *white-box* (of deterministische) *modellen* die trachten het proces te beschrijven om zo aan de hand van ingangssignalen de uitgangssignalen te benaderen. In Stimela zijn dergelijke white box modellen van diverse zuiveringsstappen opgenomen en in ontwikkeling. Grote voordeel boven de *black-box* benadering is dat het inzicht in wat er in het proces gebeurt aanwezig is.

Een mengvorm van de bovenstaande benaderingen, zogenaamde *hybride modelleringen* combineert de voor- en nadelen van beiden. In een hybride model wordt uitgegaan van een *white-box* model dat met behulp van beperkte wiskundige beschrijvingen wordt geoptimaliseerd. Voordeel daarbij is dat minder data nodig is dan bij *black-box* en dat het inzicht van het proces uit het *white-box model* behouden blijft. Een hybride modellering is daarbij eenvoudiger stabiel te maken.

MPC in de snelfiltratie

Om de eerste aanzet voor een regeling te geven, is door van Ginneken voor het korte termijn effect een black-box model gevormd voor de ijzerconcentratie in het water op basis van metingen van de troebelheid en

de filtratiesnelheid. De mogelijkheden van niet-lineaire modellen, namelijk polynoom, exponent en Takagi-Sugeno fuzzy modellen werden onderzocht. In deze benaderingswijze blijkt voor de snelfiltratie een fuzzy-model tot goede resultaten te kunnen leiden [van Ginneken 2000]. Problematisch bij deze benadering (en bij black-box modellering in het algemeen) is dat veel data nodig is voor een goede beschrijving van de filtratie.

3 CASE - STUDIE : POMPSTATION LOOSDRECHT

In dit hoofdstuk wordt allereerst de inrichting van de zuivering op PS Loosdrecht besproken. Na de zuiveringsopzet worden de winning en de afzonderlijke zuiveringsstappen beschreven. Vervolgens worden aan de hand van de bekende metingen, de voor de installatie specifieke problemen vastgesteld. Een analyse van ontwerp- en onderhoudsfacetten leidt tot de projectafbakening en onderzoeksdoelstelling.

3.1 Beschrijving van het pompstation

3.1.1 Inleiding - zuiveringsopzet

Al vanaf de twintiger jaren wordt op de locatie van PS Loosdrecht water gezuiverd en gedistribueerd. Van 1972 tot 1974 heeft het pompstation een grote verbouwing ondergaan. Na de verbouwing bestond het pompstation uit vier (en later zes) open zandfilters, verdeeld in twee groepen met elk een aparte ruw watertoevoer. Omdat de waterzuivering (ontijzing, ontmanganing en de ontzuring) problematisch verliep, werd gezocht naar mogelijkheden voor verbetering. Vlokmiddeldosering (NaAlO_2), wijzigingen in het spoelproces en veranderingen in de beluchting hadden niet het gewenste resultaat. Ook een tweede en derde proeffilter gaven geen verbetering van de zuivering te zien. In 1992 werd het pompstation omgebouwd naar de huidige installatie.

PS Loosdrecht, eigendom van *Hydron Midden Nederland N.V.* produceert ongeveer 3,5 miljoen kubieke meter drinkwater per jaar. Het pompstation is onbemand, het beheer wordt gevoerd vanuit pompstation Laren.

PS Loosdrecht zuivert grondwater, dat wordt gewonnen op een diepte variërend van 55 tot 147 meter. Het ruw water is anaëroob en bevat onder andere ijzer, mangaan, een relatief hoog gehalte organische koolstof [NPOC¹] en een hoeveelheid trichlooretheen [TCE]. De TCE-verontreiniging is, volgens de provincie Utrecht afkomstig van voormalige industrie in het waterwingebied.

PS Loosdrecht is ingedeeld in drie straten. Deze straten zijn niet volledig gescheiden. Vanuit de winning, bestaand uit zes winputten, gaat één leiding naar de droogfilters (voorfilter). Bij elk voorfilter wordt een leiding afgetapt en verjongt de hoofdleiding. Het water wordt versproeit boven de drie droogfilters [voorfilters : VF, zie figuur 3-1]. Het voornaamste doel van de versproeiing is het inbrengen van zuurstof, benodigd voor de ontijzing, ontmanganing en nitrificatie. De droogfilters dienen voor het afvangen van de hierbij gevormde vlokken. Ook een deel van het in het ruw water aanwezige kooldioxide en TCE wordt in de versproeiing en de droogfiltratie verwijderd.

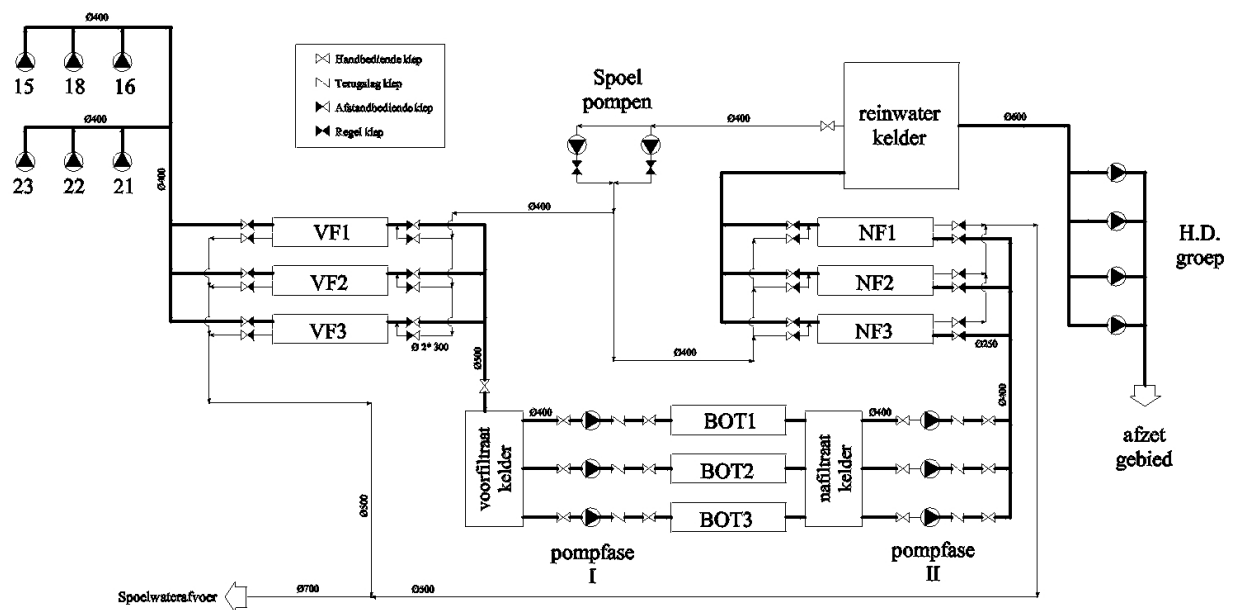
Het filtraat wordt via een gezamenlijke leiding naar de voorfiltraatkelder geleid, waar het water volledig gemengd wordt.

¹ Non Purgeable Organic Carbon

Vanuit de voorfiltraatkelder voeren drie pompen het over eveneens drie beluchtings- en ontgassingstorens [BOT]. De beluchtings- en ontgassingstorens dienen voor verdere verwijdering van het aanwezige TCE. Ook het nog aanwezige kooldioxide wordt hier verwijderd. Na de torens gaat het water naar de zogenaamde nafiltraatkelder², waar het opnieuw volledig wordt gemengd.

Vanuit deze kelder wordt het over drie natfilters [NF] geleid. Evenals bij de voorfiltratie wordt het water in één leiding naar de natfilters geleid, die op een zelfde wijze als bij de voorfiltratie vertakt. Het doel van deze filters is het verwijderen van nog in het water aanwezig ijzer. Hiertoe wordt voorafgaand vlokmiddel (Aqualenc) aan het water toegevoegd.

Het nafiltraat wordt in één leiding naar de rein waterkelder gevoerd. Van daaruit zorgen vier hogedrukpompen voor de distributie naar het afzetgebied.

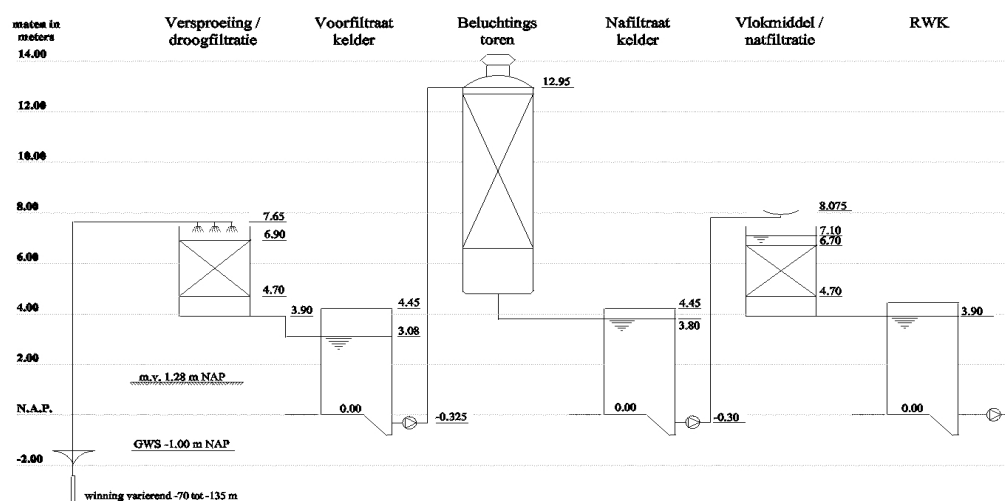


Figuur 3-1 : PS Loosdrecht - Het hoofdwaterloopschema.

Voor de spoeling van zowel de voor- als de nafiltraatie wordt water uit de rein waterkelder onttrokken. De rein waterkelder bestaat uit vier delen: de nieuwe rein waterkelder met 2 compartimenten en twee kelders onder de voor- en nafiltraats. Deze werden vroeger gebruikt als tussenkelders en zijn bij de nieuwbouw in 1993 toegevoegd aan de rein waterkelder.

De hydraulische lijn van de zuivering is als weergegeven in figuur 3-2. Vanuit de winning wordt het water direct opgepompt tot een hoogte van 7,65 m NAP. Vanuit de voorfiltraatkelder wordt het opgepompt over de beluchtingstorens (12,95 m). Vanuit de nafiltraatkelder wordt het water via een tweede pompstap over de nafiltraats (8,08 m) geleid. Vanuit de rein waterkelder [RWK] pompen vier hogedrukpompen het gezuiverde water het afzetgebied in. [zie §5.2.1]

² De benaming nafiltraatkelder is niet geheel juist, omdat er in feite sprake is van intensief belucht water. Het nafiltraat is het rein water. Om verwarring te voorkomen wordt de in Loosdrecht gebruikelijke term nafiltraatkelder echter ook hier aangehouden.



Figuur 3-2 : Hydraulische lijn

3.1.2 Wining

Het ruw water wordt onttrokken uit verschillende winputten (putten 15, 16, 18, 21, 22 en 23) en op verschillende diepten. Tot januari 2000 waren zeven putten functioneel, zes in bedrijf en één reserve. Winput 17 ging dermate veel zand geven dat deze buiten werking is gesteld.

Kwantiteit

De hoeveelheid gewonnen water per winput is afhankelijk van het aantal winputten dat bijstaat. In de huidige bedrijfsvoering zijn de winputten ingedeeld in drie groepen (respectievelijk *ruw water groep I, II en III*). Deze groepen komen in vaste volgorde bij, zodat de totale hoeveelheid water naar de zuivering vastligt.

Tabel 3-1 : PS Loosdrecht - Totale hoeveelheden winning³

RWG I	RWG II	RWG III	Debiet totaal
(pp 15 + pp 21)	(pp 22 + pp 23)	(pp 16 + pp 18)	(m ³ /h)
AAN	-	-	250
AAN	AAN	-	502
AAN	AAN	AAN	707

³ Bron: Notitie Afdeling Exploitatie 23/5/2001

Kwaliteit

Het water wordt onttrokken uit het tweede en derde watervoerende pakket. Uit het in het ruw water aanwezige chloride- en TCE-gehalte blijkt dat de bepompte pakketten niet volledig afgeschermd zijn van het eerste pakket [Hydron 2001].

Tabel 3-2 : PS Loosdrecht - de gemiddelde kwaliteit van het gewonnen grondwater (1995-1999)⁴

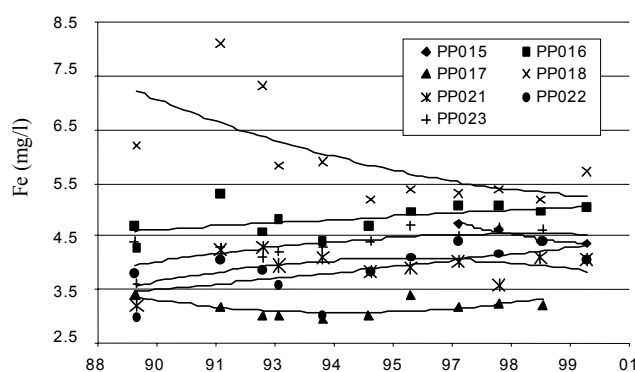
Fe	Mn	NH ₄	As	Ca	Mg	NPOC	pH	TCE	EGV	Cl	CH ₄
(mg/l)	(mg/l)	(mgN/l)	(µg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg C/l)		(µg/l)	(mS/m)	(mg/l)	(µg/l)
4,3	0,18	0,20	208	41	2,4	2,5	7,2	30	25	17	52

Tabel 3-1 geeft de gemiddelde kwaliteit van het ruw water weer, een aantal parameters zijn als zuiveringskritisch aan te merken. In de huidige zuivering gaat het om het genoemde ijzergehalte en het TCE-gehalte. Het ijzergehalte in het ruw water bedraagt gemiddeld 4,3 mg/l. Tussen 1995 en 1999 bedroeg het gemiddelde TCE-gehalte 45 µg/l. Het ruw water bevat verder relatief veel opgelost organisch stof (2,5 mg/l). Naar een mogelijke invloed van het aanwezige NPOC op de ijzerverwijdering loopt een onderzoek bij het KIWA.

IJzergehalte

Over het algemeen kan worden geconcludeerd dat het ijzergehalte in elke winput in het afgelopen decennium weinig variatie vertoonde [Figuur 3-3: *ijzergehalte*]. Het ijzergehalte in winput 18 is in het verleden beduidend hoger geweest, maar stabiliseert zich de laatste jaren rond de 5,4 mg/l.

Op basis van de hogere ijzergehaltenes in de winputten 16 en 18 zijn deze putten in RWG III geplaatst. Deze groep komt het minst vaak bij.

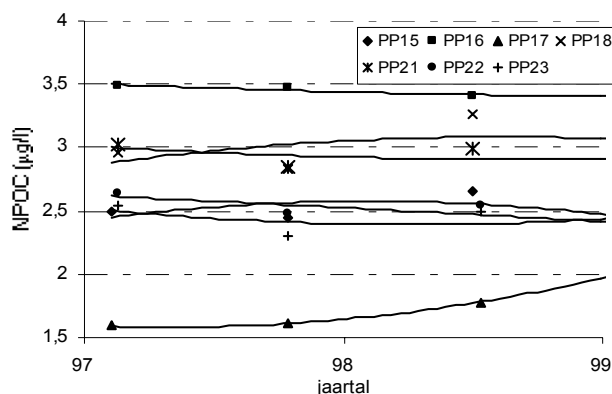


Figuur 3-3 : ijzergehalte in winputten

⁴ In deze tabellen vermelde cijfers zijn een gemiddelde en dienen enkel als beeldvorming voor de processen in het pompstation. Met name het TCE-gehalte varieert sterk afhankelijk van het aantal bijstaande winputten

NPOC-gehalte

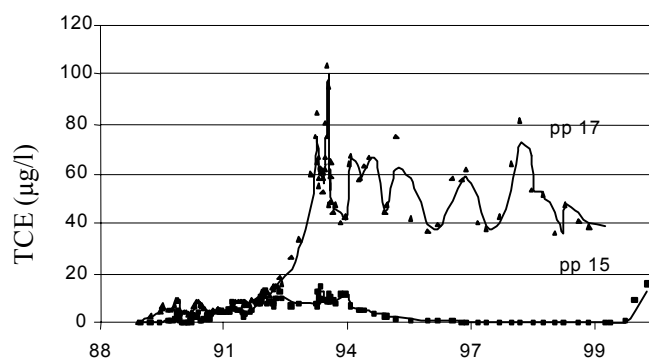
Ook het NPOC-gehalte in de winputten is in de afgelopen jaren nagenoeg niet veranderd. Evenals het ijzergehalte is ook het NPOC-gehalte in de winputten 16 en 18 enigszins hoger dan in de overige putten.



Figuur 3-4 : NPOC-gehalte in winputten

Trichlooretheen

Als gevolg van een verontreiniging is in het gebied TCE aanwezig. Om de TCE-vervuiling te beperken tot één winput wordt deze winput altijd als eerste aangezet (RWG I). Op deze wijze blijft de TCE-vervuiling beperkt tot één winput, daar de grondwaterstroming overwegend naar deze put toe gericht is. Tot voor kort betrof dit winput 17. Toen deze in januari 2000 buiten bedrijf gesteld werd, is winput 15 aangewezen als TCE-put. Het uit deze put onttrokken water vertoont inmiddels een stijgend TCE-gehalte.



Figuur 3-5 : TCE - gehalte in winputten

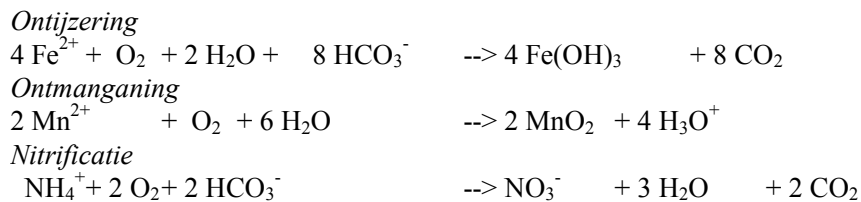
3.1.3 Versproeiing en voorfiltratie



De voorfiltratie op PS Loosdrecht bestaat uit drie droogfilters met een oppervlak van 39 m² per stuk en een bedhoogte van 2,20 m. Het filtermateriaal bestaat uit zand met een diameter variërend van 1,5 tot 2,5 mm. De droogfiltratie wordt vooraf gegaan door versproeiing boven het filterbed.

De voorfilters dienen primair voor de verwijdering van ijzer. Droogfiltratie in combinatie met grof filtermateriaal kan bij een relatief grote ijzerbelasting (zoals bij PS Loosdrecht het geval is) toch acceptabele looptijden opleveren.

Figuur 3-3 : Belangrijkste chemische en biologische omzettingen in het filterbed



De ontijzering in de voorfilters is niet volledig. De voorfilters ontijzeren van $\pm 4,3$ mg/l naar $\pm 0,19$ mg/l ijzer. De ijzerbelasting bedraagt gemiddeld 1,9 kg/m². Doordat de ontijzering in de voorfilters niet volledig is, wordt de voorfiltraatkelder vervuild met ijzerslib. De ontmanganing en de nitrificatie in de voorfilters zijn wel nagenoeg volledig [zie tabel 3-4]. Tevens wordt een gedeelte, ± 30 % van het aanwezige TCE verwijderd.

Er wordt meer CO₂ verwijderd dan er bij de ijzeroxidatie en nitrificatie wordt aangemaakt. (van 11 mg/l naar 8 mg/l). De pH stijgt hierdoor van 7,2 naar 7,5.

Tabel 3-4 : gemiddelde waterkwaliteit influent & effluent versproeiing / voorfilter

	Fe	Mn	NH ₄	CO ₂	pH	TCE	HCO ₃
	(mg/l)	(mg/l)	(mgN/ l)	(mg/l)		(µg/l)	(mg/l)
influent	4,3	0,18	0,20	11	7,2	30	125
effluent	0,19	<0,01	<0,03	8	7,5	20	115

3.1.4 Beluchtungs- en ontgassingstorens



De drie beluchtungs- en ontgassingstorens van PS Loosdrecht zijn ingericht in een tegenstroom. De torens zijn gevuld met RVS pakkingen. In het procesonderzoek van 1994 is de werking van de torens uitvoerig besproken [WMN 1994]. De werking van de torens is goed te noemen. De belasting van de torens mag maximaal 250 m³/h per toren bedragen.

Bij bemonstering van het effluent van de beluchtingstorens tijdens het procesonderzoek van 1996 [WMN 1996] werd in het effluent van de beluchting geen TCE-gehalte geconstateerd (waarnemingsgrens 0,2 µg/l). Een verwijderingspercentage van 99,9 %. De influentconcentratie varieerde tussen de 11,2 en 4,38 µg/l. De pH stijgt in de beluchtingstorens van 7,5 naar 8,0, veroorzaakt door een verdere daling van het CO₂-gehalte van 8 naar 2 mg/l.

Tabel 3-5 : gemiddelde kwaliteit influent & effluent van de beluchtingstorens

	TCE (µg/l)	CO ₂ (mg/l)	pH
influent	20	8	7,5
effluent	<0,2	2	8,0

Tijdens het procesonderzoek van 1996 werd een bemonstering uitgevoerd op de zuiveringsinstallatie die enkel draaide op de zwaarst belaste winputten. Van de TCE concentratie in het ruw water (19,3 µg/l) werd 50% al in het voorfilter verwijderd (tot 9,7 µg/l). De beluchtingstorens verwijderden het restant ook nagenoeg volledig, resulterend in een TCE-gehalte < 0,2 µg/l in het effluent.

3.1.5 Vlokmiddeldosering en nafiltratie



De nafilts van PS Loosdrecht zijn natfilters met een oppervlak van 39 m². De korrelgrootte bedraagt 1,25-1,75 mm. De filters zijn voorzien van een geregelde bovenwaterstand m.b.v. een ultrasone bovenwaterstandsmeting. De bovenwaterstand bedraagt 30cm.

In principe wordt de nafilts alleen nog met ijzer belast. Door de intensieve beluchting in de voorliggende stap, moet voorafgaand aan de nafiltratie een vlokmiddel worden toegediend.

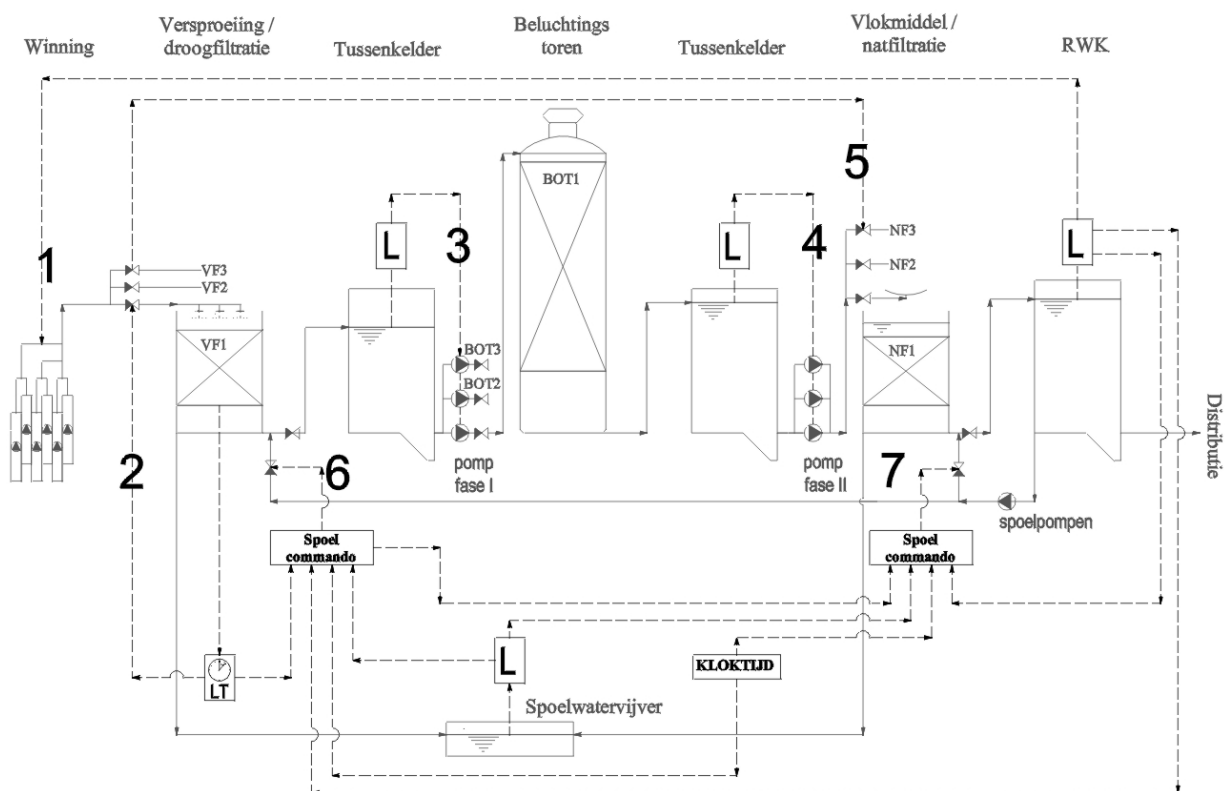
Tabel 3-6 : gemiddelde waterkwaliteit influent vlokmiddel / nafilts

	Fe	CO ₂	HCO ₃	Al
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(µg/l)
influent	0,19	2	115	100
effluent	0,04	2	115	50-85

De variatie van de effluentkwaliteit gedurende de looptijd biedt mogelijkheden voor een optimalisatie van de sturing van de waterstromen over de filters.

3.1.6 De sturing van pompstation Loosdrecht

Figuur 3.6 geeft het schakelregime op PS Loosdrecht weer. Aan de hand van dit schema zal de aansturing van de huidige zuivering worden besproken.



Figuur 3-6 :Het schakelregime op PS Loosdrecht

ad 1 - de winning: De winning is ingedeeld in drie ruw watergroepen. De indeling staat vast en is

Tabel 3-7 : Schakelniveau winputten
(RWK 100% = 3,90m)

RWG	winputten	Niveau RWK	
		aan	uit
RWG 1	pp 15 & pp 21	75 %	85 %
RWG 2	pp 22 & pp 23	60 %	80 %
RWG 3	pp 16 & pp 18	50 %	60 %

straten ingedeelde installatie) zijn de overige winputten ingedeeld. Het aantal ruw watergroepen worden gestuurd op basis van het niveau van de rein waterkelder[zie tabel 3-7].

samengesteld op basis van de in de winning beschreven kwaliteitsverschillen tussen de winputten en het streven naar een capaciteit in elke ruw watergroep van ongeveer 250 m³/h. De met TCE vervuilde winput 15 wordt altijd als eerste bijgeschakeld om TCE-vervuiling van andere putten te voorkomen. De winputten 16 en 18 bevatten een hoger gehalte ijzer, er is daarom voor gekozen deze winputten in de derde groep te plaatsen. Op basis van productiecapaciteitoverwegingen (beheer van de in drie

versproeiing en voorfilters [2] - Het aantal droogfilters dat wordt bijgeschakeld is gelijk aan het aantal in bedrijf zijnde ruw watergroepen. De keuze tussen de drie voorfilters wordt bepaald op basis van de looptijden van de voorfilters. Het filter met de langste looptijd op het moment van schakelen, komt als eerste bij gevolgd door het filter met de op één na langste looptijd.

Tabel 3-8 : schakelregime BOT's (100% = 3,80m)

pompen & torens	Niveau voorfiltraatkelder	
aantal	aan	uit
1	78 %	26 %
2	83 %	24 %
3	88 %	22 %

Eerste pompfase en beluchtingstorens [3] - De pompen in de eerste pompfase zijn direct verbonden met een beluchtingstoren (pomp 1 is gekoppeld aan BOT1 etc.). Het aantal beluchtingstorens wordt bepaald op basis van het niveau van de voorfiltraatkelder.

De volgorde van de pompen (en daarmee de torens) wordt bepaald uit een carrousel; de volgorde is achtereenvolgens 123 - 231 of 312.

tweede pompfase [4] - In tegenstelling tot de eerste pompfase wordt de stroom na de tweede pompfase in één leiding naar de nafiltraatie geleid. Pompen en filters schakelen derhalve zelfstandig.

Het aantal pompen wordt bepaald op basis van het niveau van de nafiltraatkelder. Ook hier wordt de volgorde van bijgeschakelen van de pompen bepaald op basis van een vaststaande carrousel; volgorde 123 -231 of 312.

Tabel 3-9 : schakelregime tweede pompfase (100% =3,80m)

pompen	Nafiltraat kelder	
aantal	aan	uit
1	78 %	26 %
2	83 %	24 %
3	88 %	22 %

vlokmiddeldosering en nafiltraats [5] - Het aantal nafiltraats dat in bedrijf komt is gekoppeld aan het aantal pompen uit de tweede pompfase. De selectie van de nafiltraats is gekoppeld aan bijbehorend voorfilter. Als voorfilter 1 in bedrijf is dan komt ook nafiltraat 1 bij etc.

spoelen voorfilters [6] - Het spoelen van de voorfilters geschiedt op basis van de looptijd van het voorfilter. Er komt een spoelaanvraag bij het bereiken van een looptijd van 70 uur. Het spoelen wordt aangevangen zodra voldaan wordt aan alle onderstaande voorwaarden:

- voorwaarde kloktijd: spoelen mogelijk tussen 6h00 en 7h30
- voorwaarde spoelwaterrijver: niveau < 50 %
- voorwaarde RWK: niveau > 55 %

spoelen nafiltraats [7] - De spoelaanvraag van de nafiltraats is gebaseerd op het aantal spoelbeurten van het bijbehorende voorfilter. De spoelaanvraag van een nafiltraat volgt na elke derde spoelaanvraag van een bijbehorend voorfilter. Het spoelen vangt aan na het spoelen van het voorfilter en als wordt voldaan aan onderstaande voorwaarden:

- voorwaarde kloktijd: spoelen mogelijk tussen 6h00 en 7h30
- voorwaarde spoelwaterrijver: niveau < 75 %
- voorwaarde RWK: niveau > 30 %

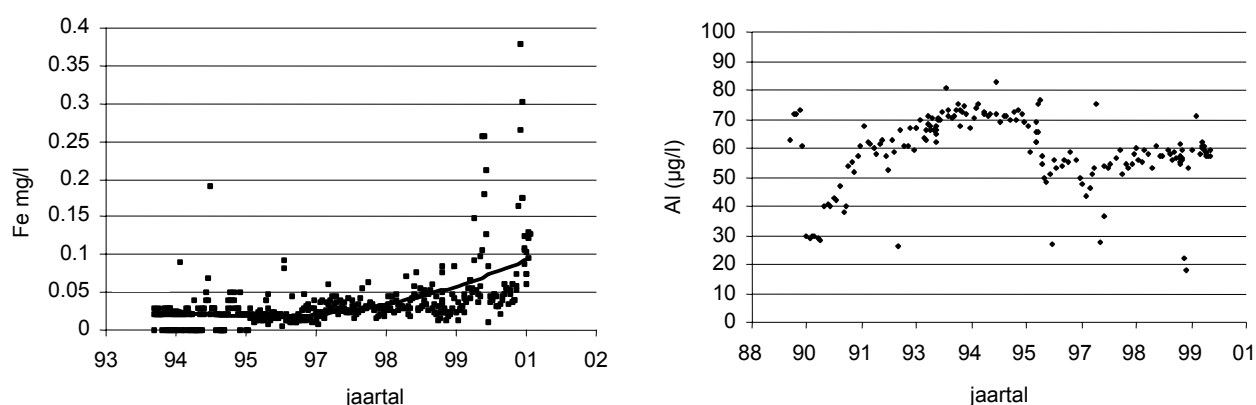
Sturing van de kwaliteit

Een directe sturing op basis van de kwaliteit is op PS Loosdrecht niet aanwezig. Er worden periodiek monsters genomen. Bij een overschrijding van de gestelde normen worden maatregelen genomen door de beheerder. Regelmatig werden wijziging van de looptijden van de filters doorgevoerd, gebaseerd op de ervaring van de beheerder.

3.2 Probleemanalyse en onderzoeksdoelstelling

3.2.1 Probleembeschrijving

De zuivering van het grondwater op PS Loosdrecht vertoont een aantal problemen. Deze zuiveringsproblemen leiden tot een hoge vuillast in het distributienet met bijbehorende kostbare spuiacties. Met name de ijzer- en aluminiumgehalten in het rein water zijn hoog [zie figuur 3-7].



Figuur 3-7 : de ontwikkeling van het ijzergehalte (links) en het aluminiumgehalte (rechts) in het rein water van PS Loosdrecht

Het ijzergehalte in het rein water komt sinds enkele jaren regelmatig boven de norm (0,05 mg/l) [VEWIN]. In het verleden is het ijzergehalte lager geweest, maar de laatste jaren nemen de gehalten toe. De norm van 0,05 mg/l is gebaseerd op een economisch criterium, met het oog op een minimalisatie van de vuillast. De norm binnen *Hydron* is zelfs vastgesteld op 0,02 mg/l. Recentelijk worden regelmatig waarden boven de 0,1 mg/l geconstateerd. Het aluminium is afkomstig van het gedoseerde vlokmiddel voorafgaand aan de nafiltratie. Er geldt een meldingsplicht bij overschrijding van 30 µg/l [VEWIN]

3.2.2 Lopende onderzoeken

Herinrichting winning

Onlangs is een onderzoek verricht naar de herinrichting van de waterwinplaats van PS Loosdrecht [Hydron 2001]. Directe aanleiding van dit onderzoek was het buiten werking stellen van put 17 in januari 2000.

Verder bleek de technische staat van twee (pp 15 en 16) en de situering van drie andere winputten (pp21, 22 en 23) niet optimaal.

In het voorstel voor herinrichting is getracht de rein waterkwaliteit te verbeteren door, zonder expliciet in te grijpen in de zuivering, de ruw waterkwaliteit te toetsen aan de bekende zuiveringsproblemen. Hierbij werd gestreefd naar een optimalisatie met betrekking tot de zuiveringskritische parameters: ijzer (in relatie met het gehalte organische stof), het TCE-gehalte en het methaangehalte.

De herinrichting van de winplaats zoals voorgesteld zal waarschijnlijk in de loop van 2002 tot uitvoering worden gebracht. Een korte beschrijving van de voorgenomen plannen is opgenomen in bijlage I.

KIWA:ijzerverwijdering en organisch koolstof

Eén van de aannamen die gedaan werd in bovenstaand onderzoek naar de herinrichting van de winning, is dat er een verband bestaat tussen de ijzerverwijdering en de aanwezige organische koolstof. Er loopt een bedrijfsfilteronderzoek (2001) waarin de huidige zuiveringsprestaties in kaart gebracht worden. Verder loopt bij het KIWA een onderzoek naar de processen die een rol spelen in de invloed van het aanwezige NPOC op de ijzerverwijdering.

3.2.3 Probleemanalyse

Om tot een verbetering van de zuiveringsprestaties te komen kan behalve door middel van wijzigingen in de sturing ook naar andere mogelijkheden worden gezocht. In deze paragraaf wordt de installatie geanalyseerd op een aantal ontwerp –en onderhoudsfacetten. Vervolgens zal het onderzoek zich beperken tot enkel de verbeteringsmogelijkheden door middel van sturing en zal daarvoor een onderzoeksdoelstelling worden geformuleerd.

Het ontwerp van de zuiveringsinstallatie

Droogfiltratie versus natfiltratie

Filters worden gebruikt voor het afvangen van zwevende stof en tevens als chemische en biologische reactor (oxidatie van ijzer, mangaan en ammonium en bij een gebrekkige beluchting ook voor de verwijdering van methaan.) [Huisman 1996]

Droogfilters zijn met name geschikt wanneer de totale zuurstofbehoefte voor het verwijderen van de diverse componenten hoger is dan de verzadigingsconcentratie van zuurstof in water ($\pm 11 \text{ mg/l}$). Met name daar waar het water een hoog ammoniumgehalte bevat. Voor de omzetting van ammonium tot nitraat is veel zuurstof nodig ($3,55 \text{ mg O}_2$ per mg NH_4^+). Indien in het influent van de filtratie de verzadigingsconcentratie van zuurstof ($11,3 \text{ mg/l}$) benaderd wordt, kan bij een ammoniumgehalte van enkele milligrammen per liter toch een tekort aan zuurstof in het filter ontstaan. Toevoer van zuurstof in het filter is dan noodzakelijk. De zuurstofbehoefte is laag voor ijzer ($0,14 \text{ g/g Fe}$) en mangaan ($0,15\text{-}0,29 \text{ g/g Mn}$).

De totale zuurstofbehoefte op PS Loosdrecht wordt bepaald door het in het ruw water aanwezige ijzer, mangaan, ammonium. De totale zuurstofbehoefte op PS Loosdrecht bedraagt derhalve ongeveer $1,4 \text{ mg O}_2$

per liter. Op basis van de zuurstofbehoefte is een uitvoering van de filters als droogfiltratie derhalve niet nodig, indien voldoende belucht wordt voorafgaand aan de filtratie.

De plaatsing van de beluchtings- en ontgassingstorens

Het primaire doel van de beluchtings- en ontgassingstorens (BOT's) op PS Loosdrecht is de verwijdering van het in het ruw water aanwezige TCE. Ook wordt een deel van het *kooldioxide* (CO₂) verwijderd. De beluchtingstorens werken goed. Het aanwezige TCE wordt volledig verwijderd. De TCE-verwijdering is ook volledig indien één ruw watergroep met een hoog TCE-gehalte over één BOT wordt gevoerd [WMN 1996].

Omdat slecht in één winput TCE aanwezig is en opmenging van de stromen voor de TCE-verwijdering niet nodig is, is het over de torens voeren van de volledige productie niet nodig.

De huidige plaatsing van de torens voor de nafiltratiestap is om twee redenen nadelig. Omdat in de torens ook CO₂ verwijderd wordt stijgt de pH. Dit beïnvloedt de werking van het voorafgaand aan de nafilts gedoseerde vlokmiddel nadelig.

De na de voorfiltratie, nog in het water aanwezige vlokken worden in de torens (en in de tussenliggende pompfases) stukgeslagen, waarna in de natfiltratie getracht wordt weer vlokken af te vangen.

Een andere belangrijke factor is de plaatsing van de beluchtingstorens ten opzichte van de overige zuiveringsstappen. In de huidige bedrijfsvoering wordt een deel van het in het ruw water aanwezige ijzer in de natfiltratie, na de beluchtingstorens verwijderd. De in de beluchtingstorens (en tussenpompfases) stukgeslagen vlokken worden met behulp van een vlokmiddel getracht te lijmen.

Dit is een vlokmiddel op aluminiumbasis en werkt derhalve beter bij een lagere pH. In de voorafgaande beluchtingsstap is door de verwijdering van de CO₂ de pH juist verhoogd.

Vlokmiddeldosering

Vanwege de onvolledige ijzerverwijdering in de voorfilters is begin jaren negentig besloten voor de nafiltratiestap een vlokmiddel te doseren. De Aqualenc-dosering [Al₂(SO₄)_xCl_y(OH)_z] is afgesteld op een volume van 8,5 ml/min. Op een influent-debiet van 250 m³/h betekent dit 100 µg Al per liter.

In hoeverre de vlokmiddeldosering leidt tot een verbetering van de ijzerverwijdering ten opzichte van een natfiltratie zonder vlokmiddel wordt uit de meetgegevens niet duidelijk. Feit is dat het ijzergehalte inmiddels de norm weer regelmatig overschrijdt. Daarbij komt dat ook het toegevoegde aluminium deels door de natfiltratie heen in het rein water komt. Het aluminiumgehalte in het rein water komt uit boven de waarschuwingsgrens van het Waterleidingsbesluit (30 µg/l). De aanwezigheid van een hoeveelheid aluminium (50 µg/l) is een keuze die bewust gemaakt wordt om het ijzergehalte enigszins binnen de perken te houden.

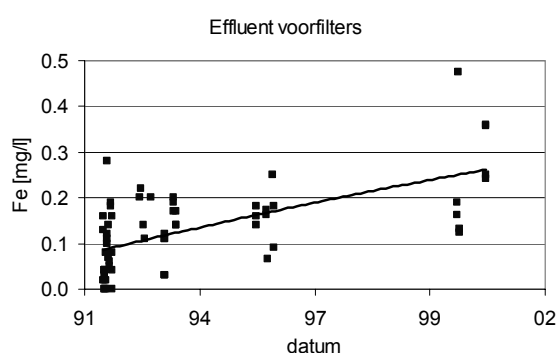
Conclusie is dat de vlokmiddeldosering is aangebracht als oplossing voor het overschrijden van de ijzernorm, met als resultaat dat naast de ijzernorm ook de aluminiumnorm regelmatig wordt overschreden. Het aluminium draagt bovendien substantieel bij tot een verhoging van de vuillast, waarvan de norm 0,20 mg/l bedraagt.

Het filtermateriaal van de nafiltratie is met een fractie van 1,25 – 1,75 mm relatief groot voor het afvangen van het rest ijzer. Er is dan ook nagenoeg geen drukopbouw. Gezien de problemen met de filteraangroei in de voorfilters, kan worden overwogen om het filtermateriaal van de nafiltratie naar de voorfilters te verplaatsen en het filtermateriaal van de nafiltsers te vervangen door nieuw, kleiner materiaal.

Onderhoud van de installatie

filtermateriaal droogfiltratie

Het in 1993 in de droogfilters aangebrachte filtermateriaal had een diameter variërend van 1,5 tot 2,5 millimeter. Door adsorptie of door een onvolledige reiniging bij het terugspoelen van de voorfilters groeit



Figuur 3-8 : Verloop effluentgehalte ijzer van de voorfiltratie in de tijd

het filterbed gestaag aan. In de tien jaar dat het filtermateriaal in gebruik is, zijn de voorfilters 'regelmatig' afgeroomd. Er wordt dan circa 20 cm filtermateriaal verwijderd. Zonder dat exact duidelijk is hoeveel filtermateriaal er in het totaal is verwijderd, is duidelijk dat de korrelgrootte moet zijn toegenomen.

De verslechtering van de ontijzering in de afgelopen jaren zal mede worden veroorzaakt door het grotere filtermateriaal. Daarom wordt geadviseerd het materiaal te onderzoeken en indien nodig te vervangen.

Terugslagkleppen nafiltratie

De nafiltsers zijn uitgerust als natfilters, waarbij een bovenwaterstand van 40 cm constant dient te worden gehouden. In de praktijk verdwijnt de bovenwaterstand echter, waarschijnlijk door lekkage van de terugslagkleppen. Indien een filter tot stilstand komt, is na ongeveer drie uur de bovenwaterstand geheel verdwenen. Droogvallen van de natfiltratie is ongewenst en kan leiden tot uitspoelen van al eerder afgezet materiaal, bij het weer in gebruik nemen van het filter. Er wordt daarom geadviseerd de lekkage aan de terugslagkleppen te herstellen.

3.2.4 Onderzoeksdoelstelling

Afbakening onderzoek : oplossingen door wijzigen sturing

Analyse van het ontwerp en onderhoud wordt verder buiten beschouwing gelaten. Het onderzoek zal zich richten op te realiseren verbeteringen door optimalisatie van de sturing van het pompstation. Daarbij wordt met name aandacht besteed aan de sturing van de natfiltratie. De ijzerverwijdering in de natfilters is ongeveer 50 %, zodat relatief veel ruimte overblijft voor verbeteringen. Verder is van de natfiltratie een geschikt model beschikbaar.

Door middel van het verrichten van een aantal metingen moet duidelijk worden verkregen welke parameters geschikt zijn voor sturing. Met behulp van een gecalibreerd model worden mogelijke verbeteringen in de

bedrijfsvoering gekwantificeerd. Tot slot wordt aangegeven op welke wijze het white box model van de filtratie kan worden ingepast in de sturing.

Doelstelling – optimalisatie van de sturing

De doelstelling van dit onderzoek is onder te verdelen in twee delen:

Aangeven welke mogelijkheden tot verbeteren van de bedrijfsvoering er zijn en de voordelen met behulp van een bestaand fysisch model van snelfiltratie kwantificeren.

Aangeven op welke wijze het model kan worden geïntegreerd in de sturing van de filtratie en beschrijven wat de voordelen zijn van een dergelijke sturing boven de bestaande regelingen.

Criteria

Wat wordt verstaan onder een optimalisatie van de sturing van een drinkwaterzuiveringsinstallatie ligt in feite vast in drie criteria:

- Er moet worden voldaan aan de effluentnormen zoals opgenomen in het waterleidingbesluit. Het gaat hier om de normen die gesteld zijn door de overheid in het kader van de bescherming van de volksgezondheid. (zie tabel 3-10)

Tabel 3-10 : Effluentnormen drinkwater⁵

parameters	eenheid	norm	
		WLB	Vewin
temperatuur	°C	25	5-15
chloride	mg/l	150	
sulfaten	mg/l	150	100
calcium	mg/l	150	100
magnesium	mg/l	50	30
natrium	mg/l	150	
kalium	mg/l	12	
aluminium	µg/l	200	30 ⁶
zuurstof	mg/l	2	4
troebelheid	FTE	1	0,4
nitraat	mg/l	11,3	5,5
nitriet	µg/l	30	2
ammonium	µg/l	160	40
TOC	mg/l		5
ijzer	µg/l	200	50
mangaan	µg/l	50	20
koper	µg/l	100	
VGK	µg/l	1	
zuurgraad(pH)	-	7-9,5	7,8-8,3
waterstofcarbonaat	mg/l	60	120
totaal anorg. koolstof	mmol/l	0,5	2

⁵ Bron : Toelichting waterleidingwet en Hydron intern

⁶ Voor aluminium is 30 µg/l de waarschuwingnorm, waarvoor een meldingsplicht geldt

- Er moet worden voldaan aan de vraag, dat wil zeggen voldoende water onder voldoende druk als de consument daarom vraagt.
- De ruimte voor optimalisatie bevindt zich in het derde criterium. De totale kosten van de drinkwaterproductie dienen minimaal te zijn. Deels zijn op basis van dit criterium ook effluentnormen opgesteld. Zo is de norm voor het ijzergehalte volgens de Vewin een economische, gericht op het verlagen van de vuillast, omdat het reinigen van het distributienetwerk kosten met zich mee brengt.

Kostenposten in de drinkwaterproductie zijn investeringskosten, waterbelastingen, energieverbruik, chemicaliëngebruik, spoel- en spuikosten, personeel en onderhoud.

Ordegroottes van kosten

Voor optimalisatie van de sturing zijn met name de kosten voor spoelwater, de spuikosten, het chemicaliëngebruik en de energiekosten van belang. Om enig inzicht te krijgen in de verhoudingen van de kosten worden in het onderstaande de ordegroottes van deze kosten besproken.

Spoelen

Het huidige spoelwaterverbruik bedraagt ongeveer 100.000 m^3 per jaar. Dit is 2,7 % van de productie. De kosten voor 1 m^3 spoelwater worden gesteld op €0,23 [Leijssen, 2000]. De kosten voor spoelwater bedragen derhalve €23000 op jaarbasis.

Spuien

In het rein water van de installatie is nog een hoeveelheid zwevende stof aanwezig. Een deel daarvan slaat neer in het distributienet. Voor het reinigen van het distributienet worden periodiek spuiacties uitgevoerd.

De huidige doelstelling is om eens in de zes jaar het distributienet te spoelen. PS Loosdrecht levert water aan o.a. Maartensdijk, Loenen, Breukelen, Lichtenvecht.

Als richtlijn worden de kosten van een onlangs uitgevoerde spuiactie in Maartensdijk gegeven. Hierbij werd 49000 meter leidingen gespoeld, waarvoor 10000 m^3 rein water werd gebruikt. Met een kostprijs van €1 / m^3 en kosten aan manuren (961 manuren, €36000) kost deze spuiactie € 46.000.

Aangenomen wordt dat de drie andere gebieden de kosten ongeveer gelijk zijn en een spuiactie eens in de 6 jaar plaats vindt. De aan PS Loosdrecht toe te schrijven kosten voor spuiacties bedragen derhalve ongeveer €38000 op jaarbasis.

Chemicaliën

Het chemicaliëngebruik beperkt zich in PS Loosdrecht tot een FeCl_3 -dosering bij de spoelwaterbehandeling en dosering van het vlokmiddel Aqualenc voorafgaand aan de nafilts.

Besparingen in het FeCl_3 -gebruik zijn meegenomen in de kostprijsverlaging van het spoelwater.

De Aqualenc-dosering bedraagt momenteel 200 mg/m^3 . Met een kostprijs van €0,41 /kg en een jaarproductie van $4,6 \text{ Mm}^3$ geeft dit een kostenpost van slecht €300 op jaarbasis.

Energie

Een vierde kostenpost wordt gevormd door het energieverbruik in de installatie.

In een eenvoudige weergave van de energiekosten gelden onderstaande tarieven.

6,6 eurocent / KWh in piekuren, werkdagen van 7 tot 23h

1,9 eurocent / KWh in daluren, alle andere uren

Het maandverbruik varieert van ongeveer 114.000 tot 144.000 KWh. Daarvan is grofweg 55% hoog tarief en 45% laagtarief. De energiekosten bedragen dus ongeveer €64000 per jaar.

Geconcludeerd kan worden dat het chemicaliënverbruik voor de minimalisatie van de kosten van ondergeschikt belang is. Besparingen van energiekosten kunnen worden gerealiseerd door het verplaatsen van energieverbruik van de dag naar de nacht. Er dient te worden aangetekend dat ook voor pieklasten in het energieverbruik kosten in rekening worden gebracht. Er wordt daarom gestreefd naar een gelijkmatige verdeling van het energieverbruik over de dag. De minimalisatie van de kosten wordt uiteindelijk tot uitdrukking gebracht in het verlagen van de vuillast, met een acceptabel spoelwatergebruik.

4 METINGEN EN CALIBRATIE MODELLERING

In het voorgaande hoofdstuk zijn de werking van de huidige installatie en de problemen die daarbij optreden beschreven. In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk wordt het in het onderzoek gebruikte model van de snelfiltratie beschreven. Daarna wordt de opzet van de op PS Loosdrecht verrichte metingen uiteen gezet. Vervolgens worden de resultaten van die metingen besproken. Aan de hand van deze metingen wordt ten slotte de beschreven modellering van de filtratie gecalibreerd. Het op deze wijze verkregen model zal in het volgende hoofdstuk worden gebruikt voor de kwantificering van mogelijke verbeteringen.

4.1 Modellering van de snelfiltratie

Tijdens het filtratieproces worden zwevende deeltjes en colloïdale deeltjes afgevangen door de filterkorrels. Dit betekent dat de concentratie zwevende en colloïdale deeltjes lager wordt naar mate het water dieper in het filterbed dringt. Daarnaast zal het porievolume in de tijd afnemen door de ophoping van deeltjes en zal de korreldiameter van het filtermateriaal toenemen. Bij gelijkblijvende filtratiesnelheid zal de poriesnelheid toenemen naar gelang het filter meer vervuild wordt.

De vergelijkingen die hiervoor opgesteld kunnen worden zijn de volgende:

Bewegingsvergelijking :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -v_p \cdot \frac{\partial c}{\partial y} - v_p \cdot \lambda \cdot c \quad (1)$$

Continuïteitsvergelijking :

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = -v \cdot \frac{\partial c}{\partial y} \quad (2)$$

waarin:

- c : concentratie zwevende stof [g/m³]
- y : diepte van het filterbed [m]
- v : filtratiesnelheid [m/s]
- p : porositeit [%]
- v_p : poriesnelheid (= v/p) [m/s]
- λ : filtratiecoëfficiënt [m⁻¹]
- σ : porievervuiling [g/m³]

Het stelsel van vergelijkingen kan door numerieke integratie worden opgelost, hiervoor moet de waarde van λ bekend zijn. λ is echter afhankelijk van verschillende factoren zoals de filtratiesnelheid, de viscositeit, de korreldiameter, de samenstelling van het ruw water en de vervuiling van het filterbed. Bij het opstarten van de filtratie zal in eerste instantie de filtratiecoëfficiënt in waarde toenemen, omdat door het eerst opgevangen vuil een betere hechting kan plaatsvinden. Naderhand komen de poriën vol te zitten, wordt de poriesnelheid

groter en zal minder vuil afgevangen worden en soms zelfs een deel van het al afgezette materiaal worden losgeweekt. Dit komt tot uitdrukking in een lagere filtratiecoëfficiënt λ . Als in de bovenste lagen van het filter het vuil niet meer wordt afgevangen, komen lagere lagen aan de beurt tot dat het filter verzadigd is en doorslag optreedt.

Bij de modellering van de natfiltratie wordt voor de beschrijving van λ gebruik gemaakt van de benadering volgens Ives [Huisman,1996].

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 + n_1 \cdot \sigma_v - n_2 \frac{\sigma_v^2}{p_0 - \sigma_v}) \quad [\text{Ives}] \quad (3)$$

λ	: filtratiecoëfficiënt [m^{-1}]
λ_0	: schoonbedfiltratiecoëfficiënt ($= n_3 / v_p$) [m^{-1}]
p_0	: de initiële porositeit [%]
n_1, n_2, n_3	: constanten
σ	: porieervuiling [g/m^3]
ρ	: dichtheid van de vlokken [hg/m^2]
σ_v	: volumeconcentratie in de poriën ($= \sigma / \rho$) [m^3/m^3]

De schematisatie van de stimela-modellering ziet er als volgt uit [zie figuur 4-1]. Voor de definiering van een

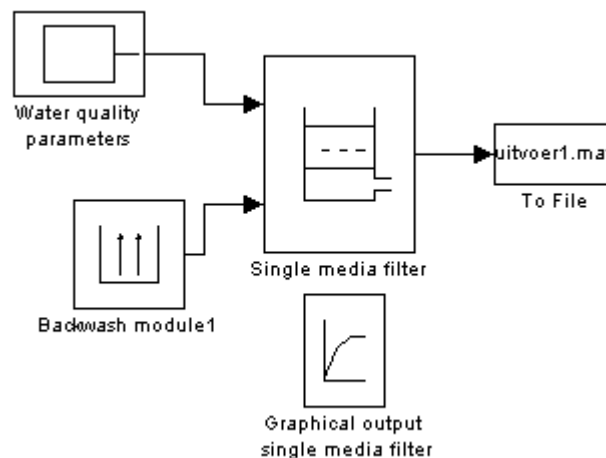


Figure 4-1 : Schematisatie modellering snelfiltratie

specifiek filter dienen een aantal modelparameters te worden ingevoerd. Het gaat daarbij om het filteroppervlakte, de bedhoogte, de bovenwaterstand, de porositeit, de maximale porievulling, de korreldiameter van het filtermateriaal en dichtheid van de vlok

In de waterkwaliteits-module worden de concentraties in het influent en het debiet ingevoerd. Ook een in de tijd variërende influentkwaliteit of debiet kan worden ingevoerd. De constanten n_1 en n_2 en n_3 worden aan de hand van metingen in de installatie bepaald.

4.2 Opzet van de metingen

Vanaf 1990 zijn met enige regelmaat metingen verricht. Van een aantal parameters (zoals ijzer en mangaan) zijn meetresultaten opgenomen in de uitgebreide database van het eigen laboratorium. Het geeft duidelijkheid over het algemene beeld van de veranderingen over de jaren, over de werking van de installatie als geheel en in zekere mate ook over veranderingen in de werking van de zuiveringsstappen afzonderlijk. Uit de bestaande meetgegevens kunnen echter geen conclusies worden getrokken over de voor optimalisatie van de sturing interessante variaties. Van de omstandigheden waaronder de metingen zijn verricht, is namelijk niet of nauwelijks iets bekend. Zo zijn er geen ondersteunende metingen van debietsvariaties of schakelingen van de installatie en is slechts van een zeer beperkt aantal metingen ook de looptijd van de filters geregistreerd.

Om het inzicht te vergroten in de parameters die het verloop van de zuivering in de filters beïnvloeden werden gedurende de maanden september en oktober 2001 metingen verricht op PS Loosdrecht.

Er werd met name aandacht besteed aan de relatie tussen de effluentkwaliteit enerzijds en de influentkwaliteit, het debiet en de looptijd anderzijds.

Meetopstelling

De installatie wordt volgens normaal productiepatroon bedreven. Dat wil zeggen dat er geen aanpassingen gedaan worden aan productiedebiet, schakelpunten etc.

Er worden vier soorten metingen verricht:

(1) Debietsmeting

Het debiet over de filters wordt continu gemeten. Het onderzoek richt zich op voorfilter 3 en nafilter 3, omdat door de afgezonderde leiding naar deze filters het debiet eenvoudig kan worden gemeten. Er wordt aangenomen dat de drie voorfilters identiek gedrag vertonen. Ook voor de nafiltratie wordt uitgegaan van drie filters met gelijk gedrag. Het blijkt niet mogelijk de filters te belasten met verschillende debieten, om zo een goed inzicht te krijgen in de invloed van debietsvariaties op de zuivering.

(2) Troebelheidsmetingen

De troebelheid van het ruw water en van het effluent van voorfilter 3 en nafilter 3 worden gemeten. De influenttroebelheid van het nafilter kan in verband met de beschikbare meetapparatuur en de wijze van vlokmiddeldosering niet continu worden gemeten en is éénmalig bepaald.

(3) Monsternamen - laboratoriumanalyse

Er worden monsters genomen voor analyse in het laboratorium. Voor voorfilter 3 wordt het influent (het ruw water) en effluent bemonsterd op vijf momenten in de looptijd (begin, kwart, midden, driekwart en eind looptijd).

Nafilter 3 wordt ook op vijf momenten in de looptijd bemonsterd. Behalve het influent en effluent worden hier ook zeven kranen op verschillende hoogtes in het filterbed bemonsterd. (Zie tabel: afstand tot bovenkant filterbed)

Kraan 1	0,10 m
Kraan 2	0,40 m
Kraan 3	0,70 m
Kraan 4	1,00 m
Kraan 5	1,30 m
Kraan 6	1,60 m
Kraan 7	1,90 m

(4) Monstername - deeltjestelling

Tot slot wordt eveneens op vijf momenten in de looptijd het aantal deeltjes in het water bepaald met behulp van een deeltjesteller. Voor het voorfilter wordt wederom het in- en effluent bemonsterd, het nafilter daarnaast ook in de kranen op verschillende hoogte in het filterbed.

4.3 Resultaten metingen

De metingen van de troebelheid en debiet zijn uitgevoerd van 3 september tot en met 11 oktober 2001. Tot 21 september is daarbij op gezette tijden het influent en effluent bemonsterd voor analyse in het laboratorium en bepaling van het aantal aanwezige deeltjes met behulp van een zogenaamde deeltjesteller. In het nafilter is ook op zeven meetpunten over de bedhoogte bemonsterd.

Het logboek met schakelingen van de installatie en exacte tijden van de bemonstering is opgenomen in bijlage III. De uitslagen van de analyse van de monsters zijn opgenomen in bijlage IV.

Zowel de voor –als de nafiltratie is in de metingen onderzocht. Op basis van de metingen is ervoor gekozen te focussen op de nafiltratie omdat:

1. Daar de meeste winst behaald kan worden. De nafiltratie verwijdert slechts circa 50 % van het ijzergehalte. De voorfiltratie circa 95 %.
2. De modellering minder geschikt is om de turbulente stromingen in de voorfiltratie te beschrijven en zich beter leent voor een beschrijving van de nafiltratie.

Omdat alleen de nafiltratie verder uitgewerkt wordt, word hier volstaan met de behandeling van de meetresultaten en analyse van nafilter 3. De metingen en analyse van de voorfiltratie zijn opgenomen in bijlage V.

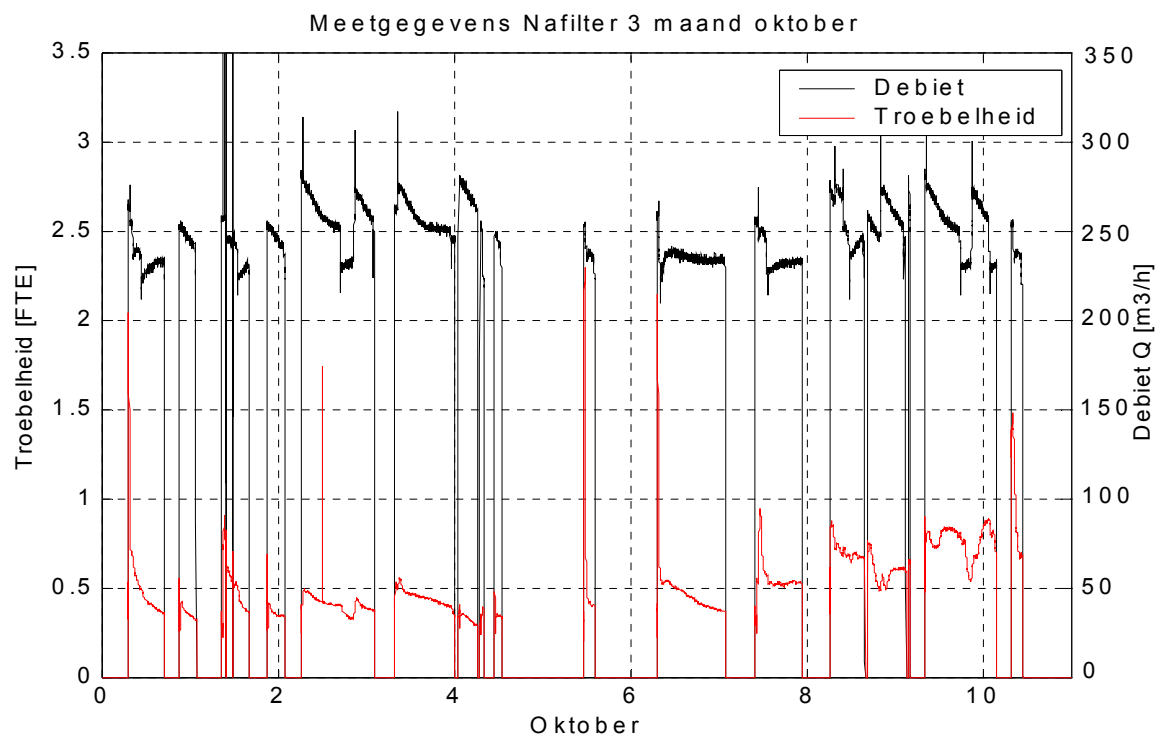
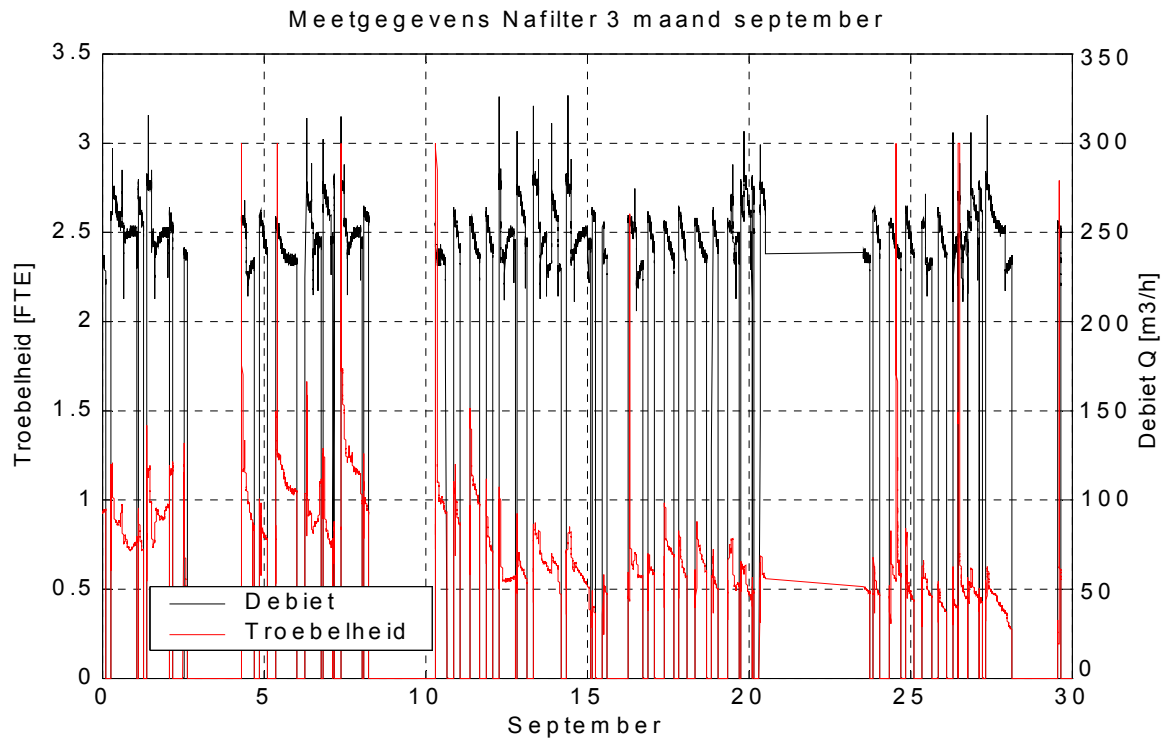
Metingen nafiltratie

Troebelheid en debiet

De meetresultaten van de troebelheid van het effluent van nafilter 3 en het debiet over het filter zijn weergegeven in figuur 4-1a en 4-1b. Bij aanvang van de metingen is de looptijd van het filter 157 uur. Het filter wordt op 9 september teruggespoeld, waarna het op 11 september aanvangt met de volgende looptijd (looptijd 1). Op 27 september is nafilter 3 opnieuw gespoeld (aanvang looptijd 2).

Als gevolg van het schakelregime op het pompstation ontstaan korte periodes van productie afgewisseld door periodes van volledige stilstand van het filter. De debietvariatie tijdens productie is afhankelijk van de voordruk van de pompen. Na het inschakelen van het filter loopt de voordruk en daarmee het pompdebiet langzaam terug. Het teruglopen van het niveau in de nafiltraatkelder wordt veroorzaakt door de instelling van de pompdebieten. Om een voortdurend in- en uitschakelen te voorkomen, zijn de debieten van de tweede pompfase (over de nafiltratie) iets hoger dan die van de eerste pompfase (over de beluchtingstorens). Het debiet over het filter loopt daardoor elke keer iets terug en varieert tussen 230 en 280 m³/h.

In het weekend van 21 tot 24 september is de meetapparatuur enige tijd uitgeschakeld geweest.



Figuur 4-1 : Meet gegevens troebeling en debiet nafilter 3 in september (a) en oktober (b)

ijzer en aluminium

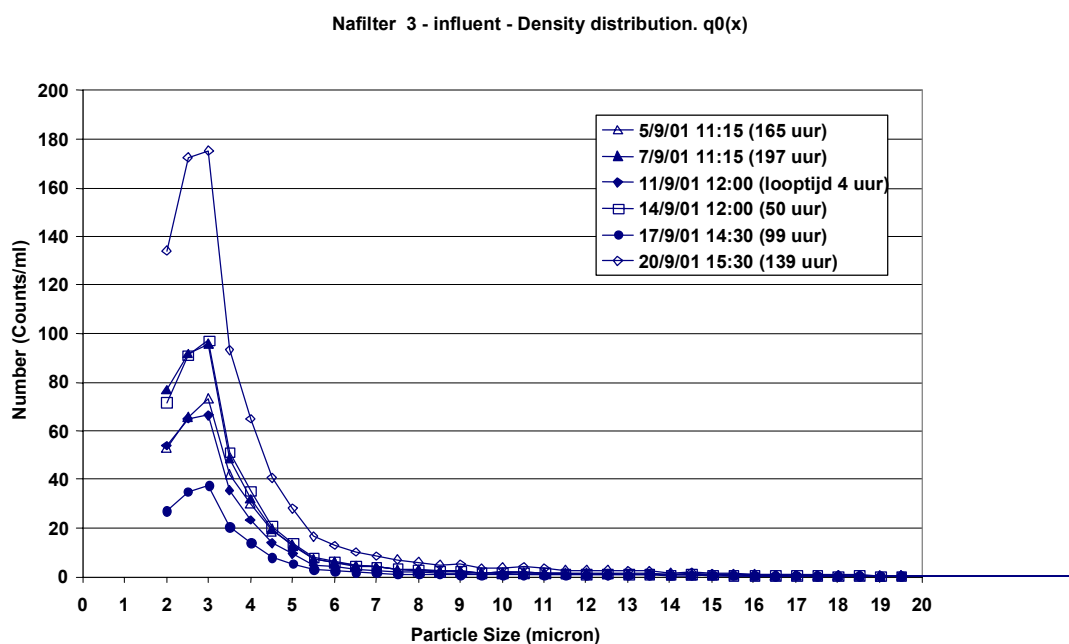
Op een vijftal momenten in de looptijd zijn monsters genomen waarvan de concentraties zijn gemeten. Tabel 4-1 geeft de gehalten aan ijzer en aluminium in het influent, in de kranen op verschillende hoogte in het filterbed (zie §4.2) en het effluent van nafilter 3. Voor een volledig overzicht van de metingen wordt verwezen naar bijlage IV.

Tabel 4-1 : Concentraties ijzer en aluminium op verschillend looptijden in nafilter 3

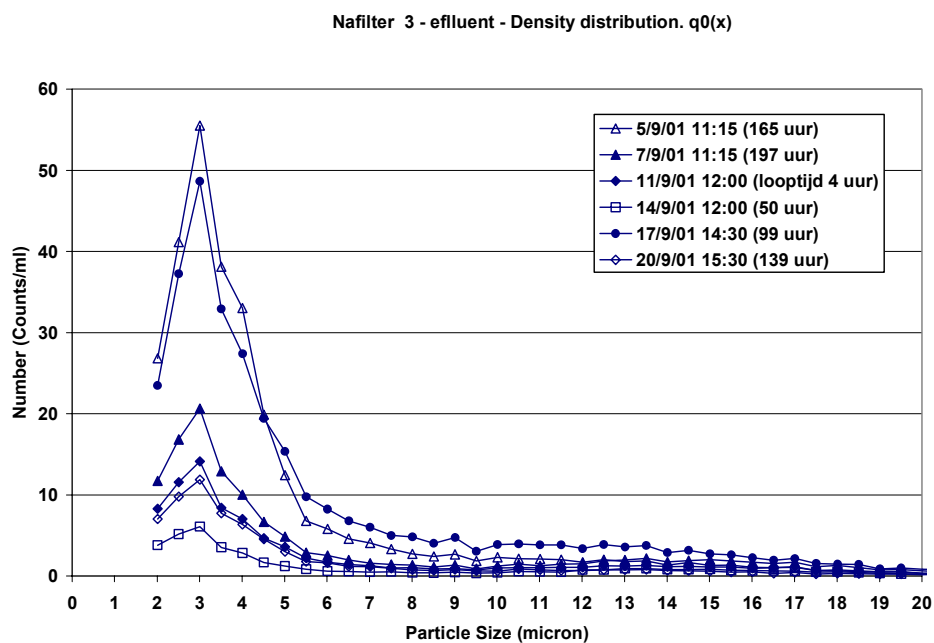
Datum Tijd Looptijd NF3 (h)	5-9-01 14:00 167	7-9-01 14:00 198	11-9-01 11:00 3	14-9-01 11:00 49	17-9-01 14:00 98	5-9-01 14:00 167	7-9-01 14:00 198	11-9-01 11:00 3	14-9-01 11:00 49	17-9-01 14:00 98
	Fe (mg/l)					Al (µg/l)				
Ruw		4.290	4.490		4.170					
Voorfiltraat kelder		0.270	0.225		0.155					
Influent NF 1,2,3	0.225	0.238	0.222	0.204	0.157	2.7			2.5	
NF3 Kraan 1	0.307	0.280	0.213	0.193	0.294	79.6	69.6	75.3	91.2	76.2
NF3 Kraan 2	0.380	0.208	0.173	0.399	0.288	95.4			120.0	
NF3 Kraan 3	0.142	0.136	0.158	0.128	0.164	69.1			87.1	
NF3 Kraan 4	1.160	0.113	0.137	0.111	0.286	171.0	63.8	66.6	78.1	68.7
NF3 Kraan 5	0.152	0.080	0.106	0.065	0.092	74.6			72.2	
NF3 Kraan 6	0.076	0.051	0.104	0.060	0.064	58.8			66.9	
NF3 Kraan 7	0.105	0.043	0.082	0.039	0.043	66.6	63.8	62.1	67.8	64.6
NF3 Effluent	0.070	0.070	0.078	0.065	0.043	63.0	58.7	69.2	35.6	63.4
Uitgaand rein		0.062	0.072		0.046		57.8	59.0		58.2

Deeltjes

Evenals bij de voorfiltratie zijn er tevens monsters van influent en effluent geanalyseerd met behulp van een deeltjesteller. In een deeltjesteller wordt voor een range van afmetingen tussen 2 en 100 micrometer het aantal aanwezige deeltjes bepaald. De deeltjes worden daartoe ingedeeld in groepen van 0,5 micrometer. De meetgegevens van het influent (voor vlokmiddeldosering) en het effluent van de nafiltratie zijn weergegeven in de grafieken 4-3 en 4-4.

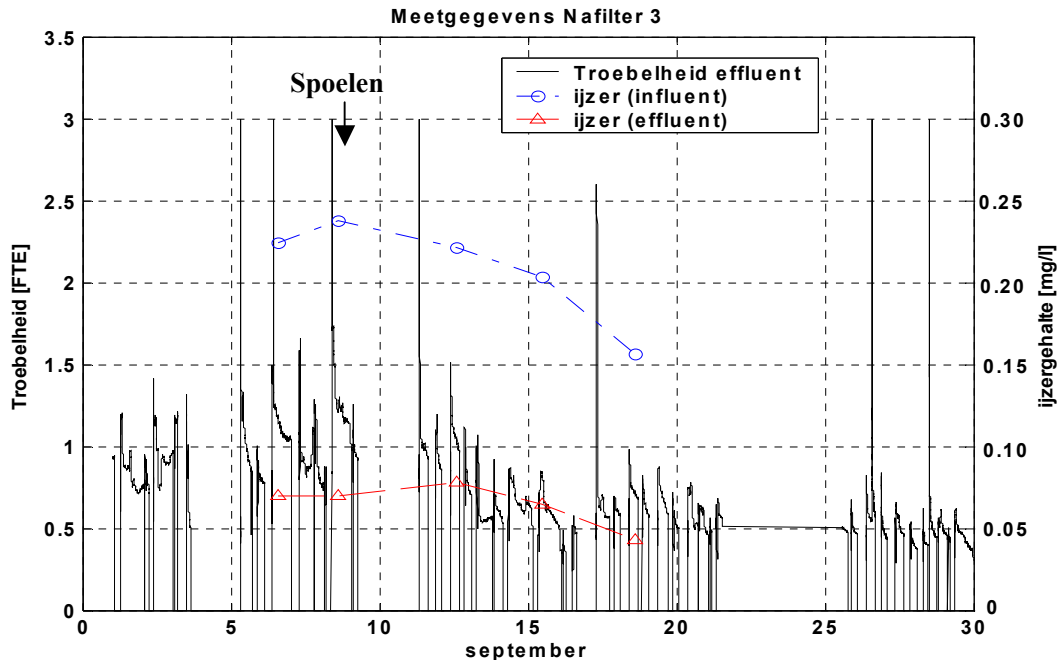


Figuur 4-2 Influent nafilter 3 : aantal deeltjes per grootte voor verschillende looptijden



Figuur 4-3 : Effluent nafilter 3 : aantal deeltjes per grootte voor verschillende looptijden

4.4 Analyse van de meetgegevens van de nafiltratie



Figuur 4-4 : In- en effluentconcentratie ijzer en troebelheid van het effluent

Invloed looptijd en influentkwaliteit

In figuur 4-4 is naast de troebelheid van het effluent van nafilter 3 ook het ijzergehalte van het influent en het effluent uitgezet

Doorsneden:

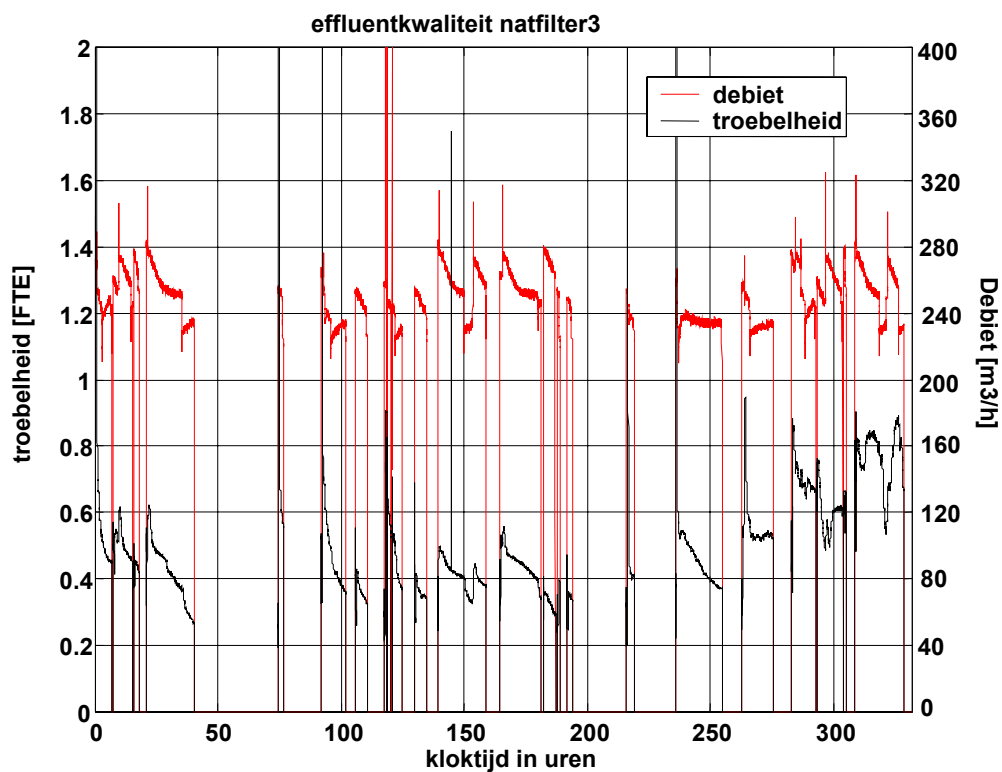
5/09/01	Looptijd nafilter 167 uur, draaiuren sinds laatste stilstand 7 uur, ijzergehalte influent 0,225 mg/l, ijzergehalte effluent 0,070 mg/l
7/09/01	Looptijd nafilter 198 uur, draaiuren sinds laatste stilstand 7 uur, ijzergehalte influent 0,238 mg/l, ijzergehalte effluent 0,070 mg/l
11/9/01	Looptijd nafilter 3 uur, draaiuren sinds laatste stilstand 3 uur, ijzergehalte influent 0,222 mg/l, ijzergehalte effluent 0,078 mg/l
14/09/01	Looptijd nafilter 49 uur, draaiuren sinds laatste stilstand 3 uur, ijzergehalte influent 0,204 mg/l, ijzergehalte effluent 0,065 mg/l
17/09/01	Looptijd nafilter 98 uur, draaiuren sinds laatste stilstand 7 uur, ijzergehalte influent 0,157 mg/l, ijzergehalte effluent 0,043 mg/l

De troebelheid en ook het ijzergehalte van het effluent verbeteren in het eerste deel van de looptijd 1 (aanvang op 11 september) enigszins. De verbetering dient vooral te worden toegeschreven aan een verbetering van de influentkwaliteit, maar wordt ook deels veroorzaakt door een verbetering van de zuivering in de aanvangsperiode van een looptijd. Ook de ijzergehalten van het influent verbeteren namelijk in de periode van 10 tot 20 september. De troebelheid van het influent (na de vlokmiddeldosering) is éénmalig bepaald op 2,8 FTE.

De effluenttroebelheid stabiliseert zich enigszins tot iets boven 0,5 FTE. Op het moment dat het filter wederom wordt teruggespoeld laat de effluenttroebelheid nog geen toename zien.

Invloed debiet en filtratiesnelheid

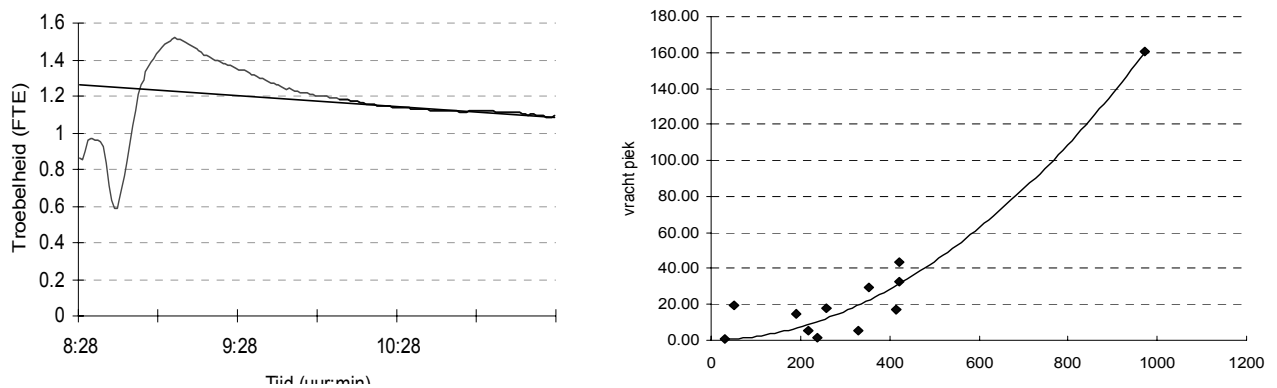
In figuur 4-5 zijn voor één looptijd het debiet over filter 3 en de effluenttroebelheid weergegeven. Er zijn wederom vele schakelingen zichtbaar omdat het filter regelmatig voor kortere of langere perioden volledig wordt uitgeschakeld. Voor de perioden dat het filter wel in productie is, varieert het debiet enigszins afhankelijk van de voordruk van de pompen en het wel of niet in bedrijf zijn van de beide andere nafilts en pompen. De zuivering van het water verbetert bij een aflopend debiet, de filtratiesnelheid wordt lager, waardoor meer zwevende stof wordt afgezet en/of minder zwevende stof wordt losgeweekt.



Figuur 4-5: debiet en effluent troebelheid nafilts 3

Effluentpiek als gevolg van schakelingen

Een tweede effect dat samenhangt met een wisselende productie is zichtbaar. Als gevolg van het opstarten van het nafilter ontstaat een piek in de effluenttroebelheid. In figuur 4-6 is één van deze pieken vergroot weergegeven. Met een gemiddeld debiet van $250\text{ m}^3/\text{h}$, een filteroppervlakte van 39 m^2 en een bedhoogte van 2 m , wordt er vanuit gegaan dat na 20 minuten het eerste ‘nieuwe’ water uit het filter komt. Voor een aantal pieken is de vracht bepaald van de piek (doorgetrokken lijn) boven het normale verloop van het effluent als gevolg van het teruglopende debiet (gestippelde lijn).



Figuur 4-6 : Effluentpiek bij opstarten natfiltratie (links) en de als gevolg hiervan uitgespoelde vracht (in FTE *m³) tegen de voorafgegane stilstandtijd van het filter (rechts)

De vracht blijkt afhankelijk te zijn van de voorafgaande periode van stilstand (figuur 4-6). Mogelijk wordt afgezet materiaal losgeweekt bij een langdurige stilstand. Waarschijnlijk nog belangrijker is dat de filters droogvallen tijdens stilstand. Dit wordt veroorzaakt door lekkende afsluitkleppen, de bovenwaterstand van 30 cm verdwijnt daardoor geheel in ongeveer drie uur.

De extra uitgespoelde vracht tijdens deze pieken is gemiddeld $20\text{ [FTE}\cdot\text{m}^3]$. De vracht van 10 à 15 pieken per looptijd bedraagt derhalve ongeveer 1% van de totaal uitgespoelde vracht (ongeveer 25000 FTE m^3).

Conclusies metingen

- De zuiveringsprestatie van het nafilter varieert met de influentkwaliteit. Een hoger ijzergehalte in het influent leidt tot een hoger ijzergehalte in het effluent. Het verwijderingspercentage blijft nagenoeg constant.
- De zuiveringsprestatie van het filter varieert met de filtratiesnelheid:
 - 1) Bij een hoger debiet is de filtratiesnelheid hoger en is de verwijdering minder
 - 2) In een vervuild filter (langere looptijd) is de filtratiesnelheid hoger en de verwijdering minder
- In het begin van de looptijd verbetert de zuivering enigszins, omdat door een vuiler wordend filter een betere hechting van de vervuiling aan het filtermateriaal wordt verkregen.
- Als gevolg van het opstarten van de filtratie ontstaan doorslagpieken in het effluent. De omvang van de doorslag is afhankelijk van de voorafgaande stilstandtijd en bepaald ongeveer 1% van de totale doorslag.

4.5 Calibratie

De in paragraaf 4-1 beschreven modellering van de snelfiltratie wordt gecalibreerd op basis van de in de voorgaande paragrafen beschreven metingen.

In het model zijn de invloed van de filtratiesnelheid en de vervuiling van het filter op de effluentkwaliteit meegenomen. De piekbelasting als gevolg van de schakelingen is niet in de modellering opgenomen. Hiervoor is gekozen omdat de piekvracht slechts een klein percentage (1%) van de totale vracht beslaat (zie § 4.4). Daarbij komt dat de pieken deels veroorzaakt worden door de defecte afsluitkleppen. Dit dient niet met een verbetering van de sturing, maar met onderhoud opgelost te worden. Later zal blijken dat de filters gedurende een volledige looptijd in bedrijf kunnen blijven, zodat alleen direct na spoelen een piek ontstaat. Ook voor het gebruik van het model in MPC zijn de pieken daarom niet relevant.

In de modellering worden de volgende constanten gebruikt:

Bedhoogte	2 m
Bovenwaterstand	0,40 m
Porositeit	40 %
Korrel diameter	1,45 mm
Dichtheid van de vlok	7 kg/m ³
Influenttroebelheid	2,8 FTE

Voor de calibratie van het in paragraaf 4.1 beschreven model zijn 3 parameters beschikbaar.
met Ives:

$$\lambda = \lambda_0 \cdot (1 + n_1 \cdot \sigma_v - n_2 \frac{\sigma_v^2}{p_0 - \sigma_v})$$

en $\lambda_0 = n_3 / v_p$

Hierin wordt λ_0 , de schoonbed filtratiecoëfficiënt, bepaald op basis van de gemeten effluenttroebelheid en filtratiesnelheid bij aanvang van een looptijd. Hieruit volgt de waarde van n_3 . De n_1 in de eerste term bepaalt in welke mate de zuivering verbetert in de eerste periode van de looptijd. De calibratieparameter n_2 in de tweede term bepaald de mate waarin het vuiler wordende filter leidt tot een lagere λ en daarmee dus een slechtere effluentkwaliteit. De eerste term overheerst dus in het begin van de looptijd, de tweede bij een vervuild filter en dus een langere looptijd.

Voor de calibratie zijn twee meetseries gebruikt (zie figuur 4-8 en 4-9). Er zijn twee verschillende calibraties verricht. De bijbehorende calibratieparameters zijn opgenomen in tabel 4-3.

Tabel 4-2 : Calibratieparameters voor de beide looptijden

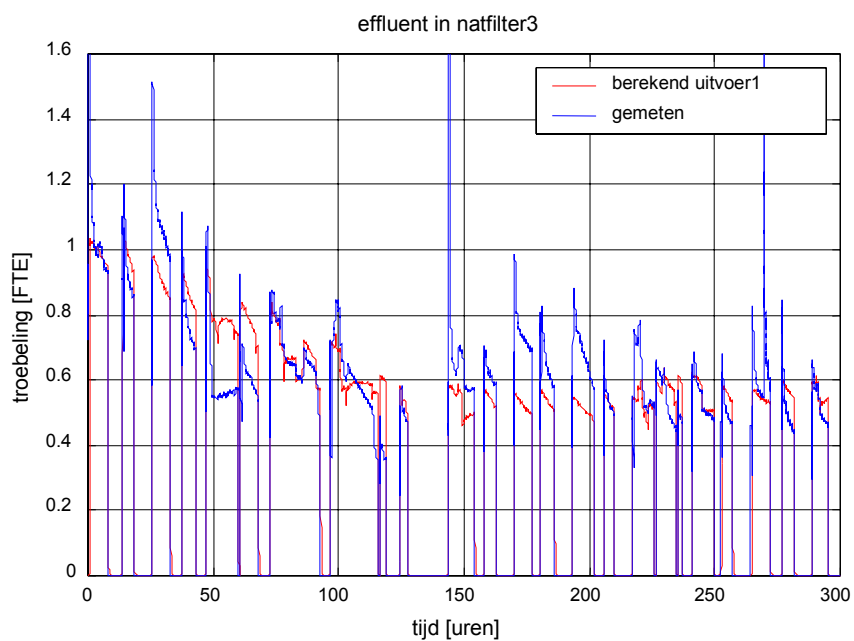
Looptijd 1 :	Looptijd 2
van 11 september tot 27 september 2001	van 27 september tot 12 oktober 2001
$n_1 = 0,055$	$n_1 = 0,1$
$n_2 = 0,40$	$n_2 = 0,15$
$n_3 = 0,0025$	$n_3 = 0,0048$

De calibratieparameters voor de beide looptijden blijken meer te verschillen dan normaal verwacht mag worden. Het ijzergehalte in het influent bleek in het begin van de eerste looptijd af te nemen. (zie §4.4). Omdat in de modellering is uitgegaan van een constante (lagere) influenttroebelheid is de schoonbedfiltratiecoëfficiënt λ_0 in de eerste calibratie waarschijnlijk te laag. Van de influentkwaliteit van de tweede looptijd zijn geen metingen gedaan. Meting van de influentkwaliteit is in toekomstige metingen derhalve gewenst.

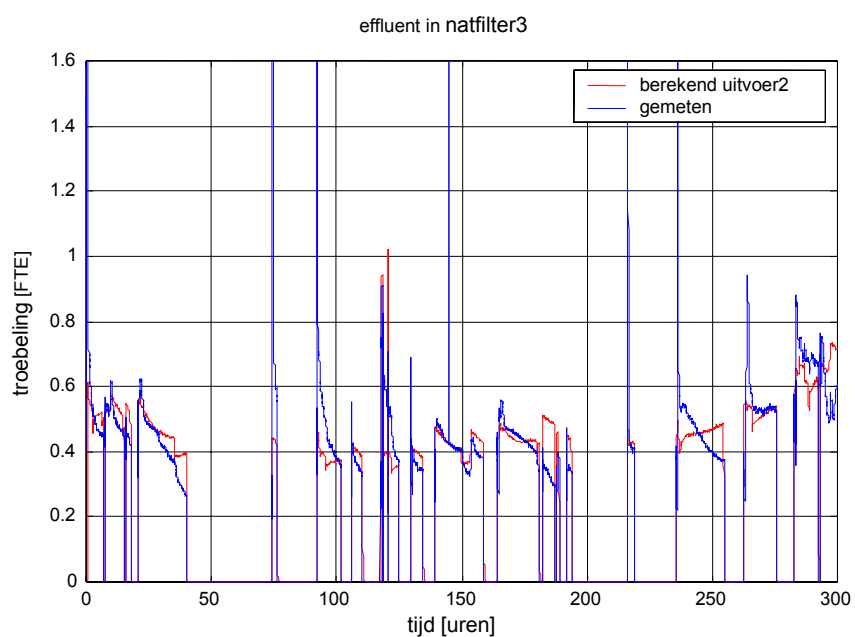
In de modellering is voorts de variatie van λ_0 met de filtratiesnelheid verwerkt. Het gemeten productiedebiet, gebruikt als invoer van het model, geeft voor de meeste periodes een goed beeld van een betere effluentkwaliteit bij lagere snelheden. Voor enkele periodes blijkt het model niet te voldoen. Rond de 250 uur van looptijd 2 blijkt in de modellering de uitspoeling uit het filter overheersend te zijn. In de metingen blijkt bij een nagenoeg constant debiet de troebelheid te verbeteren. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat het filter voorafgaand 16 uur stilstond. Deze variatie van de zuivering met schakelingen is niet gemodelleerd. In de eerste uren van beide looptijden verbetert de zuivering in het filter en neemt de λ af. Uit de metingen van het ijzergehalte bleek al dat de effluentkwaliteitsverbetering in de eerste periode van looptijd 1, mede veroorzaakt wordt door een verbeterde influentkwaliteit. Omdat de effluenttroebelheid in de eerste looptijd, vervolgens wel verbetert tot ongeveer 0,5 FTE, maar deze verbetering veel langer duurt dan in looptijd twee, is n_1 een factor 2 lager.

Het einde van de looptijd geeft in looptijd 1 nog nauwelijks een verslechtering van de effluentkwaliteit te zien. Aan het eind van de tweede looptijd loopt de effluenttroebelheid wel enigszins op. Omdat de doorslag groter is in de eerste calibratie is de vervuiling aan het eind nog niet zo groot dat de tweede term (uit Ives) de eerste gaat overheersen.

Tussen 150 en 200 uur in de eerste looptijd is een toename die niet gevolgd wordt door het model. Ook hier is mogelijke een variatie in de influentconcentratie de oorzaak.



Figuur 4-7 Looptijd 1 : gemeten (blauw) en gemodelleerde (rood) effluenttroebelheid tegen de tijd (kloktijd)



Figuur 4-8 Looptijd 2 : gemeten (blauw) en gemodelleerde (rood) effluenttroebelheid tegen de tijd (kloktijd)

Conclusie gecalibreerd model

Er zijn twee verschillende curves gecalibreerd. Omdat de meetapparatuur heeft stilgestaan bij de meting van de eerste looptijd en de influentkwaliteit sterk wisselde, zal de tweede calibratiecurve worden gebruikt in de optimalisatie in hoofdstuk 5.

De gecalibreerde curve dient met enige voorzichtigheid te worden gebruikt.

Het model is gecalibreerd aan de hand van debietmetingen die variëren tussen 230 en 280 m³/h. Toepassing van deze modellering in een andere range kan wel duidelijkheid verschaffen over een mogelijke verbetering, omdat de theorie van de modellering in proeffilters, ook buiten de hier gecalibreerde range klopt. Voor calibratie van de modellering bij lagere of hogere debieten zijn metingen nodig bij een grotere variatie van het debiet.

Ten tweede blijkt de aanname van een constante influentkwaliteit een tekortkoming in het model. De variatie met de filtratiesnelheid wordt hierdoor niet beïnvloed. Bij verder gebruik van de modellering als MPC is het echter aan te bevelen ook een tijdsafhankelijke influenttroebelheid als invoerparameter van het model te gebruiken.

De variatie van de effluentkwaliteit met de looptijd levert twee wezenlijk verschillende beelden op. Gegevens van meerdere looptijden, waarin tevens de influentkwaliteit wordt meegenomen als invoer van het model, zijn gewenst.

5 OPTIMALISATIE

In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden tot verbetering van de sturing van PS Loosdrecht onderzocht. Uit het onderzoek bleek al dat minder variatie in het productiedebiet tot verbeteringen kan leiden. Eerst worden de voor- en nadelen van een verdeling van het productiedebiet over de nafilts worden besproken. Vervolgens zullen de mogelijkheden voor een afvlakking van de totale productie worden behandeld. De op deze wijze te realiseren verbetering van de zuiveringsprestatie zal worden gekwantificeerd.

5.1 Verdeling productiedebiet over de filters

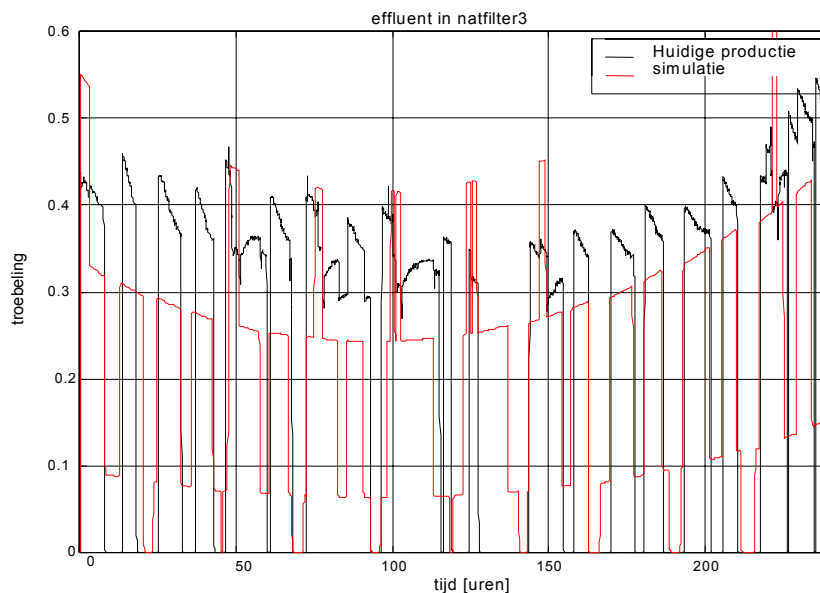
Zoals aangegeven in hoofdstuk 3, wordt in de huidige bedrijfsvoering gewerkt met een verdelingssysteem dat is afgeleid van een verdeling van de installatie in straten. Het totale productiedebiet is opgedeeld in vier stappen (0, 250, 500, 700 m³/h) en de verschillende zuiveringsstappen volgen dit patroon. Afhankelijk van de productie zijn derhalve ook 0, 1, 2 of 3 nafilts in gebruik. De volgorde van in bedrijf komen van de nafilts volgt de voorfiltratie. Dat wil zeggen dat nafilts 1 wordt ingeschakeld als ook voorfilter 1 is ingeschakeld. In de voorfiltratie komt het vuilste filter als eerste in bedrijf. Achterliggende gedachte daarbij is dat het aantal schakelingen voor het vuilste filter beperkt blijft. Door het verschil in looptijden (het nafilts wordt gespoeld na drie looptijden van bijbehorend voorfilter) gaat deze gedachte niet op voor de nafilts.

In de huidige bedrijfsvoering is de variatie in filtratiesnelheden onnodig groot en is de bepaling van de looptijd van de nafilts gebaseerd op een voor de bedrijfsvoering op het oog simpel uitgangspunt (namelijk drie maal de looptijd van de voorfilters).

Een kleinere variatie in de filtratiesnelheden kan worden gerealiseerd door de productie te verdelen over de drie nafilts, ongeacht de omvang van de productie.

Spoelen na een vaststaand aantal uren, gebaseerd op het effluentverloop is al een verbetering ten opzichte van de huidige regeling, een meer verfijnde regeling met behulp van meting van effluenttroebelheid en MPC wordt uitgewerkt in hoofdstuk 6.

Resultaten



Figuur 5-1 : Effluenttroebelheid in huidige bedrijfsvoering en met verdeling van de productie over drie filters

Het aantal schakelingen op een filter zal toenemen in een dergelijke bedrijfsvoering. Alle debietsvariaties in het totale productiedebiet zullen immers doorwerken in de variatie op één filter. De variatie zal echter veel minder groot zijn en het filter zal minder lang volledig stil staan.

De verdeling van de productie over de drie aanwezige filters blijkt een verbetering op te leveren ten opzichte van de huidige bedrijfsvoering. De gemiddelde effluenttroebelheid verbetert van 0,38 FTE naar 0,28 FTE. Met een influenttroebelheid van 2,8 FTE betekent dit een toename van het verwijderingspercentage van 87% naar 90 %. Dit betekent een verlaging van de vuillast met 25%. Indien wordt uitgegaan van de in paragraaf 3.2 geformuleerde kostenpost voor spuien van €38.000,- (ordegrootte) dan kan derhalve ongeveer €10.000,- worden bespaard op spuikosten.

Opgemerkt dient te worden dat het spoelmoment in de nieuwe situatie zal veranderen. Bij een betere zuivering wordt enerzijds meer materiaal afgezet zodat er eerder gespoeld moet worden. Anderzijds zal door de lagere snelheden wellicht langer geproduceerd kunnen worden met een vuil filter, met het gevolg dat weer later kan worden gespoeld. Op het bepalen van het spoelmoment wordt in hoofdstuk 6 verder ingegaan.

5.2 Sturing van de productie

Een al beproefde wijziging in het beheer, betreft een afvlakking van het productiedebiet op basis van modelvoorspellingen van de vraagcurve. Behalve de voor de hand liggende kostenbesparing door lagere energiekosten, er wordt immers een deel van de productie naar de nacht verplaatst, zijn er enkele andere voordelen te noemen.

Ten eerste wordt het beheer van het pompstation eenvoudiger. Storingen in een zuiveringsinstallatie treden vaak op bij een schakeling in de installatie. Een kleiner aantal schakelingen zal derhalve tot minder storingen leiden.

Met het oog op de nieuw in te richten winning, is bij een lagere maximale productie wellicht een winput minder nodig. Dit levert een behoorlijke besparing op in de investeringskosten.

Een verder voordeel van een vlakkere productie ligt op het kwalitatieve vlak. Een aantal zuiveringsprocessen (zoals bijvoorbeeld filtratie) functioneren beter bij lagere snelheden. Indien de variatie in de snelheden minder wordt, kunnen ontwerp en instellingen van de processen bovendien worden toegespitst op de gemiddelde snelheid. Verder leidt stilstand en opstarten van een aantal processen tot verstoringen van de zuivering, zodat beperking van stilstand zal leiden tot kwaliteitsverbetering.

De invloed die een wijziging in de productie heeft op de kwaliteit zal in paragraaf 5.3 worden gekwantificeerd.

5.2.1 De vraag

PS Loosdrecht levert water aan (delen van) de gemeenten Loosdrecht, Maartensdijk, Loenen, Abcoude, Hilversum, Maarssen en Breukelen. Over de grenzen van dit leveringsgebied vindt slechts een zeer geringe levering plaats (enkele duizenden m³ per jaar)¹.

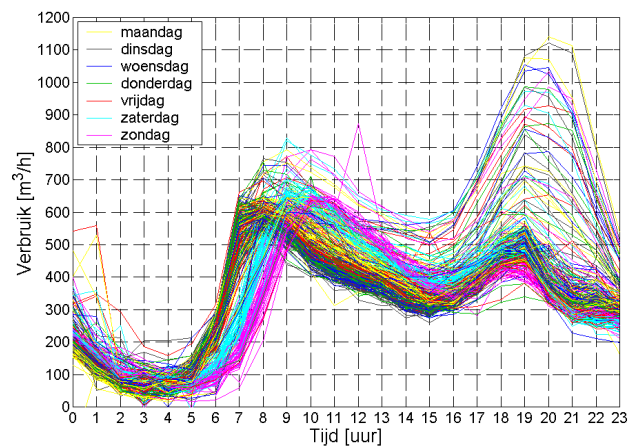
De verbruikgegevens van het afzetgebied van PS Loosdrecht zijn bekend van 1990 tot 2000. Elk uur is de hoeveelheid water gemeten. In figuur 5.2 is voor elke dag het verloop van de vraag over de dag uitgezet (1997). Het geeft grotendeels een te verwachte beeld met een laag verbruik in de nacht, een ochtendpiek en een avondpiek. Een aantal opmerkingen:

- 1- De ochtendpiek valt op zaterdagen ongeveer één en op zondagen twee uur later.
- 2- De avondpiek is op zondagen lager.
- 3- De avondpiek is op ongeveer 20 dagen per jaar duidelijk afwijkend (hoger) t.o.v. het normale patroon. Dit wordt veroorzaakt door een hoger waterverbruik als gevolg van een aanhoudend warme periode.

Er is een duidelijke trend te zien in het verbruik gedurende de dag, waarin het uurverbruik binnen een bandbreedte van maximaal 100 m³/h vastligt. Een verschuiving in het tijdstip van het verbruik is te zien voor zaterdagen en zondagen, waarmee in een sturing rekening moet worden gehouden.

¹ Bron : DHV - "Leidingnetschematisatie regio 3 - Loosdrecht", Amersfoort - Juni 1992

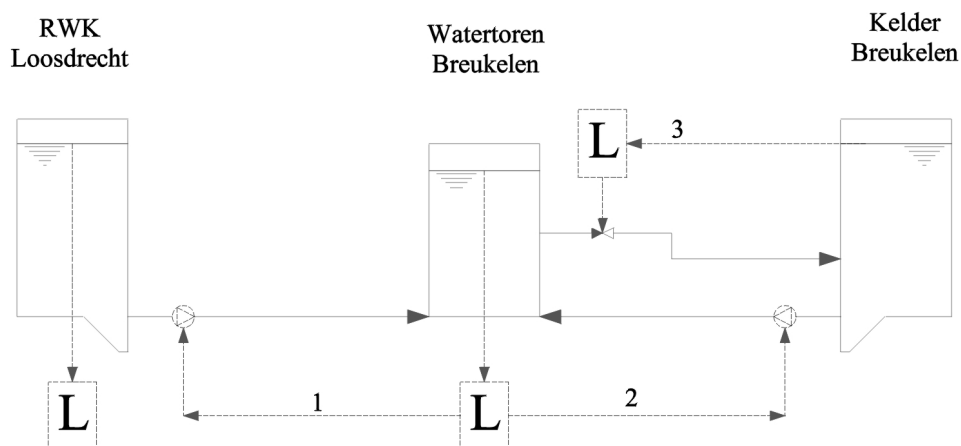
Aan de vraag vanuit het afzetgebied wordt in twee stappen voldaan, de distributie op basis van het niveau van de watertoren en de productie op basis van het niveau van de rein waterkelder van PS Loosdrecht.



Figuur 5-2 : Het verbruik in het afzetgebied van PS Loosdrecht. Weergegeven is het verloop van de vraag gedurende een dag (voor 365 dagen, 1997)

5.2.2 De distributie

De rein waterkelder op PS Loosdrecht omvat 2500 m³. Vanuit deze kelder wordt het drinkwater door middel van vier hogedrukpompen naar de watertoren (450 m³) in Breukelen gepompt. In Breukelen is tevens een suppletiekelder (2000 m³) aanwezig. Met behulp van twee pompen kan het drinkwater uit deze kelder naar de toren worden gepompt. Door middel van een leiding vanuit de watertoren kan de kelder weer worden gevuld.



Figuur 5-3 : Sturing van de distributie

De huidige sturing van de distributie

De hogedrukpompen van PS Loosdrecht [HD Lsd] en de suppletiepompen in Breukelen [HD Brk] worden gestuurd op basis van het niveau van de watertoren in Breukelen [WT Brk]. Achtereenvolgens nummers 1

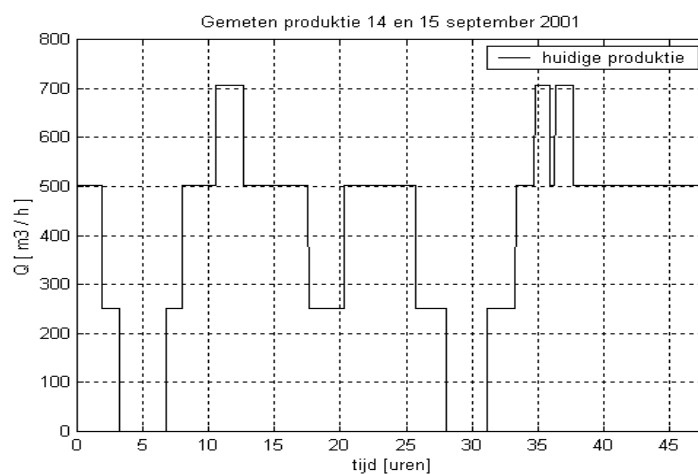
en 2 in figuur 5.3. Bij voldoende niveau in de watertoren en een laag niveau in de suppletiekelder kan deze laatste worden gevuld [nummer 3].

Momenteel schakelen de vier hogedrukpompen van PS Loosdrecht in op basis van een peil in de watertoren van Breukelen. De suppletiepompen worden alleen aangesproken als de op PS Loosdrecht aanwezige pompen zelfs bij volledige capaciteit niet voldoende kunnen leveren.

In verband met de kwaliteit van het water in de suppletiekelder dient de beheerder eens per maand handmatig de suppletiepompen bij te schakelen. Dit gebeurt waarschijnlijk niet regelmatig en het is onwaarschijnlijk dat eens in de maand voldoende is voor een betrouwbare drinkwaterkwaliteit.

5.2.3 De productie

Zoals beschreven in hoofdstuk 3 worden de winputten aangestuurd op basis van het niveau van de rein waterkelder. De productie volgt derhalve de vraag, met een vertraging als gevolg van de buffering in de rein waterkelder. De productie is ingedeeld in drie ruw water groepen, met een productie van achtereenvolgens 250 m³/h, 252 m³/h en 205 m³/h (Groep I, II en III). Figuur 5-4 geeft de gerealiseerde productie weer gedurende 14 en 15 september 2001. Er vinden zestien schakeling plaats in 48 uur. Zeven à acht schakelingen per dag is gemiddeld op PS Loosdrecht. Tevens valt op dat drie wingroepen worden bijgezet juist na de ochtendpiek, terwijl de installatie gedurende de nacht volledig uit bedrijf gaat.



Figuur 5-4 : Gerealiseerde productie 14 & 15 september 2001

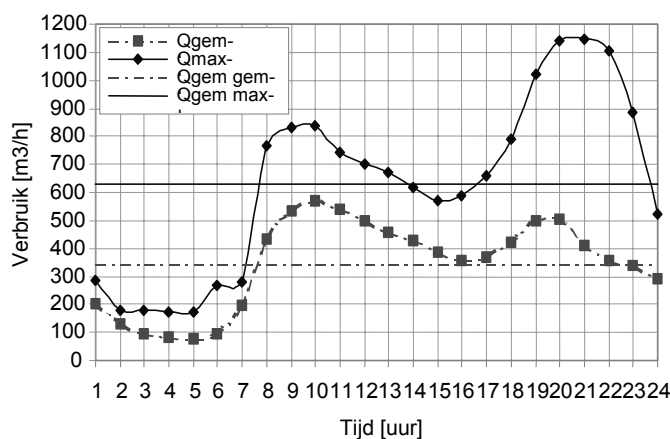
5.2.4 Mogelijkheden voor afvlakking van het productiedebiet

De mogelijkheden voor een afvlakking van het productiedebiet worden bepaald door de hoeveelheid ruimte in de kelders voor buffering enerzijds en door de vorm van de vraagcurve anderzijds.

De vraagcurve

Het gemiddelde verbruik op een gemiddelde dag (totaal gemiddelde alle dagen 1997) en op de maximum dag is weergegeven in figuur 5.4. Het gemiddelde op een gemiddelde dag bedraagt 345 m³/h, op een maximum dag 630 m³/h.

Alle dagen met een avondpiekverbruik (>600m³/h om 20h) zijn te vinden in de maanden mei, juni, juli en augustus. Voor een voorspelling van de avondpiek zal voor deze maanden rekening moeten worden gehouden met een mogelijke piek als gevolg van warm en droog weer.



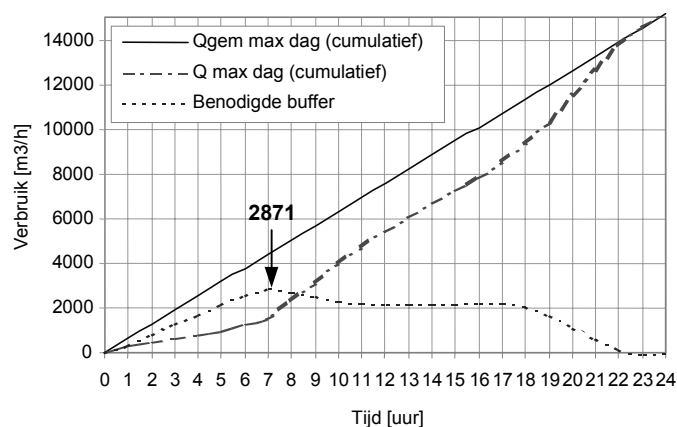
Figuur 5-5 : Het verbruik en het gemiddelde verbruik in het afzetgebied voor een gemiddelde en maximumdag, 1997

Benodigde bergingscapaciteit

Het rein waterreservoir heeft als belangrijkste functie de afvlakking van de productie.

Daarnaast heeft het reservoir een functie als reservevoorraad bij calamiteiten (ijzeren berging) en dient een voorraad gereserveerd te worden voor het spoelen van de filters. Voor de spoelwatervoorraad wordt een hoeveelheid aangehouden die gelijk is aan één spoelbeurt voor een voorfilter plus één voor een nafilter. Voor calamiteiten wordt het gemiddeld uurverbruik van de maximum dag aangehouden ². De maximaal benodigde buffer bij volledige afvlakking van het dagdebiet wordt bepaald uit het gemiddelde en werkelijke debiet op de maximale dag [figuur 5.6]

² Bron : "Transport en distributie van drinkwater" - Collegedictaat CT3420 - TUDelft



Figuur 5-6 : benodigde buffercapaciteit

Het verschil tussen beide bepaalt de benodigde hoeveelheid buffer op elk moment van de dag. De maximale benodigde buffercapaciteit is 2871 m^3 om 7 uur 's ochtends.

5.2.5 Optimalisatie

Opzet model Loosdrecht

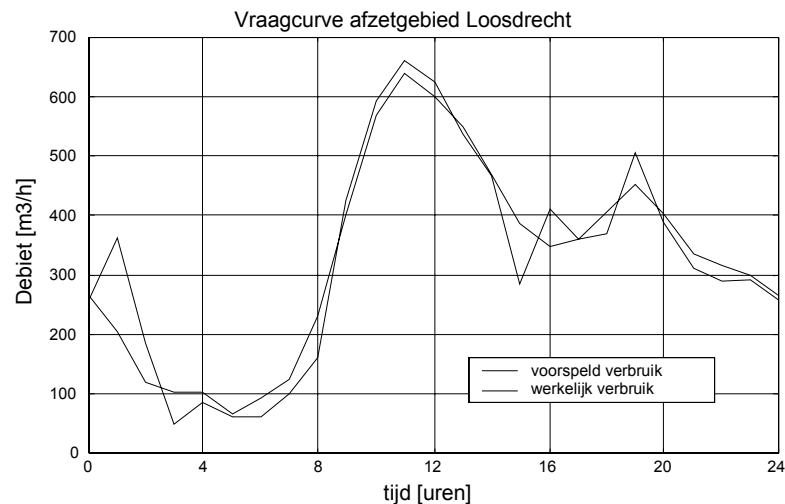
Voor de optimalisatie van het productiedebiet van PS Loosdrecht is een model van de installatie gebruikt. Voor de vraag is gebruik gemaakt van de meetgegevens van de vraag zoals weergegeven in figuur 5.1. (van elk uur is de vraag bekend). Er wordt aangenomen dat de rein waterkelder van PS Loosdrecht met een afmeting van 2500 m^3 voor 50% (ervaringscijfer) kan worden aangewend voor de afvlakking. Dit in verband met de wens een deel van de buffercapaciteit te reserveren voor calamiteiten en benodigde buffer voor spoelwatergebruik. De suppletiekelder in Breukelen (2000 m^3) kan volledig voor de afvlakking worden gebruikt. Voor de hogedrukpompen zijn vier stappen aangenomen, voor de suppletiepompen 2 stappen en een mogelijkheid om de suppletiekelder te vullen. Er is aangenomen dat de 6 winputten afzonderlijk kunnen worden bijgezet, in een vaste volgorde op basis van kwalitatieve kenmerken. (zie onderstaande tabel). Er is alleen een simulatie gedaan met de aanwezige vaste pompen (zonder toerenregeling). Het spoelwaterverbruik is niet in de modellering opgenomen.

Tabel 5-1 Capaciteit pompen in Opir-model

Winning		Hogedrukpompen		Suppletie Breukelen	
PP 15	$102 \text{ m}^3/\text{h}$	HD – pomp I	$250 \text{ m}^3/\text{h}$	Pomp I	$120 \text{ m}^3/\text{h}$
PP 21	$132 \text{ m}^3/\text{h}$	HD – pomp II	$450 \text{ m}^3/\text{h}$	Pomp II	$120 \text{ m}^3/\text{h}$
PP 22	$138 \text{ m}^3/\text{h}$	HD – pomp III	$600 \text{ m}^3/\text{h}$	Vullen kelder	$-200 \text{ m}^3/\text{h}$
PP 23	$123 \text{ m}^3/\text{h}$	HD – pomp IV	$700 \text{ m}^3/\text{h}$		
PP 16	$94 \text{ m}^3/\text{h}$				
PP 18	$104 \text{ m}^3/\text{h}$				

Resultaten

De door te realiseren productie wordt door opir bepaald op basis van een voorspelling van de vraagcurve. De

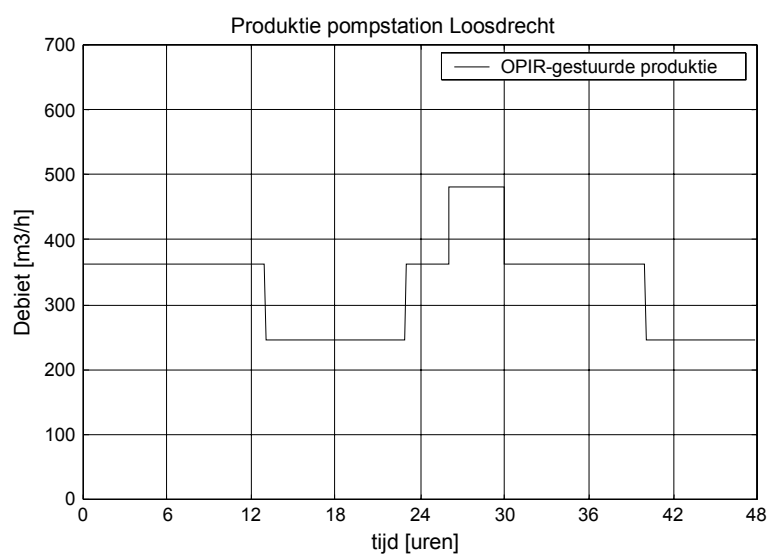


Figuur 5-7 : Door OPIR voorspelde en de daadwerkelijk opgetreden vraagcurve

doelmatigheid van de productiesturing valt of staat derhalve bij een goede benadering van de vraag. Figuur 5-7 geeft de door opir voorspelde en de werkelijk opgetreden vraagcurve gedurende een dag weer. De afwijking wordt middels niveaumeters in de kelders geregistreerd en gebruikt in de voorspelling van toekomstige vraagcurven.

Productiedebiet met behulp van OPIR

Op basis van de bovenstaande voorspelling van de vraag, wordt een productiepatroon bepaald. (zie figuur 5-



Figuur 5-8 : Met OPIR gerealiseerde productiedebiet

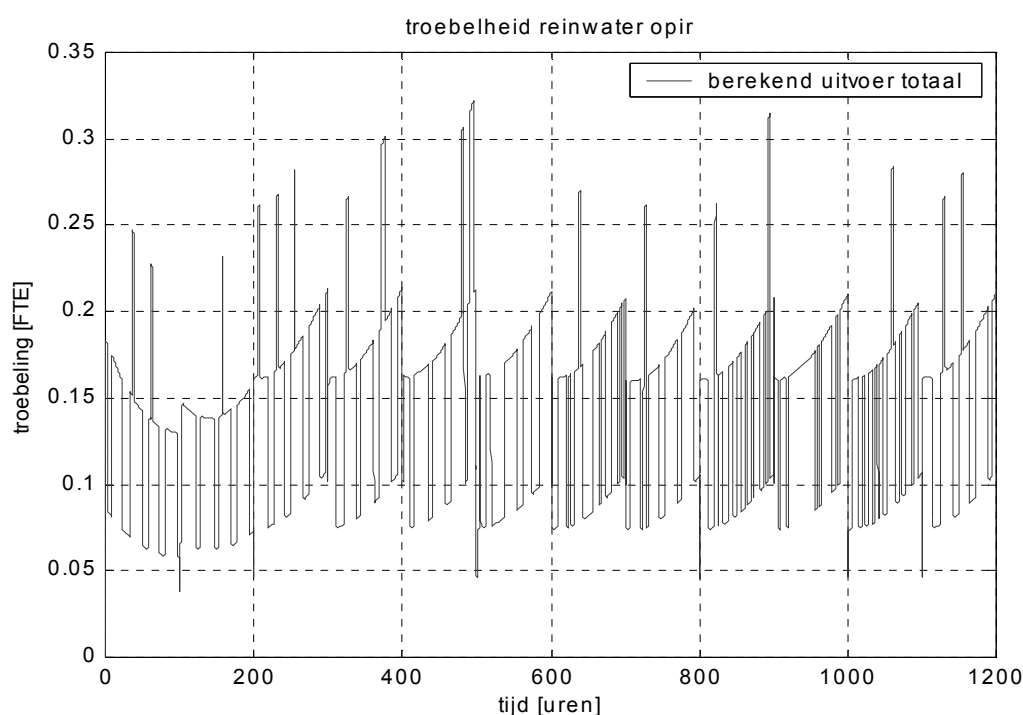
8). Het aantal schakelingen en de variatie in de productie nemen af. Gemiddeld vinden nog twee a drie schakelingen per dag plaats. De productie staat nooit meer stil.

Het maximum aantal benodigde winputten is vijf. In de huidige bedrijfsvoering zijn 6 winputten noodzakelijk. Bij de herinrichting van de winning kan, indien één reserveput gewenst is, derhalve worden volstaan met de aanleg van 6 winputten in plaats van de 7 in de huidige planning.

5.3 Kwantificering van de verbeterde zuivering

Op basis van de gemodelleerde curve kan de effluentkwaliteit van de filtratie worden bepaald, indien een regeling wordt toegepast zoals voorgesteld in de voorgaande paragrafen. De productie wordt afgevlakt met behulp van OPIR en deze productie wordt verdeeld over de natfilters, zoals beschreven in paragraaf 5.1. Daartoe worden drie identieke filters naast elkaar geplaatst. [zie bijlage VI]

Omdat het exacte spoelmoment op basis van de gedane metingen niet beter kan worden vastgesteld, is in de simulatie een looptijd van 300 uur aangehouden. De spoelmomenten van de afzonderlijke nafilters zijn bovendien verdeeld, zodat elke 100 uur een filter wordt gespoeld.



Figuur 5-9 : Troebelheid rein water volgens simulatie met OPIR en verdeling productie over filters

Figuur 5-9 geeft de troebelheid van de opgemengde effluentstromen van de filtratie weer. Doordat de productie als gevolg van een productiesturing met OPIR vooral 234 of 372 m³/h is en ongeveer eens per etmaal 495 m³/h, is de variatie in het verdeelde productiedebiet over de drie filters voornamelijk van 78 tot 124 m³/h en dagelijks voor een korte periode 165 m³/h.

In vergelijking met de curves uit figuur 5.1 is een duidelijke verbetering in de effluenttroebelheid zichtbaar. De troebelheid van het rein water blijft altijd (ook tijdens pieken) onder de VEWIN-norm van 0,4 FTE. Ook de totale vracht zal met deze wijze van regeling verbeteren. De gemiddelde troebelheid in het effluent bedraagt momenteel (volgens de metingen van nafilter 3) 0,4 FTE. Met een gemiddelde troebelheid van het influent van 2,8 FTE komt dit neer op een verwijdering van 87%. De verdeling van de productie over de drie filters gaf al een verbetering te zien tot 90 %. In de simulatie met verdeling en afvlakking van de productie wordt een gemiddelde troebelheid van 0,2 FTE gerealiseerd. Dit leidt derhalve tot een verder verbetering van de verwijdering tot 93 %. De vuillast verbetert derhalve opnieuw aanzienlijk ten opzichte van de in paragraaf 5.1 beschreven simulatie. Als gevolg van beide maatregelen (verdeling en OPIR) wordt een verlaging van de vuillast van 50 % gerealiseerd, oftewel een kostenbesparing op de spuikosten van ongeveer €20.000,- per jaar.

6 DISCUSSIE : INPASSING MODEL PREDICTIVE CONTROL

De conclusie uit het onderzoek van de casestudie op PS Loosdrecht is dat er verbeteringen mogelijk zijn in de zuiveringsprestatie van de filtratie door een optimalisatie van de sturing. Daarbij beperkte het onderzoek zich tot de sturing met behulp van een off-line gebruikte modellering. In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de mogelijkheden Model Predictive Control in te passen in de sturing van PS Loosdrecht. Daartoe zal eerst worden aangegeven wat niet met behulp van MPC kan worden opgelost. Vervolgens volgt een paragraaf over experimenteren in een praktijkinstallatie. Tot slot volgt een beschrijving hoe MPC er voor de sturing van de snelfiltratie op PS Loosdrecht uit kan gaan zien.

6.1 Ontwerp, onderhoud of sturing

In de meeste gevallen zal Model Predictive Control ingepast gaan worden in een bestaande installatie. In het grootste deel van de drinkwaterbehoefte wordt in Nederland voorzien met behulp van installaties die nog niet aan vervanging toe zijn. Indien de sturing van een bestaande installatie wordt geoptimaliseerd, komen er in het onderzoek zaken naar voren die geen sturingsprobleem zijn. Één van de oorzaken van een niet optimaal functionerende installatie, kan bijvoorbeeld liggen in een foutief ontwerp. Er dient duidelijk te worden verschaft over aanbevelingen voor onderzoek naar of wijziging van de ontwerpparameters, zodat het eigenlijke onderzoek helder blijft.

Helaas is de grens tussen sturing en ontwerp niet altijd even helder te trekken. Een voorbeeld daarvan is het gebruik van toeren geregelde pompen. Hoewel voor sturing de regelmacht met betrekking tot de controle van de debieten, groter zal zijn met toerenregeling, zal men vaak terughoudend zijn nog functionerende pompen te vervangen. Hierin geldt dat duidelijke keuze moeten worden gemaakt.

- Is vervanging van de huidige pompen rendabel? Zo niet, dan is de bestaande installatie randvoorwaarden voor het onderzoek van de sturing.
- Is een investering in toerengeregelde pompen in een later stadium rendabel? Zo ja, dan dient de sturing met deze hernieuwde randvoorwaarde te worden geoptimaliseerd.

Ook zal men bij implementatie van een nieuwe sturing tegen achterstallig onderhoud aanlopen. Het heeft weinig zin om de variaties als gevolg van deze onderhoudsfactoren te modelleren en op te nemen in de sturing. Defecte afsluitkleppen, en verouderd filtermateriaal belemmeren bij metingen van de praktijkinstallatie het zicht op de variabelen die geschikt zijn voor sturing.

Er is echter wel een onderdeel waarop Model Predictive Control dienst kan doen met betrekking tot het signaleren van de noodzaak van onderhoud. Indien MPC functioneert in een installatie kan deze eenvoudig ook worden gebruikt voor het monitoren van trends. Als de berekende effluentconcentraties na een aantal jaren bijvoorbeeld grotere afwijkingen gaat vertonen, kan er sprake zijn van een onderhoudsnoodzaak van het filter (vervanging van het filtermateriaal is bijvoorbeeld gewenst).

6.2 Experimenteren in een praktijkinstallatie

De calibratie van de modellering behoort tot de moeilijkste facetten van de implementatie van MPC in de sturing van pompstations. In een experiment in een laboratorium is de onderzoeker vrij te variëren met veel, zo niet alle gewenste variabelen. De enige opgelegde beperking is de kostprijs van de experimenten. Hoe belangrijk dit laboratoriumonderzoek ook is, het uiteindelijke doel is de drinkwaterproductie in de praktijk te verbeteren. Omdat experimenten op werkelijke schaal over het algemeen te kostbaar zullen zijn, is er een noodzaak metingen te verrichten in installaties die in bedrijf zijn. Probleem daarbij is dat de onderzoeker niet vrij is in het variëren van alle gewenste parameters. De beheerder heeft een (deels) gezonde terughoudendheid met experimenteren. De drinkwaterproductie mag niet worden onderbroken en de kwaliteit moet worden gegarandeerd. Met nadruk is deze opvatting slechts deéls terecht. Indien wel overwogen en goed doordacht, kunnen instellingen worden gewijzigd zonder dat de drinkwaterleverantie in gevaar gebracht wordt. En ook door metingen uit te voeren, zonder te experimenteren kan veel in praktijkinstallaties verborgen informatie zichtbaar worden gemaakt.

Een voorbeeld op PS Loosdrecht ligt in het bepalen van de looptijd van de filters. Één van de belangrijkste mogelijke verbeteringen ligt in een nauwkeurige bepaling van de looptijd. Op het moment dat er momenteel teruggespoeld wordt, geeft de effluentkwaliteit nauwelijks extra doorslag te zien. Om er achter te komen waar het omslagpunt ligt, moet dat punt worden bereikt. De effluentkwaliteit kan zo hoog worden dat het water niet meer geschikt is voor consumptie. Eventueel kan lozen of terugvoeren van het water dan uitkomst bieden.

Een tweede voorbeeld betreft de snelheidsvariatie in het filter. Het model is nu gebaseerd op metingen van de filtratie met een variatie in het debiet van 200 tot 250 m³/h. Het model is vervolgens gebruikt voor toepassing bij veel lagere snelheid. Het model was beter geweest als ook metingen bij lager snelheden waren gedaan.

6.3 MPC - Sturing van de snelfiltratie

Voor implementatie van de modellering in de sturing van snelfiltratie, dienen keuzes te worden gemaakt welke parameters gebruikt kunnen gaan worden als stuurvariabelen en welke als instelvariabelen. Verder dient de gestuurde grootheid exact te worden gedefinieerd. De wijze van waarneming van deze variabelen moet worden vastgesteld en de stabiliteit van het systeem bij mogelijk optredende verstoringen, moet worden gegarandeerd.

In deze paragraaf wordt een opzet gegeven voor de mogelijke keuzes in dit verband.

Gestuurde grootheid

De gestuurde grootheid in de snelfiltratie is de effluentconcentratie c_e . Een (vrijwel) continue waarneming van deze concentratie is gewenst voor de terugkoppeling naar de modellering, maar niet mogelijk voor bijvoorbeeld het ijzergehalte. In dit kader is de troebelheidsbepaling van het effluent het meest voor de hand liggende alternatief.

Een makkelijk meetbare indicator voor de effluentkwaliteit is de weerstand die in het filter wordt opgebouwd

Er zijn twee nadelen aan de aanpak met een relatie tussen weerstandopbouw en effluentkwaliteit.

Ten eerste ligt ook aan deze relatie een modellering ten grondslag, met per definitie een afwijking. Ten tweede varieert de weerstandopbouw alleen met de vervuiling van het filter. De effluentkwaliteit is ook afhankelijk van bijvoorbeeld de filtratiesnelheid. De modellering van het verband tussen effluentkwaliteit en de filtratiesnelheid wordt dus niet getoetst op basis van een terugkoppeling van de weerstand alleen. In de meeste filters zal de weerstand maatgevend zijn voor de bepaling van het spoelmoment en zal er een verband bestaan tussen weerstandopbouw gedurende de looptijd en de veranderde effluentkwaliteit. In de natfiltratie van PS Loosdrecht is echter nauwelijks sprake van weerstandopbouw gedurende de looptijd.

Concluderend ligt een keuze voor een directe meting van de effluentkwaliteit door middel van troebelheidsmeting voor de hand.

Stuurvariabelen

- Het productiedebiet

Het debiet dat door de aanwezige filters moet worden geproduceerd ligt vast in de vraag (eventueel afgevlakt met OPIR). Aangetoond is dat een verdeling van dit debiet over alle aanwezige filters verbeteringen in de effluentkwaliteit oplevert ten opzichte van wisselend bijschakelen van de filters. In een verdere optimalisatie met behulp van MPC kan de verdeling van het totale debiet over de filters als stuurvariabele dienen. In een zogenaamde *declining rate filtration* wordt gebruik gemaakt van de drukopbouw in het filter waardoor het debiet aan het eind van de looptijd omlaag gaat. Met behulp van MPC kan op soortgelijke wijze, maar beter gecontroleerd, het productiedebiet over de filters worden verdeeld. Zo zou een lager debiet of een lager aantal snelheidswisselingen in een vuiler filter of juist in een heel schoon filter kunnen leiden tot een betere effluent van het totale debiet.

- Het spoelmoment

Het moment van spoelen is in de klassieke regeling afhankelijk van de looptijd van het filter. Door de influentkwaliteit en het debiet te meten en te voorspellen, kan het verloop van de porievervuiling worden voorspeld. Op basis hiervan kan het optimale spoelmoment worden bepaald.

Er dient daartoe te worden gezocht naar een optimalisatieroutine waarin de volgende factoren worden gewogen:

- Minimalisatie van de vracht. Door voorspelling van de effluentkwaliteit van elk filter afzonderlijk. De optimale spoeltijd op basis van dit criterium wordt bepaald door het moment waarop de totale vracht in de looptijd minimaal is.
- Minimalisatie van het spoelwatergebruik. Het spoelwaterverbruik per jaar is lager bij langere looptijden.
- Afvlakking van de effluentkwaliteit. Voor de kwaliteit van het rein water van PS Loosdrecht zijn de spoelmomenten van de verschillende filters ten opzichte van elkaar van belang. Ter voorkoming van extreme pieken in de kwaliteit van de totale productie wordt gestreefd naar een gelijkmatige verdeling van de spoelmomenten van alle filters ten opzichte van elkaar.

- Minimalisatie energieverbruik. Omdat er een verschil bestaat tussen dag –en nachttarief in het energieverbruik wordt op basis van dit criterium bij voorkeur in de nacht gespoeld.
- Koppeling met OPIR. Één van de criteria die zou kunnen worden meegenomen in de bepaling van het spoelmoment is wanneer het voor de afvlakking van de totale productie optimaal is. Waarschijnlijk is een koppeling in de andere richting logischer. Het voorspelde spoelmoment, bepaald op basis van de bovenstaande criteria, is een invoerparameter van OPIR.

De afvoer van het eerste filtraat kan worden aangemerkt als stuurvariabele. Na stilstand van het filter geeft het eerste filtraat vaak een slechtere effluentkwaliteit te zien. Het streven is echter om de productie zodanig te sturen dat stilstand niet meer voorkomt. Van afvoer van eerste filtraat is dan slechts nog sprake direct na een spoelbeurt. Opnemen van deze afvoer in de modelgestuurde regeling is derhalve zinloos. Het eerste filtraat kan beter volgens een vaste regeling na een spoelbeurt worden afgevoerd.

6.4 Inpassing MPC in de sturing van de snelfiltratie van pompstation Loosdrecht

Om de in de voorgaande paragraaf beschreven MPC voor de snelfiltratie te kunnen realiseren zal een aantal aanpassingen aan de installatie moeten worden gedaan. In deze paragraaf wordt beschreven hoe het model kan worden ingepast in de sturing van de snelfiltratie van PS Loosdrecht.

De cyclus van een snelfilter is relatief lang en de variatie in filtratiesnelheid en spoelmomenten relatief gering. Dit levert voor calibratie en validatie van de modellering nog veel onzekerheden op. Een model dat opgenomen wordt in de sturing zal daarom metingen en ervaringen van veel eerdere looptijden moeten meenemen in de beslissing over toekomstige looptijden.

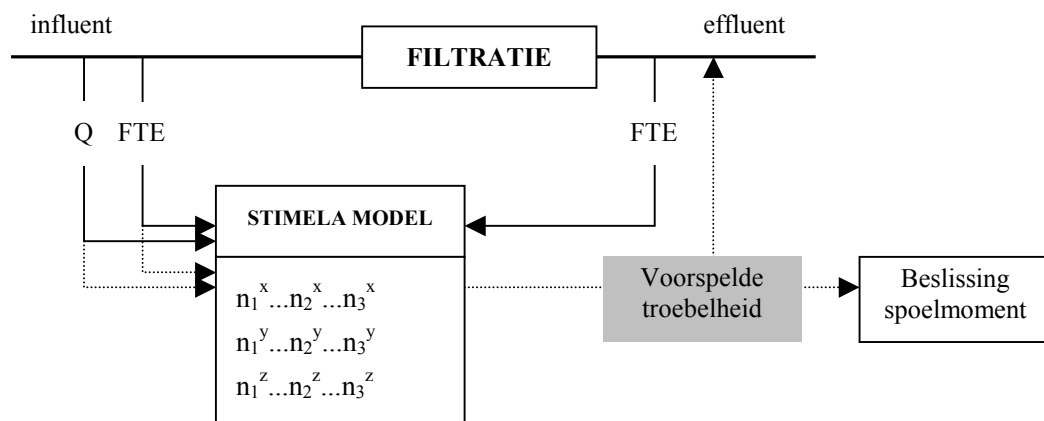


Figure 6-1 Meet en stuur-schema stimela modellering in sturing snelfiltratie

Metingen

De influenttroebelheid moet worden gemeten. De aanname dat de influenttroebelheid constant is, bleek een van de tekortkomingen in het gebruikte model. Het influent is afkomstig uit een volledig gemengde tussenkelder, zodat één troebelheidsmeter voor het influent volstaat.

Het debiet moet worden gemeten. In principe is het voldoende om het totale productiedebiet te meten. Bij verdeling van de productie over drie filters ontstaat een aantal verschillende filtersnelheden.

De effluenttroebelheid moet van de drie filters afzonderlijk worden gemeten.

De troebelheid en debietsvariatie werd in de verrichte metingen elke minuut geregistreerd. De variatie op deze korte termijn is echter gering, zodat kan worden volstaan met elke vijf minuten.

De troebelheidsmeters moeten de mogelijkheid hebben om automatisch gereinigd te worden. Het meest logische moment voor het reinigen van de meetapparatuur is gelijktijdig met het terugspoelen van het bijbehorende filter. De meetapparatuur heeft dan geen functie en elke nieuwe looptijd wordt aangevangen in de zelfde staat.

Calibratie model

Zoals aangegeven dient op basis van de voortdurende metingen na elke looptijd een calibratie van het model plaats te vinden. Hiervoor is het nodig dat een calibratieroutine wordt gerealiseerd. Aan de hand hiervan kan op basis van de input van de gemeten debiet en influenttroebelheid, steeds door te variëren met de parameters n_1 , n_2 en n_3 in het model, een curve worden verkregen die overeenkomt met de gemeten effluentkwaliteit.

Database

Door voor een groot aantal looptijden ook de variatie in de effluenttroebelheid te meten kan een database met een groot aantal gecalibreerde curven worden gerealiseerd. Via een vroeg stadium te ontwikkelen koppeling via internet biedt deze database een enorme hoeveelheid informatie voor onderzoeksafdelingen en management. Ook kan in de opstartfase van de MPC over alle benodigde informatie worden beschikt.

Voorspelling effluenttroebelheid

De voorspelling van de effluenttroebelheid wordt vervolgens gedaan op basis van:

- De historische gegevens uit de database. De keuze welke constanten worden gebruikt zal in eerste instantie gebaseerd zijn op eenvoudige aannamen. De n_1 , n_2 en n_3 zullen bij aanvang van de looptijd bijvoorbeeld een gemiddelde zijn van de in de database aanwezige constanten. Mogelijk zal na bestudering van de verschillende calibraties, in een later stadium een verband worden gelegd met bijvoorbeeld seizoensinvloeden of standtijd van het filter.
- De gemeten productie, de gemeten influenttroebelheid. Op een bepaald tijdstip t_n in de looptijd, wordt de huidige stand van het filter bepaald op basis van de gemeten productie en influenttroebelheid.
- De gemeten effluenttroebelheid. Op het tijdstip t_n in de looptijd kunnen de constanten n_1 , n_2 en n_3 worden aangepast met behulp van de calibratieroutine.

- De door OPIR voorspelde productie en eventueel een voorspelde influenttroebelheid. Voor het verloop van de effluenttroebelheid na tijdstip t_n worden voorspelling van de inputparameters gebruikt. De voorspelling in OPIR beslaat overigens slechts 24 uur. Voor de voorspelling van het spoelmoment is een langere voorspelling van het debiet gewenst. Een voorspelling van de influenttroebelheid kan op termijn komen uit de modellering van de voorfiltratie of beluchting.

Beslissing spoelmoment

Op basis van de voorspelde effluentkwaliteit kan nu een geschikt spoelmoment worden bepaald. De beslissing op welk moment er gespoeld gaat worden gebeurt in het ideale geval op basis van een optimalisatie van een kostenfunctie. In deze functie zijn de in de voorgaande paragraaf beschreven criteria opgenomen. In eerste instantie zal de doelstelling beperkt zijn tot een minimalisatie van de vracht en afvlakking van de effluentkwaliteit. Dat wil zeggen dat gespoeld wordt op het moment dat de oplopende troebelheid aan het eind van de looptijd boven de gemiddelde troebelheid op dat moment uitkomt. Voor de afvlakking van de effluentkwaliteit dient te worden meegenomen dat de spoelmomenten van de verschillende filters enigszins gespreid zijn in de tijd. Een betere bepaling van het spoelmoment zal leiden tot ofwel een lagere vuillast ofwel een lager spoelwaterverbruik. Als er bijvoorbeeld 2500 m³ per looptijd meer geproduceerd kan worden dan de ongeveer 50.000 m³ in de huidige instelling, dan levert dat een besparing in het spoelwater op van 5 %. (oftewel €1100)

Conclusie - investeringen

Voor een ontwikkeling van Stimela-MPC voor de snelfiltratie zijn derhalve 4 troebelheidsmeters en een debietsmeter nodig. Voor zowel Stimela-MPC als OPIR is verder een PC nodig. Debietsmeters en niveaumeters benodigd voor OPIR zijn al in de installatie aanwezig.

Behalve de beschreven voordelen in spoel- en spuikosten, zal procesonderzoek minder vaak volledig vanaf de grond hoeven worden opgebouwd.

7 AANBEVELINGEN

De aanbevelingen beperken zich tot de sturing van PS Loosdrecht en het gebruik van het stimela-model van de snelfiltratie voor Model Predictive Control. In bijlage VII wordt tevens ingegaan op aanbevelingen voor het pompstation die niet met de sturing samenhangen.

Sturing PS Loosdrecht

- Verdeel de productie over de drie nafilts

Door het productiedebiet te verdelen over de drie nafilts verbetert de effluenttroebelheid. Het gemiddelde verwijderingspercentage wordt 90% (tegen 87%) in de huidige bedrijfsvoering. De vuillast vermindert met 25 %.

Indien vlokmiddeldosering noodzakelijk blijft (zie ook bijlage VII) zal vlokmiddeldosering plaats moeten vinden in de centrale aanvoerleiding op basis van een ter plaatse gemeten debiet.
- Vlak het productiedebiet af met OPIR

Door het productiedebiet af te vlakken wordt het aantal schakelingen beperkt tot 2 à 3 per dag en de variatie in het debiet verder beperkt. Naast energiebesparing en lagere investeringskosten voor de nieuw in te richten winplaats, leidt dit tot een verdere verbetering van de effluentkwaliteit met een verwijderingspercentage van 93%.

De vuillast naar het distributienet zal, door beide maatregelen tezamen nagenoeg halveren ten opzichte van de huidige bedrijfsvoering. Dit zal een besparing in de spuikosten van ongeveer €20.000,- opleveren.
- Ontwikkel een optimalisatie met Stimela-MPC; op chronologische volgorde:
 - installatie 4 vaste FTE-meters en een debietsmeter. Indien met installatie van de vaste meetapparatuur wordt gestart, (in eerste instantie met een datalogger) kunnen ook de effecten van bovenstaande maatregelen worden gemeten.
 - installatie van een computer met database.
 - ontwikkeling van een internetkoppeling.
 - ontwikkel aan de hand van de metingen een calibratieroutine.
 - voorspellen van effluent en verifiëren voorspelling
 - spoelmoment op basis van voorspelling en minimale doorslag bepalen
 - spoelmoment op basis van voorspelling en kostenfunctie bepalen

Veel van de bovenstaande mogelijkheden zullen ook voor de droogfiltratie van toepassing zijn en ook voor de torenbeluchting zijn er mogelijkheden met Model Predictive Control.

LITERATUUR

Afonso, P.A.F.N.A., et al., *Model Predictive Control of a pilot plant reactor with a simulated exothermic reaction*, in: Computers and Chemical Engineering Vol. 20, pp S769-S774, 1996

Coulbeck, B., *Integrated computer applications in water supply*, Leicester (UK), 1983

DHV Water Bv, *Leidingnetschematisatie regio 3 - Loosdrecht*, Amersfoort, 1992

Dijk, J.C. van, *Goedkoper drinkwater en betere service door IT*, in :Goedkoper drinkwater en IT, PAO, Delft, 1999

Dijk, J.C. van, *Sturing van zuiveringsprocessen*, in: Sturing van de drinkwaterproductie, PAO, Delft , 1992.

Ginneken, H.L.H. van, *Black-box modelling of a rapid sand filter*, in : Modelling of conventional drinking water production processes, IWA, Delft, 2000

Horst, R.L. van der, *Rapportage Bedrijfsfilteronderzoek PS. Loosdrecht Oktober 1995 tot April 1996*, Utrecht WMN, 1996

Huisman, L., *Rapid Filtration*, Delft: TUDelft, 1996

ISO 9276-1, *Representatation of results of particle size analysis*, 1998

I.W.A., *Modelling of conventional drinking water production processes*, Delft, 2000

Loon B.P.J. van, *Herinrichting van de waterwinplaats PS Loosdrecht*, Hydron, Utrecht, 2001

Mälzer, H.J., et al., *Innovations in conventional and advanced water treatment processes*, Amsterdam, 2000

Oppenheim, A.V., *Signals and systems*, London, 1983

Reijnen, G.K., *Filtratie van grondwater*, in : Toepassing van filtratie bij de drinkwaterbereiding, PAO, Delft 1992

Straten, G. van, *Theorie Meet- en regeltechniek*, in: Sturing van de drinkwaterproductie, Delft: TUDelft, 1992.

Vegte, J. van de, *Feedback control systems*, Toronto 1994

Wieringa, P.A., *Leidraad systeemtheorie*, Delft: TUDelft, 1994

BIJLAGEN

- I Schakelingen en instellingen Pompstation Loosdrecht
- II Herinrichtingsplannen winning Pompstation Loosdrecht
- III Logboek metingen 3 september 2001 tot 21 september 2001
- IV Resultaten analyse laboratorium
- V Meetresultaten en analyse voorfiltratie
- VI Schematisatie simulatie verdeling productie over drie filters

Bijlage I : Afmetingen en schakelingen PS Loosdrecht

Winning		aan		uit		Hoeveelheid	
Ruwwatergroep 1	Niveau	75% (2.91m)	85% (3.29m)	altijd eerst RWG1 (pp15 &21), dan RWG2 (pp 22 &23), daarna RWG3 (pp 16 & 18)		230 m3/h	
Ruwwatergroep 2	Reinwaterkelder	60% (2.33m)	80% (3.10m)			486 m3/h	
Ruwwatergroep 3	Loosdrecht	50% (1.94m)	60% (2.33m)			698 m3/h	
Voorfilters						Spoelaanvraag	
Voorfilter	Volgen ruwwatergroepen			Volgorde voorfilters op basis van looptijd. De filter met de langste looptijd komt als eerste bij		70h	
Voorfilter						70h	
Voorfilter						70h	
Beluchtingstorens		aan		uit		Hoeveelheid	
voorfilteraatpomp	Niveau voorfilteraatkelder	78%	26%	Volgorde voorfilteraatpompen op basis van draai-uren. De pomp met de minste draai-uren komt als eerste bij.		242-251m3/h	
voorfilteraatpomp		83%	24%			243-253m3/h	
voorfilteraatpomp		88%	22%			243-251m3/h	
						kelderniveau 2.8-3.0m	
BOT1	volgen voorfilteraatpompen			BOT1 volgt voorfilteraatpomp 1 BOT2 volgt voorfilteraatpomp 2 BOT3 volgt voorfilteraatpomp 3			
BOT2							
BOT3							
Nafilters		aan		uit		Hoeveelheid	
nafilteraatpomp	Niveau voorfilteraatkelder	78%	26%	Volgorde nafiltraatpompen op basis van draai-uren. De pomp met de minste draai uren komt als eerste bij.		240-247 m3/h	
nafilteraatpomp		83%	24%			240-247 m3/h	
nafilteraatpomp		88%	22%			240-247 m3/h	
						kelderniveau 3.0-3.2m	
						Spoelaanvraag	
nafilter 1	volgen nafilteraatpompen			Nafilter 1 volgt voorfilter 1 Nafilter 2 volgt voorfilter 2 Nafilter 3 volgt voorfilter 3		na derde spoelbeurt bijbehorend voorfilter	
nafilter 2							
nafilter 3							
Hogedrukpompen		aan		uit		Hoeveelheid	
Hogedrukpomp 1	niveau watertoren Breukelen	73%	85%			255 m3/h	
Hogedrukpomp 2		55%	72%			432 m3/h	
Hogedrukpomp 3		44%	55%			561 m3/h	
Hogedrukpomp 4						x	
RWK Breukelen 1e pomp		42% (2.52m)	57%(3.42m)			x	
RWK Breukelen 2e pomp		20% (1.20m)	30%(1.80m)				
Spoelen voor -en nafilts							
1 Spoelaanvraag				voorfilter	605 m3/spoelbeurt		30 minuten
2 Bloktijd	tussen 6:00 en 7:30			nafilter	325 m3/spoelbeurt		15 minuten
3 Akkoord spoelwatervijver	niveau vijver:						
	voorfilter	50%					
	nafilter	75%					
3 Akkoord Reinwaterkelder	niveau RWK:						
	voorfilter	55%					
	nafilter	30%					

Bijlage II : Herinrichtingsplannen winning

Het ruw water is in het onderzoek *herinrichting waterwinplaats PS Loosdrecht* [Hydron, 2001] uitgebreid onderzocht. Voor een studie naar de mogelijkheden van waterkwaliteitsverbetering door sturing, zijn twee situaties van belang.

- De huidige setting en het verloop van de ruw waterkwaliteit in de afgelopen jaren.
- De voorgenomen plannen voor herinrichting.

Er wordt kort ingegaan op *Winvariant C*, zoals voorgesteld in *Herinrichting waterwinplaats Loosdrecht* [Hydron, 2001] en de invloed daarvan op de ruw waterkwaliteit.

De winning van PS Loosdrecht wordt niet verplaatst naar diepere watervoerende pakketten. Er wordt in het noorden van het wingebied hoog en in het zuiden laag in het thans pompde pakket gewonnen.

In de nieuwe situatie ontstaan opnieuw zeven winputten. Drie noordelijke met een capaciteit van elk 150 m³/h, drie zuidelijke van elk 100 m³/h en een reserveput (150 m³/h).

Tabel 7-1 : verwachte gemiddelde ruw waterkwaliteit PS Loosdrecht na herinrichting

pH	TCE	EGV	Cl	Ca	Mg	TH	NH ₄	Fe	Mn	As	CH ₄	NPOC
	(µg/l)	(mS/m)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mmol/l)	(mgN/l)	(mg/l)	(mg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(mg C/l)
7,4	60 ¹	33	24	51	3,8	1,45	0,24	2,7	0,35	13	900	2,5

Tabel 3-2 geeft de verwachte ruw waterkwaliteit na de voorgenomen herinrichting van de waterwinplaats weer. De berekende gehalten NPOC zijn vergelijkbaar met de huidige situatie, het ijzergehalte is beduidend lager. Het is niet bekend of de aard van het in het ruw water opgeloste organische stof veel verschilt van de bestaande situatie. De lagere hoeveelheid ijzer geeft derhalve geenszins een garantie voor minder ijzerdoorslag door het voorfilter. Minder ijzer in het voorfilter zal wel een besparing van het spoelwatergebruik opleveren.

Het methaangehalte zal in de nieuwe setting flink toenemen. Omdat de methaanverwijdering in de versproeiing matig zal zijn, zal een groot deel verwijderd worden middels een biologische omzetting in het filter. Problemen met de biologische stabiliteit in een filter kunnen verwacht worden vanaf een CH₄-gehalte van 1000 µg/l (voor een natfilter). Problemen in het filter worden niet verwacht daar de concentratie afneemt van 940 µg/l in de startfase tot 640 µg/l na 40 jaar.

Uit berekeningen is gebleken dat het TCE-gehalte met een factor 1,4 zal toenemen ten opzichte van de bestaande situatie. De verwachting is dat dit op zal lopen tot 50 µg/l.

Er dient te worden opgemerkt dat de exacte TCE-concentraties in het grondwater tussen het voormalige CPC-terrein en de winplaats niet bekend zijn. Een nauwkeurige voorspelling van de te verwachten TCE-concentratie in het ruw water kan derhalve niet worden gegeven.

¹ De voorspelling van het TCE-gehalte betreft een zeer ruwe schatting

Bijlage III : Logboek metingen PS Loosdrecht

datum/tijd	gebeurtenis	RUW	VF1	NF1	VF2	NF2	VF3	NF3
3-09-01 6:35	VF3 gespoeld	2	1	1	1	1	0	0
	looptijden							
	VF1 = 5 uur ; NF1 = 80 uur							
	VF2 = 38 uur; NF2 = 112 uur							
	VF3 = 0 uur; NF3 = 157 uur							
	RWG1, RWG2, VF1, NF1, VF2, NF2 in bedrijf							
3-09-01 12:00	handmatig :VF2 & NF2 uit ; VF3 & NF3 aan				0	0	1	1
3-09-01 13:45	bemonsterd (deeltjesteller)							
	Voorfilter 3 ; looptijd 2 uur							
3-09-01 14:00	bemonsterd (10198) VF3; Looptijd 2 uur							
	BOT3 niet bemonsterd, buiten bedrijf							
	BOT2 effluent niet bemonsterd ; monsterpunt defect							
3-09-01 14:54	handmatig :VF3 & NF3 uit ; VF2 & NF2 aan				1	1	0	0
4-09-01 1:22	RWG2 uit ; VF1 uit	1	0					
4-09-01 1:33	BOT1 uit							
4-09-01 1:36	NF1 uit			0				
4-09-01 2:54	RWG1 uit ; VF2 uit ; BOT2 uit	0			0			
4-09-01 3:16	NF2 uit					0		
4-09-01 6:44	RWG1 aan ; VF2 aan	1			1			
4-09-01 7:06	BOT2 aan							
4-09-01 7:33	NF2 aan					1		
4-09-01 8:02	RWG2 aan ; VF1 aan	2	1					
4-09-01 8:17	BOT3 aan							
4-09-01 8:20	NF1 aan			1				
4-09-01 17:11	RWG2 uit ; VF1 uit	1	0					
4-09-01 17:20	BOT2 uit							
4-09-01 17:32	NF1 uit			0				
4-09-01 18:32	BOT3 uit							
4-09-01 18:34	NF2 uit					0		
4-09-01 19:03	BOT3 aan							
4-09-01 19:21	RWG2 aan ; VF1 aan	2	1					
4-09-01 19:29	NF2 aan					1		
4-09-01 19:33	BOT1 aan							
4-09-01 19:36	NF1 aan			1				
5-09-01 2:15	RWG2 uit ; VF1 uit	1	0					
5-09-01 2:21	BOT3 uit							
5-09-01 2:28	NF1 uit			0				
5-09-01 3:08	RWG1 uit ; VF2 uit ; BOT1 uit ; NF2 uit	0			0	0		
5-09-01 6:00	VF2 spoeler				S			
5-09-01 6:09	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
5-09-01 6:32	BOT1 aan							
5-09-01 6:37	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
5-09-01 6:37	BOT2 aan							
5-09-01 6:41	VF2 gespoeld							
5-09-01 6:48	NF1 aan			1				
5-09-01 6:51	NF3 aan							1
5-09-01 8:18	RWG3 aan ; VF2 aan	3			1			
5-09-01 8:54	BOT 3 aan							
5-09-01 8:56	NF2 aan					1		
5-09-01 10:49	RWG3 uit ; VF2 uit	2			0			
5-09-01 10:59	BOT1 uit							
5-09-01 11:15	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Nafilter 3 ; looptijd 165 uur							
5-09-01 11:26	NF2 uit					0		
5-09-01 14:00	bemonsterd (10264) NF3; Looptijd 167 uur							
5-09-01 16:48	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
5-09-01 16:59	BOT2 uit							
5-09-01 17:12	NF3 uit							0
5-09-01 19:52	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
5-09-01 20:30	BOT1 aan							
5-09-01 20:53	NF3 aan							1
6-09-01 2:21	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
6-09-01 2:28	BOT1 uit							
6-09-01 2:37	RWG1 uit ; VF1 uit	0	0					
6-09-01 2:37	BOT3 uit							
6-09-01 2:37	NF3 uit			0				0
6-09-01 2:38	NF1 uit							
6-09-01 6:11	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
6-09-01 6:34	BOT2 aan							
6-09-01 7:00	NF1 aan			1				
6-09-01 8:00	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
6-09-01 8:17	BOT3 aan							
6-09-01 8:20	NF3 aan							1
6-09-01 10:30	Monsterpunt VF3 filtraat FTE-meter bijgesteld							
	i.v.m. lucht in monsterpunt							
6-09-01 11:00	bemonsterd (10261) VF3; Looptijd 22 uur							
6-09-01 11:15	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Voorfilter 3 ; looptijd 22 uur							
6-09-01 23:40	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
6-09-01 23:50	BOT2 uit							

7-09-01 0:03	NF3 uit						0
7-09-01 1:28	BOT3 uit						
7-09-01 1:30	NF1 uit		0				
7-09-01 1:59	BOT3 aan						
7-09-01 2:25	NF1 aan		1				
7-09-01 4:29	RWG1 uit ; VF1 uit	0	0				
7-09-01 4:43	BOT3 uit						
7-09-01 5:06	NF1 uit		0				
7-09-01 6:00	VF1 spoelen		S				
7-09-01 6:23	RWG1 aan ; VF3 aan	1				1	
7-09-01 6:41	BOT1 aan						
7-09-01 6:41	VF1 gespoeld						
7-09-01 6:43	BOT2 aan						
7-09-01 6:49	RWG2 aan ; VF2 aan	2		1			
7-09-01 6:55	NF3 aan						1
7-09-01 6:58	NF2 aan						
7-09-01 9:00	bemonsterd (8487) VF3; Looptijd 37 uur						
	BOT3 niet bemonsterd, buiten bedrijf						
	BOT2 effluent niet bemonsterd ; monsterpunt defect						
7-09-01 9:15	Bemonsterd (deeltjesteller)						
	Voorfilter 3 ; looptijd 37 uur						
7-09-01 9:44	RWG3 aan ; VF1 aan	3	1				
7-09-01 10:35	BOT3 aan						
7-09-01 10:44	NF1 aan			1			
7-09-01 11:15	Bemonsterd (deeltjesteller)						
	Nafilter 3 ; looptijd 197 uur						
7-09-01 11:51	RWG3 uit ; VF1 uit	2	0				
7-09-01 12:07	BOT1 uit						
7-09-01 12:37	NF1 uit			0			
7-09-01 13:25	Bemonsterd (deeltjesteller)						
	Voorfilter 3 ; looptijd 42 uur						
7-09-01 14:00	bemonsterd (10207) NF3; Looptijd 198 uur						
7-09-01 15:58	RWG2 uit ; VF2 uit	1		0			
7-09-01 16:09	BOT2 uit						
7-09-01 16:21	NF2 uit						
7-09-01 18:11	BOT3 uit						
7-09-01 18:13	NF3 uit						0
7-09-01 18:43	BOT2 aan						
7-09-01 19:12	NF3 aan						1
7-09-01 19:28	RWG2 aan ; VF2 aan	2		1			
7-09-01 19:42	BOT3 aan						
7-09-01 19:44	NF2 aan			1			
8-09-01 0:56	RWG2 uit ; VF2 uit	1		0			
8-09-01 1:06	BOT2 uit						
8-09-01 1:25	NF2 uit			0			
8-09-01 2:35	BOT3 uit						
8-09-01 2:37	NF3 uit						0
8-09-01 3:06	BOT3 aan						
8-09-01 3:32	NF3 aan						1
8-09-01 3:36	RWG1 uit ; VF3 uit	0				0	
8-09-01 4:03	BOT3 uit						
8-09-01 4:30	NF3 uit						0
8-09-01 7:45	RWG1 aan ; VF3 aan	1				1	
8-09-01 8:13	BOT1 aan						
8-09-01 8:39	NF3 aan						1
8-09-01 9:04	RWG2 aan ; VF2 aan	2		1			
8-09-01 9:21	BOT2 aan						
8-09-01 9:25	NF2 aan			1			
8-09-01 10:45	RWG3 aan ; VF1 aan	3	1				
8-09-01 11:26	BOT3 aan						
8-09-01 11:29	NF1 aan			1			
8-09-01 13:32	RWG3 uit ; VF1 uit	2	0				
8-09-01 13:40	BOT1 uit						
8-09-01 14:05	NF1 uit			0			
8-09-01 23:02	RWG2 uit ; VF2 uit	1		0			
8-09-01 23:12	BOT2 uit						
8-09-01 23:27	NF2 uit			0			
9-09-01 1:03	BOT3 uit						
9-09-01 1:06	NF3 uit						0
9-09-01 1:36	BOT2 aan						
9-09-01 2:04	NF3 aan						1
9-09-01 6:00	VF3 & NF3 uit; VF2 & NF2 aan			1	1	0	0
9-09-01 6:00	VF3 spoelen					S	
9-09-01 6:41	VF3 gespoeld						
9-09-01 6:41	NF3 spoelen						S
9-09-01 6:59	NF3 gespoeld						
9-09-01 7:00	RWG2 aan ; VF1 aan	2	1				
9-09-01 7:11	BOT3 aan						
9-09-01 7:18	NF1 aan			1			

10-09-01 1:10	RWG2 uit ; VF1 uit	1	0					
10-09-01 1:19	BOT2 uit							
10-09-01 1:31	NF1 uit			0				
10-09-01 2:31	BOT3 uit							
10-09-01 2:33	NF2 uit					0		
10-09-01 3:02	BOT3 aan							
10-09-01 3:29	NF2 aan					1		
10-09-01 3:36	RWG1 uit ; VF2 uit	0		0				
10-09-01 4:02	BOT3 uit							
10-09-01 4:28	NF2 uit					0		
10-09-01 7:02	RWG1 aan ; VF2 aan	1		1				
10-09-01 7:32	BOT 1 aan							
10-09-01 7:58	NF2 aan					1		
10-09-01 8:02	RWG2 aan ; VF1 aan	2	1					
10-09-01 8:15	BOT2 aan							
10-09-01 8:19	NF1 aan			1				
10-09-01 17:20	RWG2 uit, VF1 uit	1	0					
10-09-01 17:32	BOT1 uit			0				
10-09-01 17:42	NF1 uit							
10-09-01 19:54	RWG2 aan ; VF1 aan	2	1					
10-09-01 20:25	BOT1 aan							
10-09-01 20:46	NF1 aan			1				
11-09-01 1:47	RWG2 uit ; VF1 uit	1	0					
11-09-01 1:59	BOT1 uit							
11-09-01 2:02	RWG1 uit ; VF2 uit	0			0			
11-09-01 2:02	BOT2 uit							
11-09-01 2:03	NF1 uit			0				
11-09-01 2:12	NF2 uit					0		
11-09-01 6:00	VF2 spoelen				S			
11-09-01 6:09	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
11-09-01 6:31	BOT2 aan							
11-09-01 6:36	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
11-09-01 6:37	BOT3 aan							
11-09-01 6:41	VF2 gespoeld ; NF2 spoelen					S		
11-09-01 6:41	VF3 uit ; VF2 aan			1			0	
11-09-01 6:47	NF1 aan			1				
11-09-01 6:59	NF2 gespoeld							
11-09-01 6:59	NF2 aan					1		
11-09-01 6:59	RWG3 aan ; VF3 aan	3					1	
11-09-01 7:12	BOT1 aan							
11-09-01 7:13	NF3 aan							1
11-09-01 7:39	BOT2 uit							
11-09-01 7:39	! VFCAPACITEIT TE GROOT RUW3 UIT !							
11-09-01 7:39	RWG3 uit ; VF3 uit	2					0	
11-09-01 8:04	RWG3 aan ; VF3 aan	3					1	
11-09-01 8:04	BOT2 aan							
11-09-01 10:30	Handmatig : RWG3 uit ; VF2 uit ; NF2 uit				0	0		
11-09-01 10:35	BOT2 uit							
11-09-01 11:00	bemonsterd (10201) NF3; Looptijd 3 uur							
11-09-01 12:00	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Nafilter 3 ; looptijd 4 uur							
11-09-01 14:50	RWG2 uit, VF3 uit	1					0	
11-09-01 14:58	BOT3 uit							
11-09-01 15:11	NF3 uit							0
11-09-01 16:06	NF1 uit			0				
11-09-01 16:36	NF1 aan			1				
11-09-01 20:09	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
11-09-01 20:43	BOT2 aan							
11-09-01 21:04	NF3 aan							1
12-09-01 1:01	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
12-09-01 1:14	BOT2 uit							
12-09-01 1:26	NF3 uit							0
12-09-01 2:00	NF1 uit			0				
12-09-01 2:30	NF1 aan			1				
12-09-01 4:23	RWG1 uit ; VF1 uit	0	0					
12-09-01 4:23	BOT1 uit							
12-09-01 4:37	NF1 uit			0				
12-09-01 6:46	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
12-09-01 7:12	BOT3 aan							
12-09-01 7:38	NF1 aan			1				
12-09-01 8:09	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
12-09-01 8:27	BOT1 aan							
12-09-01 8:28	NF3 aan							1
12-09-01 15:44	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
12-09-01 15:50	BOT3 uit							
12-09-01 16:05	NF3 uit							0
12-09-01 19:33	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
12-09-01 20:07	BOT3 aan							
12-09-01 20:22	NF3 aan							1

13-09-01 1:45	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
13-09-01 1:52	BOT 3 uit							
13-09-01 2:01	RWG1 uit ; VF1 uit ; BOT1 uit	0	0					
13-09-01 2:02	NF3 uit ; NF1 uit			0			0	
13-09-01 5:02	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
13-09-01 5:27	BOT1 aan							
13-09-01 5:52	NF1 aan			1				
13-09-01 6:00	VF1 uit ; VF3 aan ; NF1 uit ; NF3 aan ; VF1 Spoelen		S	0			1	1
13-09-01 6:40	RWG2 aan ; VF2 aan	2			1			
13-09-01 6:41	VF1 gespoeld ; NF1 spoelen			S				
13-09-01 6:43	BOT2 aan							
13-09-01 6:48	NF2 aan					1		
13-09-01 7:00	NF1 gespoeld							
13-09-01 7:01	RWG3 aan ; VF1 aan	3	1					
13-09-01 7:27	BOT3 aan							
13-09-01 7:28	NF1 aan			1				
13-09-01 7:55	BOT1 uit ; RWG3 uit ; VF1 uit	2	0					
13-09-01 8:19	BOT1 aan ; RWG3 aan ; VF1 aan	3	1					
13-09-01 10:27	RWG3 uit ; VF1 uit	2	0					
13-09-01 10:32	BOT1 uit							
13-09-01 10:48	NF1 uit			0				
13-09-01 16:48	RWG2 uit ; VF2 uit	1			0			
13-09-01 16:59	BOT2 uit							
13-09-01 17:13	NF2 uit					0		
13-09-01 19:10	BOT3 uit							
13-09-01 19:13	NF3 uit						0	
13-09-01 19:43	BOT2 aan							
13-09-01 19:49	RWG2 aan ; VF2 aan	2			1			
13-09-01 19:58	BOT3 aan							
13-09-01 20:05	NF3 aan						1	
13-09-01 20:07	NF2 aan					1		
14-09-01 1:53	RWG2 uit ; VF2 uit	1			0			
14-09-01 2:03	BOT2 uit							
14-09-01 2:20	NF2 uit					0		
14-09-01 3:15	RWG1 uit ; VF3 uit ; BOT3 uit ; NF3 uit	0					0	0
14-09-01 6:47	RWG1 aan ; VF3 aan						1	
14-09-01 7:12	BOT3 aan							
14-09-01 7:37	NF3 aan							1
14-09-01 7:57	RWG2 aan ; VF2 aan	2			1			
14-09-01 8:14	BOT1 aan							
14-09-01 8:17	NF2 aan					1		
14-09-01 10:33	RWG3 aan ; VF1 aan	3	1					
14-09-01 11:30	BOT2 aan							
14-09-01 11:37	NF1 aan				1			
14-09-01 11:00	bemonsterd (10263) VF3; Looptijd 51 uur							
	bemonsterd (10263) NF3; Looptijd 49 uur							
14-09-01 12:00	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Voorfilter 3 ; looptijd 52 uur							
14-09-01 12:00	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Nafilter 3 ; looptijd 50 uur							
14-09-01 12:41	RWG3 uit ; VF1 uit	2	0					
14-09-01 12:58	BOT3 uit				0			
14-09-01 13:28	NF1 uit							
14-09-01 17:35	RWG2 uit ; VF2 uit	1			0			
14-09-01 17:47	BOT1 uit							
14-09-01 17:57	NF2 uit					0		
14-09-01 20:17	RWG2 aan ; VF2 aan	2			1			
14-09-01 20:48	BOT3 aan							
14-09-01 21:09	NF2 aan					1		
15-09-01 1:46	RWG2 uit ; VF2 uit	1			0			
15-09-01 1:56	BOT3 uit							
15-09-01 2:14	NF2 uit					0		
15-09-01 4:05	RWG1 uit ; VF3 uit ; BOT2 uit ; NF3 uit	0					0	0
15-09-01 7:09	RWG1 aan ; VF3 aan	1					1	
15-09-01 7:30	BOT1 aan							
15-09-01 7:54	NF3 aan							1
15-09-01 9:19	RWG2 aan ; VF2 aan	2			1			
15-09-01 9:42	BOT2 aan							
15-09-01 9:49	NF2 aan					1		
15-09-01 10:46	RWG3 aan ; VF1 aan	3	1					
15-09-01 11:25	BOT3 aan							
15-09-01 11:27	NF1 aan			1				
15-09-01 11:55	BOT1 uit ; RWG3 uit ; VF1 uit	2	0					
15-09-01 12:19	RWG3 aan ; VF1 aan ; BOT1 aan	3	1					
15-09-01 13:43	RWG3 uit ; VF1 uit	2	0					
15-09-01 13:51	BOT1 uit							
15-09-01 14:10	NF1 uit			0				

16-09-01 0:14	RWG2 uit ; VF2 uit	1			0			
16-09-01 0:24	BOT2 uit							
16-09-01 0:39	NF2 uit					0		
16-09-01 2:29	BOT3 uit							
16-09-01 2:31	NF3 uit							0
16-09-01 3:02	BOT2 aan							
16-09-01 3:30	NF3 aan							1
16-09-01 5:25	RWG1 uit ; VF3 uit	0					0	
16-09-01 5:47	BOT2 uit							
16-09-01 6:00	NF3 uit ; VF3 spoelen						S	0
16-09-01 6:26	RWG1 aan ; VF2 aan	1			1			
16-09-01 6:41	VF3 gespoeld ; BOT3 aan							
16-09-01 7:06	NF2 aan					1		
16-09-01 9:37	RWG2 aan ; VF1 aan	2	1					
16-09-01 10:07	BOT1 aan							
16-09-01 10:14	NF1 aan			1				
16-09-01 10:48	RWG3 aan ; VF3 aan	3					1	
0-01-00 11:26	BOT2 aan							
16-09-01 11:29	NF3 aan							1
16-09-01 11:56	BOT3 uit ; RWG3 uit ; VF3 uit	2					0	
16-09-01 12:20	BOT3 aan ; RWG3 aan ; VF3 aan	3					1	
16-09-01 14:13	RWG3 uit ; VF3 uit	2					0	
16-09-01 14:18	BOT3 uit							
16-09-01 14:36	NF3 uit							0
17-09-01 0:03	RWG2 uit ; VF1 uit	1	0					
17-09-01 0:16	BOT1 uit							
17-09-01 0:27	NF1 uit			0				
17-09-01 3:34	RWG1 uit ; VF2 uit ; BOT2 uit ; NF2 uit	0			0	0		
17-09-01 6:00	VF2 spoelen					S		
17-09-01 6:07	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
17-09-01 6:28	BOT1 aan							
17-09-01 6:37	BOT2 aan							
17-09-01 6:41	VF2 gespoeld							
17-09-01 6:42	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
17-09-01 6:44	NF1 aan			1				
17-09-01 6:47	NF3 aan							1
17-09-01 9:43	RWG3 aan ; VF2 aan	3			1			
17-09-01 10:29	BOT3 aan							
17-09-01 10:36	NF2 aan					1		
17-09-01 12:04	RWG3 uit ; VF2 uit	2			0			
17-09-01 12:17	BOT 2 uit							
17-09-01 12:45	NF2 uit					0		
17-09-01 14:00	bemonsterd (10203) NF3; Looptijd 98 uur							
17-09-01 14:30	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Nafilter 3 ; looptijd 99 uur							
17-09-01 17:06	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
17-09-01 17:18	BOT2 uit							
17-09-01 17:30	NF3 uit							0
17-09-01 20:01	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
17-09-01 20:38	BOT1 aan							
17-09-01 21:01	NF3 aan							1
18-09-01 1:31	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
18-09-01 1:38	BOT1 uit							
18-09-01 1:48	RWG1 uit ; VF1 uit	0	0					
18-09-01 1:49	BOT3 uit ; NF3 uit							0
18-09-01 1:51	NF1 uit				0			
18-09-01 5:27	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
18-09-01 5:50	BOT2 aan							
18-09-01 6:16	NF1 aan			1				
18-09-01 8:25	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
18-09-01 8:45	BOT3 aan							
18-09-01 8:50	NF3 aan							1
18-09-01 15:59	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
18-09-01 16:09	BOT2 uit							
18-09-01 16:24	NF3 uit							0
18-09-01 18:01	BOT3 uit							
18-09-01 18:03	NF1 uit				0			
18-09-01 18:32	BOT3 aan							
18-09-01 18:58	NF1 aan			1				
18-09-01 19:14	RWG2 aan ; VF3 aan	2					1	
18-09-01 19:30	BOT1 aan							
18-09-01 19:33	NF3 aan							1

19-09-01 1:08	RWG2 uit ; VF3 uit	1					0	
19-09-01 1:15	BOT3 uit							
19-09-01 1:26	NF3 uit							0
19-09-01 3:34	RWG1 uit ; VF1 uit ; BOT1 uit	0	0					
19-09-01 3:53	NF1 uit			0				
19-09-01 6:55	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
19-09-01 7:19	BOT1 aan							
19-09-01 7:45	NF1 aan			1				
19-09-01 8:02	RWG2 aan ; VF3 aan	2				1		
19-09-01 8:18	BOT2 aan							
19-09-01 8:20	NF3 aan							1
19-09-01 16:20	RWG2 uit ; VF3 uit	1				0		
19-09-01 16:32	BOT1 uit							
19-09-01 16:46	NF3 uit							0
19-09-01 17:09	NF1 uit			0				
19-09-01 17:40	NF1 aan			1				
20-09-01 19:56	RWG2 aan ; VF3 aan	2				1		
19-09-01 20:25	BOT1 aan							
19-09-01 20:44	NF3 aan							1
20-09-01 0:44	RWG2 uit ; VF3 uit	1				0		
20-09-01 0:58	BOT1 uit							
20-09-01 1:09	NF3 uit							0
20-09-01 1:26	BOT3 uit ; NF1 uit			0				
20-09-01 1:57	BOT3 aan ; NF1 aan			1				
20-09-01 2:33	RWG1 uit ; VF1 uit ; BOT2 uit	0	0					
20-09-01 2:54	NF1 uit			0				
20-09-01 6:40	RWG1 aan ; VF1 aan	1	1					
20-09-01 7:00	BOT2 aan							
20-09-01 7:27	NF1 aan			1				
20-09-01 7:30	STORING : geen akoord vijver voor spoelen VF1							
20-09-01 8:08	RWG2 aan ; VF3 aan	2				1		
20-09-01 8:23	BOT3 aan							
20-09-01 8:26	NF3 aan							1
20-09-01 22:00	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Voorfilter 3 ; looptijd 47 uur							
20-09-01 10:31	VF1 uit ; NF1 uit ; VF2 aan ; NF2 aan ; VF1 spoelen		S	0	1	1		
20-09-01 11:13	VF1 gespoeld ; RWG3 aan ; VF1 aan		1					
20-09-01 11:43	BOT1 aan							
20-09-01 11:48	NF1 aan			1				
20-09-01 12:20	BOT2 uit ; RWG3 uit ; VF1 uit		0					
20-09-01 12:44	RWG3 aan ; VF1 aan ; BOT2 aan	3	1					
20-09-01 13:52	RWG3 uit ; VF1 uit	2	0					
20-09-01 14:02	BOT 2 uit							
20-09-01 14:23	NF1 uit			0				
20-09-01 15:30	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Nafilter 3 ; looptijd 139 uur							
20-09-01 16:02	RWG2 uit ; VF2 uit	1			0			
20-09-01 16:10	BOT3 uit							
20-09-01 16:15	NF2 uit					0		
20-09-01 16:57	BOT3 uit ; NF3 uit							0
20-09-01 17:28	BOT3 aan ; NF3 aan							1
20-09-01 19:48	RWG2 aan ; VF2 aan	2			1			
20-09-01 20:23	BOT2 aan							
20-09-01 20:40	NF2 aan					1		
21-09-01 0:48	RWG2 uit ; VF2 uit	1			0			
21-09-01 1:01	BOT2 uit							
21-09-01 1:14	NF2 uit					0		
21-09-01 3:53	RWG1 uit ; VF3 uit ; BOT1 uit	0					0	
21-09-01 4:09	NF3 uit							0
21-09-01 7:04	RWG1 aan ; VF3 aan	1					1	
21-09-01 7:29	BOT3 aan							
21-09-01 7:54	NF3 aan							1
21-09-01 8:06	RWG2 aan ; VF2 aan	2			1			
21-09-01 8:21	BOT1 aan							
21-09-01 8:23	NF2 aan					1		
21-09-01 11:30	Bemonsterd (deeltjesteller)							
	Voorfilter 3 ; looptijd 69 uur							
21-09-01 12:30	bemonsterd (8488) VF3; Looptijd 70 uur							

	03-09-01	05-09-01	06-09-01	07-09-01	07-09-01	11-09-01	14-09-01	14-09-01	17-09-01	21-09-01
Tijd	14:00	14:00	11:00	09:00	14:00	11:00	11:00	11:00	14:00	12:30
Looptijd VF3 (h)	2		22	37			51			70
Looptijd NF3 (h)		167			198	3		49	98	

TCE (µg/l)

Ruw VF 1,2,3	3,48			3,37	3,25	2,94			4,3	3,83
VF3 Effluent	2,15			1,92						2,33
Voorfiltraat kelder					1,95	2,2			2,72	
Influent BOT 1	2,25			2,01						
Effluent BOT 1	<0,2			<0,2						
Influent BOT 2	2,13									
Influent NF 1,2,3					<0,2	<0,2			<0,2	
NF3 Kraan 1										
NF3 Kraan 2										
NF3 Kraan 3										
NF3 Kraan 4										
NF3 Kraan 5										
NF3 Kraan 6										
NF3 Kraan 7										
NF3 Effluent										
Uitgaand rein										

O2 (opgelost)

Ruw VF 1,2,3	<0,5			<0,5	<0,5	1,38			<0,5	<0,5
VF3 Effluent	9,68			9,66						10,2
Voorfiltraat kelder									10,3	
Influent BOT 1										
Effluent BOT 1										
Influent BOT 2										
Influent NF 1,2,3					9,99	10,3				
NF3 Kraan 1					9,43	10,3			10,3	
NF3 Kraan 2										
NF3 Kraan 3										
NF3 Kraan 4										
NF3 Kraan 5										
NF3 Kraan 6										
NF3 Kraan 7										
NF3 Effluent					9,66	10,1			10,4	
Uitgaand rein	10,1			10,1	9,65	10,3			10,1	

pH

Ruw VF 1,2,3	7,29		7,38	7,39	7,38	7,24	7,35		7,37	7,36
VF3 Effluent	7,51		7,51	7,54			7,52			7,47
Voorfiltraat kelder					7,5	7,47			7,51	
Influent BOT 1	7,49			7,5						
Effluent BOT 1	8,13			8,05						
Influent BOT 2	7,53									
Influent NF 1,2,3		8,06			8,11	8,04		8,1	8,14	
NF3 Kraan 1		8			8,04	8		8,06	8,09	
NF3 Kraan 2		8,03						8,06		
NF3 Kraan 3		8,02						8,06		
NF3 Kraan 4		8,02						8,07		
NF3 Kraan 5		8,02						8,07		
NF3 Kraan 6		8,01						8,05		
NF3 Kraan 7		8,01			8,01	8		8,06	8,07	
NF3 Effluent		8,02			8,03	8,01		8,08	8,08	
Uitgaand rein	8,05			8,01	8,03	8,02			8,08	

NH4 (mg/l N)

Ruw VF 1,2,3	0,236			0,208	0,223	0,215			0,21	
VF3 Effluent	<0,03			<0,03						
Voorfiltraat kelder					<0,03	<0,03			<0,03	
Influent BOT 1										
Effluent BOT 1										
Influent BOT 2										
Influent NF 1,2,3					<0,03	<0,03			<0,03	
NF3 Kraan 1					<0,03	<0,03			<0,03	
NF3 Kraan 2					<0,03	<0,03			<0,03	
NF3 Kraan 3					<0,03	<0,03			<0,03	
NF3 Kraan 4					<0,03	<0,03			<0,03	
NF3 Kraan 5					<0,03	<0,03			<0,03	
NF3 Kraan 6					<0,03	<0,03			<0,03	
NF3 Kraan 7					<0,03	<0,03			<0,03	
NF3 Effluent					<0,03	0,038			<0,03	
Uitgaand rein	<0,03			<0,03	<0,03	<0,03			<0,03	

	03-09-01	05-09-01	06-09-01	07-09-01	07-09-01	11-09-01	14-09-01	14-09-01	17-09-01	21-09-01
Tijd	14:00	14:00	11:00	09:00	14:00	11:00	11:00	11:00	14:00	12:30
Looptijd VF3 (h)	2		22	37			51			70
Looptijd NF3 (h)		167			198	3		49	98	

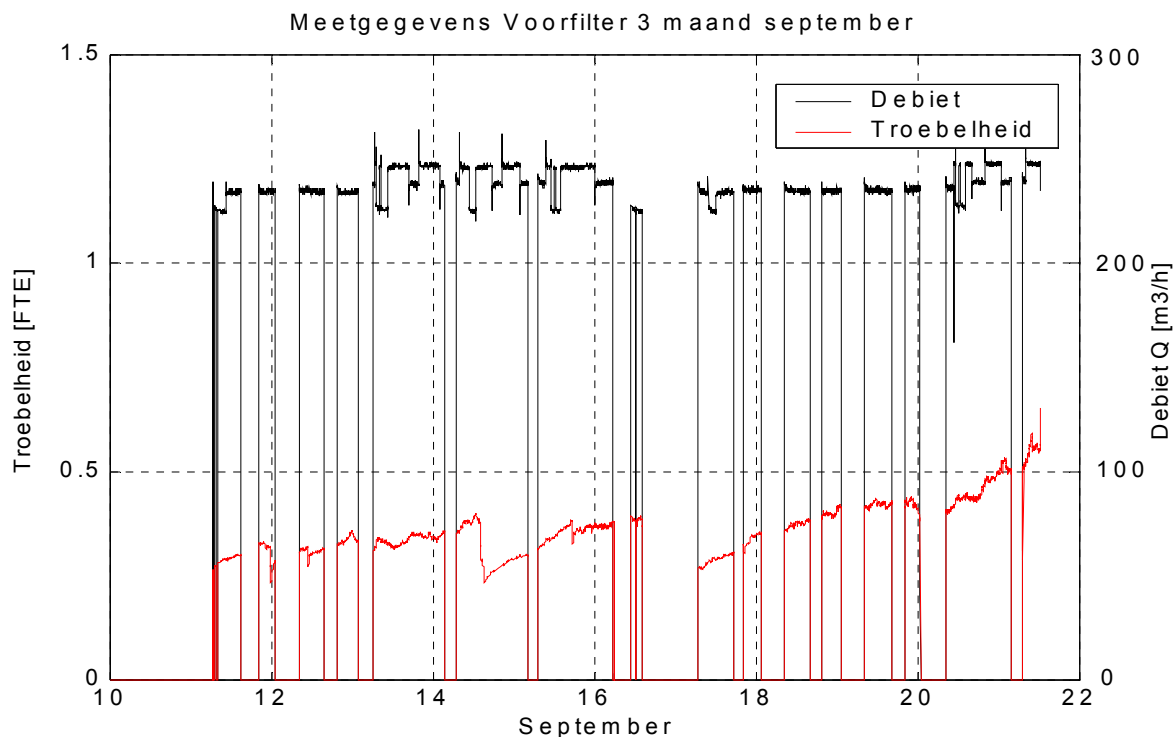
CO2 (mg/l)

Ruw VF 1,2,3	12		10	9,8	9,7	13	10		9,9	10
VF3 Effluent	6,7		6,7	6,3			6,6			7,4
Voorfiltraat kelder										
Influent BOT 1										
Effluent BOT 1										
Influent BOT 2										
Influent NF 1,2,3		2			1,7	1,93		1,7	1,6	
NF3 Kraan 1		2,2			2	1,92		1,9	1,8	
NF3 Kraan 2		2,1						1,9		
NF3 Kraan 3		2,1						1,9		
NF3 Kraan 4		2,1						1,9		
NF3 Kraan 5		2,1						1,9		
NF3 Kraan 6		2,2						1,9		
NF3 Kraan 7		2,2			2,1	2,2		1,9	1,8	
NF3 Effluent					2	2,2		1,8	1,8	
Uitgaand rein	1,9			2,2	2	2,1			1,8	

HCO3 (mg/l)

Ruw VF 1,2,3	119		123	123	122	119	119		121	
VF3 Effluent	113		112	112			112			
Voorfiltraat kelder										
Influent BOT 1										
Effluent BOT 1										
Influent BOT 2										
Influent NF 1,2,3		113			112	114		111	113	
NF3 Kraan 1		112			112	113		112	112	
NF3 Kraan 2		113						112		
NF3 Kraan 3		113						112		
NF3 Kraan 4		113						112		
NF3 Kraan 5		113						112		
NF3 Kraan 6		112						112		
NF3 Kraan 7		113			115	114		112	112	
NF3 Effluent		113			112	114		112	113	
Uitgaand rein	113			113	113	113			114	

Bijlage V : Metingen en analyse voorfiltratie



Figuur V-1 : Troebelheid effluent en debiet over voorfilter 3

Tabel V-1 : concentraties influent en effluent voorfilter 3

Tijd	3-9-01 14:00	6-9-01 11:00	7-9-01 9:00	14-9-01 11:00	21-9-01 12:30
Looptijd VF3 (h)	2	22	37	51	70
Fe (mg/l)					
Ruw VF 1,2,3	4.28	4.26	4.26	4.24	4.26
VF3 Effluent	0.21	0.2	0.289	0.208	0.185
Mn (mg/l)					
Ruw VF 1,2,3	0.199		0.193		
VF3 Effluent	0.002		<0.002		<0.002
NPOC (mg/l)					
Ruw VF 1,2,3	2.49	2.5	2.5	2.39	
VF3 Effluent	2.19	2.1		2.09	
TCE (µg/l)					
Ruw VF 1,2,3	3.48		3.37		3.83
VF3 Effluent	2.15		1.92		2.33
O2 (opgelost)					
Ruw VF 1,2,3	<0.5		<0.5		<0.5
VF3 Effluent	9.68		9.66		10.2
CO2 (mg/l)					
Ruw VF 1,2,3	12	10	9.8	10	10
VF3 Effluent	6.7	6.7	6.3	6.6	7.4
pH					
Ruw VF 1,2,3	7.29	7.38	7.39	7.35	7.36
VF3 Effluent	7.51	7.51	7.54	7.52	7.47
NH4 (mg/l N)					
Ruw VF 1,2,3	0.236		0.208		
VF3 Effluent	<0.03		<0.03		

troebelheid en debiet

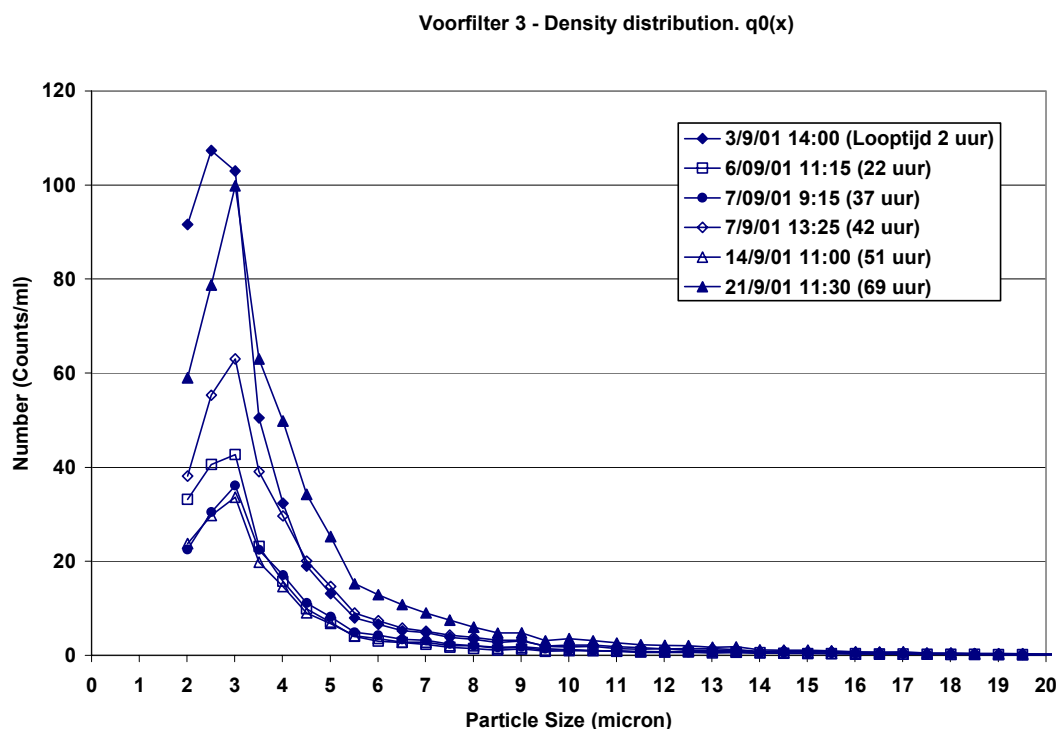
De meetresultaten van de troebelheid van het effluent van voorfilter 3 en het debiet over het filter zijn weergegeven in figuur 4-1. Op 11 en 17 september is het filter gespoeld en begint aan een nieuwe looptijd (respectievelijk looptijd 1 en 2). De discontinuïteit op 14 september wordt veroorzaakt door een monsternamen op het tappunt waarop ook de troebelheidmeting is aangesloten. Het tappunt op het effluent van de droogfiltratie is bovendien ongelukkig geplaatst, zodat veel lucht in het water aanwezig is, wat de troebelheidsmeting verstoort.

Als gevolg van het schakelregime op het pompstation worden korte periodes van productie afgewisseld door periodes van volledige stilstand van het filter. De debietvariatie is afhankelijk van het aantal bijgeschakelde ruw watergroepen. Bij drie ruw watergroepen is het debiet over het derde filter enigszins lager. Oorzaak hiervoor is een kleinere capaciteit van de winputten in de derde ruw watergroep en het ontstaan van voorkeursstromen.

concentraties monsternamen

Op een vijftal momenten in de looptijd zijn monsters genomen waarvan de concentraties van een aantal parameters zijn gemeten (opgenomen in tabel 4-1 : de concentraties van een aantal parameters in het influent (het ruw water) en het effluent van voorfilter 3). Voor een volledig overzicht van de metingen wordt verwezen naar bijlage VI.

deeltjes



Figuur V-2 : Aantal Deeltjes per grootte in het effluent van voorfilter 3

Op zeven momenten zijn influent en effluent bemonsterd en geanalyseerd met behulp van een deeltjesteller. Daarin worden het aantal deeltjes per grootte bepaald. Het aantal deeltjes in het influent geeft nauwelijks variatie te zien, naar verwachting is de influentkwaliteit dus nagenoeg constant. In figuur concentraties influent en effluent voorfilter V-2 is de analyse voor het effluent weergegeven. De meeste deeltjes hebben een afmeting tussen de 2 en 10 micron. In het begin van de looptijd (2 en 4 uur) en aan het eind van de looptijd zijn de aantallen duidelijk hoger.

Effluentconcentratie en looptijd

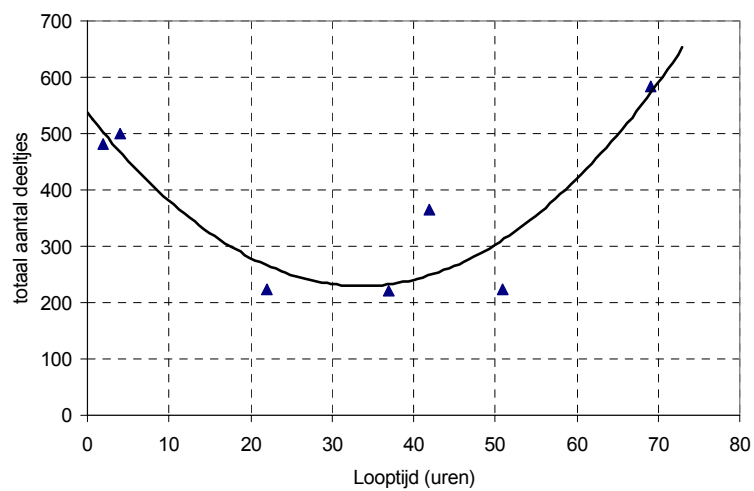
Uit de metingen van de effluenttroebelheid, weergegeven in figuur V-1 blijkt dat de troebelheid toeneemt naarmate de looptijd van het filter vordert.

Het totaal aantal aanwezige deeltjes loopt evenals de troebelheid op bij een langere looptijd [figuur V-1 : looptijd 69 uur]. Het filter raakt vervuild waardoor de filtratiesnelheden toenemen en er minder afgevangen kan worden of al afgezet materiaal loskomt. Er is tevens zichtbaar dat er ook vroeg in de looptijd relatief veel deeltjes in het effluent aanwezig zijn. Een hogere troebelheid aan het begin van de looptijd blijkt niet uit de metingen. De cumulatieve verdeling van het aantal deeltjes per grootte blijft ongewijzigd [zie figuur V-3]. Dit houdt in dat de verhouding tussen het aantal grotere deeltjes en kleinere deeltjes nagenoeg constant blijft onafhankelijk van de looptijd.

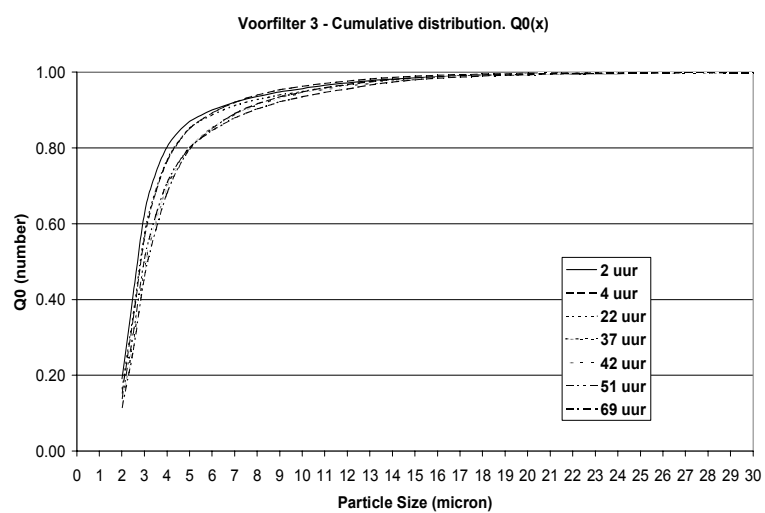
Het ijzergehalte lijkt niet verantwoordelijk voor de hogere troebelheid en het grotere aantal aanwezige deeltjes. De effluentconcentratie blijft nagenoeg constant rond de 0,20 mg/liter, met uitzondering bij een looptijd van 37 uur waar het ijzergehalte zelfs ongeveer 0,29 mg/liter bedraagt. [zie tabel V-1].

De droogfilters werken naar behoren. Ongeveer 95 % van het aanwezige ijzer wordt verwijderd. In het verleden is het verwijderingspercentage enigszins hoger geweest ($\pm 97\%$). Het mangaan wordt ongeacht de looptijd volledig verwijderd. Het zuurstofgehalte in het effluent is nagenoeg maximaal, zodat mag worden aangenomen dat in het filter genoeg zuurstof aanwezig was voor de ontijzering, ontmangling en nitrificatie.

Er is nauwelijks variatie gemeten in het debiet over het in bedrijf zijnde filter. Een eventueel verband tussen de effluentkwaliteit en het productiedebiet kan derhalve niet worden vastgesteld.

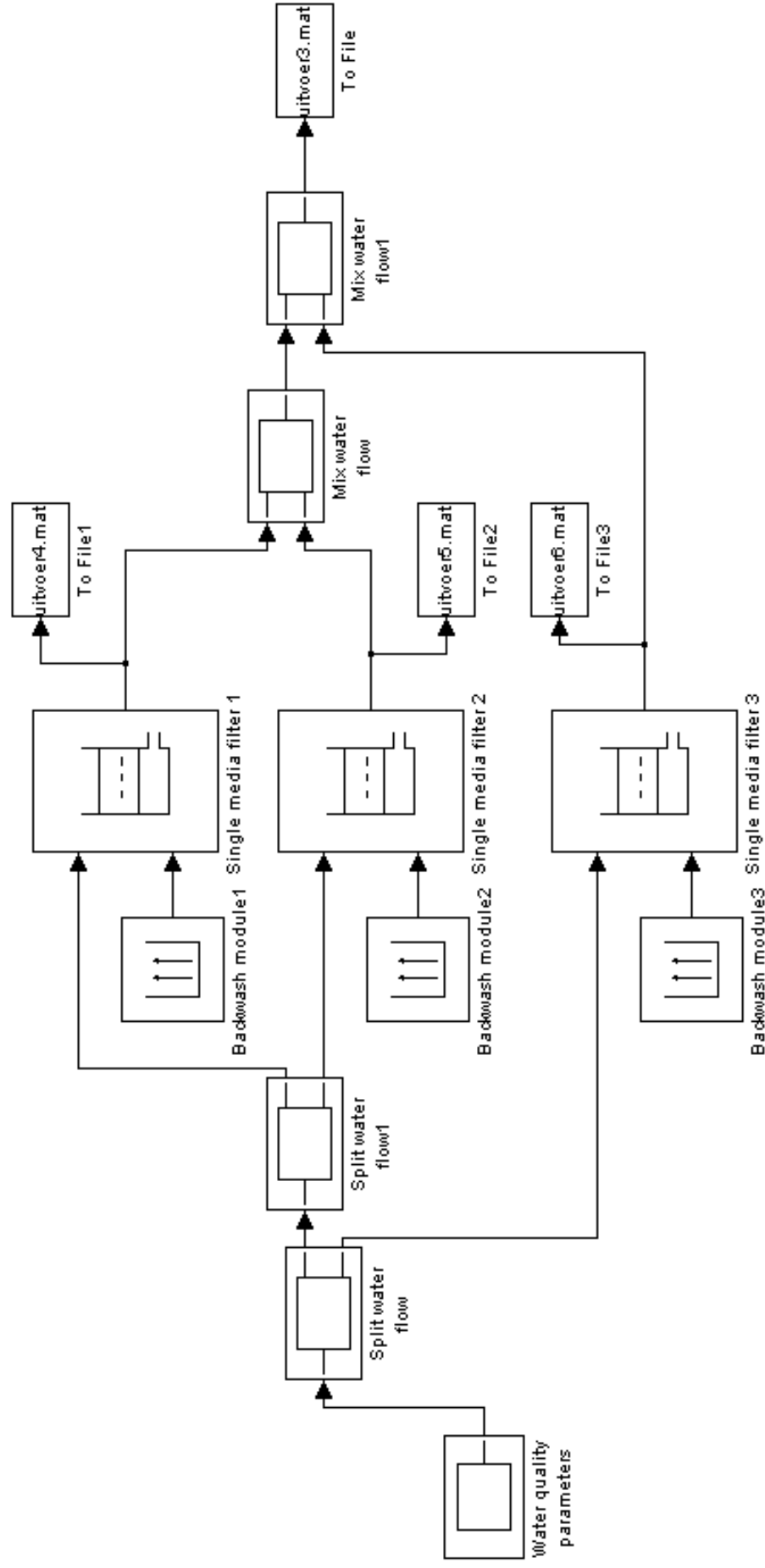


Figuur V-3: Totaal aantal deeltjes in het effluent van voorfilter 3 tegen de looptijd



Figuur V-4 : cumulatieve verdeling deeltjes

Bijlage VI Schematisatie simulatie verdeling productie over drie filters



Bijlage VII : Als ik de baas zou zijn van....PS Loosdrecht

Een aantal aanbevelingen die volgen uit het onderzoek hebben niet met de sturing te maken. Zonder de maatregelen verder uitvoerig te onderbouwen, wordt hier een stappenplan voorgesteld.

Een stappenplan:

- Installatie troebelheidsmeters zoals voorgesteld in de aanbevelingen.
- Reparatie terugslagkleppen nafiltratie
- Onderzoeken filtermateriaal voorfilters en indien mogelijk vervangen door filtermateriaal nafilts
- Filtermateriaal nafilts vervangen door kleiner filtermateriaal
- Resultaten zuivering in één nafilts zonder vlokmiddeldosering onderzoeken
- Installatie OPIR in besturing winputten
- Verdelen productiedebiet over alle voorfilters en over alle nafilts
- Heroverwegen aantal winputten in herinrichting en uitvoeren
- Stimela-model installeren en calibratieroutine toetsen
- Stimela-model gebruiken als MPC voor beslissing spoelmoment
- Optimalisatiefunctie voor kostenfunctie onderzoeken
- Stimela-model gebruiken als MPC voor verdeling productie over filters (declining rate)
- Analyseren voordelen toerengeregelde pompen.
- Onderzoek naar ombouw van droogfiltratie naar natfiltratie
- Ontwikkelen MPC voorfiltratie
- Onderzoeken nut MPC Torenbeluchting.