



Borging van de verwijdering van micro-organismen door de drinkwaterzuivering in het Water Safety Plan

BTO 2013.031
April 2013

Borging van de verwijdering van micro-organismen door de drinkwaterzuivering in het Water Safety Plan

BTO 2013.031
April 2013

© 2013 KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Colofon

Titel

Borging van de verwijdering van micro-organismen door de drinkwaterzuivering in het Water Safety Plan

Projectnummer

B111706

Onderzoeksprogramma

Microbiologie

Projectmanager

Niels Dammers

Opdrachtgever

BTO

Kwaliteitsborger

Gertjan Medema

Auteurs

W.A.M. Hijnen, J.A. Bahlman, G.M.H. Suylen, P.W.M.H. Smeets en G.J. Medema

Verzonden aan

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

Voorwoord

Voor dit onderzoek was samenwerking met een drinkwaterbedrijf dat bereid was hun informatie over de microbiologische en operationele aspecten van hun zuivering met de bedrijfstak te delen essentieel. Drinkwaterbedrijf Evides heeft de gegevens van het zuiveringsbedrijf Berenplaat ter beschikking gesteld voor het uitvoeren van dit onderzoek.

- De dagelijkse procesgegevens van de Berenplaat zijn gebruikt om het functioneren van de zuivering te evalueren. Dit werk is uitgevoerd door Wim Hijnen (KWR) in nauw overleg met Jan Bahlman (Evides).
- In een parallel deelproject zijn de microbiologische gegevens verzameld van de AMVD Berenplaat (meetgegevens en stochastische risicoanalyse) gebruikt om de kwantificering van de effectiviteit nader te onderzoeken. Dit werk is uitgevoerd door Patrick Smeets (KWR) in nauw overleg met Trudy Suylen (Evides) en apart gerapporteerd.

Gertjan Medema (KWR) heeft de kwaliteitsborging gedaan.

Samenvatting

Het produceren van microbiologisch veilig drinkwater is een van de belangrijkste speerpunten van de drinkwaterzuiveringbedrijven. Omdat microbiologische bedreigingen acuut van aard zijn, dient de veiligheid van het zuiveringsproces geborgd te worden 24 uur per dag zeven dagen in de week. Dit is onmogelijk met microbiologische meetprogramma's omdat de beschikbare meettechnieken niet online en daarmee continu uitvoerbaar zijn. Daarom moet een alternatieve manier worden gevonden om de borging van het zuiveringsproces te realiseren. Vanwege de hoge eis aan de stabiliteit van een drinkwaterbereidingproces wordt het proces intensief bewaakt en gestuurd met chemisch/fysische online gemeten parameters waarvoor kritische grenzen zijn geformuleerd. Met een dergelijk bewaking- en besturingsstelsel kan ook de microbiologische veiligheid worden geborgd.

In dit rapport staat een onderzoek beschreven naar een methodiek om een dergelijk bewaking- en besturingsstelsel te evalueren op zijn vermogen om de microbiologische veiligheid te borgen. De methodiek bestaat uit de volgende stappen:

- beschrijving van de zuiveringsstappen die van belang zijn voor de verwijdering van micro-organismen;
- beschrijving en analyse van de bewakingssystemen van deze processen;
- retrospectief onderzoek van dagrapporten;
- koppeling van de bevindingen aan microbiologische meetgegevens.

Deze methodiek is toegepast op een zuivering van Waterbedrijf Evides, de locatie Berenplaat. Op het bedrijf (i) wordt oppervlaktewater direct gezuiverd tot drinkwater (situatie waarvoor een dergelijke borging van het grootste belang is), (ii) is recent een nieuwe hoofddesinfectie met UV geïnstalleerd met veel aandacht voor bewaking en sturing en tenslotte (iii) was veel interesse in de ontwikkeling van een dergelijke methodiek.

De resultaten van het onderzoek hebben laten zien dat het proces bewaking- en besturingsstelsel belangrijke informatie bevat waarmee een gedetailleerde beschrijving van de actuele werking wordt verkregen. Door deze systematisch te analyseren van een jaar ontstaat een goed beeld van de nominale en afwijkende situaties en welk effect de afwijkingen hebben op de werking van andere processtappen. Tevens wordt informatie verkregen onder welke condities afwijkingen optreden wat kan leiden tot procesverbeteringen. Wanneer deze afwijkingen worden gekoppeld aan microbiologische meetgegevens wordt tevens de betekenis voor de microbiologische veiligheid duidelijk.

Dit is echter ook de zwakte van de methodiek, want beschikbare microbiologische meetgegevens zijn meestal niet goed te koppelen aan de waargenomen afwijkingen. Ze zijn niet gesynchroniseerd gemeten met de online waargenomen afwijkingen. Om een causaal verband te leggen tussen afwijkingen en minder microbiologisch presteren zal er 'slimmer' gemeten moeten worden. Daar wordt in BTO verband een nieuw project voor uitgevoerd. Bij vervolgonderzoek hiernaar zal moeten blijken of de online bewaking/besturing parameters voorspellend zijn voor microbiologische afwijkingen. Dit hangt af van de vraag of de juiste online parameters worden gemeten en deze gevoelig genoeg zijn voor dit doel en tot slot of überhaupt de afwijkingen in online proces- en microbiologische gegevens in tijd aan elkaar gekoppeld zijn.

Met de methodiek worden de bestaande bewakingscriteria (kritische grenzen) getoetst op hun betekenis voor de borging van de microbiologische veiligheid. Door het ontbreken van een causaal verband tussen verwijdering van micro-organismen en procesgegevens kunnen deze bewakingscriteria echter niet worden geoptimaliseerd. Ondanks het ontbreken van het causale verband tussen procesafwijkingen en verminderde microbiologische prestaties, kan op basis van literatuurkennis over de invloed van procescondities op de verwijdering van micro-organismen algemeen worden bekeken welke prioriteit bepaalde geconstateerde afwijkingen hebben ten aanzien van de microbiologische veiligheid.

De ontwikkelde methodiek kan bij elk waterbedrijf worden toegepast. Het vereist enige menskracht en middelen om de gepresenteerde activiteiten uit te voeren, eventueel ondersteund door microbiologische externe deskundigen.

Inhoud

Voorwoord	1
Samenvatting	3
Inhoud	5
Afkortingen overzicht	7
1 Inleiding	9
1.1 Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater en het Water Safety Plan	9
1.2 Doel project	10
1.3 Een case study	10
1.4 Hygiënecodes	11
2 Hoofdlijn en werkwijzen van het onderzoek	13
2.1 Beschrijving van de zuiveringsprocessen	13
2.2 Bewaking van de zuiveringsprocessen	13
2.3 Retrospectief onderzoek dagrapporten	13
2.4 Koppeling van bevindingen uit dagrapporten en microbiologische metingen	13
2.5 Evaluatie methodiek	14
3 De zuivering	15
3.1 Algemene beschrijving	15
3.1.1 Regulier proces	16
3.1.2 Parallelbedrijf en noodinlaat pompstation onder speciale condities	16
3.2 Processtappen	17
3.2.1 Inname en microzeven (MZ)	17
3.2.2 Coagulatie / Vlokkendekenfiltratie (VDF)	17
3.2.3 pH correctie	18
3.2.4 Dubbellaagsfiltratie (DLF)	18
3.2.5 UV desinfectie (UV)	19
3.2.6 Aktief koolfiltratie (AKF)	19
3.2.7 pH correctie	19
3.2.8 Nadesinfectie met chloordioxide	19
3.2.9 Zuurstofdosering	20
4 Bewaking van de zuivering	21
4.1 Procesparameters en verwijdering van micro-organismen	21
4.2 Procesbewaking	21
4.3 Ruw water inname	21
4.4 Parallelbedrijf en noodinlaatpompstation	22
4.5 Inname Berenplaat (LDP) en microzeven	22
4.6 Coagulatie/Vlokkendekenfiltratie (VDF)	22

4.7	pH correctie	23
4.8	Dubbellaagsfilters (DLF)	23
4.9	UV desinfectie (UV)	24
4.10	Actief koolfiltratie (AKF)	26
4.11	Chloordioxide	27
5	Bedrijfsanalyse gericht op de borging van de effectiviteit	29
5.1	Inventarisatie mogelijke risicosituaties en ontbrekende kennis	29
5.2	Coagulatie/Vlokkendekenfiltratie (VDF)	29
5.3	Dubbellaagsfiltratie (DLF)	29
5.4	UV desinfectie	29
5.5	Actief koolfiltratie (AKF)	30
5.6	Chloordioxide	30
6	Retrospectief onderzoek dagrapporten	31
6.1	Dagrapporten	31
6.2	Werkwijze van de analyse	31
6.3	Productie variaties	32
6.4	Vlokkendekenfiltratie	33
6.5	Dubbellaagsfiltratie	35
6.6	Dagelijkse variaties voorzuivering	37
6.7	Natronloog dosering	40
6.8	UV desinfectie	41
6.9	Actieve koolfiltratie en nadesinfectie	43
6.10	Evaluatie bevindingen en microbiologische metingen	43
7	Evaluatie en conclusies	47
7.1	Generieke methode voor borging	47
7.2	Bijdrage aan infectierisico	47
7.3	Methode voor evaluatie van de borging van de verwijdering van micro-organismen door de zuivering	47
7.4	Case study	48
7.5	Potentiele sterkte van de methodiek	48
7.6	Waargenomen zwakte van de methodiek	49
7.7	Eindconclusie en aanbevelingen voor implementatie	50
8	Referenties	51
	Bijlage 1: Overzicht van de dagrapportanalyse	53
	Bijlage 2: Dagrapportanalyse UV desinfectie	55

Afkortingen overzicht

In het rapport worden diverse afkortingen gebruikt. De betekenis van deze afkortingen wordt in onderstaande tabel weergegeven.

Tabel 1. Gebruikte afkortingen

AMVD	Analyse microbiologische veiligheid drinkwater
AOC	Assimileerbaar organische koolstof
AKF	Actief koelfilter
BBBR	Bedrijfsbeschrijving bedieningsrichtlijn
BK	Bufferkelder
DCS	Distributed Control System
DLF	Dubbellaagsfilters
EBCT	Empty bed contact time
EGV	Electrisch geleidend vermogen
ESD klep	Emergency shut down klep
HDP	Hoge druk pompen
LDP	Lage druk pompen
MDP	Middendruk pompen
MZ	Microzeven
NIP	Noodinlaat pompstation
NSA	Noodstroomaggregaten
NZ	Nazuivering
P&ID	Process & Instrumentation Diagram
PLC	Programmable Logic Controller
RWR	Rein water reservoir
RWTP	Ruw Water Transport Pompstation
SP	Setpoint
SWR	Spoelwater reservoir
UPS	Uninterrupted Power Supply
UVT	UV transmissie
VDF	Vlokkendekenfilter
VHM	Vlokhulp middel (Wisprofloc)
VWK	Vuilwater kelder
VZ	Voorzuivering
WOK	Wateronttrekkingskanaal

1 Inleiding

1.1 Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater en het Water Safety Plan

De microbiologische veiligheid van drinkwater bereid uit oppervlaktewater of kwetsbaar grondwater wordt in Nederland bepaald aan de hand van de Analyse Microbiologische Veiligheid Drinkwater (AMVD) uit het Drinkwaterbesluit (VROM, 2011) en Inspectierichtlijn 5318 (VROM-Inspectie, 2006). In deze regelingen wordt een kwantitatieve microbiologische risicoanalyse verplicht gesteld om aantoonbaar te maken dat een drinkwaterzuivering in staat is om microbiologisch zeer veilig drinkwater te maken (dat voldoet aan de infectierisico-eis van 1 op de 10.000 personen per jaar). De Nederlandse waterbedrijven stellen voor de relevante productielocaties een AMVD op, op basis van metingen van de referentie-pathogenen in hun grondstof en informatie over de capaciteit van hun zuiveringsprocessen om micro-organismen te elimineren (verwijderen of inactiveren).

De AMVD levert voor een productielocatie kennis over:

1. aanwezigheid van referentie-pathogenen in de grondstof (frequentie, concentratie, variatie);
2. welke zuiveringsprocessen relevante barrières zijn voor welke referentie-pathogenen;
3. verwijderingscapaciteit van relevante individuele zuiveringsprocessen (nominaal, variatie);
4. bestaan en belang van “zwakke plekken” zoals momenten van minder goed functionerende zuiveringsprocessen, besmetting via zijwegen en dergelijke;
5. veiligheid van het geproduceerde drinkwater door combinatie van 1 - 4 (en consumptie van drinkwater en de dosis-responsrelatie van de pathogenen), en een totaal overzicht over de bijdrage van de verschillende referentie-pathogenen, zuiveringsprocessen en zwakke plekken daaraan.

Bepaling van de verwijderingscapaciteit van de zuivering gebeurt meestal aan de hand van meetgegevens van indicatororganismen voor en na zuiveringsprocessen. Daarbij wordt gemeten in verzameld water voor en na proceseenheden (soms per straat), niet na individuele eenheden zoals filters of UV-reactoren. Dergelijke metingen worden infrequent uitgevoerd (eens per week of maand). Dat levert een beperkt beeld van de werking van de zuivering. Het risico bestaat dat de effectiviteit van de zuivering wordt overschat omdat (gedeeltelijk of tijdelijk) procesfalen of momenten van verminderde werking die weinig frequent voorkomen worden gemist, of worden onderschat als ze toevallig wel in de meetserie voorkomen. Ook is er geen zicht op de bijdrage van individuele proceseenheden aan de verwijdering. Idealiter is er een continu-meting van de verwijderingscapaciteit per individuele eenheid. Dat is met microbiologische meetmethoden niet haalbaar. De werking van zuiveringsprocessen wordt echter wel beheerst aan de hand van operationele proces- of resultaatparameters die meestal veel frequenter worden gemeten, vaak zelfs online (zoals bijvoorbeeld flow, chemicaliëndosering, troebelheid, zuurgraad of UV intensiteit). Met deze parameters is veel beter zichtbaar dat een zuiveringsproces continu en per eenheid goed werkt dan met infrequente microbiologische (verzamel)metingen.

Dergelijke continu-bewaking van het proces vormt, samen met correctieve maatregelen als het proces uit de pas dreigt te gaan lopen, het hart van het Water Safety Plan. Water Safety Plans zijn opgenomen in de nieuwe drinkwaterrichtlijn van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) (Bartram et al, 2009). De WHO omschrijft een Water Safety Plan als “de meest effectieve manier om consequent de veiligheid van een drinkwatervoorziening te waarborgen”. Een Water Safety Plan gebruikt een risicobeoordeling en risicomangement aanpak voor alle stappen in de drinkwatervoorziening van stroomgebied tot consument. In het Water Safety Plan wordt aangegeven welke processen belangrijk zijn voor het waarborgen van de veiligheid van het drinkwater. De werking van processen wordt in veel gevallen bewaakt met proces- en resultaatparameters en de werking varieert altijd binnen bepaalde grenzen. Om vast te stellen wanneer een proces voldoende goed functioneert worden kritische grenzen gesteld aan deze parameters. Zulke grenzen kunnen worden gesteld aan procesparameters (zoals filtratiesnelheid) of resultaatparameters (zoals ozonresidu, troebelheid van filtraat etc.). De nadruk verschuift daarmee van waterkwaliteitsbeoordeling achteraf naar een preventieve borging van de microbiologische veiligheid van drinkwater. In veel landen is of wordt de Water Safety Plan aanpak overgenomen. In Engeland heeft

de Drinking Water Inspectorate alle waterbedrijven gevraagd per 1 oktober 2008 hun Water Safety Plans beschikbaar te hebben (UK Statutory Instruments, 2007). In Zwitserland (Swiss Federal Council, 2005), IJsland (Gunnarsdóttir & Gissurarson, 2008) en Frankrijk is het Water Safety Plan vanuit de voedselwetgeving (HACCP) ook op drinkwater toegepast. In andere landen, zoals Duitsland (Mälzer et al, 2010), België, Portugal, Hongarije worden proefprojecten uitgevoerd met Water Safety Plans. De Europese Commissie heeft herhaaldelijk aangegeven dat ze de Water Safety Plan aanpak wil opnemen in de herziening van de EU Drinkwaterrichtlijn (Gilbert et al, 2003; WHO, 2003; Hulsmann, 2009), maar worstelt nog wel met de wijze waarop. Ook in Nederland heeft de drinkwatersector via VEWIN de Water Safety Plan aanpak besproken (VEWIN, 2004). Veel van de elementen van een Water Safety Plan zijn al aanwezig in de Nederlandse drinkwaterpraktijk en een wettelijke verplichting lijkt niet nodig, maar een systematische, zorgvuldige analyse van de wijze waarop de veiligheid van het drinkwater geborgd is wordt algemeen als waardevolle aanpak gezien. Ook is aangegeven dat de waterbedrijven alleen invloed hebben op de winning, zuivering en distributie van drinkwater. Een Water Safety Plan zou zich ook moeten uitstrekken over het wingebed en de binneninstallatie en dat vraagt afstemming met degenen die voor die onderdelen van de keten verantwoordelijk zijn. Een aantal waterbedrijven heeft al ervaring met het opstellen van Water Safety Plans voor winning, zuivering en/of distributie (met name voor de microbiologische waterkwaliteit) (Van Lieverloo et al, 2001, 2003, 2004^{a,b}, 2005, 2011; Medema et al, 2003; Wübbels et al, 2004; Waternet, 2010).

De AMVD (Nederlandse regelgeving) en het Water Safety Plan (mogelijk Europese regelgeving) vertonen dus veel verwantschap. Zoals al aangegeven in de AMVD Inspectierichtlijn 5318 is de relatie tussen AMVD en Water Safety Plan als volgt:

De belangrijkste vraag die met de AMVD wordt beantwoord is:

"Voldoet het winnings- en zuiveringssysteem aan de wettelijke eis van het infectierisico?"

De belangrijkste vraag die met het Water Safety Plan wordt beantwoord is:

"Hoe wordt aangetoond dat het winnings-, zuiverings- en distributiesysteem zodanig is ontworpen en bedreven dat de veiligheid van het drinkwater continu gewaarborgd is?"

Een Water Safety Plan vormt dus de borging dat 24 uur per dag, elke dag van het jaar aan de wettelijke eis van het infectierisico wordt voldaan. De raakvlakken tussen AMVD en Water Safety Plan liggen met name bij de borging van de werking van zuiveringsprocessen.

1.2 Doel project

De doelstelling van het project is een basis te leggen voor een (generieke) methodiek die de waterbedrijven kunnen gebruiken bij de borging van de verwijdering van micro-organismen door zuiveringsprocessen.

Met deze methodiek moeten de volgende vragen worden beantwoord:

- i. Hoe kan een (tijdelijke, gedeeltelijke) verminderde werking van een zuiveringsstap worden getraceerd?
- ii. Wat is de bijdrage van dergelijke tijdelijke, gedeeltelijke verminderde werking van de zuivering aan het infectierisico van het geproduceerde drinkwater?
- iii. Hoe kan de effectiviteit van een zuiveringsproces worden bewaakt met online (waar mogelijk) en offline monitoring? Is er een relatie tussen de procesbewaking en microbiologische monitoring? Hoeveel monitoring is nodig?
- iv. Hoe kunnen kritische grenzen voor de bewakingsmonitoring worden afgeleid van de waterkwaliteitsdoelen voor het geproduceerde drinkwater?
- v. Welke corrigerende maatregelen kunnen worden genomen? Hoe snel moeten die worden genomen?

1.3 Een case study

Dit project kon alleen worden uitgevoerd in een praktijksituatie in nauwe samenwerking met een Waterbedrijf. De werking en bewaking van de zuivering is bedrijfsspecifiek. Er is voor gekozen om aan

de hand van een case study de methodiek te ontwikkelen en te demonstreren en evalueren. In samenspraak met het Waterbedrijf Evides is de productielocatie Berenplaat als test case hiervoor geselecteerd. Reden hiervoor is dat op deze productielocatie oppervlaktewater direct wordt gezuiverd en deze locatie beschikt over een hoofddesinfectie met behulp van UV die met een geavanceerd procesbesturingssysteem wordt bedreven. UV desinfectie is in de zuivering opgenomen na een uitgebreide validatie van de desinfectiecapaciteit van het UV proces met biosimmetrie en een beschrijving van de bewaking van de effectiviteit van de UV desinfectie met online parameters (Medema en Beerendonk, 2005).

1.4 Hygiënecodes

Een minstens even belangrijk deel van de borging van de veiligheid van drinkwater bestaat uit het in acht nemen van hygiëne bij ontwerp, aanleg, onderhoud en werkzaamheden. Daarvoor zijn Hygiënecodes opgesteld:

- Hygiënecode Distributie, Transport en Opslag (BTO 2001.175(c));
- Hygiënecode Winmiddelen (BTO 2007.038);
- Hygiënecode Drinkwaterbereiding (KWR 2012.083);
- Hygiënecode Grondwaterbescherming (nog te ontwikkelen).

In de Hygiënecode Drinkwaterbereiding is de validatie en borging van de effectiviteit van zuiveringsprocessen in het verwijderen van micro-organismen (expliciet) niet opgenomen. Dit onderzoek vult de bestaande Hygiënecode over de drinkwaterbereiding aan.

2 Hoofdlijn en werkwijzen van het onderzoek

2.1 Beschrijving van de zuiveringsprocessen

De eerste stap was het maken van een beschrijving van het ontwerp van het proces en de wijze waarop het proces wordt bestuurd. Hiervoor zijn de procesbeschrijvingen die Waterbedrijf Evides heeft gemaakt onderzocht en samengevat op de elementen die relevant zijn voor de verwijdering van micro-organismen. In samenspraak met Trudy Suylen en Jan Bahlman is per zuiveringsproces een inventarisatie gemaakt van risicofactoren die doorslag van micro-organismen zouden kunnen bewerkstelligen en op welke wijze wordt geborgd dat deze voldoende beheerst worden.

2.2 Bewaking van de zuiveringsprocessen

De tweede stap is het maken van een beschrijving en analyse van de wijze waarop de goede werking van de processen wordt bewaakt, ook weer gericht op de verwijdering van micro-organismen. Tijdens deze gedetailleerde analyse kunnen mogelijk situaties naar voren komen, waarvan het risico met de bestaande kennis onvoldoende bevredigend kan worden ingeschat. Die situaties zijn er uitgelicht.

2.3 Retrospectief onderzoek dagrapporten

Het bedrijf verzamelt en registreert een groot aantal procescondities dagelijks in zogenaamde dagrapporten, een schriftelijke samenvatting van alle meet- en regelgegevens die van belang zijn voor de sturing van de zuivering. Een groot aantal dagrapporten is geanalyseerd op de volgende aspecten:

- stabiliteit van de procesvoering;
- optreden van afwijkingen van de normale werking van de zuivering;
- relatie van afwijkingen in de metingen van procesindicatoren met de gelijktijdig geregistreerde bedrijfsvoeringcondities.

In totaal zijn 90 dagrapporten bekeken. Gekozen is voor de dagrapporten uit hetzelfde jaar als waarin de verwijdering van micro-organismen door de zuiveringsprocessen in het kader van de AMVD is gemeten. Daaruit is een selectie gemaakt van dagrapporten voor nader onderzoek. De selectie is uitgevoerd op basis van de data van het microbiologische meetprogramma uitgevoerd voor de AMVD op basis van bekende periodieke veranderingen in de procesvoering (zoals aan/uitzetten van de vlokhulpmiddeldosering). De gedetailleerde werkwijze van de dagstaatanalyse staat genoemd in hoofdstuk 4.

2.4 Koppeling van bevindingen uit dagrapporten en microbiologische metingen

Uit de bevindingen in dagrapporten is vaak niet direct de betekenis van de bevinding voor de verwijdering van micro-organismen duidelijk. Om inzicht te krijgen in de betekenis van proceswijzigingen is een koppeling gemaakt tussen bevindingen uit dagrapporten en de resultaten van het microbiologisch meetprogramma. Het microbiologisch meetprogramma is gebruikt om de momentane verwijdering van micro-organismen te bepalen; aan de hand van de momentaan bepaalde concentraties micro-organismen voor en na het zuiveringsproces zijn Decimale Eliminatie (DE) - waarden berekend. De bevindingen uit de dagrapporten zijn vergeleken met de DE op dezelfde dag (waar mogelijk). Deze "dag-DE's" zijn weer vergeleken met de DE's op de overige dagen en met de effectiviteit van de processen bepaald in literatuuronderzoek (Hijnen en Medema, 2010).

Het koppelen van de variatie in de zuivering aan de procescondities is eerder onderzocht (Wiersema, 1999). Belangrijke conclusie van deze studie was dat de routinematig verzamelde gegevens van de aanwezigheid van indicatorbacteriën voor en na processen niet geschikt zijn om gericht de effecten van procescondities op de verwijderingscapaciteit te bepalen. Hiervoor bleek het nodig om de concentraties met groot volume monsters nauwkeuriger te bepalen. Daarnaast moeten monsternemingen in de tijd gekoppeld zijn: dat geldt voor de analyses voor en na een proces als ook de koppeling met de procescondities. Het meetprogramma dat Evides in 2009/2010 op Berenplaat voor de AMVD heeft uitgevoerd voldoet aan de eerste voorwaarde (groot volume metingen) en voor het microbiologische meetprogramma ook aan de tweede (gelijktijdig monster van voor- en na een processtap).

2.5 Evaluatie methodiek

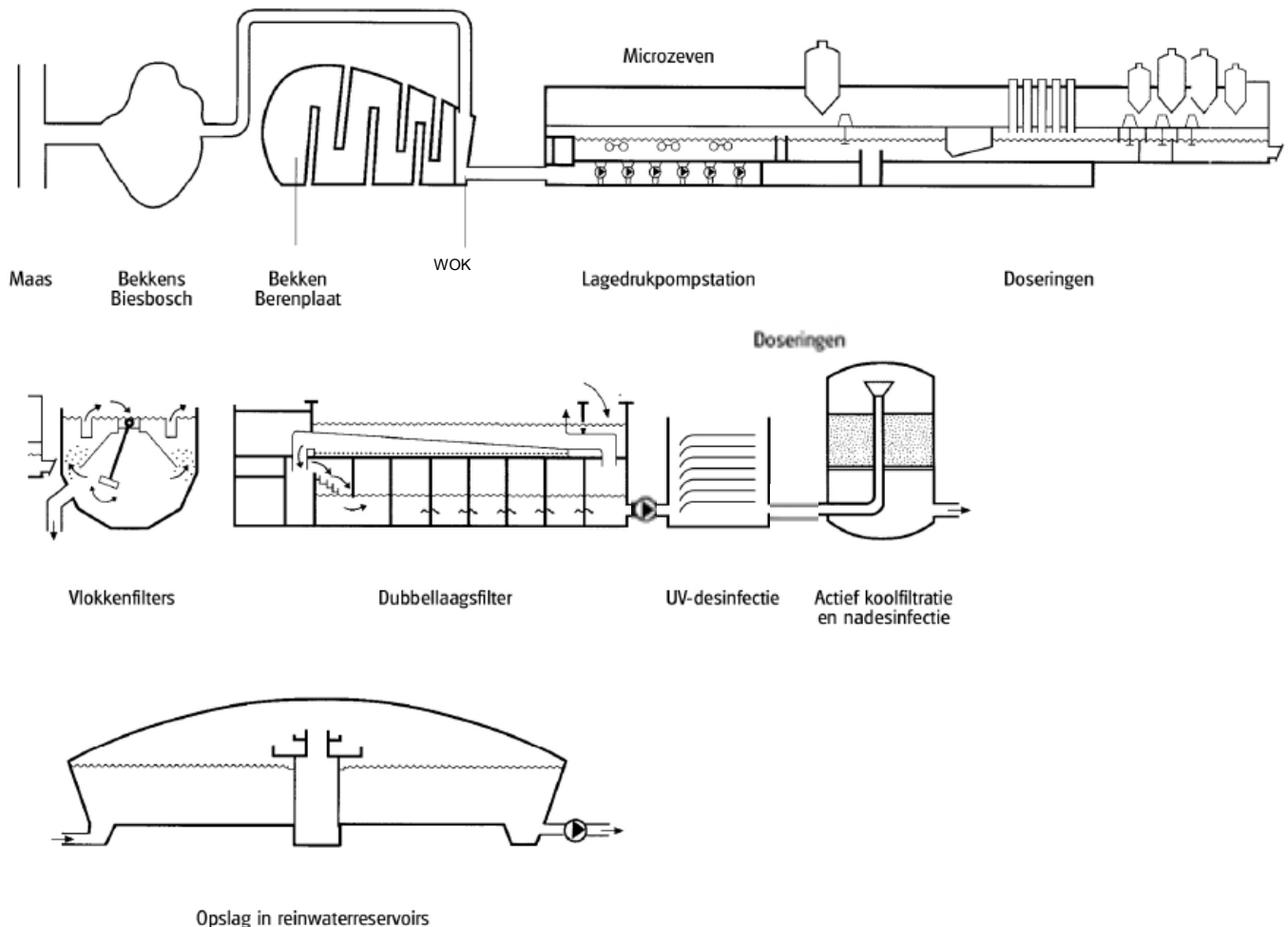
Aan de hand van de bevindingen in de case study is een evaluatie gemaakt van de sterke en zwakke punten van deze methodiek voor de borging van de verwijdering van micro-organismen door zuiveringsprocessen. Daaruit zijn aanbevelingen voor verbetering gehaald.

3 De zuivering

De eerste stap in de methodiek is een gedetailleerde beschrijving van die elementen van de zuivering die van belang zijn voor de verwijdering van micro-organismen. Een beschrijving van de zuiveringsprocessen en bedrijfsvoering is altijd al aanwezig bij een drinkwaterbedrijf. De elementen die van belang zijn voor de verwijdering van micro-organismen kunnen extra worden benadrukt via overleg tussen de medewerkers op het gebied van ontwerp en bedrijfsvoering en van waterkwaliteit. De beschrijving van de zuivering die hieronder volgt is een samenvatting van een Basis document van Evides Waterbedrijf (Evides (2010)). Na de beschrijving van mogelijke bedrijfsvoeringsituaties worden de verschillende onderdelen van de zuivering apart toegelicht. De elementen die van belang zijn voor de verwijdering van micro-organismen zijn extra benadrukt in overleg tussen Evides en KWR.

3.1 Algemene beschrijving

Berenplaat heeft een zuiveringscapaciteit van 18.000 m³ per uur (5 m³ per seconde en een jaarlijkse leveringscapaciteit van ± 100 miljoen m³. Daarmee is Berenplaat de grootste drinkwaterinstallatie van Nederland. Figuur 3.1 geeft een schematisch overzicht van de zuiveringsstappen.



Figuur 3.1 Zuiveringsschema Berenplaat (bron: Evides)

3.1.1 Regulier proces

Het reguliere proces van Berenplaat ziet er als volgt uit:

Behandeling	Toelichting
Inname ruw water	De zuivering Berenplaat bestaat uit twee afzonderlijke zuiveringsstraten
Lage druk pompen (LDP)	Ruwwater, afkomstig van de Brabantse Biesbosch, wordt onttrokken uit het wateronttrekkingskanaal (WOK) via kelder 25
Microzeven	Water wordt verpompt naar de microzeven; max. debiet zuivering 18000 m ³ /h.
Doseerkanaal	35 µm
Vlokkendekenfilter (VDF)	Ferrichloride en zo nodig Vlokhulpmiddeldosering
pH correctie	Snelle menging en onder invloed van afnemende inbreng van energie met roerders worden vlokken gevormd in aanvoerkanalen VDF waarna verwijdering in vlokkendekenfilter.
Dubbellaags(snel)filter (DLF)	Natronloog pH correctie
Middendruk pompen (MDP)	Snelfiltratie ter verwijdering van restvlokken
UV desinfectie	Pompen voor transport naar reactoren t.b.v. UV-desinfectie
Actief kool filter (AKF)	Desinfectie in een of twee in serie geschakelde reactoren (afhankelijk van de dosis)
pH correctie en chloordioxide	Filtratie over actief kool
Reinwaterkelder (RWK)	Natronloog en chloordioxide dosering; zuurstof dosering (zomer)
Hoge druk pompen (HDP)	

3.1.2 Parallelbedrijf en noodinlaat pompstation onder speciale condities

De zuivering Berenplaat bestaat uit twee afzonderlijke zuiveringsstraten. Onder bijzondere condities (zie hoofdstuk 4.4) kunnen deze straten beide gesplitst worden in een afzonderlijk bedreven voorzuivering (VZ) en nazuivering (NZ). Hiermee kan in geval van een calamiteit na overleg met Inspectie toch de minimaal bij wet vereiste productie hoeveelheid worden geleverd.

Het parallelbedrijf ziet er dan als volgt uit:

Voorzuivering

De oude bedrijfssituatie met chloorbleekloog als hoofddesinfectie na de microzeven, coagulatie met ijzerchloride, dosering poederkool, vlokkendekenfiltratie, pH correctie, snelfiltratie en nadesinfectie met chloorbleekloog.

Nazuivering

Uit het WOK wordt het water rechtstreeks verpompt naar de UV gebouwen. Daar vindt UV desinfectie plaats onder verhoogde dosis. Daarna wordt ferrichloride gedoseerd aan het influent van de koolfilters (direct filtratie). Het filtraat wordt op pH gebracht en met chloordioxide nagedesinfecteerd.

Noodinlaatpompstation

Bij calamiteiten in de ruwwatervoorziening van de WBB kan het spaarbekken gevoed worden met rivierwater uit de Oude Maas.

3.2 Processtappen

3.2.1 Inname en microzeven (MZ)

Maaswater wordt selectief bij het innamepunt Kerksloot aan de Amer ingenomen in het bekken De Gijster, wordt vandaar naar bekken de Honderd en Dertig en vervolgens naar bekken de Petrusplaat gepompt. Ook kan zo nodig rechtstreeks water worden ingelaten in de Honderd en Dertig. Tijdens het gemiddeld 5 maanden durende verblijf in deze bekkens vindt natuurlijke zelfreiniging plaats door biologische en chemische afbraak, fotolyse, bezinking en nitrificatie. Tevens wordt de kwaliteit van het water afgevlakt (temperatuur, bestrijdingsmiddelen, zouten). Tijdens de warme periode van het jaar, wanneer temperatuurstratificatie in de bekkens kan optreden, wordt er ca. 40 m³ lucht/minuut geïnjecteerd op de bodem van alle drie de bekkens om de temperatuur in het gehele bekken gelijk te houden en om overmatige algengroei tegen te gaan. Bij binnenkomst in de Petrusplaat wordt er ca. 35 mg/l Ca(OH)₂ gedoseerd om de hardheid van het water te verlagen tot 1,55 mM. Tenslotte wordt er 2 mg/l zwavelzuur gedoseerd (alleen wanneer de pH > 9,1, zodat 8,6 < pH < 9,1), om de transportleidingen tegen corrosie te beschermen. Het water uit de Petrusplaat wordt over een afstand van ca. 35 kilometer door een leiding met een diameter van 1800 millimeter naar de Berenplaat getransporteerd. Gedurende zomer en najaar wordt chloor gedoseerd (gehalte vrij chloor 0,5 mg/l), aan het begin van de transportleiding om driehoeksmossel te bestrijden. Deze chloordesinfectie draagt ook bij aan de desinfectie.

Met 5 pompen per LDP en straat (1 en 2) wordt het ruwe water door een persleiding naar de microzeven (MZ) verpompt. MZ bestaan uit 8 units per straat verdeeld in 4 eenheden van 2 MZ. Maaswijdte van de zeven is 35 µm. De zeven zijn vooral bedoeld om de grotere deeltjes uit het water te verwijderen. De MZ worden met een sproeiwateraanvoer (effluent MZ) boven de zeven schoongehouden. Het sproeiwater met vuil wordt door middel van een goot afgevoerd naar het spaarbekken.

3.2.2 Coagulatie / Vlokkendekenfiltratie (VDF)

Daarna vindt dosering van een vlokmiddel plaats. In het geval van Berenplaat is dit ijzerchloride in een hoeveelheid van ca. 7 mg/L ijzer. Verder wordt in de winterperiode, als de watertemperatuur onder de 12 graden Celsius daalt, wisprofloc (aardappelzetmeel) gedoseerd om de vlokvorming optimaal te houden. De gevormde ijzervlokken zijn positief geladen waardoor ze als een soort magneet de diverse zwevende stoffen inkapselen. Vervolgens klitten de vlokken samen zodat ze op een relatief eenvoudige wijze kunnen worden verwijderd. In het filtergebouw vindt de vlokverwijdering plaats in tachtig vlokkendekenfilters. Deze drie en een halve meter diepe filters maken gebruik van de zwaartekracht. Het water met vlokken komt in het midden binnen en zakt naar beneden. Links en rechts krijgt het water de gelegenheid weer te stijgen. Door de gekozen V-vorm neemt de stijgsnelheid steeds verder af. Op een bepaald moment is de stijg- en daalsnelheid van ijzervlokken gelijk en vormt zich een zogenaamde vlokkendeken, die de ijzervlokken tegenhoudt. De gevormde vlokkendeken wordt batchgewijs afgelaten via openingen in de wand van het filter. In deze installatie vindt een verwijdering van ca. 95 % van de vlokken plaats.

Doseringen bij regulier bedrijf

Ferrichloride (40%) uit een vrachtwagen wordt met drinkwater verdund (tot 12%) en in een voorraadkelder gepompt (iedere straat heeft een kelder). Vervolgens wordt de ferrichloride (12%) naar een ferribad verpompt waaruit de dosering plaatsvindt (5 – 7 mg Fe/l).

Bij temperatuur van ≤ 12°C wordt er ook Wisprofloc N gedoseerd (0,3-0,7 mg/l). Er is een voorraad voor 2-3 uur productie in de aanmaakcompartimenten.

Doseringen bij parallelbedrijf bij een calamiteit

Bij een calamiteit kan ook poederkool (10 mg/l) worden gedoseerd met een aparte installatie: de poederkool wordt bevochtigd met water, met een ejecteur wordt de suspensie weggezogen en vervolgens met bedrijfswater gedoseerd in het open doseerkanaal.

Zuiveringsontwerp en nominale bedrijfsvoering

Onderdelen VDF:

1. aanvoerkanaal met niveaubewaking, pH-meting (2003) en drain. Verdeling over 4 strangen per zuiveringsstraat;
2. per strang toldeur (voor afsluiting), afromer (voor verwijdering schuim) en aanvoerkanaal met drain (voor leegloop) voor de verdeling in 10 VDF units;
3. per VDF unit een "opkomer", roerwerk, afvoergoot, spuisysteem, drain, waterniveaumeting;
4. vuilwaterleiding en afvoerkanaal;
5. effluentkanaal met troebelheidsmeter, toldeur en drain;
6. verzamelkanaal (toldeuren en drains).

Maximale productie per straat is 9650 m³/h, daarboven ontstaan er hydraulische kortsluitstromen. Influent gaat eerst langs roerwerk (vaste energie inbreng: 2x heen/weer per minuut zonder snelheidsregeling) en dan door een V-vormige constructie om de watersnelheid te verlagen. Het water passeert de vlokkendeken en de vlokkendeken wordt periodiek en automatisch gespuid via trechtersvormige uitsparingen in schuine wand van de filterbak. Aan de hand van het cumulatief debiet per VDF, berekend op grond van aanvoerdebiet ruwwater (venturi meting), wordt een vaste tijd van een aantal seconden gespuid met een variabele rusttijd (cumulatief debiet). Spui- en drainwater wordt via de gemeenschappelijke vuilwaterleiding afgevoerd naar de vuilwaterkelder en uiteindelijk geloosd op het spaarbekken. **Opmerking: er is geen directe kortsluiting mogelijk maar wel mogelijk indirecte beïnvloeding van ruwwater door retour van het vuile water via een slibbekken naar het spaarbekkenwater.**

In het afvoerkanaal van de strang waar de afvoergoten van de VDF's op uitkomen is aan het einde een troebelheidsmeting geplaatst (prestatie van een strang). De strang is met een toldeur afsluitbaar.

3.2.3 pH correctie

De primaire pH correctie met natronloogdosering vindt plaats vóór de snelfilters en na de vlokkendekenfilters. De pH wordt hiermee verhoogd van ca. 7,3 naar 8,0. Een 25% oplossing natronloog wordt bewaard in vier opslageenheden (50% van het maximale dagverbruik per eenheid). Deze wordt aangevuld vanuit tankwagens met een 50%-ige natronloog oplossing die tijdens lossen wordt verdund met drinkwater naar 25%.

3.2.4 Dubbellaagsfiltratie (DLF)

Snelfiltratie ter verwijdering van rest-ijzervlokken vindt plaats in twee gescheiden straten met in elke straat totaal 12 dubbellaagsfilters, verdeeld in twee strangen van 6 stuks. De twee straten zijn gekoppeld aan de bijbehorende straten met vlokkendekenfilters. De dubbellaagsfilters zijn gevuld met anthraciet en zand. Het filtraat van de filters wordt opgevangen in 2 van elkaar gescheiden bufferkelders. Normaal zijn de straten volledig gescheiden maar in bijzonder gevallen (calamiteit) kan er met de toldeuren een menging worden gerealiseerd.

Zuiveringsontwerp en nominale bedrijfsvoering

- Het aanvoerkanaal is open en heeft een breedte van 2,2 m en een diepte van 3 m.
- Aan het eind van dit kanaal zit een schuimtrechter voor de afvoer van schuim gevormd door biologische activiteit. Deze wordt handmatig ingesteld zodanig dat deze net onder het wateroppervlak ligt.
- Het aangevoerde water wordt via een verdeelruimte evenredig verdeeld en via een overstortrand aan de kopse kant op het filter gebracht.
- Het filteroppervlak (2 filterhelften) is 80,2 m² met een 0,9 m zandlaag (0,8 - 1,25 mm; Uc = 1,17) met daarboven een 0,5 m anthracietlaag (1,4 - 2,5 mm; Uc = 1,35). Het filter wordt bedreven op een debiet range van 6 - 8 m³/u (maximaal 9 m³/u).
- Het filtraat wordt via de filtraatafvoerbak uit het filtraatafvoer/spoelwatertoevoer compartiment gepompt naar de cascades van de bufferkelder (constructie met waterslot).
- De filters worden periodiek met lucht en daarna met water gespoeld. Door de filtraatklep te sluiten en de spoelwateraanvoer te openen wordt de stroomrichting in het bed omgekeerd. Het spoelwater wordt in het midden van de bak met een spoelwaterafvoergoot afgevoerd.

- **Risico: kortsluiting van ruw water met filtraat is theoretisch mogelijk via een mangat in de afvoergoot maar is zeer onwaarschijnlijk.**

3.2.5 UV desinfectie (UV)

Na de filters komt het water in het middendruk pompstation (MDP). De UV desinfectie omvat een zestal parallelle en identieke UV strangen per straat. Naar gelang inkomend debiet, waterkwaliteit en gewenste UV dosis, zijn twee of meer strangen per straat in bedrijf. Door sluiten of openen van blokkeppen in de proceswaterlijn wordt een strang uit of in bedrijf genomen. Inkomend proceswater verdeelt zich gedwongen hydraulisch over de strangen die in bedrijf zijn. In de strangen vindt de desinfectie plaats door bestraling met UV licht in de reactoren. Elke strang heeft twee identieke in serie geschakelde UV-reactoren (Trojan Swift 30). In een reactor bevinden zich tien kwartsglazen buizen, met in elke buis een staafvormige middendruk kwikdamplamp. Door de geometrische verdeling van de lampen in de reactorruimte is gewaarborgd dat elk deel van het proceswater de minimaal benodigde dosis UV-straling ontvangt. Per strang zijn normaliter twee reactoren in dienst die ieder 50% van de opgegeven dosis voor hun rekening nemen.

Capaciteit (Min-Max) bij regulier bedrijf per straat is 3500-9300 m³/u en bij parallel bedrijf 2000-3780 m³/u. De hierbij horende UV-doses zijn bij regulier bedrijf 40 - 73 mJ/cm² terwijl bij parallel bedrijf de dosis 120 mJ/cm² is (ruwwater uit het WOK). De desinfectiecapaciteit van de reactoren is vooraf uitgebreid gevalideerd met biosimulatie (Medema en Beerendonk, 2005; KWR 05.041).

Koelwater wordt gebruikt om de lampen in de reactoren te koelen bij in en uit bedrijf nemen (ca. 100 m³/uur per strang). Vuilwater (afgewerkt spoel/koelwater bij regulier bedrijf; eventueel spuiwater uit de ESD-kleppen bij falen van strang/strangen) wordt afgevoerd via een gemeenschappelijke vuilwaterafvoerheader. Deze vuilwaterafvoerheader voert het vuilwater naar de vuilwater kelder (VWK één leiding per straat).

3.2.6 Aktief koolfiltratie (AKF)

Het water na de UV desinfectie wordt nabehandeld met actief koolfiltratie om organische microverontreinigingen, organische stof DOC en AOC, kleur en geur/smaak te verwijderen door middel van adsorptie en biologische afbraak. Er zijn twee AKF-straten die volledig gescheiden zijn. Elke straat heeft twee AKF gebouwen met in elk gebouw elf AK filters die onder overdruk worden bedreven. Bij maximale productie kunnen er maximaal 3 van de 22 filters buiten bedrijf zijn (één voor spoelen, één voor storing of onderhoud, één voor reactivatie). De contacttijd in de koolfilters varieert afhankelijk van de productie en het uit bedrijf zijn van de filters tussen minimaal 15-20 minuten en maximaal 40-50 minuten. Bij parallelbedrijf (calamiteiten, bijzondere condities) wordt er tussen de UV en de koolfilters ijzerchloride gedoseerd (direct filtratie, 0,5 mg Fe/l). Door de grote zwevende stof belasting (snel oplopende drukval) van de filterbedden zal nu frequent(er) worden gespoeld. In principe is de wachtrij nog steeds van toepassing. Beschikbaarheid van voldoende spoelwater is een aandachtspunt. De gemeenschappelijke filtraat troebelheid wordt online bewaakt om ijzer doorslag tijdig te detecteren.

3.2.7 pH correctie

De optimale pH van het drinkwater ligt tussen 8,0 en 8,3. Hiertoe wordt voor de 2^e maal natronloog gedoseerd: debietproportioneel met productiedebiet en gestuurd op basis van pH meting koolfiltraat. De doseerlansen in de leiding worden periodiek gereinigd. Controle op de juiste pH vindt plaats door pH meting in hoge druk.

3.2.8 Nadesinfectie met chloordioxide

De chloordioxide productie vindt plaats met HCl 25% en natriumchloriet 25%. Er zijn drie aanmaakinstallaties per straat waarvan er één steeds in dienst is en de andere twee redundant. De geconcentreerde chloordioxide oplossing uit het reactievat wordt met proceswater verdund tot een gewenste concentratie van 0,1 - 0,2 g/l. De dosering vindt plaats met behulp van doseerlansen in de koolfiltraat afvoerheader vlak voor de statische menger op gewenst setpoint (0,05-0,18 mg/l). Het water met chloordioxide wordt daarna via de reinwaterkelders getransporteerd naar het hogedrukpompstation.

3.2.9 Zuurstofdosing

Door microbiologische activiteit in de koolfilters wordt zuurstof uit het proceswater verbruikt. Bij hogere watertemperatuur neemt het zuurstofverbruik toe. In de maanden mei t/m september wordt zuurstof gedoseerd voor een gegarandeerd zuurstofgehalte van min. 5 mg/l.

4 Bewaking van de zuivering

4.1 Procesparameters en verwijdering van micro-organismen

De effectiviteit van de processen in de voorzuivering met coagulatie, sedimentatie en filtratie om micro-organismen te verwijderen en de invloed van procescondities is beschreven in een literatuuroverzicht Hijnen and Medema (2010). Voor coagulatie/sedimentatie processen zijn de procesconfiguratie (wijze van primaire vlokverwijdering), de vlokmiddeldosering, temperatuur en pH belangrijke procescondities voor de verwijderingscapaciteit. Belangrijk is de constatering dat de troebelheid en deeltjestelling voorspellende parameters zijn voor de verwijdering van (oö)cysten van *Giardia* en *Cryptosporidium* door coagulatie/sedimentatie (Edzwald et al. (1998); Dugan et al. (2001) en door snelfiltratie (Emelko (2001); Patania (1995)). Waarschijnlijk geldt dat ook voor de andere micro-organismen maar daarover zijn in de literatuur geen gegevens gevonden. De synergie tussen coagulatie/sedimentatie en snelfiltratie in de verwijdering van deeltjes en micro-organismen is door meerdere auteurs aangetoond. Een bepaalde mate van doorslag van deeltjes of micro-organismen bij de coagulatie wordt opgevangen door het nageschakelde snelfilter. Daarnaast beïnvloeden de hydraulische filtratie condities van snelfiltratie de verwijdering van micro-organismen. Het gaat hierbij om variaties in de filtratiesnelheid, vervuiling en drukval en fase in de filtratiecyclus tussen twee filterbed spoelingen.

Ook voor UV desinfectie is een literatuuroverzicht gemaakt door Hijnen et al. (2006) waarin de oorzaken van de variatie in de capaciteit van dit proces zijn beschreven. Dit zijn factoren die gerelateerd zijn aan het proces als dosisberekening en dosisvalidatie van de toegepaste reactor, spreiding in verblijftijd en afname van de lampintensiteit en factoren die gerelateerd zijn aan de micro-organismen als variatie in gevoeligheid voor UV (natuurlijke versus gedoseerde) en UV afscherming door hechting aan deeltjes. In een recente publicatie van Templeton et al. (2007) is een onderzoek beschreven naar de invloed van deeltjes op de inactivatie van somatische colifagen door UV.

4.2 Procesbewaking

Voor elk zuiveringsproces heeft Evides de gewenste procesinstellingen gedefinieerd en wordt de werking van het proces bewaakt aan de hand van operationele en procesparameters. De gewenste procesinstellingen en de grenswaarden voor de bewakingsparameters en de bandbreedte per parameter (oranje/rood) worden door de afdeling Technologie & Bronnen van Evides vastgesteld. Dit staat beschreven in het Evides document: "Procesinstellingen/gewenste waarden/normen en bandbreedten". De online metingen worden in de procesautomatisering bewaakt. Bij over- of onderschrijding wordt een alarm gegenereerd. Bij overschrijding van de rode bandbreedte wordt de procestechnoloog van dienst gewaarschuwd. In overleg met de afdeling procesvoering worden maatregelen genomen om weer binnen bandbreedte te komen. In het ultieme geval wordt de zuiveringsstraat gestopt. Dit kan direct via de procesautomatisering of handmatig door middel van de procesvoerder.

In de volgende paragrafen wordt per zuiveringsonderdeel beschreven op welke wijze de bewaking van het proces is geregeld. Ook hier zijn de elementen die van belang zijn voor de verwijdering van micro-organismen benadrukt, in overleg tussen Evides en KWR.

4.3 Ruw water inname

Bij de Brabantse Biesbosch worden de volgende kwaliteitscriteria gehanteerd voor een inname stop van water uit de Maas:

- troebelheid >75 FTE;
- chloride-gehalte >100 mg/l;
- atrazinegehalte >0,5 µg/l, overige bestrijdingsmiddelen > 1 µg/l, gehalte aan onbekende verbindingen > 3 µg/l;
- waterafvoer Maas <25 m³/s;
- bioalarm van de *Daphnia*- en/of algenmonitor;
- olielaag op de rivier.

Daarbij zijn een hoge troebelheid van het Maaswater en een lage afvoer waarschijnlijk gekoppeld aan relatief hoge concentraties referentie-pathogenen en zorgt deze bewaking en innamestop voor het niet

innemen van dit water. De gemiddelde verblijftijd van het Maaswater in de bekkens is ca. 5 maanden, zodat er nog een kwaliteitsafvlakking en -verbetering optreedt.

4.4 Parallelbedrijf en noodinlaatpompstation

Normaal vindt de productie plaats met twee afzonderlijke productiestraten. In speciale situaties wordt overgeschakeld op **parallelbedrijf**. Onder parallelbedrijf wordt verstaan dat de twee zuiveringsstraten worden gesplitst in twee afzonderlijke productieunits: Voorzuivering (VZ) en Nazuivering (NZ) die beiden autonoom in staat zijn tot drinkwaterproductie (Hoofdstuk 3).

Dit treedt in werking indien een van de volgende twee situaties zich voordoet:

- uitval van een andere productielocatie;
- uitval van een zuiveringsstraat Berenplaat door bijvoorbeeld storing of contaminatie.

Dit is tot op heden nog nooit voorgekomen.

Noodinlaatpompstation (NIP): dit wordt gebruikt bij calamiteiten bij de aanvoer van Biesboschwater. Rivierwater van de Oude Maas wordt dan via dit noodinlaatpompstation in het Berenplaat spaarbekken gepompt. NIP wordt gestopt indien het chloridegehalte van de Oude Maas hoger wordt dan 150 mg/l (EGV >100 mS/m) of het rivierwater verontreinigd is met olie, bestrijdingsmiddelen of andere organische verontreinigingen. Hier zit geen directe of indirecte bewaking van de microbiologische kwaliteit van het ingenomen water.

4.5 Inname Berenplaat (LDP) en microzeven

Van het water dat de productielocatie binnenkomt wordt de pH en troebelheid gemeten m.b.v. online meters. In de persleiding zit een terugslagklep om drukverlies te voorkomen. De pompen zijn toerengeregeld en daarmee debiet geregeld. Afhankelijk van het gevraagde setpoint debiet en de beschikbaarheid van de opvolgende bedrijfsonderdelen start het LDP op met een minimum debiet van 3500 m³/h. Vanwege de gevoeligheid van de VDF voor plotselinge debietverhoging is de toename van het debiet naar het gevraagde setpoint in de tijd gelimiteerd. De capaciteitseisen zijn voor normaal bedrijf 11000 m³/uur (variatie per straat is 3500 - 9000 m³/uur = min - max), 14800 m³/uur bij onderhoud en storing en 18500 m³/uur bij maximale capaciteit.

Eisen aan debiet:

- minimaliseer (de snelheid van) debietwijzigingen;
- voorkom overstorten van de RWR's (reinwater reservoirs);
- handhaaf ijzeren voorraad voor minimaal 3 uur vraagdekking.

In deze procesbewaking zit geen directe bewaking op effectiviteit van de verwijdering van micro-organismen. Voor dit procesonderdeel is ook geen verwijdering te verwachten, gezien de maaswijdte van de microzeven (35 µm). Maar omdat de debietregeling wel belangrijk is voor de werking van de zuiveringsstappen die hierna komen, is deze bewaking wel een essentieel onderdeel van de bewaking op de effectiviteit voor de verwijdering van micro-organismen.

4.6 Coagulatie/Vlokkendekenfiltratie (VDF)

Juiste dosering van coagulatiemiddel en van vlokhelpmiddel is van belang voor de goede werking van de vlokkendekenfilters. Concentratie vlokmiddel (ijzerchloride) wordt bij aanmaak gecontroleerd en ingevoerd in de procesautomatisering. Concentratie van vlokhelpmiddel wordt na aanmaak online bewaakt. De dosering van ferrichloride en van wisprofloc is debietgestuurd en de sturing wordt online geregeld/gecontroleerd.

De werking van de VDF zelf wordt bewaakt met behulp van troebelheidsmeters in het effluent na VDF (n=8). De gewenste waarde van het effluent van de VDF is een troebelheid van <1,6 FTE en maximaal 3,0 FTE. Bij een troebelheidsniveau > 3,0 FTE gedurende meer dan een uur wordt overleg gevoerd over mogelijke maatregelen om de troebelheid te verlagen waarbij de volgende maatregelen kunnen worden genomen:

- oppervlakte belasting verlagen: debiet verlagen of uit dienst zijnde eenheden in dienst nemen;
- vlok(hulp)middel dosering aanpassen: ijzerchloride en/of wisprofloc; de range ligt op: Fe dosering: 5,0 - 7,0 g/m³ / Wisprofloc N: 0,3 - 0,75 g/m³;
- spui- wachttijden aanpassen vlokverwijdering m.b.v. regeling op cumulatief debiet gemeten met venturi in het doseergebouw.

Beheer- en onderhoudssysteem: periodieke controles op werking bedrijfs onderdeel:

- ligging/ uiterlijk VDF: deken op hoogte trechters, geen sterke beweging;
- mechanische werking roerders (geluiden);
- schuim in voedingskanaal en afstelling afromers;
- periodieke schoonmaak per strang (1 strang per week).

Meet- en monsternamenpunten: aanvoerkanaal (pH, zie 4.5) en afvoerkanalen (troebelheid effluent). De meters worden met een frequentie van 1x per week gecontroleerd door een watermonster te nemen en de pH en troebelheid te meten.

4.7 pH correctie

pH correctie na de VDF met feed-forward regeling op de gemeten pH voor de VDF. Het ingestelde setpoint is de gewenste pH na de bufferkelders (setpoint $7,95 \pm 0,15$). Als de pH niet voldoet aan de gewenste setpoint waarde dan wordt het setpoint loogdosering gecorrigeerd tot max. +/- 30 %. (→ gecorrigeerd setpoint).

4.8 Dubbellaagsfilters (DLF)

Goede werking van de filters is essentieel voor de verwijdering van micro-organismen, maar ook om geen deeltjes te laten doorslaan die de effectiviteit van de UV desinfectie negatief kunnen beïnvloeden. Goede filterwerking wordt gemeten aan de hand van troebelheid van het filtraat na bufferkelders (n=4) en de opbouw van vervuiling op het filter via drukval over het filter. Het proces wordt online gestuurd met deze parameters:

- gewenste waarde troebelheid filtraat <0,2 FTE en bij >0,3 FTE aanpassing procesinstellingen (rood alarm);
- spoelcriterium: drukval 200 cm WK (setpoint);
- waterniveau boven het filter constant (voordruk).

De troebelheidsmeters worden met een frequentie van 1x per week gecontroleerd door een watermonster te nemen en de troebelheid te meten.

De filters moeten regulier worden gespoeld om de weerstand niet te hoog op te laten lopen en verstopping te voorkomen.

Filterspoelregeling en bewaking:

- criterium: bedweerstand, wachtrij en prioritering waarbij ook de actieve koolfilters meewegen (een filter per straat):
 - prioriteit 1 handmatige spoelaanvraag;
 - prioriteit 2 automatische aanvraag DLF met de hoogste weerstand;
 - prioriteit 3 AKF aanvraag;
- bedweerstandscriterium (200 cm);
- waterniveaumeting (onder de afvoergoot) regelt luchttoevoer klep bij de luchtspoeling;
- voor waterspoeling na de luchtspoeling: niveau 10 cm boven bed om voldoende tijd te creëren voor ontluchting en voorkomen uitspoelen anthraciet;
- er bestaat een alarm op grond van de drukverschilmeting (> gewenste bedweerstand setpoint);
- spoelwater en spoellucht curven.

Beveiliging

Bewaking van het waterniveau boven het filterbed.

Aandachtspunten

- Water in luchttoevoer;
- Ontluchting bij lagere temperaturen;
- Anthracietverlies door lucht (bedhoogte wordt 1x/jaar gecontroleerd en indien nodig aangevuld).

4.9 UV desinfectie (UV)

De UV desinfectie is de belangrijkste stap voor de verwijdering (inactivatie) van micro-organismen. De mate van verwijdering die van de UV wordt gevraagd is hoog en daarom is procesbewaking voor dit proces extra essentieel.

Zoals aangegeven bij LDP is er een terugkoppeling naar de LDP: de LDP kunnen pas optoeren om het debiet te verhogen als het benodigde aantal UV strangen paraat is en het optoeren gaat geleidelijk om plotselinge debietveranderingen te voorkomen. Dat is met name van belang voor de VDF, maar voorkomt ook bij de UV reactoren snelle variatie in het debiet.

Kwantiteitsgarantie

Voor de leveringszekerheid zijn er 6 strangen per straat. Daarvan zijn er 2 redundant:

- een strang kan in storing of onderhoud zijn;
- een strang is stand-by.

Kwaliteitsgarantie

Dosisgarantie door een met biosimmetrie gekalibreerde processturing (KWR 05.041) waarbij online meting van de lichtintensiteit per lamp, de UV transmissie bij 254 nm van het aanvoerwater van de UV reactoren en het actuele debiet per strang als invoer dienen voor het UV processtuursysteem (PLC). Op basis van de metingen bepaalt het processtuursysteem de hoeveelheid energie die naar de UV lampen moet gaan om de werkzame dosis (Reduction Equivalent Fluence) te bereiken. Alle lampen worden apart met een elektronische ballast aangestuurd, en de brandniveaus kunnen dus staploos worden ingesteld. Dit stuursysteem en de UV lampen reageren heel snel (microseconden) op veranderingen in de invoermetingen. De UV dosis setpoint staat voor straat 1 op 40 mJ/cm² en voor straat 2 op 73 mJ/cm².

Online metingen:

- UVT (2003 meting); 1x per week gecontroleerd en indien nodig gecalibreerd;
- debiet, per strang; 1x per jaar gecalibreerd;
- intensiteit, per lamp gemeten met een sensor nabij de lamp; 1x per 2 jaar gecalibreerd. Resultaten geven aan dat dit voldoende is.)

In bedrijf nemen, uit bedrijf nemen, overschakelen van strangen

Strangen worden roulerend in- en uit bedrijf genomen. Dit kan zowel op basis van:

- setpoint dosis + debiet;
- actuele dosis;
- timer (overschakelen).

Het inschakelen van (een) UV-strang(en) gebeurt volgens een protocol, zodanig dat de blokkeppen in de proceswaterlijn pas openen nadat de UV-lampen zijn opgewarmd. Zo wordt er nooit water naar de AKF gestuurd dat te weinig of geen UV heeft 'gezien'. Ter koeling van de lampen wordt dan tijdelijk koelwater in tegenstroom door de strang(en) gevoerd. Een aldus opgestarte strang wordt paraat gehouden tot daadwerkelijke doorstroming met proceswater mogelijk en gewenst is.

Het uitschakelen van (een) UV-strang(en) gebeurt volgens een protocol, zodanig dat de UV-lampen pas uitschakelen ná sluiten van de blokkeppen in de proceswaterlijn. Zo wordt er nooit water naar de AKF gestuurd dat te weinig of geen UV heeft 'gezien'. Ter koeling van de lampen wordt dan tijdelijk koelwater in tegenstroom door de strang(en) gevoerd. Zijn de lampen uitgeschakeld, dan is een afkoelperiode noodzakelijk voordat de strang opnieuw gestart kan worden.

Bij overschakelen van strang start eerst de vervangende strang op. Als deze in dienst is gekomen, schakelt de oorspronkelijke strang uit. Beide gaan volgens bovenstaande protocollen.

Uit oogpunt van correcte UV-dosis zullen normaliter niet alle UV-strangen gelijktijdig en continu in bedrijf zijn. Hiertoe bewaakt en stuurt het distributed control system (DCS) het aantal strangen dat in bedrijf moet zijn of moet komen (bij wijziging setpoint debiet VZ). Het gewenste debiet wordt begrensd door het aantal UV-strangen dat paraat staat. Plotseling afschakelen van een UV-strang heeft een begrenzing van het LDP tot gevolg.

Veroudering: levensduur en vervanging van UV-lampen

Bij vorderende brandduur verouderen de UV-lampen. Dit is merkbaar als verminderde output bij gelijk energie-inputniveau. Om toch eenzelfde dosis te realiseren zullen oudere lampen dus op een hogere brandstand opereren. Dat wordt geregeld via de UV intensiteit die op de UV sensor valt. Bij verminderde UV output ziet de sensor minder UV en de PLC regelt dan automatisch dat er meer energie naar de lampen gestuurd wordt. Lampen worden bij het bereiken van het einde van de levensduur voor een gehele strang gelijktijdig vervangen. Binnen een strang zijn alle lampen dus normaliter van identieke brandduur behoudens eerder optredende storing/breuk. Tussen de strangen onderling zal echter wel enige spreiding in branduren optreden, waarvoor de procesaansturing (zowel DCS als lokaal reactor PLC) compenseert middels kiezen van het juiste brandniveau.

Bijzonder bedrijf - uitval 1 UV lamp

Alle lampen worden aangestuurd met een eigen elektronische ballast ("dimmer"). Er zal dus 1 lamp gelijktijdig uitvallen bij falen van een lamp of een ballast. In geval van uitval van 1 lamp blijft de betreffende strang in eerste instantie in bedrijf. De resterende lampen in de strang schakelen momentaan op naar maximaal brandniveau zodat de benodigde UV-dosis alsnog gerealiseerd wordt. Een vervangende strang start op. De falende strang wordt vervolgens uit bedrijf genomen om de lamp of ballast te vervangen.

Bijzonder bedrijf - uitval meerdere UV lampen in één reactor/strang

In geval van (gelijktijdige) uitval van meerdere lampen in een strang (bijvoorbeeld falen reactor, reactor-PLC) zijn de resterende lampen in de betreffende strang niet meer in staat om de terugval in dosis te corrigeren. Het water dat niet voldoende is gedesinfecteerd, mag niet verder worden getransporteerd en het leidingwerk van de nageschakelde processtappen bereiken (voorkomen van contaminatie).

Hiertoe worden gelijktijdig de volgende acties ingezet:

- het MDP maakt een noodstop, zodat de proceswaterstroom influent UV-strangen tot stilstand komt. Om waterslagverschijnselen te minimaliseren is een waterslagketel opgenomen (in Filtergebouw, bij MDP);
- in de falende strang wordt de ESD-klep zeer snel geopend, zodat de aanvoer en de strang-inhoud onder invloed van de tegendruk uit de RWR's terugstroomt en naar de overstortleiding wordt afgevoerd;
- in alle strangen (zowel de falende als de niet-falende) lopen de blokkleppen dicht;
- tot bereiken van volledige sluitstand van de blokkleppen (5 à 10 seconden afhankelijk van het debiet) zal (reeds gedesinfecteerd) water uit het bovenwater van de AKF terugstromen. NB: de bovenwaterstand van de AKF verlaagt nu, de headspace van de ketels vult gedeeltelijk met atmosferische lucht afhankelijk van het actuele niveau van het RWR;
- de falende strang is geïsoleerd door dichtsturen van de blokkleppen. De falende strang (waarvan de ESD klep openstaat) zal leeglopen. De UV-lampen van deze strang schakelen na 5-10 seconden uit c.q. hardwarematig uit (laag niveau-detectie in de reactoren);
- de niet-falende strangen gaan naar status "paraat": koelwateraanvoer en -afvoer openen, blokkleppen blijven dicht, lampen blijven branden op laagste brandniveau;
- indien gewenst kan de productie weer worden opgestart met de niet-falende strangen.

Bijzonder bedrijf - uitval MDP

Bij uitval van MDP worden alle strangen gelijktijdig naar de status "paraat" gestuurd:

- door uitval MDP staakt de proceswaterstroming;
- in bedrijf zijnde strangen gaan naar de status "paraat"; achtereenvolgens betekent dit:
 - koelwatertoevoer en -afvoer naar deze strangen openen;
 - blokkleppen sturen dicht;
 - lampen blijven branden op laagste niveau;
- eventuele vervolgactie te bepalen door procesvoerder (NB: ook in nageschakelde AKF, bij laag niveau van de reinwaterreservoirs kunnen de filterketels gedeeltelijk leeglopen indien geen (gezamenlijke) filtraatafvoerkleppen worden dichtgestuurd).

Bij uitval (of uitschakeling) van het MDP wordt (conform de huidige bedrijfsvoering) tevens het LDP

acuut uit bedrijf gestuurd. Het restant water in de voorzuivering kan nog worden geborgen in de MDP-bufferkelder (de MDP-bufferkelder heeft géén nood-overlaat).

Bijzonder bedrijf – uitval netvoeding

Bij onderbreking van de reguliere net-voeding zal het MDP uitvallen. Acties zijn identiek als beschreven in bovenstaande paragraaf (uitval MDP): de in-bedrijf zijnde strangen gaan naar status “paraat”. Tot het bijkomen van de noodstroomvoorziening worden de UV-lampen brandend gehouden middels dedicated Uninterrupted Power Supply (UPS). UPS: uitval netspanning geeft 42 seconden spanning (op 100% brandniveau) tot noodaggregaat werkt. Indien dat niet het geval is dan gaan de lampen uit. De capaciteit van deze UPS is gedimensioneerd op een tijdsduur van 35 seconden (= tot de blokkeppen gesloten zijn) branden op 85% brandniveau plus 25 seconden op 30% brandniveau (= laagste brandstand).

Bijzonder bedrijf – parallelbedrijf

Tijdens parallelbedrijf wordt ruwwater uit het WOK via het ruwwater transport pompstation (RWTP) naar de UV-strangen geleid. De bedrijfsvoering van de UV-desinfectie blijft intact, zij het dat er een hogere UV-dosis wordt toegepast en dat er met lagere debieten wordt gewerkt. Tevens wordt de ijzerdosering t.b.v. directfiltratie geactiveerd, welke ná de UV is geschakeld. Deze staat functioneel los van de UV-desinfectie.

4.10 Actief koelfiltratie (AKF)

Om de leveringszekerheid te bewaken is dit proces uitgevoerd in twee van elkaar gescheiden straten met in elke straat twee gebouwen met elf AK filters. Zijn er meer dan drie filters per straat buiten bedrijf dan wordt de aanvoer vanuit LDP gelimiteerd.

Om de kwaliteit van het water te garanderen zijn de volgende maatregelen genomen:

- filters worden onder overdruk bedreven;
- via een debietregeling wordt de contacttijd van alle filters gelijk gehouden; afhankelijk van het debiet gemiddeld tussen 20-25 minuten en maximaal 40 minuten;
- heeft een filter meer dan 48 uur stilgestaan dan wordt het eerst gespoeld voor in gebruik name;
- bij een te laag debiet kunnen filters buiten bedrijf worden genomen om de contacttijd te verlagen;
- periodieke spoeling op verscheidene criteria: 1^e: cumulatief debiet (teller), 2^e: drukval (meting over het filterbed); 3^e: tijd (teller);
- periodieke reactivatie van de AK: maximum aantal bedvolumes 40.000 (teller);
- loogdosering aan het effluent om de pH van het water te corrigeren (setpoint 8,0-8,3);
- chloordioxide dosering aan het effluent t.b.v. nadesinfectie microbiologische nagroei koelfiltraat;
- zuurstofdosering (zomer) zodat zuurstofconcentratie af-pompstation tenminste 5 mg/l bedraagt.

Stuurparameters:

- troebelheid (FTE): op gezamenlijk AKF filtraat (per gebouw) met een gewenste waarde van <0,2 FTE. Als gewenste waarde wordt overschreden volgt alarmering naar operator;
- debiet (m³/u): ieder filter heeft eigen debietmeter;
- spoelen: debiet lucht/water;
- zuurstof (g/m³): dosering (in zomer) als zuurstofgehalte laag is door biologische activiteit in de koelfilters.

Regelingen:

- ieder filter wordt met een master-slave regeling en een individuele debietmeter op dezelfde contacttijd gehouden;
- beluchten van de headspace met een grote en kleine klep. Voorkomen van onderdruk: door opening grote klep;
- ontluchting van de individuele filters: noodzakelijk vanwege gasproductie in filterbed. Reden: voorkomen dat een deel van het filter droog komt te staan (naar beneden drukken bovenwaterstand).

Halen/brengen van kool bij reactivatie: procedure is uitvoerig apart beschreven. Transportmiddel van de kool is drinkwater en spoelwater van de leiding wordt getransporteerd naar de vuilwater reservoirs.

Parallel bedrijf: direct filtratie door AKF (ijzerchloride dosering (0,5-1,0 mg/L) aan influent AKF). Extra alertheid op de online troebelheidsbewaking in het verzamelde filtraat om ijzerdoorslag (en dus deeltjes doorslag) vast te stellen.

4.11 Chloordioxide

De te doseren hoeveelheid wordt bepaald middels een setpoint voor de dosering in de processtroom en het gemeten debiet van het proceswater. Hiermee wordt de chloordioxide aanmaakinstallatie aangestuurd. Middels een debietmeter en chloordioxidemeters bij het doseerpunt worden de gedoseerde hoeveelheden gecontroleerd. Deze meters worden 4x per jaar onderhouden en indien nodig gecalibreerd. De concentraties in het drinkwater zijn te laag voor online bewaking van het chloordioxide gehalte. Bij detectie van onderdosering van chloordioxide (door metingen rondom inbrengpunt en in aanmaak) wordt overgegaan naar de redundante doseereenheid. Als binnen 15 minuten niet alsnog terugmelding is ontvangen dat de dosering nu is hersteld, wordt de drinkwaterproductie naar het AKF gebouw acuut gestaakt (MDP noodstop). Daarop volgt automatisch een LDP-stop op de desbetreffende straat. Het betreffende AKF gebouw wordt verder geïsoleerd door het sluiten van de blokkeppen in de aan- en afvoerheaders. Middels inspectie van het systeem wordt bepaald wat de oorzaak is en wordt deze verholpen, waarna de dosering wordt getest en de straat weer in gebruik genomen.

5 Bedrijfsanalyse gericht op de borging van de effectiviteit

5.1 Inventarisatie mogelijke risicosituaties en ontbrekende kennis

Bij het doorlopen van de eerste stappen (hoofdstuk 3 en 4) zijn, door Evides en KWR gezamenlijk, alle relevante zuiveringstappen, bedrijfsvoerings- en bewakingselementen tegen het licht gehouden. Daarbij kwam een aantal vragen naar boven over mogelijke risicosituaties, waarbij het niet mogelijk bleek een goede inschatting te maken vanwege ontbrekende kennis. Deze worden in de volgende paragrafen per proces besproken.

5.2 Coagulatie/Vlokkendekenfiltratie (VDF)

Bij de VDF zijn de volgende mogelijke risicosituaties geïdentificeerd:

- Bij een emergency shutdown (ESD) stopt de stroming door de VDF en bezinkt de vlokkendeken. Bij opstart zal de deken weer opkomen. Dit zou de werking van de VDF negatief kunnen beïnvloeden.
- Het in bedrijf nemen van de Wisprodosering is nu gestuurd door de watertemperatuur in combinatie met een licht oplopende troebelheid van DLF's: een periode met lagere watertemperatuur voordat gestart wordt met de dosering kan de werking van de coagulatie negatief beïnvloeden.
- Bij onderhoud kan 1 van de 4 strangen buiten bedrijf gaan. Dit heeft een effect op de LDP, die worden begrensd. Het debiet wordt vervolgens verdeeld over de overige 3 strangen. Er wordt een troebelheidspiek na de VDF waargenomen ondanks dat er een goede debietafvlakking is gerealiseerd vanwege de vereiste stabiliteit van het proces van de VDF's.
- pH effect: de pH van het water na ijzerdosering kan 0,3 - 0,4 pH-eenheden variëren over de seizoenen, dit kan de coagulatie beïnvloeden.

5.3 Dubbellaagsfiltratie (DLF)

- Uitval van de Wisprofloc dosering heeft invloed op nageschakelde DLF's (doorslag → troebelheid → lagere UVT) (dit wordt gezien als incident);
- Spoeling van filters: debietwisselingen bij de in dienst zijnde filters (1 op 12 = ca. 8%) en doorbraakrisico's van het te spoelen filter c.q. mindere kwaliteit van het 1^e filtraat na spoeling.
- Spoelwater wordt gerecirculeerd naar het spaarbekken. Dit geldt ook voor ander proceswater. Dat zou kunnen leiden tot ophoping van micro-organismen in het spaarbekken.

5.4 UV desinfectie

ESD incident bij UV

Toevallige samenloop van omstandigheden hierbij was dat ten tijde van een bespreking een emergency shut down (ESD) incident was opgetreden, zodat de werking van de vooraf bepaalde corrigerende maatregelen bekeken en geëvalueerd kon worden.

Door een storing in de bedrijfsvoering van de UV-installatie trad de ESD (Emergency Shut Down) in werking, zoals beschreven in 4.9. Het MDP maakte een noodstop, de ESD-klep ging open en de blokkleppen van alle strangen liepen dicht, volgens de ESD instellingen. Dit heeft een kettingreactie tot gevolg in de totale zuivering waarbij processen stil komen te liggen en waterstromen stoppen en systemen (gedeeltelijk) leeg lopen. De bovenwaterstand van de dubbellaagsfilters (DLF) en de actief koolfilters (filtraatkleppen sluiten) liep omlaag. De falende strang liep leeg en de UV lampen zijn volgens plan uitgeschakeld. De productie is daarna hersteld met de niet falende UV strangen. Bij de herstart van de productie werd er vertraagd (ramping) opgestart met name om de vlokkendekenfiltratie zo weinig mogelijk te verstoren. Er is geen extra doorslag van ijzerdeeltjes door de VDF geregistreerd; geen verstoring in FTE. De ESD is dus verlopen volgens plan en de evaluatie geeft geen aanleiding om dit plan te wijzigen.

Overig

Als er een afwijking optreedt in de debietmeters is de dosering niet meer correct. Met name afwijking naar beneden is belangrijk vanwege onderdosering. Debietmeters worden frequent geijkt. Op basis van een waterbalans evaluatie wordt nagegaan of en zo ja in welke mate er afwijkingen te verwachten zijn.

De benodigde verwijdering van de referentie-pathogeen *Campylobacter* is substantieel. De UV reactoren zijn (in serie) gevalideerd op ca 4 log-eenheden verwijdering. Een hogere verwijdering (inactivatie) door de UV is waarschijnlijk, maar niet gevalideerd.

5.5 Actief koelfiltratie (AKF)

- Spoeling van filters: debietwisselingen bij de in dienst zijnde filters (1 op 12 = ca. 8%) en doorbraakrisico's van het te spoelen filter c.q. mindere kwaliteit van het 1^e filtraat na spoeling.
- Voor de AKF is de verwijdering van referentie-pathogenen nog maar beperkt onderbouwd: openstaande vragen liggen op het gebied van de invloed van spoelingen, temperatuur, snelheid/contacttijd en aantal bedvolumes.

5.6 Chloordioxide

Voor de effectiviteit van chloordioxide is de goede verdeling van de concentratie over de totale waterstroom belangrijk (geen kortsluitstromingen) en voldoende lange aanwezigheid van een restconcentratie chloordioxide om substantiële inactivatie van met name bacteriën en virussen te kunnen veroorzaken. De dosering voor de statische menger helpt een goede verdeling maar er ontbreekt nog kennis over chloordioxide verval, effectiviteit en verblijftijdspreiding.

6 Retrospectief onderzoek dagrapporten

6.1 Dagrapporten

De bedrijfsvoering van de zuivering Berenplaat wordt dagelijks vastgelegd met behulp van een stroom van online monitoren. Na elke 24 uur wordt een standaard rapportage van het functioneren van de processen vastgelegd in een zogenaamd dagrapport. In deze paragraaf wordt een analyse gemaakt van het functioneren van de zuivering op basis van deze dagrapporten. De dagrapporten die zijn bekeken zijn uit de periode 2009 en (een deel van) 2010, dezelfde periode als waarin de microbiologische gegevens voor en na de zuiveringsprocessen voor de AMVD zijn verzameld. De belangrijkste procesgegevens die in de dagrapporten van productiebedrijf Berenplaat worden opgenomen zijn de volgende:

<i>Procesonderdeel</i>	<i>Registratie</i>
Lage drukpomp, ruw	In dienst, per straat: continu debiet (m ³ /h), troebelheid, temperatuur, pH
Doseringen: FeCl ₃ , VHM	In dienst, continu FeCl ₃ (l/h; g Fe/m ³), VHM (l/h; g VHM/m ³)
VDF	In dienst, per strang continu pH influent /troebelheid effluent
Dosering: natronloog	In dienst, per strang continu (l/h; g/m ³)
SF	In dienst, per straat: gemiddelde looptijd (uren), snelheid (m/h)
Middendrukpomp, bufferkelder	In dienst, per straat/strang continu troebelheid, pH
UV	in dienst, continu UVT %, debiet/strang; dosis per reactor mJ/cm ² ,
Secundaire natronloog	In dienst, per straat continu (l/h; g/m ³)
Chloordioxide dosering	In dienst; per straat continue concentratie oplossing; dosering (l/h/g/m ³)
Zuurstof dosering	In dienst; per straat continue concentratie in koolfiltraat; dosering (g/m ³)
AKF in	In dienst; per straat: schijnbare contacttijd (min), gem. snelheid (m/h); cum. looptijd; bedvolumes
AKF uit	Per straat continu troebelheid, continue O ₂
Hoge druk pomp	In dienst, continu pH, troebelheid, O ₂

6.2 Werkwijze van de analyse

In de onderzoeksperiode zijn meer dan 90 dagrapporten geanalyseerd. De dagrapporten zijn gekozen op basis van de periode en data van het microbiologische meetprogramma. Eerst is een screening gedaan van 2009 door van een vaste weekdag (maandag) de dagrapporten te analyseren. Als de dagrapportenscreening of de microbiologische metingen aangaven dat er reden was voor meer gedetailleerde analyse zijn van die periode ook de andere dagrapporten geanalyseerd. Omdat de meetperiode voor de microbiologische metingen ook in winter/voorjaar 2010 doorliep, zijn er ook in die periode dagrapporten geanalyseerd.

De volgende gegevens zijn uit de dagrapporten gehaald:

- Productie: debiet maximum/minimum, storingen;
- Ruw: temperatuur, troebelheid gemiddeld/maximum;
- VDF: troebelheid gemiddeld/maximum;
- VHM dosering: setpoint, gemiddeld;
- Bufferkelder: troebelheid gemiddelde/maximum;

- pH middendruk als controle van NaOH dosering na VDF;
- UV: transmissie range.

Op grond van deze gegevens is beoordeeld of er zich op de geselecteerde data een situatie heeft voorgedaan die afweek van de normale situatie, door de meetresultaten in het dagrapport te vergelijken met de andere dagen en met hun setpoint. Deze beoordeling is geverifieerd bij Evides (Jan Bahlman) om vast te stellen of er daadwerkelijk sprake was van een afwijking. In bijlagen 1 en 2 zijn alle afwijkende situaties van de geanalyseerde dagen in 2009 gepresenteerd. De screening van de vaste weekdag (n=52) gaf in totaal op 21 dagen een indicatie van een afwijking. Op basis van onderzoek naar de oorzaak van afwijkingen in troebelheid, UVT en pH zijn er 6 typen oorzaken waargenomen (Tabel 6.2).

Tabel 6.2 Samenvatting van de oorzaken van afwijkingen

Oorzaak	Afwijking (+/- = niet altijd)	Aantal
Productiestoring	Troebelheidsverhoging na VDF, DLF +/-	4
Dosering vlokhelpmiddel verandering	Troebelheidsverhoging na VDF	4
Dosering Natronloog verandering	pH Middendrukverandering (UVT)	10
Schoonmaken VDF strang	Troebelheidsverhoging na VDF	5
Spaarbekkenwater bij/af	UVT verlaging/verhoging	4
Normaalbedrijf, debiet schommeling	Troebelheidsverhoging VDF, UVT verlaging +/-	10

De volgende situaties veroorzaken verhoging van de troebelheid na VDF en soms na DLF:

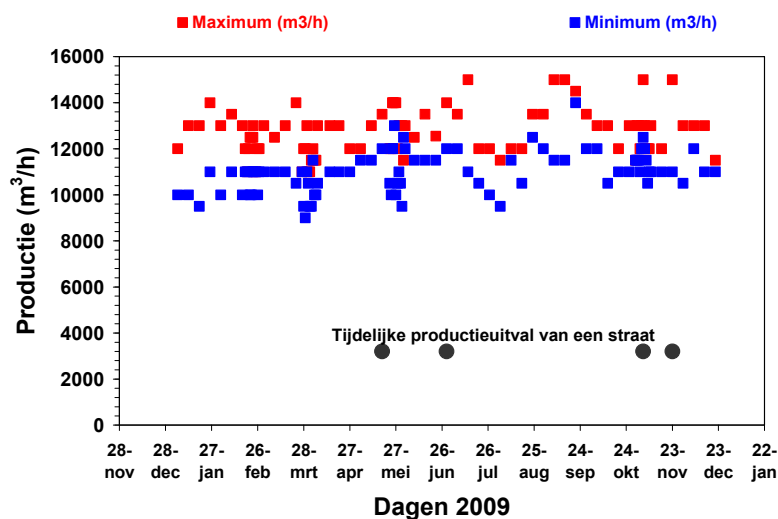
- Een storing of reguliere schommelingen in het debiet;
- Een probleem in de dosering van het vlokhelpmiddel;
- Het uit bedrijf nemen en schoonmaken van een VDF strang.

Verder veroorzaakt een doseerprobleem van natronloog een verandering van de pH na de DLF en het bijmengen van spaarbekkenwater kan resulteren in een verandering in de DOC en UVT van het ruwe water. In de volgende paragrafen worden de afwijking nader beschreven en is geëvalueerd of er een risico zou kunnen zijn op verminderde verwijdering van micro-organismen.

De betekenis van de afwijking voor de verwijdering van micro-organismen is onderzocht door de gegevens van de afwijking te vergelijken met de gemeten verwijdering van indicatororganismen.

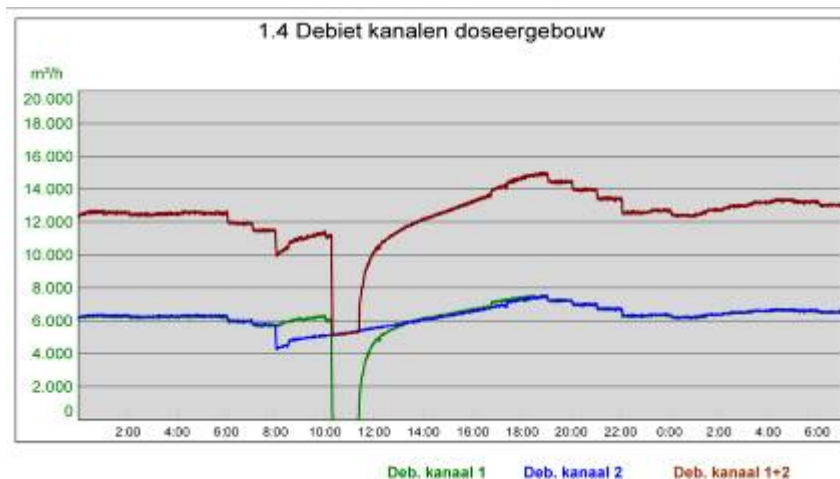
6.3 Productie variaties

De productiegegevens vermeld in figuur 6.1 laten zien dat op de dagen die zijn geanalyseerd er sprake was van een gemiddelde productie van ca. 12.000 m³/u en een productievariatie van ca. 1000 tot 3000 m³/u (verschil tussen maximale en minimale productie). Er werd in totaal 4 maal een tijdelijke uitval van de productie waargenomen van één of beide straten.



Figuur 6.1. Het maximale en minimale debiet van het productiebedrijf op de 90 geanalyseerde dagen in 2009 en het aantal maal dat één of twee straten tijdelijk waren uitgevallen

Een voorbeeld van een samenloop van versturende omstandigheden is waargenomen op 4 november 2009. Op straat 2 wordt om 08:00 uur een VDF-strang (310) uit dienst genomen wat een debietsbegrenzing geeft op straat 2. Vervolgens vindt een uitval plaats van productiestraat 1 om 10:00 uur. Het debiet van beide straten staat weergegeven in figuur 6.2, waarin de uitval van straat 1 duidelijk zichtbaar is. Op hetzelfde moment is ook een verstoring van de troebelheid na VDF en DLF (bufferkelders) te zien. In lichte mate in straat 1 (de uitgevallen straat) en zeer duidelijk in straat 2 en na DLF, zoals weergegeven in figuur 6.3.



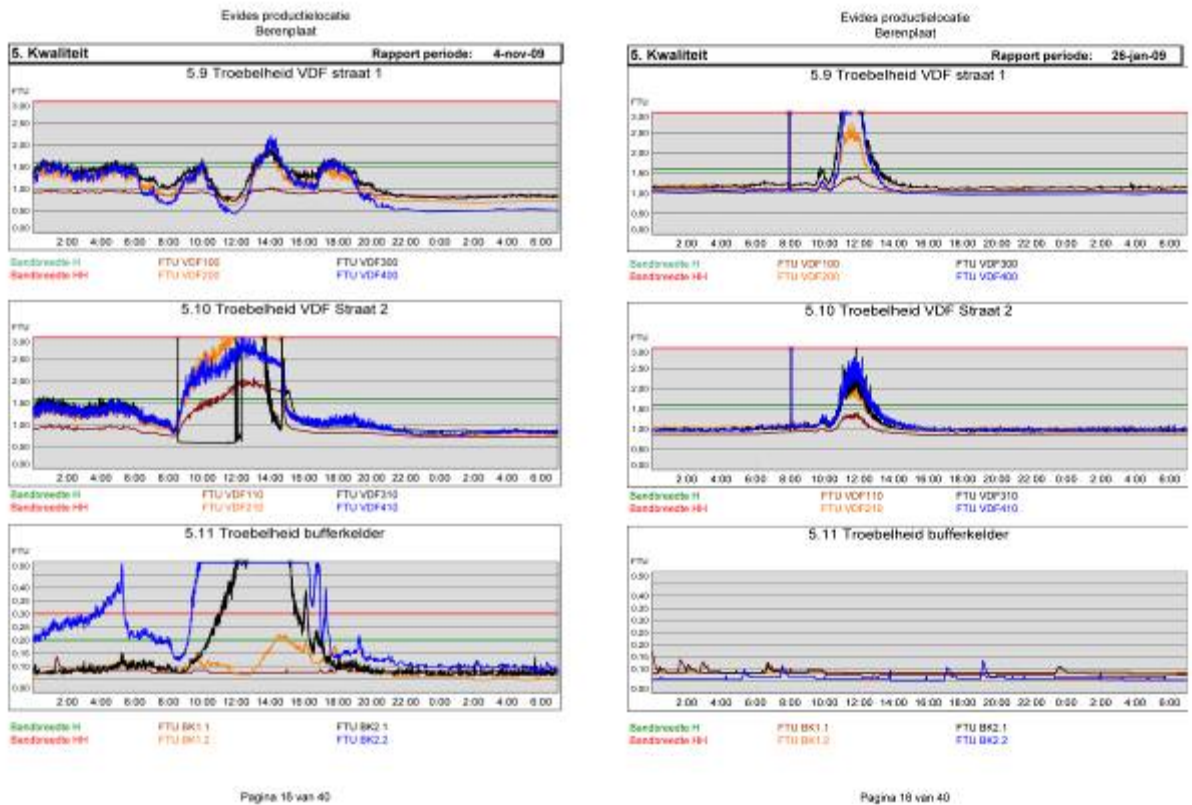
Figuur 6.2. Een voorbeeld van een productie uitval van straat 1 op 4 november 2009

Het voorbeeld van deze samenloop van omstandigheden op 4 november is in figuur 6.3 gezet, naast een ander voorbeeld van een troebelheidsdoorbraak, nu veroorzaakt door een plotselinge daling van de vlokhelpmiddeldosering op 26 januari 2009. Daar waar op 4 november sprake was van een troebelheidsdoorbraak bij de vlokkendekenfilters en ook de snelfilters, bleek op 26 januari de troebelheidsdoorbraak bij de vlokkendekenfilters geen gevolgen te hebben voor de troebelheid na de snelfilters (bufferkelders, figuur 6.3). Dit laatste toont de waarde van het multiple-barrier principe.

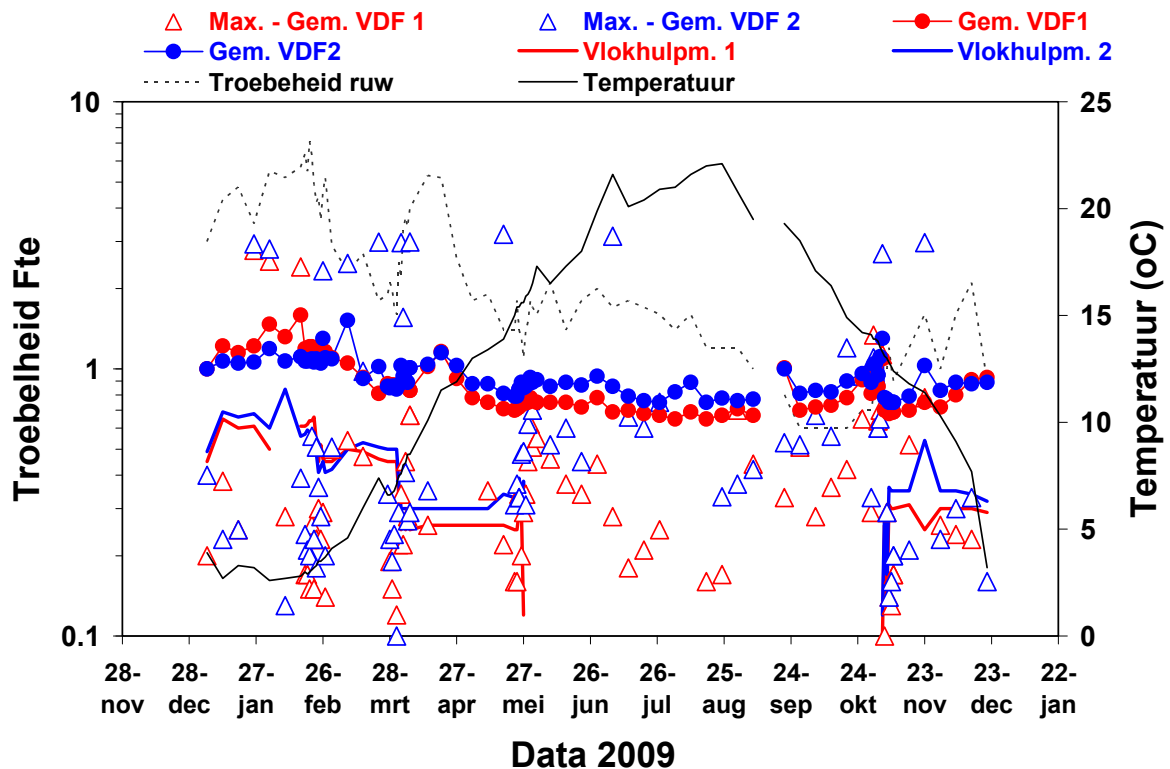
6.4 Vlokkendekenfiltratie

De gegevens van de procesparameters die de werking van de vlokkendekenfilters (VDF) beschrijven staan weergegeven in figuur 6.4. In de figuur is de troebelheid van het ruwe water weergegeven (stippelijjn), naast de daggemiddelde troebelheid na elk van beide straten (rode en blauwe cirkels). Het verschil tussen de maximaal gemeten troebelheid en de gemiddelde waarde van een dag is weergegeven (rode en blauwe driehoeken) als maat voor de (in)stabiliteit van het proces. Benadrukt wordt dat deze grafiek de troebelheid op een log-schaal weergeeft. Daarnaast is de temperatuur vermeld (zwarte lijn) en de dosering van vlokhelpmiddel (rode en blauwe lijn). Op 20 van de 90 dagen is een verhoogd verschil (>1 FTE) tussen het maximum en gemiddelde geconstateerd, de meeste in VDF2. De oorzaken van de fluctuaties zijn terug te vinden in tabel 6.2.

De grootste variatie in troebelheid over een dag werd waargenomen in het voorjaar bij temperatuurstijging en het najaar bij de sterke temperatuuurdaling. In de zomer met een hoge temperatuur en lage ingangstroebelheid blijkt het proces stabiel te werken. Uit figuur 6.4 blijkt dat de troebelheid na straat 2 gemiddeld hoger is dan na straat 1 (daggemiddelden zijn resp. $0,94 \pm 0,14$ FTE en $0,89 \pm 0,21$ FTE en de dagverschillen (max-gem) respectievelijk $0,41 \pm 0,47$ FTE en $0,76 \pm 0,88$ FTE; dit zijn significante verschillen (Wilcoxon Signed Rank test, $P=0.000$; deze non-parametrische test is een alternatief voor de student-t test en wordt toegepast wanneer de verdelingen van de beide gerelateerde waarnemingen onbekend zijn).



Figuur 6.3 Troebelheid na VDF en bufferkelders (snelfiltratie) op 4 november na uitval van de productie in straat 1 (links) en 26 januari 2009 tijdens de plotselinge daling van de vlokkulpmiddeldosering



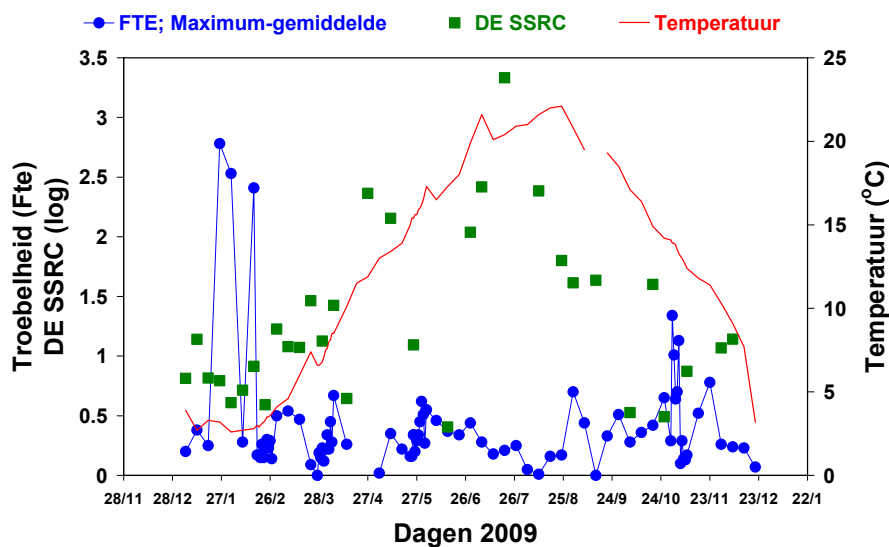
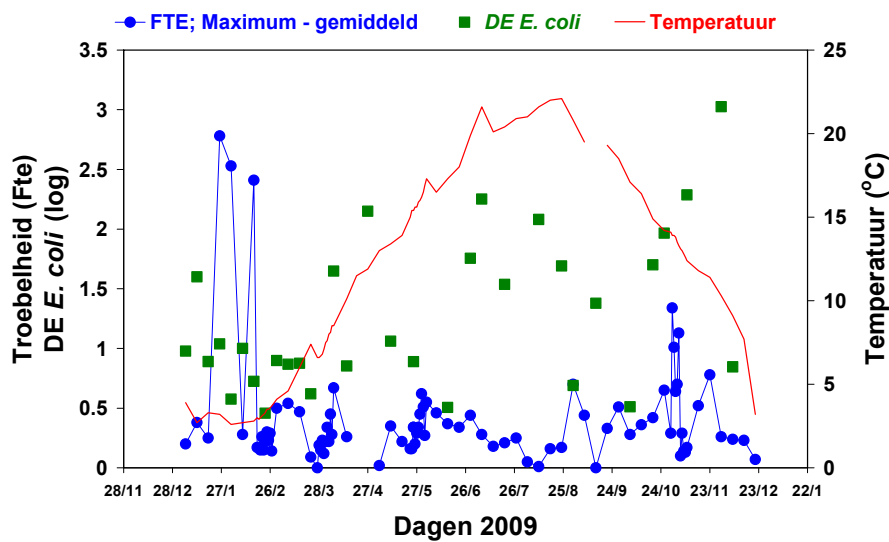
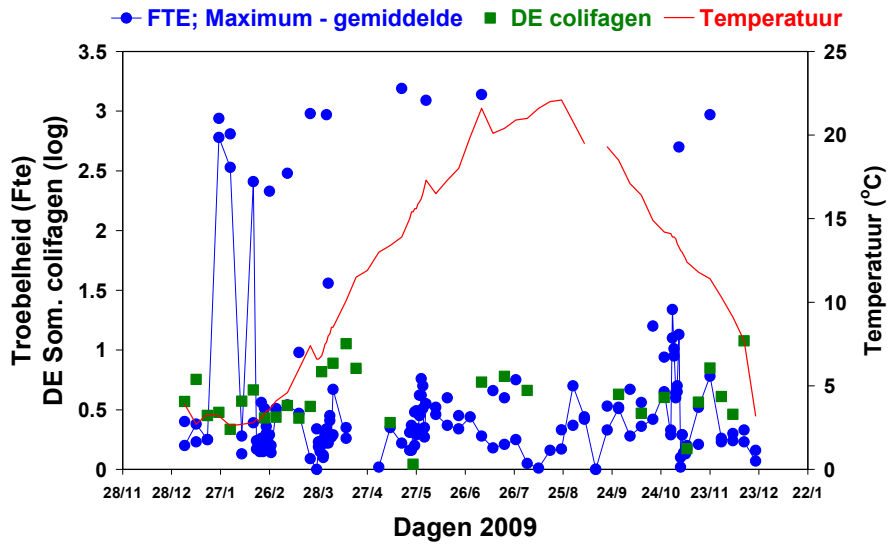
Figuur 6.4. Werking van de vlokkendekenfiltratie (troebelheid) gerelateerd aan de troebelheid en temperatuur van het ruwe water en de dosering van vlokkulpmiddel

Uit de analyse van de logverwijdering (Decimale Eliminatie (DE)) gegevens van de vlokkendekenfiltratie was geen direct verband zichtbaar tussen de DE en de werking van het proces gemeten met de procesparameters. Op de momenten van verstoring van de normale procescondities (zoals gezien door de verhoogde troebelheid) werden geen duidelijke verlagingen in DE waargenomen. Mogelijke redenen hiervoor zijn dat er geen effect is, maar ook dat monsterneming en verstoring wel op dezelfde dag, maar niet op hetzelfde moment hebben plaatsgevonden. De microbiologische analyse was slechts een eenmalige meting terwijl de verstoring werd geregistreerd met een continue monitoring. Wanneer de trend van de DE voor *E. coli* en SSRC wordt vergeleken met de gegevens over troebelheid (Figuur 6.5) dan blijkt er wel een verband te bestaan. De laagste DE-waarden werden gemeten in de perioden met de hoogste variatie in troebelheid, te weten van januari t/m maart (SSRC en *E. coli*) en van oktober t/m december (SSRC). Voor de somatische colifagen is dit echter niet waargenomen. Het waren ook de periodes met lage watertemperatuur.

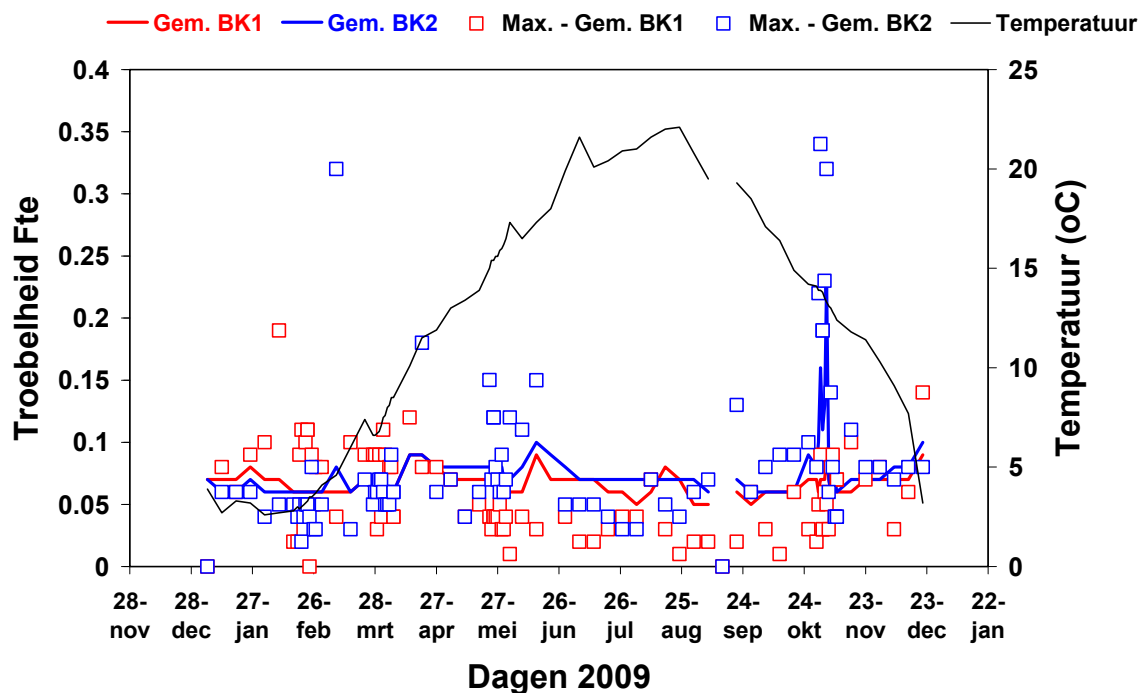
6.5 Dubbellaagsfiltratie

Over de werking van de snelfilters zijn in de dagrapporten gegevens te vinden over de looptijd tussen twee spoelingen van een filter en de filtratiesnelheid. Deze looptijden en snelheden verschillen onderling enigszins wat te wijten is aan kleine debietsverschillen per straat. Een kwaliteitsbeoordeling van de werking van dit proces is gehaald uit de troebelheid van het water na de bufferkelders. Tijdens normaal bedrijf is deze nagenoeg stabiel en laag ($<0,1$ FTE; figuur 6.6). Tijdens normale productie worden dagelijks verschillende filters gespoeld. Dit levert troebelheidpiekjes op na de bufferkelders zoals weergegeven in figuur 6.6 die meestal niet hoger zijn dan $0,15$ FTE. Het verschil tussen de gemiddelde troebelheid en de maximale waarde van een dag (figuur 6.6) laat zien dat er hogere waarden tot $0,3 - 0,4$ FTE zijn gevonden in het voor- en najaar, de situatie waar ook de VDF minder stabiel draaien. Uit de gegevens blijkt dat het water na DLF2 (=BK2) gemiddeld in deze periode een hoger dagverschil (max-gem) heeft dan het water na BK1 (respectievelijk $0,08 \pm 0,06$ FTE en $0,06 \pm 0,04$ FTE; statistisch significant, gepaarde T-toets op basis van de normaal verdeelde waarden, $P=0,002$). Ook bij de VDF werd een dergelijk verschil waargenomen tussen het dagverschil (max-gem) van de troebelheid van beide straten zoals hiervoor beschreven.

Een analyse van de relatie tussen de werking van de snelfilters en de effectiviteit van het proces om indicatorbacteriën te verwijderen, kan alleen op basis van de gemeten concentraties voor en na de filters. Omdat de influent en effluent gegevens niet gelijktijdig zijn bepaald kan geen momentane DE worden bepaald. De concentraties *E. coli*, somatische colifagen en SSRC gemeten in het water na de bufferkelders zijn vergeleken met de werking van de snelfilters op basis van de stabiliteit van de troebelheid (verschil daggemiddelde - dagmaximum) in 2009-2010. Dit beslaat een langere periode dan de geëvalueerde uit figuur 6.6. Wanneer een verschil van $\geq 0,15$ FTE wordt gehanteerd als indicatie voor verminderde werking dan treedt dat in DLF2 (=BK2) op 10 dagen op en in DLF1 (=BK1) op 4 dagen. Op deze dagen zijn er geen verhoogde concentraties somatische colifagen, *E. coli* of SSRC gemeten, ook niet na eliminatie van de dagen dat de verhoogde troebelheid niet in de periode van de microbiologische monsternamen optrad (in de ochtend voor 12.00 uur).



Figuur 6.5. De trends in DE van VDF voor somatische colifagen, *E. coli* en SSRC vergeleken met de trend van de variatie in de werking van het proces uitgedrukt in het verschil tussen het daggemiddelde en dagmaximum van de troebelheid na het proces

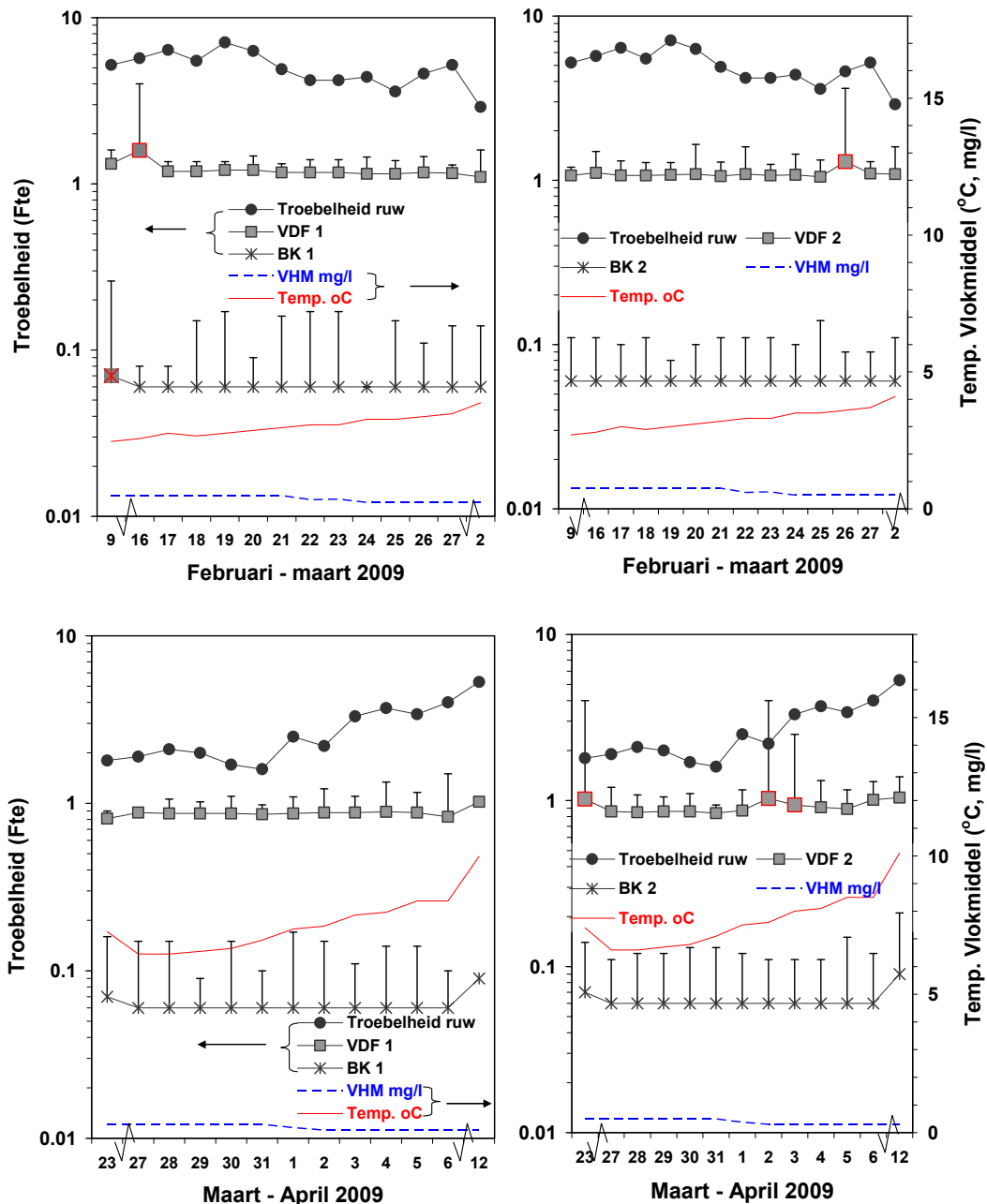


Figuur 6.6. Het verschil tussen het daggemiddelde en dagmaximum van de troebelheid na bufferkelder 1 en 2 waarin het gezamenlijk filtraat van de snelfilters van straat 1 en 2 worden opgevangen

6.6 Dagelijkse variaties voorzuivering

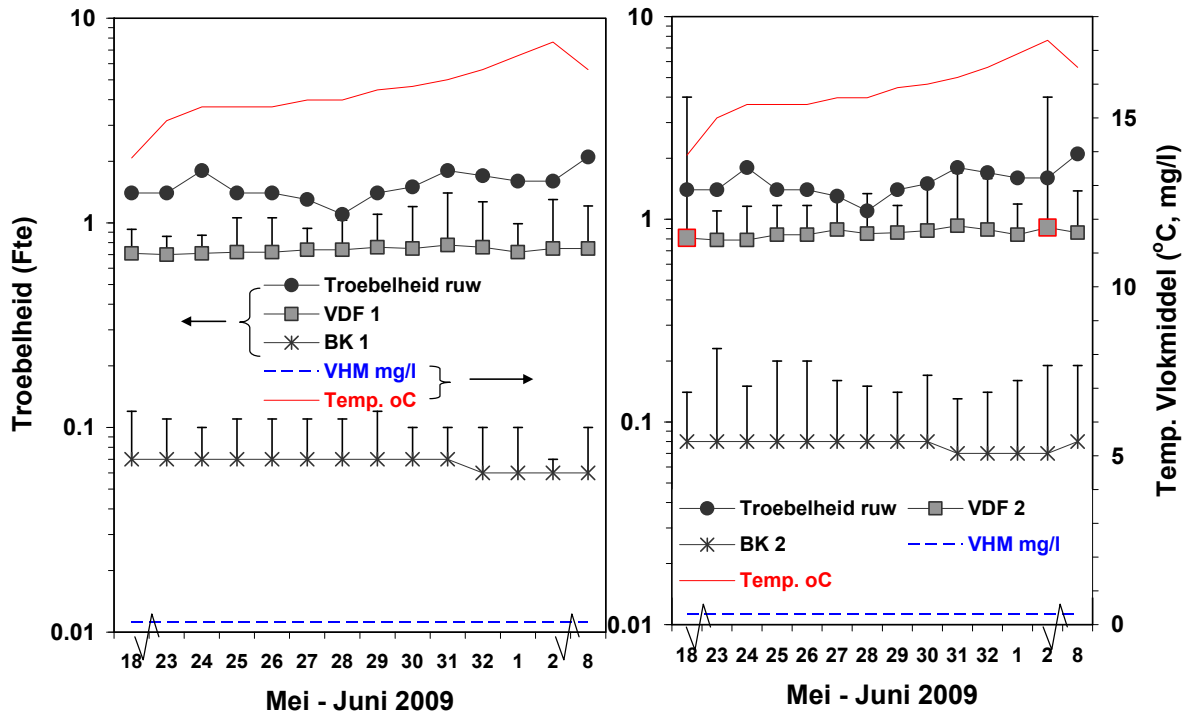
Uit de hiervoor gepresenteerde gegevens blijkt dat er een seizoensinvloed in de werking van de voorzuivering (VDF+DLF) te onderkennen is uit de troebelheidsbewaking. Deze analyse was gebaseerd op een opeenvolging van dagrapporten met een wekelijkse frequentie. Om de variatie in de troebelheid na de voorzuivering op dagschaal te bekijken zijn van de periode tijdens de variaties van de vlokhulpmiddeldosering dagrapporten geanalyseerd. In het voorjaar zijn hiervoor drie perioden bekeken: de laatste week van februari waar de vlokhulpmiddeldosering werd verlaagd van 0,75 tot 0,5 mg/l, de laatste week van maart en beginweek van april waarin de vlokhulpmiddeldosering verder werd afgebouwd van 0,5 naar 0,3 mg/l en de laatste week van mei met een constante dosering van 0,3 mg/l. De vierde weekperiode was in het najaar (eerste week van november) waar de dosering halverwege de week werd opgestart.

In de eerste weekperiode van februari werden voor straat 1 en 2 twee situaties geconstateerd waarbij de maximale troebelheid na de VDF hoger was dan de groene bandbreedte (< 1,5 FTU) (Figuur 6.7) en de rest van de dagen was de werking stabiel. De gegevens van de bufferkelders (BK) na de snelfilters toonden één hogere waarde in straat 1 ten opzichte van de normale variatie. In de tweede week eind maart/begin april functioneerde straat 1 normaal stabiel en werden in straat 2 drie instabiele momenten met de VDF geconstateerd. Deze beide figuren laten zien dat variaties in de troebelheid na de VDF niet werden teruggezien in variaties in de troebelheid na de bufferkelders met het snelfiltraat (BK). Hetzelfde geldt voor de gegevens van de laatste week van mei waar zich in straat 2 twee dagen (18 mei en 2 juni) voordeden met een maximale troebelheid die hoger was dan het setpoint (Figuur 6.8).

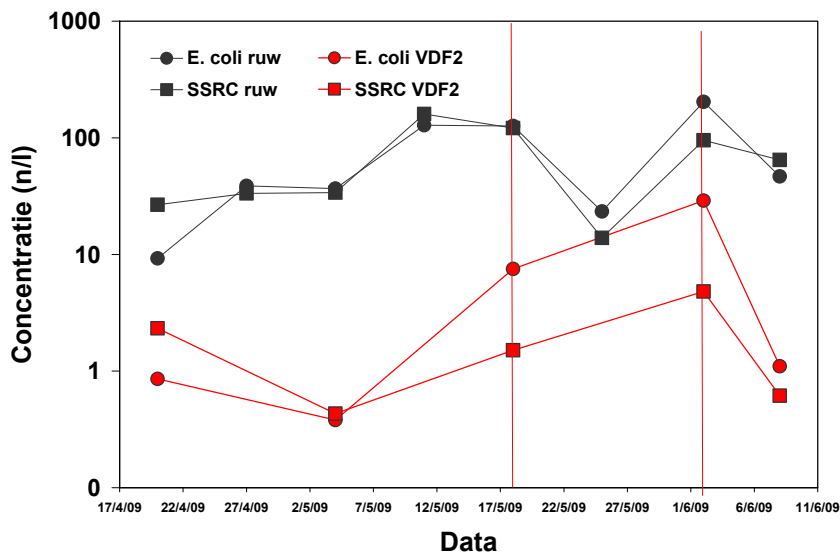


Figuur 6.7. Twee perioden van een week met gegevens over de werking van de vlokkendekenfiltratie en snelfilters gebaseerd op de troebelheid in het voorjaar van 2009

Ook hier zijn de gegevens over troebelheid weer vergeleken met de gegevens uit de microbiologische metingen. Bij de verhoogde troebelheidmaxima in mei/juni werden verhoogde concentraties *E. coli* en SSRC in het water na VDF2 waargenomen (Figuur 6.9), een indicatie voor een verband tussen het optreden van troebelheidpieken en verminderde verwijdering van micro-organismen. Een direct verband tussen deze concentraties en de troebelheidverhoging is echter moeilijk hard te maken omdat de metingen wel op dezelfde dag plaatsvonden, maar de troebelheidpiek niet precies samenviel met de microbiologische meting: op 18 mei lag de troebelheidpiek in de vroege ochtend, voor de monsterneming die ochtend, en op 2 juni lag de troebelheidpiek in de late middag na de monsterneming.



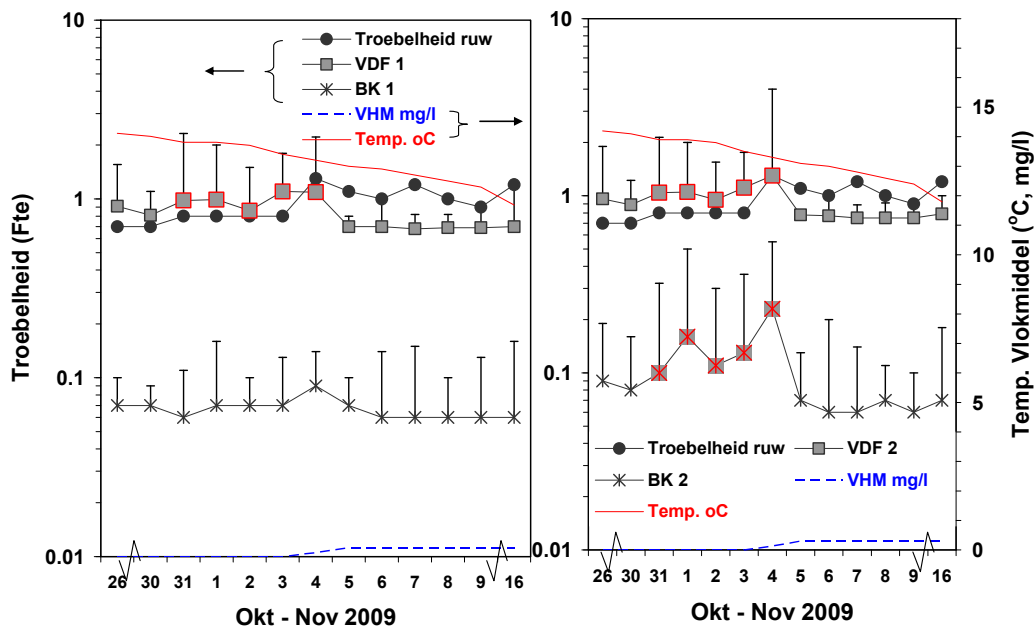
Figuur 6.8. Een week met gegevens over de werking van de vlokkendekfiltratie en snelfilters gebaseerd op de troebelheid in het late voorjaar van 2009



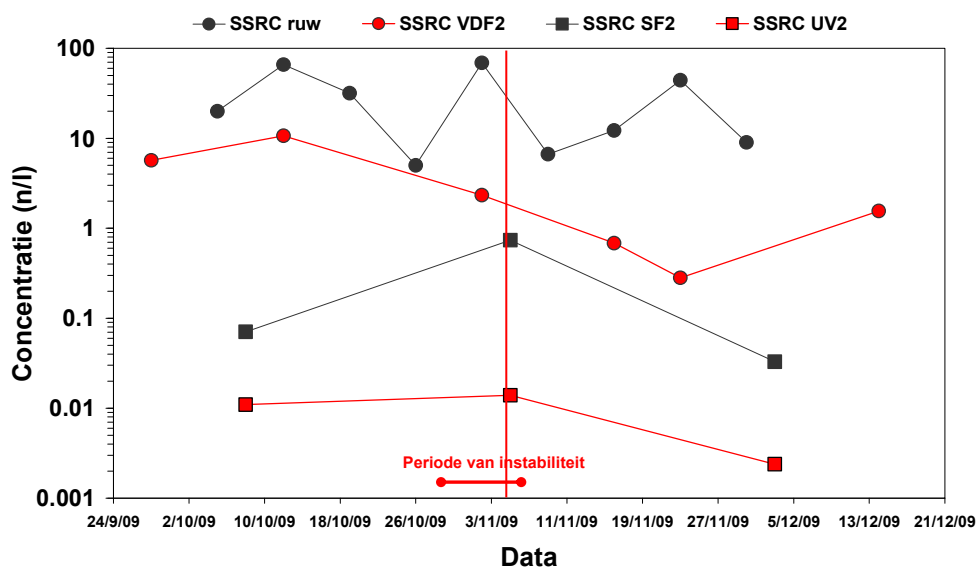
Figuur 6.9. De concentraties *E. coli* en SSRC (somatische colifagen geen effect waargenomen) in het water na VDF2 tijdens twee dagen waarin een te hoge troebelheid na het proces werd waargenomen (figuur 6.8)

In de eerste week van november, vlak voor de start van de vlokhulpmiddeldosering op 5 november bij een watertemperatuur van ca. 12°C, bleek de voorzuivering een aantal dagen minder stabiel te functioneren dan normaal (Figuur 6.10). De troebelheid na de VDF bleek herhaaldelijk hoger dan de groene bandbreedte (< 1,5 FTE). Hierbij was na DLF2 (=BK2) de troebelheid van het snelfiltraat ook regelmatig hoger dan de groene bandbreedte (< 0,1 FTE). Na de start van de vlokhulpmiddeldosering op 5 november was de verwijdering van de troebelheid door de voorzuivering weer normaal. Hieruit wordt duidelijk dat in het najaar bij de daling van de temperatuur voor de opstart van de vlokhulpmiddeldosering momenten optreden in de zuivering waarbij de troebelheid van het water na de voorzuivering korte tijd is verhoogd. De *E. coli* en somatische colifagen metingen na de voorzuivering

en na UV gaven in die week geen verhoogde waarden te zien. De SSRC concentraties na DLF2 (BK2) en UV2 waren verhoogd (figuur 6.11).



Figuur 6.10. Een week met gegevens over de werking van de vlokkendekenfiltratie en snelfilters gebaseerd op de troebelheid in het begin van november in 2009



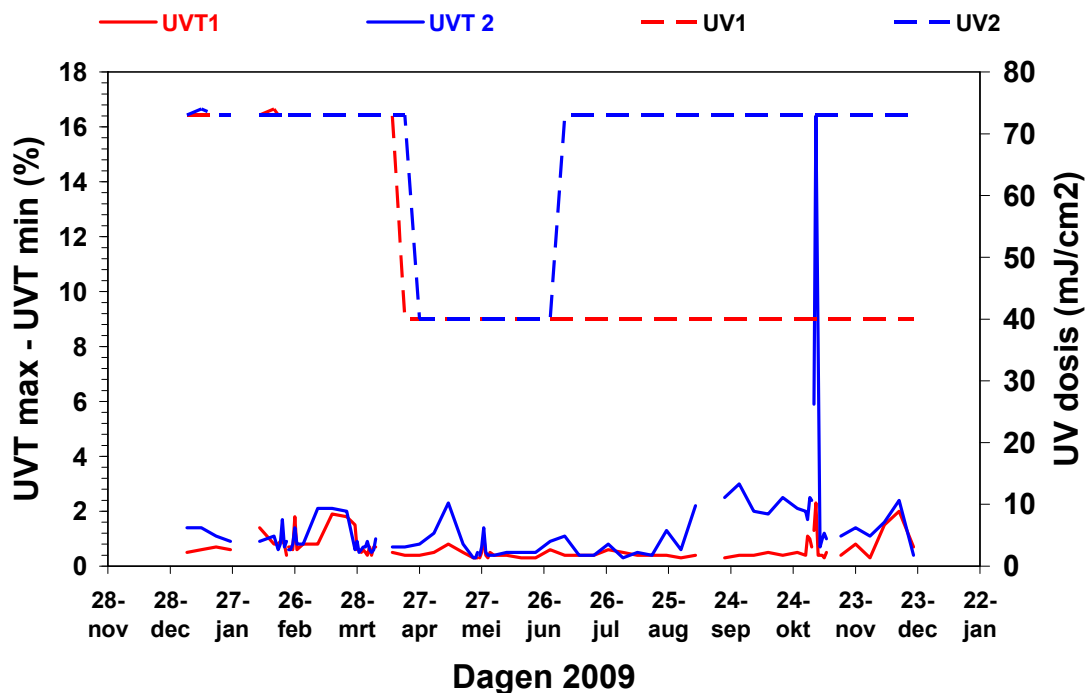
Figuur 6.11. De SSRC concentraties in de zuivering (*E. coli* en somatische colifagen geen effect waargenomen) tijdens de periode van instabiliteit begin november 2009

6.7 Natronloog dosering

Op 10 van de geanalyseerde dagen was er sprake van een afwijking bij de natronloogdosering na de vlokkendekenfilters. Bij bestudering van de dagrapporten bleek de pH variatie samen te vallen met schommeling van de UV transmissie van het water. Die varieerde tot enkele procenten. De pH na middendruk, als maat voor de natronloogdosering, is gemiddeld 7,9 – 8,0 en varieert normaal 0,1 tot 0,3 pH-eenheden. Grotere afwijkingen die niet het gevolg waren van een fout in de monitor werden tweemaal waargenomen bij beide straten met een variatie van 0,5 en 1,2 pH eenheid in straat 1 en 0,4 en 1,2 pH eenheid in straat 2. In alle gevallen veroorzaakte dat een schommeling in de UVT van meer dan 1%. De oorzaak van dit verband is onduidelijk (zie ook 6.8).

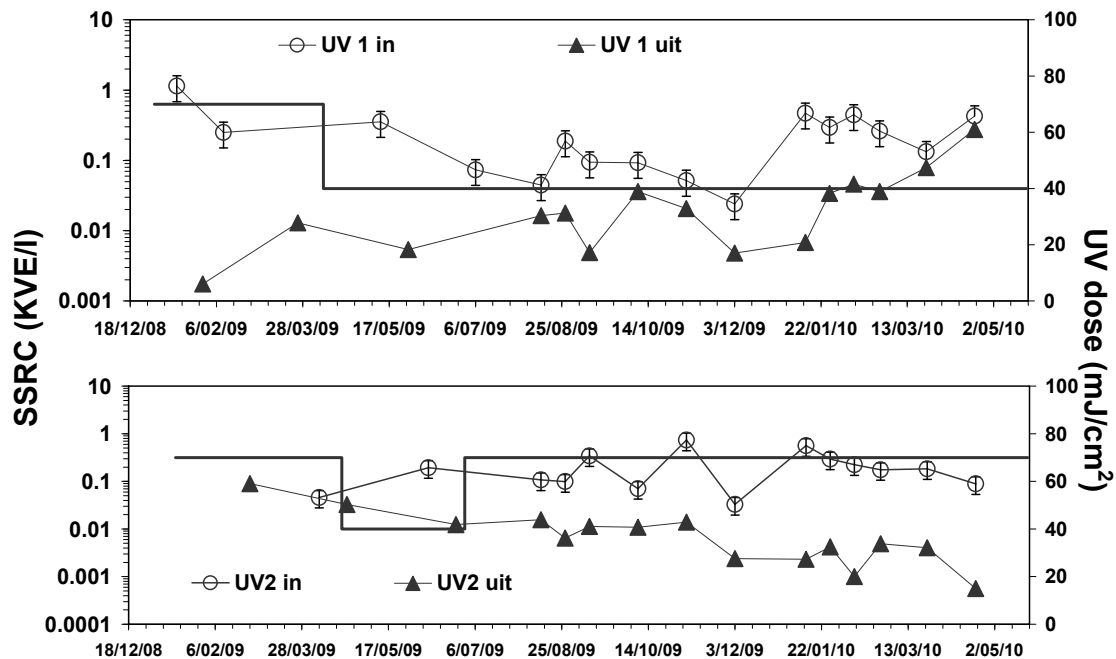
6.8 UV desinfectie

De UV dosis wordt gestuurd op basis van het actuele debiet per strang, de UVT van het water en de lampintensiteit gemeten met de UV sensor. De installatie bestaat per straat uit 120 lampen en er is een uitgebreid systeem om bij geval van bijvoorbeeld lampuitval de dosis te garanderen (zie hoofdstuk 4.9). Ter controle van de UV desinfectie is een groot aantal UV dosis daggrafieken bekeken op onderdosering. Hierin zijn geen onderdoseringen aangetroffen. Tevens is het dagverschil tussen de minimale en maximale UVT van het water geïnventariseerd. Dit is over het algemeen <1 - 1,5% (figuur 6.12). Uit de gegevens blijkt dat dit verschil in straat 2 hoger was dan in straat 1 (respectievelijk $1,4 \pm 2,0$ en $0,66 \pm 0,43$). Mogelijk houdt dit verband met de verschillen in troebelheid na DLF van beide straten zoals hiervoor geconstateerd. Op 4 november werd in straat 2 een duidelijk verhoogd dagverschil tussen maximale en minimale UVT geconstateerd (tot 16%). De oorzaak hiervan is het afvallen van een productiestraat (2) en de lage watertemperatuur in combinatie met het nog niet bijstaan van de vlokhulpmiddeldosering. Daardoor is de troebeling influent UV-desinfectie sterk verhoogd en de UVT sterk verlaagd (zie bijlage 2).



SSRC in influent en effluent van het proces niet constant was. De DE in straat 1 bij 40 mJ/cm² varieerde van 0,2 tot 1,8 log en die in straat 2 bij 73 mJ/cm² van 0,8 tot 2,4 log. Variatie in de UV dosis kan hier niet aan ten grondslag liggen gezien de wijze waarop het systeem wordt gestuurd. Gezien de lage gevoeligheid van de SSRC voor UV is het optreden van kortsluitstroming ook geen aannemelijke oorzaak. Er was geen relatie met de UVT van het water. Meer waarschijnlijke oorzaken zijn:

- de variatie in de SSRC bepaling. De relatieve standaard afwijking van de bepaling op grond van de ringonderzoekgegevens is soms 40%. Uit figuur 6.13 blijkt echter dat de variatie groter is;
- effect van de voorzuivering op de deeltjes eigenschappen. De sporen in het water voor de UV zijn de coagulatie en snelfiltratie gepasseerd en daardoor mogelijk in een beschermde vorm gehecht aan deeltjes aanwezig;
- de sporen populatie heeft een variërende samenstelling en daardoor een variërende gevoeligheid voor UV.

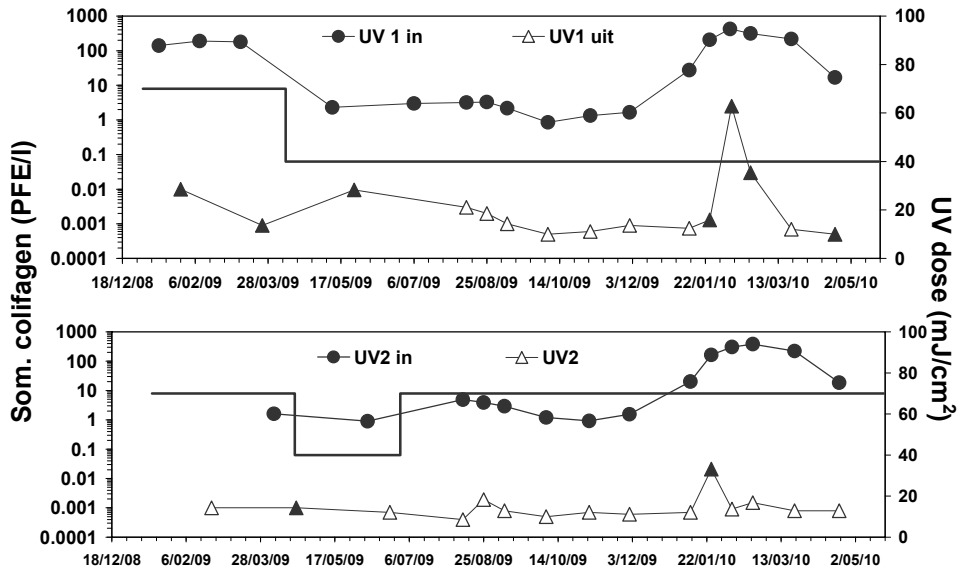


Figuur 6.13. De concentratie SSRC in het water voor en na de UV desinfectie van straat 1 en 2 in 2009 en het voorjaar 2010 (error bars, relatieve standaard afwijking van de bepaling gesteld op 40%)

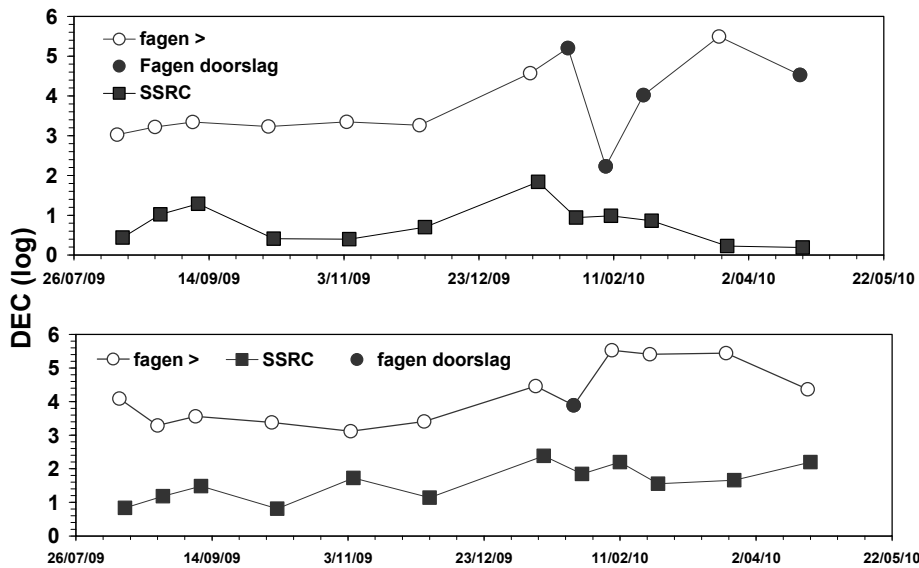
De inactivatie van de somatische colifagen door de UV desinfectie is weergegeven in Figuur 6.14. Het proces heeft een duidelijk hogere inactivatiecapaciteit voor de fagen dan voor de sporen. In de zomer/najaar periode zijn geen colifagen na UV aangetroffen. In de winter/voorjaar periode wel, in beide straten. In straat 1, met de lagere dosis, kwamen vaker colifagen na UV voor dan in straat 2 met de hogere UV dosis. In de winter/voorjaar periode waren de gehalten colifagen in de aanvoer ook verhoogd. Ter controle is de werking van de voorzuivering ten tijde van de hemoflow monsternamen voor de colifagen voor en na UV op basis van de dagrapporten geverifieerd (Bijlage 2). Hieruit bleek dat op 3 van de 7 dagen dat somatische colifagen in het water na UV zijn waargenomen er tevens sprake was van doorslag van troebelheid door de voorzuivering.

In Figuur 6.15 zijn de DE waarden voor SSRC vergeleken met de DE waarden bepaald voor de somatische colifagen om na te gaan of trends in de variatie overeenkomen. Dit bleek niet het geval te zijn. Daarbij moet opgemerkt worden dat de DE waarden voor beide type organismen niet gelijktijdig zijn bepaald. Dit is overigens moeilijk te realiseren: het gaat om arbeidsintensieve groot volume metingen met de hemoflow. In het huidige onderzoek is een vaste bemonsteringsvolgorde aangehouden: dag 1, somatische colifagen, dag 2: *E. coli* en dag 3: SSRC. De doorslag van colifagen trad voornamelijk, zoals hierboven geconstateerd, op in de periode dat er ook sprake was van een verhoogd aanbod (Figuur 6.14). Op basis van de 6 gepaarde metingen voor SSRC en somatische colifagen die in deze periode van januari t/m april zijn uitgevoerd in UV straat 1 toen deze op 40 mJ/cm² stond (Figuur 6.15), lijkt het onwaarschijnlijk dat de variatie in inactivatie van de beide micro-organismen afhankelijk is van

procescondities. Eerder lijkt deze het gevolg te zijn van variaties in de eigenschappen van de micro-organismen en/of in samenstelling van de populaties en/of in bepalingsmethoden van de micro-organismen.



Figuur 6.14. De concentratie somatische colifagen in het water voor en na de UV desinfectie van straat 1 en 2 in 2009 en het voorjaar van 2010



Figuur 6.15. De DEC waarden van de UV desinfectie voor somatische colifagen en SSRC. Boven in straat 1 bij 40 en onder in straat 2 bij 73 mJ/cm²

6.9 Actieve koolfiltratie en nadesinfectie

Op de metingen van troebelheid na AKF zijn geen afwijkingen gevonden. De nadesinfectie wordt bewaakt met online metingen op het influent van de reservoirs en ook de dosering wordt online bewaakt. Hiervan is in het huidige retrospectieve onderzoek geen analyse gemaakt.

6.10 Evaluatie bevindingen en microbiologische metingen

De screening van de 52 dagrapporten op een vaste weekday in 2009 gaf 21 indicaties van afwijkingen in de online metingen van de procesparameters. De screening gaf ook een indicatie voor nader onderzoek

van bepaalde situaties door ook de dagrapporten van omliggende dagen te analyseren. De afwijkingen die zijn geconstateerd zijn:

- Verhoogde troebelheid na VDF in een of beide straten ($1,5 < FTE < 3,0$, incidenteel $> 3,0$);
- Verhoogde troebelheid na DLF, met name in straat 2 ($0,15 < FTE < 0,3$, incidenteel $> 0,3$);
- pH schommelingen na DLF ($0,1-0,3$, incidenteel $0,4-1,2$ pH-eenheid);
- Verlaging van de UVT (na DLF) (dagverschil $UVT_{max}-UVT_{min}$ (%): $< 1-1,5$).

Ter verduidelijking: eerstgenoemde waarden geven de bedrijfsbandbreedte voor de betreffende parameter weer, laatstgenoemde waarden overschrijden deze (zie ook 4.2).

De verhoging van de troebelheid na VDF en soms na DLF is geassocieerd met:

- Een storing of reguliere schommelingen in het debiet;
- Een probleem in de dosering van het vlokhulpmiddel;
- Het uit bedrijf nemen en schoonmaken van een VDF strang.

De pH schommelingen na DLF zijn geassocieerd met:

- Een doseerprobleem van natronloog.

De UVT verlaging na DLF is geassocieerd met:

- Schommelingen in het debiet en verhoogde troebelheid;
- Een verandering van de pH na de DLF (onduidelijk wat hiervan de theoretische achtergrond is);
- Het bijmengen van spaarbekkenwater.

Vaak zijn de afwijkingen op een punt in het proces niet terug te zien op andere plaatsen in de zuiveringstrein. Verhoogde troebelheid na de VDF, bijvoorbeeld door afwijkingen in de vlokhulpmiddeldosering, is in de meeste gevallen niet gekoppeld aan verhoogde troebelheid na DLF (Figuur 6.3). Dit toont de waarde van het multiple-barrier principe, waar momenten van verminderde zuivering in een proces worden opgevangen in het volgende proces. Bij grote productievariatie (uitval van een straat) is wel gezien dat verhoogde troebelheid na VDF en DLF tegelijkertijd optreedt (eveneens figuur 6.3), een indicatie voor verminderde verwijdering van deeltjes door de voorzuivering. Ook in de periode rond de start en stop van de vlokhulpmiddel-dosering valt verhoogde troebelheid na VDF samen met een verhoogde troebelheid na DLF en verlaagde UVT (beide in straat 2). Uit de koppeling met de microbiologische metingen komen indicaties dat op deze momenten ook de verwijdering van micro-organismen door de voorzuivering vermindert (Figuur 6.5).

De UV heeft goed binnen specificaties gefunctioneerd. De Emergency ShutDown verliep volgens de vastgestelde protocollen. Of de momenten van verminderde voorzuivering invloed hebben op de effectiviteit van de UV stap is niet goed vast te stellen, mede doordat de metingen en de momenten van verminderde voorzuivering vaak niet samenvielen. De metingen van colifagen laten zien dat ze gevonden zijn na UV in de periode rond de stop van de vlokhulpmiddeldosering, maar niet rond de start van de vlokhulpmiddel-dosering. In de winterperiode, met een relatief hoge aanvoer van colifagen, worden wel weer colifagen na UV aangetroffen, met name in straat 1 (laagste UV dosis).

Uit de procesmetingen blijkt dat in de periode rond de start en stop van de vlokhulpmiddel-dosering regelmatig doorslag van troebelheid door de VDF en DLF (met name in straat 2) optreedt. Bij de start van de dosering bleek de doorslag te stoppen. Daarom wordt aanbevolen te evalueren of de criteria voor de start en stop van de vlokhulpmiddel-dosering zodanig kunnen worden bijgesteld dat doorslag voorkomen wordt (eerder starten/later stoppen).

Bij verminderde werking van de voorzuivering en verhoogde troebelheid na de voorzuivering is er een risico op verminderde effectiviteit van de UV stap (door bescherming van de micro-organismen door (ijzer)deeltjes). Daar zijn in dit onderzoek geen aanwijzingen voor gevonden, maar de meetmomenten voor de micro-organismen kwamen ook niet overeen met de momenten van verhoogde troebelheid na de voorzuivering. De verhoogde troebelheid na DLF hield een aantal uren aan. Aanbevolen wordt bij verhoogde troebelheid na DLF (bv. bij $0,2$ FTE) een monsterneming met hemoflow voor en na UV te starten om de effectiviteit van de UV-desinfectie op die momenten te bevestigen. Dit is echter niet inplanbaar. Een andere optie is om rond een dergelijke gebeurtenis een monsterneming uit te voeren met

de zgn. tapsampler vast gemonteerd aan het monsterpunt en daarmee direct inzetbaar. Hiermee kan een over een langere tijd meerdere malen een klein volume worden gefiltreerd.

Andere afwijkingen die zich lenen voor nader onderzoek naar de betekenis voor de verwijdering van micro-organismen doen zich voor in de periode:

- vlak voor de start van de vlokhulpmiddeldosering;
- rondom de schoonmaak van een VDF strang;
- met veel filterspoelingen bij DLF;
- rondom een debietstoring.

7 Evaluatie en conclusies

7.1 Generieke methode voor borging

Microbiologische veiligheid van drinkwater is cruciaal. Vanwege hun acute gezondheidsrisico moet de verwijdering van ziekteverwekkers door de zuivering 24 uur per dag, elke dag van het jaar gewaarborgd zijn. Deze borging is het hart van het Water Safety Plan. Zoals in de inleiding aangegeven, overlappen Water Safety Plan en AMVD elkaar op dit punt van borging van de werking van zuiveringsprocessen. In dit project is een (generieke) methodiek ontwikkeld om de borging van de verwijdering van micro-organismen door zuiveringsprocessen te evalueren.

Daarbij is gekeken naar:

- Hoe kan een (tijdelijke, gedeeltelijke) verminderde werking van een zuiveringsstap worden getraceerd?
- Wat is de bijdrage van dergelijke tijdelijke, gedeeltelijke verminderde werking van de zuivering aan het infectierisico van het geproduceerde drinkwater?
- Hoe kan de effectiviteit van een zuiveringsproces worden bewaakt met online (waar mogelijk) en offline monitoring? Is er een relatie tussen de procesbewaking en microbiologische monitoring? Hoeveel monitoring is nodig?
- Hoe kunnen kritische grenzen voor de bewakingsmonitoring worden afgeleid van de waterkwaliteitsdoelen voor het geproduceerde drinkwater?
- Welke corrigerende maatregelen kunnen worden genomen? Hoe snel moeten die worden genomen?

7.2 Bijdrage aan infectierisico

In dit onderzoek is het tweede aspect van de hierboven genoemde aspecten, de bijdrage van een tijdelijke verminderde werking van de zuivering aan het infectierisico van het geproduceerde drinkwater, niet geëvalueerd. Dit aspect is in een apart rapport beschreven door Smeets e.a. in voorbereiding (2013). Hierin wordt de risicoberekening uitgevoerd met de in dit rapport gebruikte microbiologische gegevens over de verwijdering van *E. coli*, SSRC en somatische colifagen, gebaseerd op de methodieken eerder beschreven door Schijven e.a. (2011) en Smeets (2008). Voor deze splitsing is gekozen vanwege de leesbaarheid van het rapport, maar ook vanwege één van de resultaten van de onderhavige studie. Dit wordt in paragraaf 7.6 nader toegelicht.

7.3 Methode voor evaluatie van de borging van de verwijdering van micro-organismen door de zuivering

De ontwikkelde methode beschreven in dit rapport bestaat uit een aantal stappen:

1. Beschrijving zuiveringsstappen, met nadruk op verwijdering micro-organismen

De eerste stap in de methodiek is een gedetailleerde beschrijving van de zuivering op de elementen die van belang zijn voor de verwijdering van micro-organismen. Een beschrijving van de zuiveringsprocessen en bedrijfsvoering is altijd al aanwezig bij een drinkwaterbedrijf. De elementen die van belang zijn voor de verwijdering van micro-organismen kunnen extra worden benadrukt via overleg tussen de medewerkers op het gebied van ontwerp en bedrijfsvoering en van waterkwaliteit.

2. Bewakingsanalyse zuiveringsstappen

De tweede stap is het maken van een beschrijving en analyse van de wijze waarop de goede werking van de processen wordt bewaakt, ook weer gericht op de verwijdering van micro-organismen. Tijdens deze gedetailleerde analyse kunnen vragen over mogelijke risicosituaties naar voren komen die met de bestaande kennis onvoldoende bevredigend kunnen worden beantwoord.

3. Retrospectief onderzoek dagrapporten

Een waterbedrijf verzamelt en registreert een groot aantal procescondities dagelijks in zogenaamde dagrapporten, met ook een schriftelijke samenvatting van alle meet- en regelgegevens die van belang zijn voor de sturing van de zuivering. Ook andere manieren van opslag van de gegevens uit de bedrijfsvoering en online meetsystemen zijn bruikbaar.

De dagrapporten van een jaar (om de variërende condities over het jaar mee te nemen) of meerdere jaren worden op een systematische wijze geanalyseerd op afwijkingen in metingen van de procesbewaking, ook weer gericht op verwijdering van micro-organismen. Uit het oogpunt van efficiency kan een eerste screening worden gedaan (zoals in deze studie) door een steekproef te nemen van alle dagrapporten.

De dagrapporten worden ge(her)analyseerd op de volgende aspecten:

- stabiliteit van de procesvoering;
- optreden van afwijkingen van de normale werking van de zuivering;
- relatie van afwijkingen in de metingen van procesindicatoren met de gelijktijdig geregistreerde bedrijfsvoeringcondities.

Als de dagrapporten afwijkingen laten zien, kan dat aanleiding zijn om de dagrapporten van nabijgelegen dagen te onderzoeken om te zien of het een eenmalige afwijking was of dat deze vaker voorkomt. Ook andere metingen of observaties dan de online metingen kunnen aanleiding zijn om een dagrapport nader te analyseren. In deze studie waren dat vooral de microbiologische metingen uitgevoerd in het kader van de AMVD.

4. Koppeling van bevindingen uit dagrapporten en microbiologische metingen

Om inzicht te krijgen in de betekenis van afwijkingen en proceswijzigingen is een koppeling nodig tussen bevindingen uit dagrapporten en de resultaten van het microbiologisch meetprogramma. Het microbiologisch meetprogramma kan gebruikt worden in de vorm van:

- de actuele *concentratie na het zuiveringsproces* van een of meer van de indicatoren voor de verwijdering van fecale pathogenen (*E. coli*, somatische colifagen, SSRC);
- de actuele *verwijdering door het zuiveringsproces*, door de actuele Decimale Eliminatie (DE) -waarden te berekenen aan de hand van de concentraties van bovengenoemde indicatoren voor en na het zuiveringsproces. Deze maat leent zich beter voor vergelijking met de DE's op de overige dagen en met de effectiviteit van de processen bepaald in literatuuronderzoek (Hijnen en Medema, 2010).

7.4 Case study

De hierboven beschreven methode is ontwikkeld, toegepast en geëvalueerd aan de hand van een case study. Processen, bedrijfsvoering en online bewaking zijn allemaal zodanig specifiek dat ze per productielocatie moeten worden beoordeeld. De bevindingen van een productielocatie kunnen natuurlijk wel een indicatie zijn voor situaties die zich op andere locaties kunnen voordoen of over de consequenties van afwijkingen of de effectiviteit van bepaalde corrigerende maatregelen. Het heeft dus meerwaarde om de resultaten van case studies te delen, zowel binnen als buiten het waterbedrijf.

In deze studie is gekozen voor productielocatie de Berenplaat van Evides om een aantal redenen:

- de interesse en medewerking van het waterbedrijf;
- Berenplaat is een directe zuivering van oppervlaktewater, waar de continue borging van de verwijdering van micro-organismen het meest cruciaal is;
- Berenplaat heeft bij de recente uitbreiding van de zuivering UV desinfectie geïnstalleerd, waarbij veel aandacht is besteed aan gevalideerde procesbewaking en -sturing en corrigerende maatregelen.

7.5 Potentiële sterkte van de methodiek

De grootste sterkte van de methode is dat zij gebruik maakt van de online metingen die in het kader van procesbewaking en -sturing worden gedaan. Dit zijn actuele meetgegevens die dagelijks geëvalueerd en gearchiveerd worden, en bij de retrospectieve analyse opnieuw worden bekeken ter evaluatie van de stabiliteit van de zuivering in het licht van de resultaten van de microbiologische metingen t.b.v. de AMVD. De online metingen waarmee 24 uur per dag de zuivering wordt bewaakt, geven een

gedetailleerd beeld over de werking van de zuiveringsprocessen. Dit is met een microbiologisch meetprogramma niet haalbaar. Beide gegevens zijn van belang voor een beoordeling van de werking van de zuivering ten aanzien van de microbiologische veiligheid, maar dienen een verschillend doel.

Door de systematische analyse van de dagrapporten ontstaat een goed beeld van de normale situatie en het verloop daarvan over het jaar en van eventuele afwijkingen die geregistreerd worden door de online metingen. Ook is de invloed van een afwijking op alle stappen van de zuivering te analyseren: leidt verhoogde troebelheid na de vlokvorming en verwijdering tot verhoogde troebelheid na snelfilters? En tot verminderde werking van de desinfectie indien de UVT er niet door wordt beïnvloed? De beschikbare literatuur hierover is niet eenduidig (Hornstra, 2013).

Analyse van de situaties waaronder afwijkingen ontstaan, kunnen aanwijzingen opleveren over de verschillende procescondities/situaties waaronder ze optreden. Dit kan leiden tot verbeteringen van de bedrijfsvoering en/of de procesbewaking. Belangrijk hierbij is de vraag wat wordt aangemerkt als een afwijking of wordt gezien als een nominale variatie in procescondities. Hiervoor dienen de online meetgegevens gekoppeld te worden aan de microbiologische meetgegevens opdat inzicht wordt verkregen in de betekenis van afwijkingen die met online metingen worden gesignaleerd voor de verwijdering van micro-organismen. Door eenmalig goed het verband te leggen tussen deze momenten en de effectiviteit van een zuivering om micro-organismen te verwijderen, kan in het WSP de bedrijfsvoering rondom deze momenten worden vastgelegd. Uiteindelijk kan met een analyse van de correctie van afwijkingen inzicht worden verkregen in de effectiviteit van corrigerende maatregelen.

7.6 Waargenomen zwakte van de methodiek

Dit laatste sterke punt is echter ook de zwakte gebleken in het huidige onderzoek. Of beter, de beperking ligt vooral in de beperkte beschikbaarheid van meetgegevens over de verwijdering van micro-organismen die direct gekoppeld zijn aan de actuele online procesgegevens, waardoor de betekenis van een afwijking geduid kan worden. Het optreden van een microbiologische afwijking op het moment van een afwijking in de online gegevens is nu een zeldzaamheid. De enige 'online' procesparameter waar een duidelijke relatie met de verwijdering van micro-organismen kon worden gelegd was de watertemperatuur. Deze parameter is echter niet stuurbaar, maar er wordt wel op gecorrigeerd gericht op het beperken van afwijkingen.

De oorzaak van het ontbreken van de relatie tussen online gegevens en microbiologische gegevens ligt waarschijnlijk aan de wijze waarop de gebruikte gegevens in het huidige onderzoek zijn verzameld. De microbiologische meetgegevens die zijn gebruikt, waren bedoeld voor het bepalen van de eliminatiecapaciteit van de zuiveringsprocessen en zijn verspreid over een jaar gemeten. Hierbij zijn dagstaten gezocht die daar zoveel mogelijk bij aansloten. Hierdoor kon wel in algemene zin iets worden gezegd over de relatie tussen online geregistreerde afwijkingen en variaties in de eliminatiecapaciteit. De microbiologische metingen waren echter niet in tijd gesynchroniseerd met de geregistreerde afwijkingen waardoor een causaal verband niet te leggen is. Om een dergelijk causaal verband aan te tonen is een gericht microbiologisch meetprogramma nodig met een aangepaste meetstrategie (discontinu kleinere monsters met de tapsampler bijvoorbeeld) op bedoelde momenten. In het huidige BTO onderzoeksprogramma (2013) wordt hiervoor een project uitgevoerd 'slimmer meten'. Daarmee kan tevens worden vastgesteld of met de huidige setpoints van de online parameters de microbiologische veiligheid inderdaad 24 uur per dag zeven dagen in de week is gewaarborgd.

De uitkomst van een dergelijk gesynchroniseerd meetprogramma zal uitwijzen bij welke afwijkingen/variaties in online procesgegevens wel en bij welke geen verband bestaat met de verwijdering van micro-organismen. Het geeft de gevoeligheid aan waarmee de zuivering gestuurd kan worden met betrekking tot de verwijdering van micro-organismen. Dit zal per proces verschillen en duidelijk anders zijn voor de fysische verwijderingsprocessen dan de desinfectieprocessen.

7.7 Eindconclusie en aanbevelingen voor implementatie

De ontwikkelde methode is bruikbaar gebleken om met de online bewaking van de zuivering een evaluatie uit te voeren of met de huidige zuivering en bedrijfsvoering potentieel de verwijdering van micro-organismen goed is geborgd. Met de online bewaking worden (tijdelijke, gedeeltelijke) afwijkingen van een zuiveringsstap getraceerd. Of de afwijking in de online bewaking geduid moet worden als indicatie voor verminderde verwijdering van micro-organismen (en hoeveel) komt niet eenduidig uit deze methode omdat de geconstateerde afwijkingen en meetgegevens voor de verwijdering van micro-organismen niet waren gesynchroniseerd. Met de analyse van de online metingen kan met een gesynchroniseerd microbiologisch meetprogramma gericht worden gekeken naar de microbiologische betekenis van deze momenten.

De online metingen geven inzicht in frequentie, ernst en duur van de afwijking. Dat levert een deel van het inzicht in de ernst van de afwijking. Maar ook hier is de directe duiding in termen van verminderde verwijdering van micro-organismen alleen mogelijk wanneer hier metingen over beschikbaar zijn. Indirecte duiding door verbanden te leggen met gepubliceerde informatie van andere systemen is wel mogelijk. In de literatuur is aangetoond dat de effectiviteit van de verwijdering van micro-organismen gecorreleerd is met afwijkingen in de zuivering (Hijnen en Medema, 2010) die online kunnen worden getraceerd, zoals niet geoptimaliseerde coagulatieprocessen of vlokmiddeldoseringen, spoeling van filters en debietwisselingen.

Gebleken is dat met de methode en huidige gegevens geen kritische grenzen voor de bewakingsmonitoring kunnen worden geformuleerd, die direct zijn afgeleid van de microbiologische waterkwaliteitsdoelen voor het geproduceerde drinkwater. Wel worden de bestaande kritische grenzen geëvalueerd op hun betekenis voor de borging van de verwijdering van micro-organismen. Datzelfde geldt voor de corrigerende maatregelen na een afwijking.

Voor de implementatie van deze methode op andere locaties is niet veel meer nodig dan beschikbare tijd, aandacht en middelen voor een klein team van medewerkers van het waterbedrijf die kennis hebben van ontwerp en bedrijfsvoering, procesbewaking en onderhoud en microbiologische waterkwaliteit, eventueel ondersteund door externe deskundigen van een ander waterbedrijf of KWR.

8 Referenties

- Bartram, J., Corrales, L., Davison, A., Deere, D., Drury, D., Gordon, B., Howard, G., Rinehold, A. & Stevens, M. (2009) Water Safety Plan Manual: Step-by-Step Risk Management for Drinking-Water Suppliers. World Health Organization, Geneva. Available from: http://www.who.int/water_sanitation_health/publication_9789241562638/en/index.html (accessed 17 March 2013).
- Boudaud, N., Machinal, C., David, F., Freval-Le Bourdonnec, A., Jossent, J., Bakanga, F., Arnal, C., Jaffrezic, M.P., Oberti, S. and Gantzer, C. (2012) Removal of MS2, Q β and GA bacteriophages during drinking water treatment at pilot scale. *Water Res* 46(8), 2651-2664.
- Dugan, N.R., Fox, K.R., Owens, J.H. and Miltner, R.J. (2001) Controlling *Cryptosporidium* Oocysts Using Conventional Treatment. *J. Am. Water Works Assoc.* 93(12), 64-76.
- Edzwald, J.K., Tobiasson, J.E., Parento, L.M., Kelley, M.B., Kaminski, G.S., Dunn, H.J. and Galant, P.B. (1998) *Giardia* and *Cryptosporidium* removals by clarification and filtration. *J. Am. Water Works Assoc.* 92(12), 70-84.
- Emelko, M.B. (2001) Removal of *Cryptosporidium parvum* by granular media filtration, University of Waterloo, Ontario, Canada.
- Evides (2010) Basisgegevens productielocatie Berenplaat, Evides Water Company, Rotterdam, Netherlands.
- Gibert, M., Howard, G., Hulsmann, A., Medema, G., Schmoll, O., Schulting, F. & Vahala, R. (2003) Risk based approaches: the next step in the evolution of the Drinking Water Directive. In European Commission, Scientific Synthesis Report Drinking Water Seminar: 27 and 28 October 2003, Brussels, pp. 32-52.
- Gunnarsdóttir, M. J. & Gissurarson, L. R. (2008) HACCP and water safety plans in Icelandic water supply: preliminary evaluation of experience. *Journal of Water and Health* 6 (3): 377-382.
- Hijnen, W.A.M., Berendonk, E.R. and Medema, G.J. (2006) Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: a review. *Water Res.* 40, 3-22.
- Hijnen, W.A.M. (2009) Elimination of micro-organisms in water treatment. Thesis, Universiteit van Utrecht.
- Hijnen, W.A.M. and Medema, G.J. (2010) Elimination of micro-organisms by water treatment processes, IWA publishing, London, UK.
- Hornstra, L. (2013). De invloed van deeltjes op de desinfectie van virussen door UV, een literatuurstudie. KWR rapport BTO2013.024.
- Hulsmann, A. (2009) Europese drinkwaterwetgeving rijpt traag richting Water Safety Plans. *H2O*, 7:22-23
- Mälzer, H.-J., Staben, N., Hein, A. & Merkel, W. (2010) Identification, assessment, and control of hazards in water supply: experiences from Water Safety Plan implementations in Germany. *Water Science & Technology* 61 (5), 1307-1315.
- Medema G.J. en Van Lieverloo, H. (2003) Waterveiligheidsplannen speerpunt van WHO voor bescherming van drinkwater. *H2O* 36 (19):6-7.
- Patania, N.L., J.G. Jacangelo, L. Cummings, A. Wilczak, K. Riley, and J. Oppenheimer (1995) Optimization of Filtration for Cyst Removal, AWWA Research Foundation, American Water Works Association, Denver, Colorado.
- Schijven, J.F., Teunis, P., Rutjes, S., de Roda Husman, A.M., 2011. QMRAspot: A computational user-friendly interactive tool for quantitative microbial risk assessment from surface water to drinking water. *Water Research* 45, 5564-5576.
- Smeets, P.M. (2008) Stochastic modelling of drinking water treatment in quantitative microbial risk assessment, Technical University Delft, Delft NL.
- Smeets, P.M. et al. (2013). In voorbereiding.
- Swiss Federal Council (2005) Lebensmittel- und Gebrauchsgegenständeverordnung (Foodstuff and Basic Commodity Ordinance), SR 817.02. Available from: http://www.admin.ch/ch/d/sr/817_02/index.html (accessed 19 March 2013).

- Templeton, M.R., Andrews, R.C. and Hofmann, R. (2007) Removal of particle-associated bacteriophages by dual-media filtration at different filter cycle stages and impacts on subsequent UV disinfection. *Water Res* 41(11), 2393-2406.
- Teunis, P.F.M., Rutjes, S.A., Westrell, T., de Roda Husman, A.M. (2009) Characterization of drinking water treatment for virus risk assessment. *Water Research* 43 (2), 395e404.
- UK Statutory Instruments (2007) The Water Supply (Water Quality) Regulations 2000 (Amendment) Regulations 2007: no. 2734. Available from: http://www.opsi.gov.uk/si/si2007/pdf/uksi_20072734_en.pdf (accessed 19 March 2013).
- Van Lieverloo, J.H.M., Bosklopper, K., Dekker, J., Worm, I. en Kroesbergen, J. (2005) Water Safety Plans. Voorstel voor beleid en implementatie. KWR 05.025 voor DZH, PWN en WLB. Kiwa Water Research, Nieuwegein, 40 p.
- Van Lieverloo, J.H.M., Boogaard, J., Hoogenboezem, W., Hoekman, H., Karels, T., Lampe, M., De Rijck, Y. en Welling, M. (2004) Waterveiligheidsplan microbiologie drinkwaterproductiebedrijven Andijk en Bergen. Winning, behandeling en distributie. KWR 04.036 voor PWN. Kiwa Water Research, Nieuwegein, 54 p.
- Van Lieverloo, J.H.M., Kroesbergen, J., Bakker, G.L. en Hoogenboezem, W. (2003) Systematische beheersing van microbiologische risico's. *H2O* 36 (19):30-33.
- Van Lieverloo, J.H.M., Kroesbergen, J., Hoogenboezem, W., Nobel, P.J., Willemsen-Zwaagstra, J., Nijman, M. en Hoeijmakers, R. (2001) Inventarisatie en beheersing van microbiologische besmettingsrisico's in drinkwaterproductiebedrijven en - voorzieningsgebieden in 't Gooi. KOA 2001.062 voor PWN. Kiwa Water Research, Nieuwegein, 56 p.
- Van Lieverloo, J.H.M., Smit, H.J.P. en Welling, M. (2011) Evaluatie Waterveiligheidsplan microbiologie van PWN drinkwaterproductiebedrijf Andijk (PSA) Van het IJsselmeer tot en met de watermeter. Rapport Viaeterna 2011.01, PWN, Velsbroek.
- VEWIN (2004) Beheersing risico's van bron tot kraan. *Waterspiegel*, oktober 2004.
- VRM, 2011. Besluit van 14 juni 2011, houdende vaststelling van het tijdstip van inwerkingtreding van de Drinkwaterwet (Stb. 2009, 370)
- VRM Inspectie, 2006. Inspectierichtlijn Analyse microbiologische veiligheid drinkwater. Artikelcode: 5318.
- WHO (2003) Support for the Development of a Framework for the Implementation of Water Safety Plans in the European Union. World Health Organization. Available from: http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/organisation/sicherheit/13_WHO_EU_wsp_report.pdf (accessed 19 March 2013).
- Waternet (2010) Drinkwaterplan 2010 - 2015. Waternet, Amsterdam Beschikbaar via https://www.waternet.nl/media/88327/waternet_drinkwaterplan.pdf, laatst ingezien op 19 maart 2013
- Wiersema, I. (1999) Influence of process factors on the removal of indicator bacteria by coagulation processes during drinking water production. Wageningen university, WUR, the Netherlands.
- Wübbels, G.H., Bruins, J.H. en Van Lieverloo, J.H.M. (2004) Waterveiligheidsplan drinkwaterproductiebedrijf De Punt. Inventarisatie en beheersing van risico's bij de productie en opslag van drinkwater. WLN, Glimmen, 41 p.

Bijlage 1: Overzicht van de dagrapportanalyse

<i>Datum</i>	<i>Afwijkingen</i>	<i>Tijd</i>	<i>Oorzaak afwijking</i>	<i>Ingreep</i>
26/jan	VDF1+2 verhoogde troebelheid effluent	10.00-14.00	Hapering dosering vlokhelpmiddel	geen
9/feb	VDF1 verhoogde troebelheid effluent	7.00-11.00	Geen dosering vlokhelpmiddel	hersteld
16/feb	VDF1 verhoogde troebelheid effluent	8.00-16.00	Onduidelijk vlokhelpmiddel?	
26/feb	VDF2 verhoogde troebelheid effluent en zuur/UVT verandering MDP	8.00-16.00	Schoonmaken VDF strang	ja
2/mrt	VDF1 + 2 verhoogde troebelheid effluent	8.00-11.00	Normale variatie	geen
9/mrt	VDF2 + DLF2 verhoogde troebelheid effluent	10.00-22.00 en 17.00 en verder	Schoonmaken VDF strang	
16/mrt	UVT licht verhoogd na pH verhoging MDP	>13.00	Inzet spaarbekken pH daling ruw en DOC	nee
23/mrt	UVT daling en pH daling MDP	12.00	Stop bijmenging spaarbekken	
27/mrt	pH schommeling MDP	10.00-18.00	Schommeling pH ruw	geen
2/apr	VDF2 verhoogde troebelheid effluent	9.00-17.00	Schoonmaken VDF strang	
6/apr	Piek troebelheid ruw en VDF1+2 verhoogde troebelheid effluent	15.00-22.00 en 8.00-10.00	Onderhoud ?	
20/apr	VDF1+2 verhoogde troebelheid effluent	8.00-14.00 en 9.00-17.00	Onduidelijke reden	geen
18/mei	Plotselinge productiewijziging	12.00	Straat 2 uitgevallen	
28/mei	UVT licht verhoogd na pH verhoging MDP	12.00-17.00	Bijmenging spaarbekken water (lagere DOC)	
30/mei	VDF1+2 verhoogde troebelheid effluent	1.00-7.00 en 10.00-20.00	Schommeling ruw water debiet	geen
8/jun	VDF1+2 verhoogde troebelheid effluent	8.00-10.00	Normale variatie	geen
15/jun	VDF1+2 verhoogde troebelheid effluent	4.00-10.00	Normale variatie	geen
29/jun	Plotselinge productiewijziging	13.30 - 14.30	Beide straten uitgevallen	
6/jul	VDF2 verhoogde troebelheid effluent en zuur MDP1/2	9.00-16.00 en 9.00-18.00	Zuurgraad: in dienst VDF 210	geen
26/okt	VDF1+2 en DLF2 verhoogde troebelheid effluent en verandering UVT2	2.00-9.00		
31/okt	VDF1+2 en DLF2 verhoogde troebelheid effluent en verandering UVT2	11.00-2.00 en 2.00-6.00	Temperatuurverlaging, fluctuaties dan normaal	geen
1/nov	VDF1+2 en DLF2 verhoogde troebelheid effluent en verandering UVT2	2.00-8.00 en 0.00-15.00	Idem	geen
2/nov	VDF1+2 en DLF2 verhoogde troebelheid effluent en verandering UVT2	8.00-10.00 en 2.00-6.00	Idem	geen

<i>Datum</i>	<i>Afwijkingen</i>	<i>Tijd</i>	<i>Oorzaak afwijking</i>	<i>Ingrep</i>
3/nov	VDF1+2 en DLF2 verhoogde troebelheid effluent en zuur MDP en verandering UV1,2	hele dag en 9.00-16.00	Idem	geen
4/nov	Productie, VDF 1,2 en DLF1,2 verhoogde troebelheid effluent, en verandering UVT1,2	10.30-11.30 en 0.00-22.00	Idem serieuzer	geen
23/nov	Productie, VDF 1,2 verhoogde troebelheid effluent en zuur MDP	8.00-16.00 en 12.00-12.00	Productiestoring	hersteld
7/dec	Zuur MDP en verandering UVT1,2	10.00-14.00	Bijmenging spaarbekken water	geen
21/dec	Zuur MDP 1	9.00-14.00	Vlokhulpmiddel dosering laag	geen

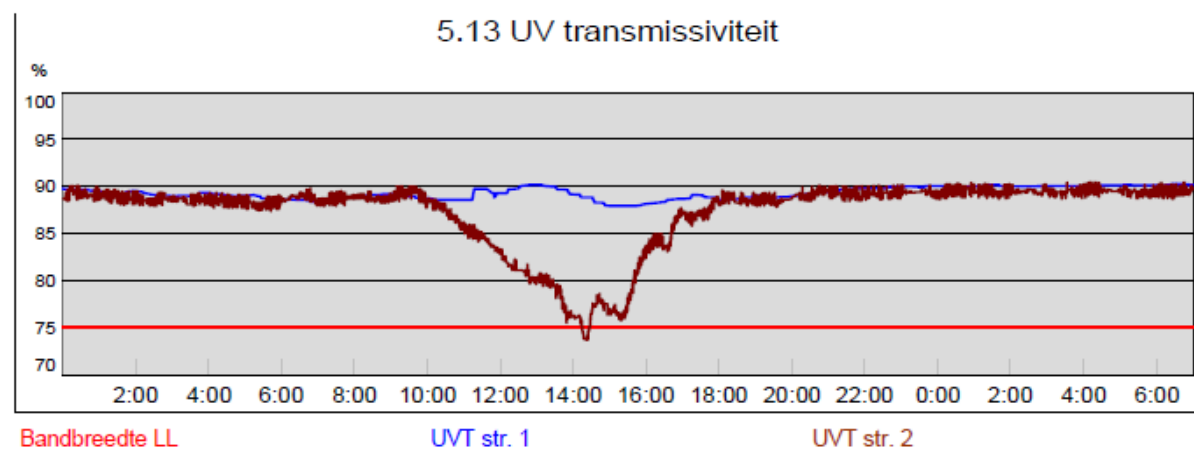
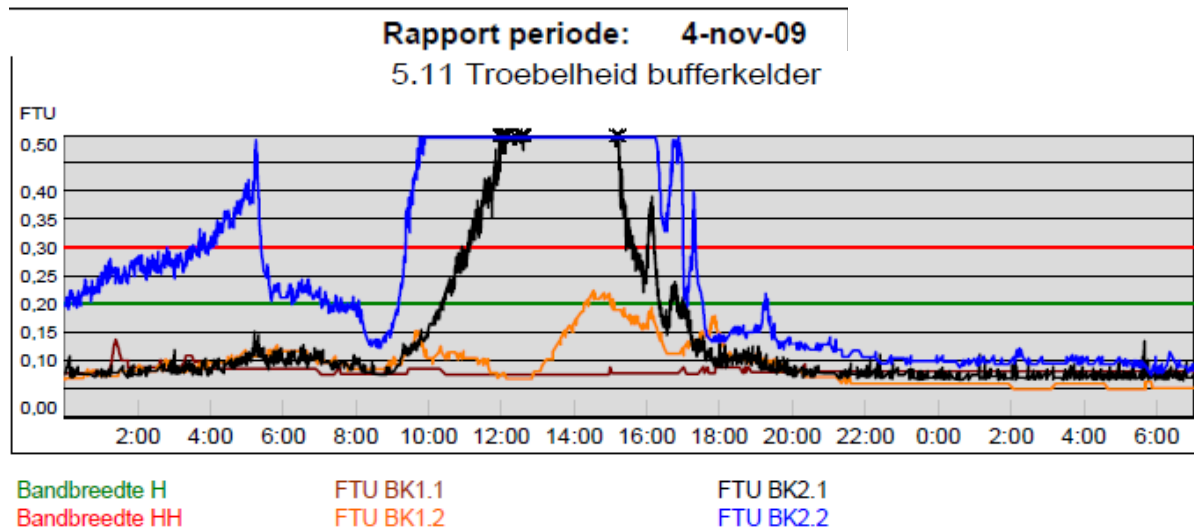
Bijlage 2: Dagrapportanalyse UV desinfectie

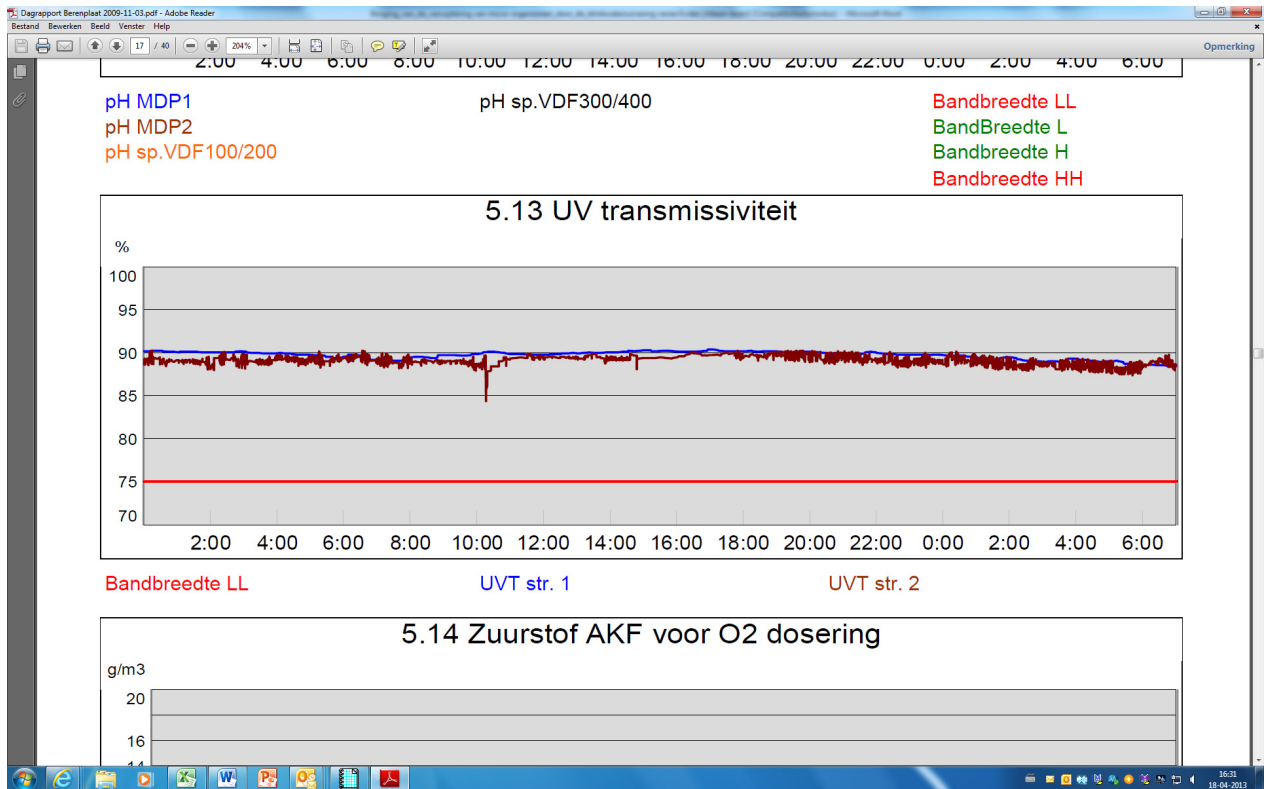
Datum	Colifagen gedetecteerd in effluent	Afwijking debiet	Afwijking VDF	Afwijking DLF	Afwijking UVT	Afwijking doseringen
25-26 januari	UV1	-	instabiel	-	-	-
22-23 februari	-	-	-	-	-	-
23-24 maart	UV1	-	-	-	-	-
20-21 april	UV2	-	-	0,25 FTE	-	UV1 70 naar 40
25-26 mei	UV1	-	-	-	-	-
22-23 juni	-	-	-	-	-	-
10-11 augustus	-	-	-	-	-	-
24-25 augustus	-	-	-	-	-	-
7-8 september	-	-	-	-	-	-
5-6 oktober	-	-	-	-	-	-
6-7 oktober	-	-	-	-	-	-
2-3 november ^a	-	-	-	>0,3 FTE	+	-
30 november	-	-	-	-	-	-
11-12 januari	-	-	-	-	-	-
25 januari	UV1/UV2	-	-	-	-	-
8-9 februari	UV1	-	-	Piek >0,2 FTE	-	-
22-23 februari	UV1	-	-	Piek >0,15 FTE	-	-
22-23 maart	-	-	-	-	-	-

^a 2/11Vlokhulpmiddeldosering nog niet bij. Alleen op 4/11 een serieuze afwijking van UVT 73.3% (gem. 86.7% dus afwijking min-max. = >16% (zie hieronder) Oorzaak was opstarten/afvallen strangen, zie plaatje eronder.

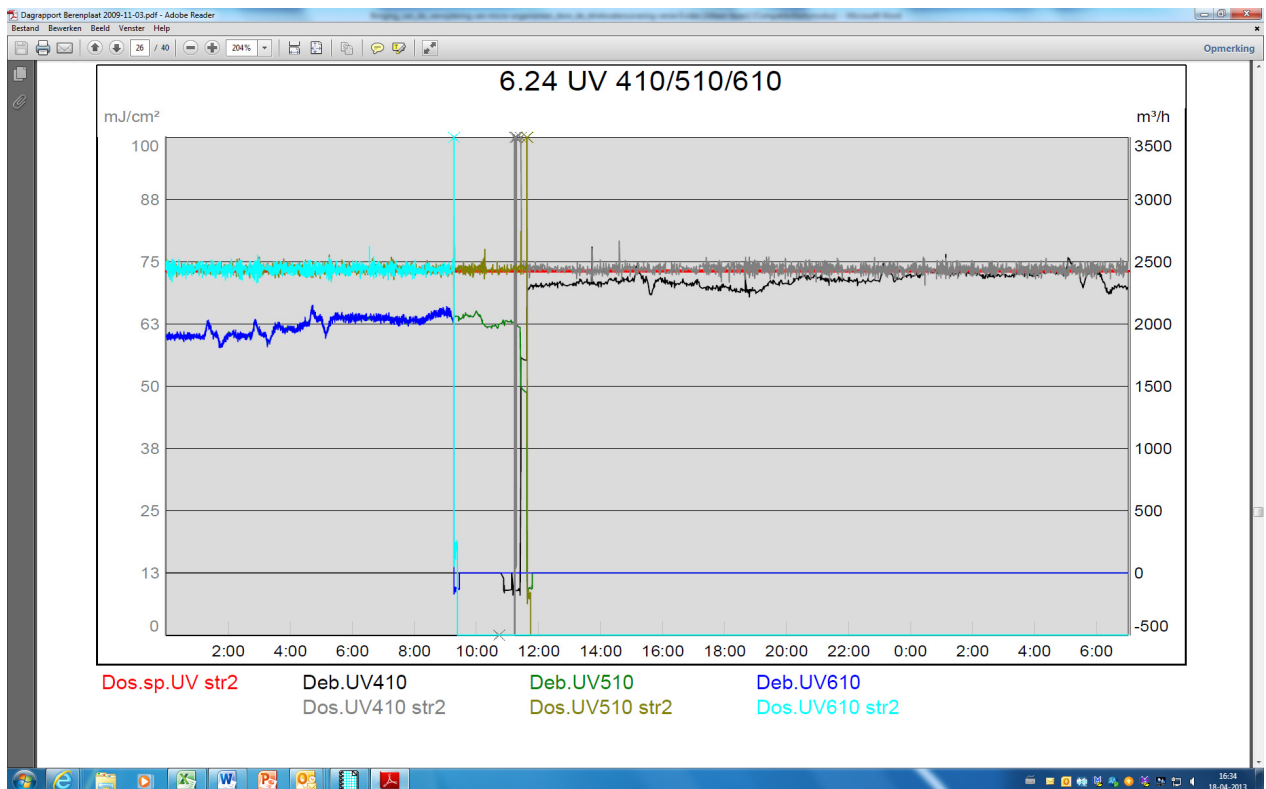
Datum	UV-straat	UV-Transmissie in %		
		Min.	Max.	Gem.
01/11/2009	1	89.3	90.3	90.0
	2	87.8	90.3	89.1
02/11/2009	1	89.8	90.5	90.1
	2	88.1	90.5	89.3
03/11/2009	1	89.0	90.3	89.9
	2	84.4	90.3	89.3
04/11/2009	1	87.9	90.2	89.3
	2	73.3	90.1	86.7

Evides productielocatie
Berenplaat





Figuur 1. UVT op 3 november



Figuur 2. Opstarten/afvallen van UV strangen op 3 november

