

BTO 2017.057 | Maart 2018

## **BTO** rapport

Oorzaak en aanpak van de *Aeromonas*-vermeerdering tijdens de bereiding van drinkwater op pompstation De Meern



# BTO

## Oorzaak en aanpak van de *Aeromonas*-vermeerdering tijdens de bereiding van drinkwater op pompstation De Meern

BTO 2017.057 | Maart 2018

### Opdrachtnummer

401900

### Projectmanager

Luc Hornstra

### Opdrachtgever

BTO-SPO Vitens - Speerpuntonderzoek

### Kwaliteitsborger

Paul van der Wielen

### Auteur

Nikki van Bel

### Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.  
Een jaar na publicatie is het openbaar.

**Jaar van publicatie**  
2017

#### Meer informatie

dr. Nikki van Bel  
T 030-6069516  
E [Nikki.van.Bel@kwrwater.nl](mailto:Nikki.van.Bel@kwrwater.nl)

#### Keywords

*Aeromonas*, methaan, de Meern, beluchting, methaan- en ammoniumbelasting

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR** Watercycle  
Research  
Institute

BTO 2017.057 | Maart 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd, 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.

## BTO Managementsamenvatting

### *Optimalisatie beluchting en vervanging grind in ps. De Meern oplossing voor Aeromonas-probleem als gevolg van methaanophoping in filters*

**Auteur** dr. ir. Nikki van Bel

In juni 2011 steeg het *Aeromonas* aantal in het reinwater van ps. De Meern plotseling sterk en sindsdien is de bacterie continu aanwezig in het reinwater en in het distributienet, waarbij enkele malen de wettelijke norm is overschreden. Microbiologische en chemische parameters lieten zien dat methaan niet optimaal werd verwijderd. Vermoedelijk was een aanpassing in de beluchtingsstap van de zuivering hiervan de boosdoener. Een tijdelijk lagere verwijdering van methaan leidde tot een toename van biomassa in de filters, waarop *Aeromonas* kon groeien en zich permanent in de filters kon vestigen. Vervanging van filtergrind bij pompstation De Meern heeft vervolgens geleid dat drie van de vier filters nu vrij zijn van *Aeromonas*. Bovendien is het methaangehalte in de filters gedaald en de nitrificatie en ijzeromzetting toegenomen. Verdere oplossing van het *Aeromonas* probleem in de filters bij ps. De Meern kan door (1) optimalisatie van de beluchting zodat methaan beter wordt verwijderd, (2) vervanging van alle filtergrind en (3) eventueel het reinigen van de reinwaterkelder. Omdat bij de referentielocatie ps. Linschoten dezelfde *Aeromonas* problematiek lijkt te (gaan) spelen, gelden dezelfde maatregelen om deze problematiek op te lossen.



Monsternamen van water tijdens en na filtratie bij ps. De Meern (links). Analyse van water- en grindmonsters op microbiologische en chemische parameters (rechts).

**Belang:** achterhalen oorzaak en verlagen van de aantallen *Aeromonas* in reinwater van ps. De Meern Bij pompstation De Meern van Vitens was in juli 2011 sprake van een plotselinge toename van het *Aeromonas* koloniegetal in het uitgaande water. In

de periode daarvoor was als gevolg van een ingreep in de filters de methaanverwijdering waarschijnlijk niet optimaal. Mogelijk dat dit een rol speelde in de geconstateerde bacteriegroei. Verschillende ingrepen in de zuivering en bedrijfsvoering zijn er

niet in geslaagd het *Aeromonas* aantal te verlagen. Het *Aeromonas* aantal overschrijdt hierbij in enkele gevallen de wettelijke norm wat een onwenselijke situatie is. Daarom is in dit speerpuntonderzoek nagegaan wat de waarschijnlijke oorzaak van de plotselinge *Aeromonas* vermeerdering kan zijn geweest en hoe deze populatie in stand kon blijven. Ook dragen we mogelijke oplossingen aan om *Aeromonas* uit de zuivering te verwijderen.

#### Aanpak: analyseren historische gegevens en actuele monitoringsdata

Een analyse is uitgevoerd van historische monitoringsgegevens, opgevraagd bij Vitens. Het betreft data van microbiologische en chemische parameters in het ruwe grondwater, in water na beluchting, water na filtratie en in het uitgaande water.

Tijdens het project is van filters 1 - 4 van ps. De Meern het filtergrind vervangen. Voorafgaande hieraan is een microbiologisch en chemisch meetprogramma uitgevoerd, evenals tijdens het inlopen van het filtergrind en na de ingebruikname van de filters. Met deze gegevens is de oude situatie in kaart gebracht en kon worden gemonitord wat het effect van het nieuwe grind was. Behalve bij ps. De Meern is het monitoringsprogramma ook uitgevoerd bij ps. Linschoten, dat als referentielocatie diende.

#### Resultaten: vervanging filtergrind verlaagt *Aeromonas* maar leidt niet tot verwijdering

De plotselinge verhoging van *Aeromonas* was vermoedelijk het gevolg van een aanpassing in de beluchting waardoor tijdelijk minder methaan dan gebruikelijk uit het water werd verwijderd. Door de verhoogde methaanbelasting van de filters nam het aantal micro-organismen toe, evenals de biomassa. Een hoog aanbod aan biomassa zorgde ervoor dat *Aeromonas* zich kon vermeerderen en vestigen in het filter.

Tot op heden, en vermoedelijk ook in de jaren hiervoor, is de methaanverwijdering door beluchting niet optimaal geweest. Vervanging van

het filtergrind heeft geleid tot een sterke verlaging van het *Aeromonas* aantal. Drie van de vier filters zijn nu vrij van *Aeromonas*. Ook is de methaanbelasting van de filters gedaald en is de nitrificatie en ijzeromzetting door bacteriën toegenomen, wat leidt tot een verbeterde waterkwaliteit. Een effect op het *Aeromonas* aantal in het uitgaande water is echter nog nauwelijks zichtbaar omdat hier sprake is van mengwater van de 'nieuwe' filters 1 - 4 en de 'oude' filters 5 - 8.

Ook in het reinwater van ps. Linschoten zijn *Aeromonas* bacteriën aangetroffen, ongeveer in even hoge aantallen als in ps. De Meern. Gezien de leeftijd van het filtergrind en de hoge methaanbelasting is het niet onwaarschijnlijk dat deze aantallen verder zullen toenemen.

#### Implementatie: Verlagen methaanbelasting op de filters en vervangen filtergrind

Dit onderzoek leidt tot de volgende aanbevelingen om het *Aeromonas* probleem bij ps. De Meern aan te pakken:

- Optimalisatie van de beluchting voor een volledige verwijdering van methaan en sterke verlaging van de methaanbelasting.
- Vervanging of externe reiniging van het filtergrind zodat de bron van *Aeromonas* en de opgebouwde biomassa worden verwijderd.
- Eventueel reiniging van de reinwaterkelders.

Daarnaast wordt geadviseerd deze maatregelen ook door te voeren bij ps. Linschoten om een verdere stijging van het *Aeromonas* aantal in de filters en het uitgaande water tegen te gaan en eventuele problemen te voorkomen.

#### Rapport

Dit Speerpuntonderzoek is uitgevoerd in opdracht van Vitens en staat beschreven in het rapport *Oorzaak en aanpak van de Aeromonas vermeerdering tijdens de bereiding van drinkwater op pompstation De Meern (BTO 2017.057)*.



# Voorwoord

De situatie bij pompstations De Meern en Linschoten is in kaart gebracht met dank aan de hulp van Berend Siepel (procesoperator ps. De Meern), Ferrie van de Uijl (procesoperator ps. Linschoten) en Geo Bakker (specialist procestechnologie Vitens).





# Inhoud

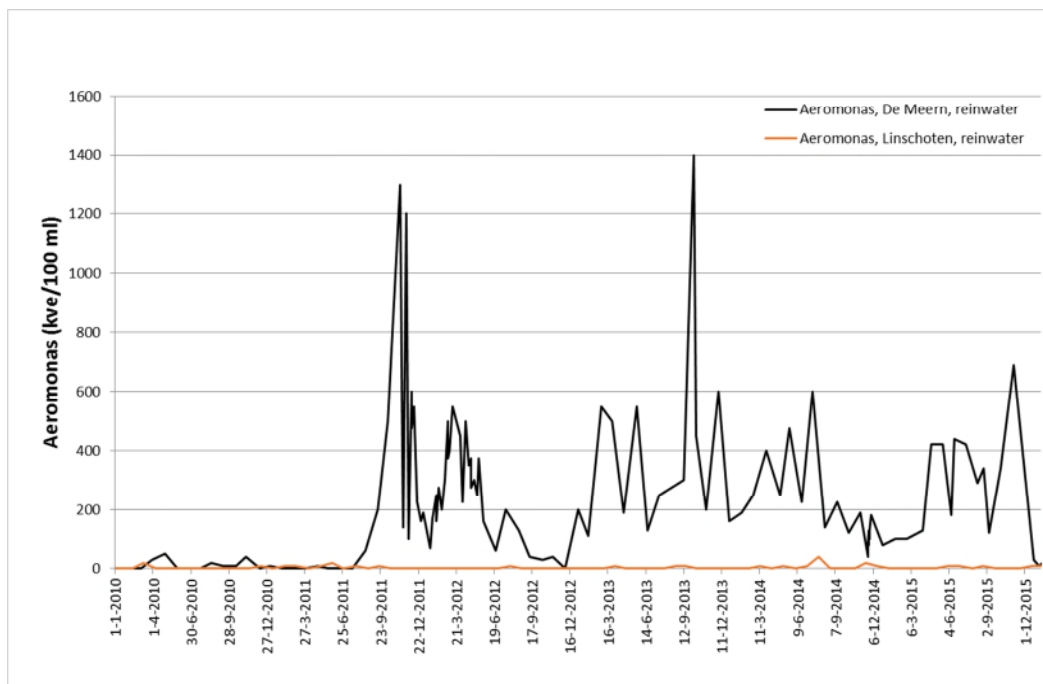
<b>Voorwoord</b>	<b>3</b>
<b>Inhoud</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>7</b>
1.1 Achtergrond	7
1.2 Relatie tussen <i>Aeromonas</i> en afbreekbare stoffen in grondwaterbehandeling	7
1.3 Doel	8
<b>2 Methoden</b>	<b>9</b>
2.1 Bedrijfstechnische gegevens	9
2.2 Microbiologische, chemische en fysische gegevens	9
2.3 Monitoringsprogramma	10
2.4 Microbiologische en chemische analyses	12
<b>3 Analyse van bedrijfstechnische en historische microbiologische, chemische en fysische gegevens</b>	<b>14</b>
3.1 Bedrijfstechnische gegevens	14
3.2 Historische microbiologische, chemische en fysische gegevens	16
<b>4 Resultaten monsternamen</b>	<b>43</b>
<b>5 Discussie</b>	<b>54</b>
5.1 Ammonium- en methaanbelasting van filters op ps. De Meern en ps. Linschoten	54
5.2 Ontijzering, ontmanganing en nitrificatie	55
5.3 <i>Aeromonas</i> -problemen op andere pompstations	56
5.4 Effect van discontinue drinkwaterproductie	56
5.5 Oorzaak en oplossing voor aanwezigheid van <i>Aeromonas</i> -bacteriën in reinwater van ps. De Meern	57
<b>6 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>58</b>
6.1 Conclusies	58
6.2 Aanbevelingen	58
<b>7 Referenties</b>	<b>59</b>
<b>Bijlage I Ruwe meetresultaten</b>	<b>60</b>
• <b>KG22</b>	<b>60</b>
• <b><i>Aeromonas</i></b>	<b>61</b>
• <b>ATP</b>	<b>62</b>
• <b>Ammonium</b>	<b>62</b>

•	<i>TOC</i>	63
•	<i>Mangaan</i>	63
•	<i>Ijzer</i>	64
•	<i>Methaan</i>	65
•	<i>Methanotrofe bacteriën</i>	65
•	<i>Ammonium-oxiderende bacteriën</i>	66
•	<i>Gallionella bacteriën</i>	66

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Bij het pompstation De Meern was in juli 2011 sprake van een plotselinge toename van het *Aeromonas*-koloniegetal in het uitgaande water tot aantallen die variëren tussen de 100 en 1400 kve/100 ml (Figuur 1). Deze aantallen zijn nu nog steeds verhoogd en ondanks dat sinds 2013 de norm niet meer wordt overschreden, is deze toename onwenselijk.



FIGUUR 1. *AEROMONAS*-AANTALLEN IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

Pompstation De Meern zuivert het opgepompte grondwater door middel van beluchting en filtratie waarna het in de reinwaterkelder wordt opgeslagen. In het ruwe grondwater is sprake van een geringe hoeveelheid methaan (900 - 1300 µg/l) en ook het ammoniumgehalte is laag (0,15 mg/l). Voorafgaand aan de plotselinge *Aeromonas*-toename, is er sprake geweest van een ingreep in de filters van de zuivering waardoor de methaanverwijdering door beluchting mogelijk niet optimaal is geweest. De verhoogde methaanbelasting op het filterbed heeft geleid tot verhoogde groei van micro-organismen en extra biomassa. *Aeromonas* heeft door deze toename van nutriënten en biomassa kunnen groeien in het filter en zich vervolgens, naar het laat aanzien, meer permanent gevestigd.

## 1.2 Relatie tussen *Aeromonas* en afbreekbare stoffen in grondwaterbehandeling

In ruw grondwater bevinden zich afbreekbare stoffen die bacteriën, waaronder *Aeromonas*, kunnen gebruiken voor groei. De belangrijkste verbindingen zijn methaan en ammonium. Methaan is een vluchtige stof en wordt tijdens de beluchting fysiek verwijderd. Idealiter zou de verwijdering van methaan compleet moeten zijn (tot onder de detectiegrens van de analysemethode (5 µg/l)). Eventueel resterend methaan wordt in de filters door methanotrofe bacteriën omgezet in aanwezigheid van zuurstof. Ammonium wordt in de filters in

aanwezigheid van zuurstof in zijn geheel omgezet door nitrificerende bacteriën tot nitraat. Door de omzetting van methaan en ammonium in de filters groeit het aantal bacteriën in de filters en neemt de biomassa toe. Deze biomassa kan gedeeltelijk worden afgebroken door micro-organismen, waaronder *Aeromonas*.

Ijzer in het ruwe grondwater wordt in de zuivering onder andere verwijderd door *Gallionella* bacteriën, die in water verzadigd met zuurstof het ijzer om kunnen zetten. Waarschijnlijk is dit proces bij de lage grondwatertemperaturen van 12 - 13°C dominant, aangezien de chemische omzetting van ijzer traag verloopt bij deze temperatuur (de Vet, 2011).

In eerder BTO-onderzoek is er door middel van een regressieanalyse een verband aangetoond tussen hogere TOC-gehalten in ruw water of reinwater en *Aeromonas* in gedistribueerd water. In drinkwater bereid uit grondwater is er ook een verband tussen *Aeromonas* in gedistribueerd water en de ammoniumconcentraties in het ruw water (BTO 2011.001).

### 1.3 Doel

Doel van dit speerpuntonderzoek binnen het BTO is om de oorzaak van de *Aeromonas*-vermeerdering in de zuivering van ps. De Meern te achterhalen en mogelijke oplossingen te definiëren om deze vermeerdering terug te dringen.

## 2 Methoden

In dit onderzoek wordt pompstation De Meern vergeleken met pompstation Linschoten, welke op verschillende vlakken vergelijkbaar zijn met elkaar. Bij de start van het project was aangegeven dat ps. Linschoten geen *Aeromonas*-probleem heeft, de zuivering vergelijkbaar is met die van ps. De Meern en het grondwater uit dezelfde watervoerende laag oppompt. Door deze overeenkomsten, maar wel het verschil in *Aeromonas*-problematiek is ps. Linschoten een goede referentie om de resultaten van ps. De Meern mee te vergelijken.

### 2.1 Bedrijfstechnische gegevens

Om de pompstations van De Meern en Linschoten in kaart te brengen zijn de karakteristieken en bedrijfstechnische gegevens van een aantal parameters opgevraagd bij Berend Siepel (procesoperator ps. De Meern) en Ferrie den Uijl (procesoperator ps. Linschoten). Deze opgevraagde parameters zijn weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1. OPGEVRAAGDE KARAKTERISTIEKEN EN BEDRIJFSTECHNISCHE PARAMETERS VAN POMPSTATIONS DE MEERN EN LINSCHOTEN

Karakterisatie van de zuivering	Bedrijfstechnische gegevens
Zuiveringsstappen	Gemiddelde productiecapaciteit
Veranderingen in de zuivering	Schoonmaakacties
Aantal filters	Filterspoelingen
Hoogte filterlaag	Gemiddelde looptijd filter
Breedte en lengte filter	Type spoeling
Oppervlak filter	Afvoer eerste filtraat
Volume filter	Storingen
Filtermedium	Stilstand
Korrelgrootte	Aantal productieuren zuivering per dag
Filters met <i>Aeromonas</i> -probleem	Opstarttijd zuivering
Debiet	Afschakeltijd zuivering

### 2.2 Microbiologische, chemische en fysische gegevens

Over de periode 2009 tot heden is van een groot aantal chemische, fysische en microbiologische parameters de gegevens opgevraagd (Tabel 2). Veel van deze parameters zijn bepaald in het gezamenlijke ruw en uitgaand water, maar een aantal zijn ook in het effluent water van de filters, per filter, bepaald. Deze gegevens zijn aangeleverd door Geo Bakker.

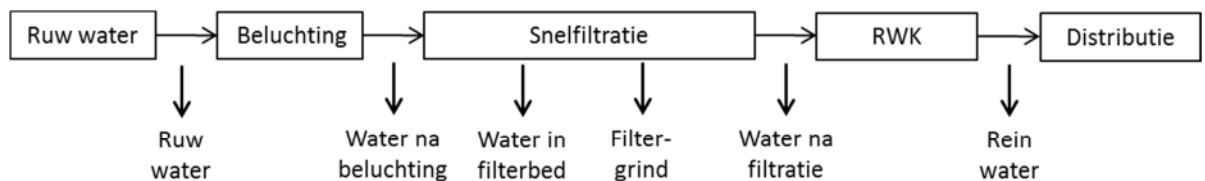
TABEL 2. CHEMISCHE, FYSISCH EN MICROBIOLOGISCHE PARAMETERS DIE ZIJN OPGEVRAAGD BIJ VITENS.

Watertypen	Chemisch	Fysisch	Microbiologisch
Onttrokken water (winputten)	Methaan	pH	KG22
Ruw	Ijzer	Temperatuur	<i>Aeromonas</i>
Na beluchting, per filter	Mangaan		
Reinwater	Ammonium		
	DOC/TOC		
	Zuurstof		

### 2.3 Monitoringsprogramma

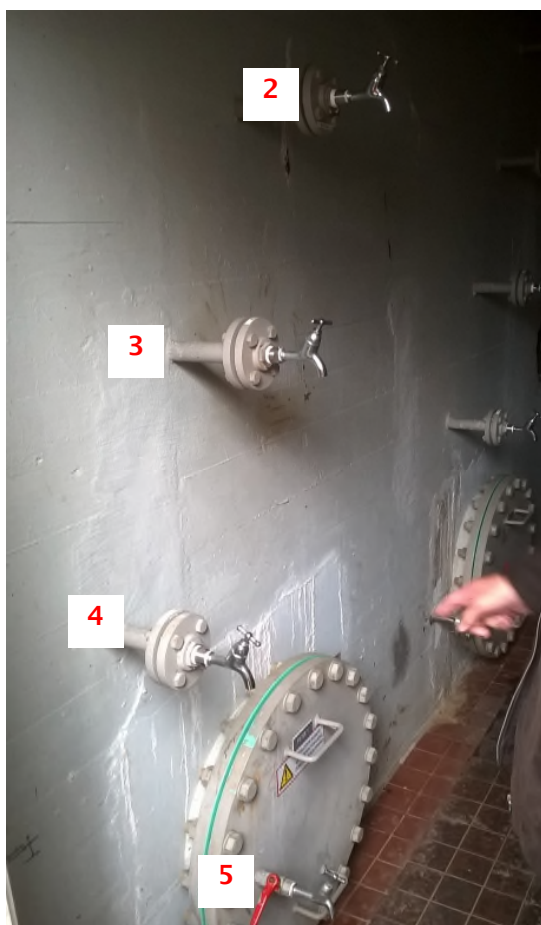
In mei 2017 is in filters 1 - 4 van ps. De Meern het filtergrind vervangen. Voor de vervanging van het filtergrind, tijdens het inlopen en na de ingebruikname van de filters is een meetprogramma uitgevoerd. Hiermee is de oude situatie in kaart gebracht en kan het effect van het nieuwe grind op onder andere de *Aeromonas*-aantallen worden gemonitord.

Bij pompstations De Meern en Linschoten is een monitoringsprogramma uitgevoerd op het ruw water, uitgaand water, water na beluchting, water tijdens en na filtratie en het filtergrind van filters 1 - 4 van ps. De Meern en filter 4 van ps. Linschoten (Figuur 2).



FIGUUR 2. SCHEMATISCH OVERZICHT VAN DE MONSTERNAMELOCATIES OP PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

Het watermonster 'na beluchting' bestaat uit het bovenstaande water op de filterbedden. Van elke filterbed is een gelijk volume van het bovenstaande water bemonsterd, hiervan is vervolgens een homogeen mengsel gemaakt voor verdere analyse. Het 'tijdens filtratie' watermonster is genomen uit het tweede kraantje gezien vanaf de bovenkant van het filter. Het 'na filtratie' watermonster is afkomstig uit het vijfde kraantje (Figuur 3). Het filtergrind is bemonsterd door een 'schepmonster' van bovenaf.



FIGUUR 3. MONSTERNAME VAN WATER IN HET FILTERBED (2) EN NA FILTRATIE (5) IN POMPSTATION DE MEERN.

Al deze punten zijn op vijf verschillende momenten in 2017 bemonsterd (Tabel 3). Zoals eerder gemeld is gedurende het onderzoek het filtergrind van filters 1 – 4 van ps. De Meern vervangen, als mogelijke oplossing voor het *Aeromonas*-probleem. Het monitoringsprogramma is zo opgesteld dat twee maal (3 en 10 april 2017) de oude situatie is geanalyseerd (voor vervanging van het filtergrind). Het nieuwe grind is in de week van 22 mei 2017 gestort en na drie weken, tijdens het inlopen van de filters, is het water en grind geanalyseerd. De filters zijn in de derde week van juli in gebruik genomen, waarna na 2 weken (3 augustus 2017) en na 6 weken (4 september 2017) analyses zijn uitgevoerd om het effect van de vervanging van het filtermateriaal te bepalen.

TABEL 3. OVERZICHT VAN MONSTERNAMES MET DAARBIJ AANGEGEVEN DE STAAT VAN DE FILTERS.

Datum monstername	Situatie van de filters 1 – 4 van ps. De Meern
3 april 2017	Startsituatie
10 april 2017	Startsituatie
12 juni 2017	Drie weken na start inlopen filters
3 augustus 2017	Twee weken na ingebruikneming filters
4 september 2017	Zes weken na ingebruikneming filters

Een groot aantal microbiologische en chemische analyses zijn uitgevoerd op het bemonsterde water en grind (Tabel 4).

TABEL 4. OVERZICHT VAN DE UITGEVOERDE MICROBIOLOGISCHE EN CHEMISCHE ANALYSES PER WATER- OF GRINDMONSTER. HET FILTERGRIND EN DE WATERMONSTERS 'TIJDENS FILTRATIE' EN 'NA FILTRATIE' ZIJN VOOR ELK FILTER INDIVIDUEEL GEANALYSEERD.

Microbiologische en chemische analyses	Ruw	Na beluchting	Tijdens filtratie	Filtergrind	Na filtratie	Uitgaand
KG22	X	X	X	X	X	X
ATP	X	X	X	X	X	X
<i>Aeromonas</i>	X	X	X	X	X	X
Methanotrofe bacteriën	X	X	X	X	X	X
Ammoniumoxiderende bacteriën	X	X	X	X	X	X
<i>Gallionella</i> bacteriën	X	X	X	X	X	X
TOC	X	X		X	X	X
Methaan	X	X			X	X
Ammonium	X	X		X	X	X
Ijzer	X	X		X	X	X
Mangaan	X	X		X	X	X

#### 2.4 Microbiologische en chemische analyses

Het filtergrind is opgewerkt door het grind in steriel drinkwater te behandelen met hoge energie sonicatie (HES). Hiervoor is grind in 40 ml steriel drinkwater getrild gedurende 1 minuut bij een amplitude van 45% (30 Watt). Tijdens de sonicatie werd het grind in water gekoeld op ijs om oververhitting te voorkomen.

Het aantal kweekbare bacteriën bij 22°C (KG22) is bepaald conform NEN-EN-ISO 6222 en protocol LMB-032. Hiervoor is 1 ml (verdund) monster geïncubeerd op Plate Count Agar (PCA) bij 22°C gedurende 68 uur.

Het aantal *Aeromonas*-bacteriën in het water en de biofilm is bepaald conform NEN-ISO 6263 en LMB-022. Hiervoor is 100 ml (verdund) water gefiltreerd en geïncubeerd op Ampicilline Dextrine Agar (ADA)-medium voor 24 uur bij 30°C.

De aantallen genkopieën van de methanotrofe, ammoniumoxiderende en *Gallionella* bacteriën zijn bepaald door middel van kwantitatieve PCR (qPCR). Hiervoor is ongeveer 500 ml water gefiltreerd en is het filter met daarop de micro-organismen opgeslagen bij -20°C. Aan het eind van de monsternameserie is het DNA van alle water- en grindmonsters tegelijk geïsoleerd met behulp van de Power Biofilm Kit volgens protocol LMB-069. Het opgewerkte DNA is gebruikt in de qPCR. Voor elk micro-organisme is een eigen qPCR ontwikkeld, zoals beschreven in protocol LMB-068 (methanotrofe en ammoniumoxiderende bacteriën) en LMB-065 (*Gallionella* bacteriën). Voor de *Gallionella* bacteriën was geen ijklijn beschikbaar. In plaats daarvan is een CT-waarde van 38 gelijk gesteld aan 1 genkopie. Er van uitgaande dat een daling van de CT-waarde met 3,3 gelijk staat aan een stijging van het aantal genkopieën met 1 log, zijn artificiële aantallen genkopieën berekend om de water- en grindmonsters wel onderling te kunnen vergelijken.



ATP is een maat voor de hoeveelheid actieve biomassa in water of in de biofilm op het filtergrind en is bepaald volgens protocol LMB-002. De bepaling is gebaseerd op de omzetting van luciferine door het enzym luciferase die alleen plaats vindt in de aanwezigheid van ATP. Het hierbij geproduceerde licht (in Relatieve Licht Eenheden) wordt omgerekend naar de concentratie ng/l ATP.

Ammonium is bepaald volgens LAM-036. De ammoniumionen in een watermonster reageren met het natriumhypochloriet en natriumsalicylaat waarbij een groen gekleurde verbinding wordt gevormd. De mate waarin dit gebeurt wordt in een spectrofotometer bij 660 nm bepaald. De detectiegrens van de bepaling is 0,03 mg N/l.

Het TOC-gehalte is bepaald volgens LAM-068 en conform ISO 8245 en NEN-EN 1484. Om alleen het totaal organisch koolstofgehalte te meten, wordt eerst het anorganisch koolstof verwijderd. Hiervoor wordt het monster aangezuurd waarna de hoeveelheid aanwezige koolstof wordt gemeten met behulp van NDIR (niet-dispersieve infrarood detector).

Het ijzer en mangaan gehalte is bepaald volgens LAM-074. Het monster wordt eerst aangezuurd met salpeterzuur waarna de vrije ionen worden gemeten in de massaspectrometer.

De analyse van het methaangehalte is uitgevoerd door het laboratorium van Vitens volgens de eigen methode VL-W-OC05. Het monster wordt hierbij geanalyseerd met een GC-FID (Gas Chromatography met Flame Ionization Detector).

## 3 Analyse van bedrijfstechnische en historische microbiologische, chemische en fysische gegevens

### 3.1 Bedrijfstechnische gegevens

In Tabel 5 zijn de karakteristieken van de zuiveringen van ps. De Meern en ps. Linschoten gegeven. De zuiveringen van beide locaties lijken in meerdere aspecten sterk op elkaar: zuiveringsstappen (beluchting en snelfiltratie), de hoogte van het filterbed (2 meter) en het filtermedium (grind, korrelgrootte van 1 – 2 mm). Het oppervlak en volume van de filters van ps. Linschoten zijn echter groter dan ps. De Meern, net als het debiet. Het filtergrind van ps. Linschoten is ouder dan het grind uit ps. De Meern en de laatste reiniging van de reinwaterkelder is voor beide pompstations op een ander moment uitgevoerd.

TABEL 5. KARAKTERISATIE VAN DE ZUIVERING IN POMPSTATIONS DE MEERN EN LINSCHOTEN

	ps. De Meern	ps. Linschoten
Zuiveringsstappen	Beluchting Enkellaags snelfiltratie	Beluchting Enkellaags snelfiltratie
Veranderingen in de zuivering	Geen	Geen
Aantal filters	8	6
Hoogte filterbed	2 meter	2 meter
Breedte en lengte filter	Rechthoek 6,7 x1 meter	Zeskant Zijden van 3,72 meter
Oppervlak filter	6,7 m <sup>2</sup>	38 m <sup>2</sup>
Volume filter	13,4 m <sup>3</sup>	38 m <sup>3</sup>
Filtermedium	Grind	Grind
Korrelgrootte	1 - 2 mm	1 - 2 mm
Jaar van ingebruikname filterbed	1992	1974
Filters met <i>Aeromonas</i> -probleem	Ja	Ja, maar minder erg
Reinwaterkelders	Eén kelder	Meerdere kelders
Laatste schoonmaakactie reinwaterkelders	2015	Kelders worden onafhankelijk van elkaar gereinigd, laatste schoongemaakt in 2010
Debiet	125 m <sup>3</sup> /h per set 1 set is 2 filters	Nominaal: 250 m <sup>3</sup> /h; Maximaal: 330 m <sup>3</sup> /h

De bedrijfsvoering van beide pompstations verschilt meer van elkaar (Tabel 6). Zo worden de filters van ps. De Meern vaker gespoeld dan die van ps. Linschoten en verschilt het soort spoeling. Daarnaast is de zuivering van ps. Linschoten continu in bedrijf, terwijl ps. De Meern gemiddeld 10 uur per dag stilstaat. Het in- en uitschakelen van de zuivering bij ps. De Meern is zo ingesteld dat de reinwaterkelder vlak voor het inschakelen van de zuivering zo leeg mogelijk is. Hiermee wordt een (te) lange verblijftijd van het reinwater in de kelder, en dus mogelijke microbiologische groei, voorkomen.

TABEL 6. BEDRIJFSTECHNISCHE GEGEVENS VAN POMPSTATIONS DE MEERN EN LINSCHOTEN

	ps. De Meern	ps. Linschoten
Gemiddelde productiecapaciteit	75 m <sup>3</sup> /h per filter 600 m <sup>3</sup> /h in totaal	167 m <sup>3</sup> /h per filter 1000 m <sup>3</sup> /h in totaal
Gemiddelde looptijd filter	96 uur	120 uur
Type spoeling	Water, lucht, water	Water – Lucht Water – Water
Afvoer eerste filtraat	Nee	Nee
Storingen	Nee	Nee
Stilstand	Gemiddeld 10 uur per dag in normaal bedrijf	Nee, zuivering is altijd in bedrijf. Individuele filters staan na spoelen 2 dagen stil
Aantal productie-uren zuivering per dag	Gemiddeld: 13 uur/dag Tijdens inwerken: 24 uur/dag	24 uur/dag

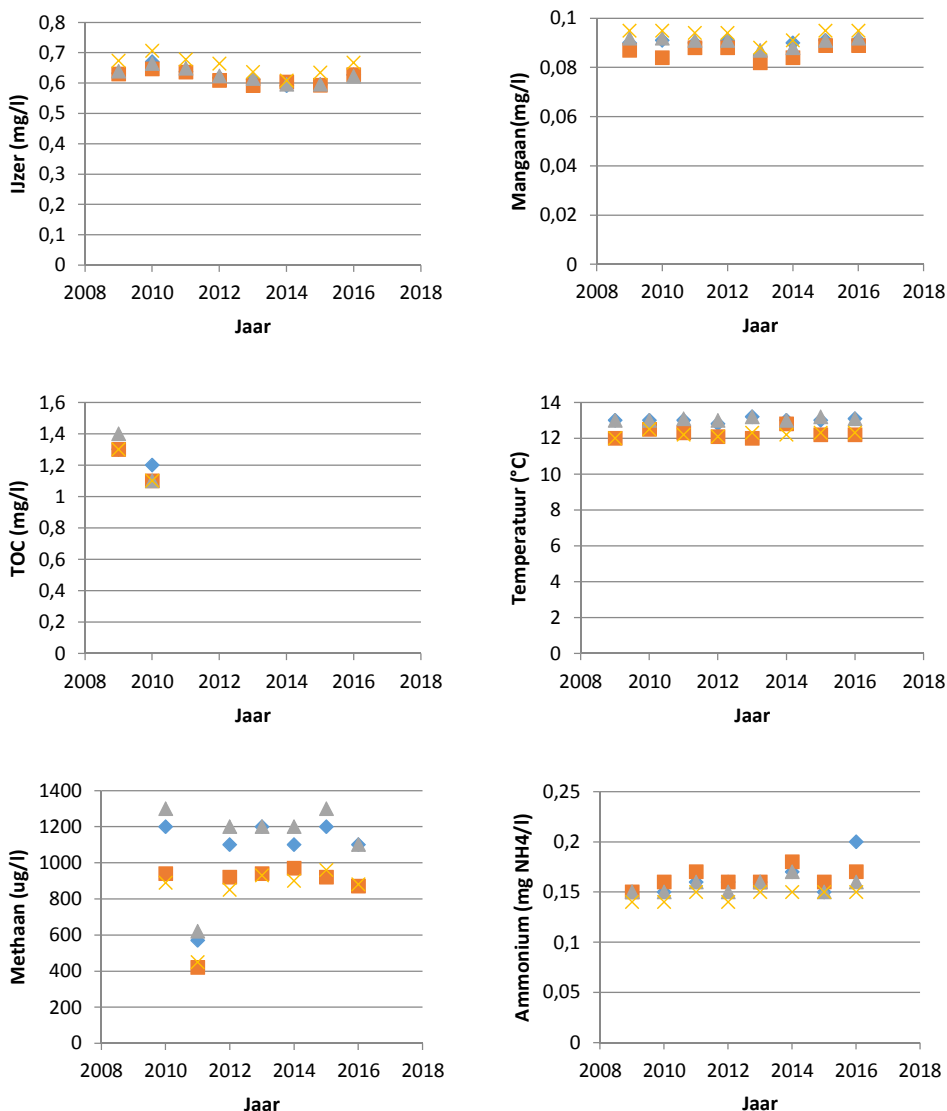
Vitens heeft zelf al aanpassingen doorgevoerd in de bedrijfsvoering en zuivering om zo te proberen de *Aeromonas*-aantallen in het reinwater van ps. De Meern te verlagen. Hieronder is een overzicht gegeven van de maatregelen die zijn doorgevoerd op ps. De Meern en het vermoedelijke effect daarvan op *Aeromonas*:

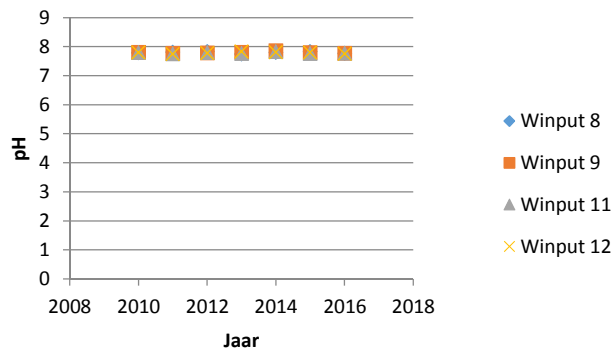
- 1989: Hoge aantallen *Aeromonas*
- 1992: Vervanging filtergrind
- Juli 2011: Sproeiers voor beluchting gestandaardiseerd vanuit Vitens. Grotere diameters geïnstalleerd. Na één maand begint het aantal *Aeromonas*-bacteriën toe te nemen.
- December 2011: werkzaamheden aan de filters. Tussenmuren geplaatst tussen de filters en filters voorzien van een coating. Grind is 2 maanden opgeslagen in een container.
- 2013: Terug naar beluchting met de oude diametermaat van de sproeiers. Effect op *Aeromonas* onduidelijk.
- Half 2014: Optimalisatie beluchting. Ieder filter krijgt evenveel zuurstof/lucht, vergroting van de luchtfilterkast voor de ventilator zodat lucht makkelijker aangezogen kan worden, vergroting van de ventilator en montage van een expantiekast op de uitblaas waardoor overdruk wordt gecreeërd en de beluchting gelijkwaardig is voor alle filters. Heeft geleid tot betere verwijdering van methaan en dalende *Aeromonas*-aantallen.
- Begin 2015: Aanpassing in beluchting door het plaatsen van sproeiers met inwendige venturi op filters 7 en 8 om te testen. Daarna doorgevoerd op alle filters. In deze periode lijken de *Aeromonas*-aantallen te blijven dalen.
- Voorjaar 2015: Reinwaterkelder schoongemaakt
- Half 2016: Aanpassing spoelprogramma naar water en lucht spoeling om het ijzer beter van de grindkorrels te verwijderen. Eerst getest op filters 5 en 6, daarna toegepast op alle filters. *Aeromonas*-aantallen lijken te dalen.
- Mei 2017: Vervanging filtergrind van filters 1 – 4
- November 2017: Vervanging filtergrind van filters 5 – 8

### 3.2 Historische microbiologische, chemische en fysische gegevens

#### 3.2.1 Winputten

In Figuur 4 zijn de temperatuur, pH en de concentraties ijzer, mangaan, TOC, methaan en ammonium in het water van de winputten 8, 9, 11 en 12 gegeven. De metingen worden jaarlijks uitgevoerd en alle parameters zijn vrij stabiel gedurende de periode 2009 - 2016. Uitzondering is een halving van het methaangehalte tot 400 - 600 mg/l in alle putten op 9 september 2011, mogelijk wordt dit veroorzaakt door een meetfout of een incident. Het methaangehalte varieert sterker tussen de winputten dan de andere parameters, waarbij winputten 9 en 12 consequent lagere waarden geven dan winputten 8 en 11. De temperatuur is in deze putten ook ongeveer 1 graad lager. Van TOC zijn alleen resultaten beschikbaar uit 2009 en 2010.



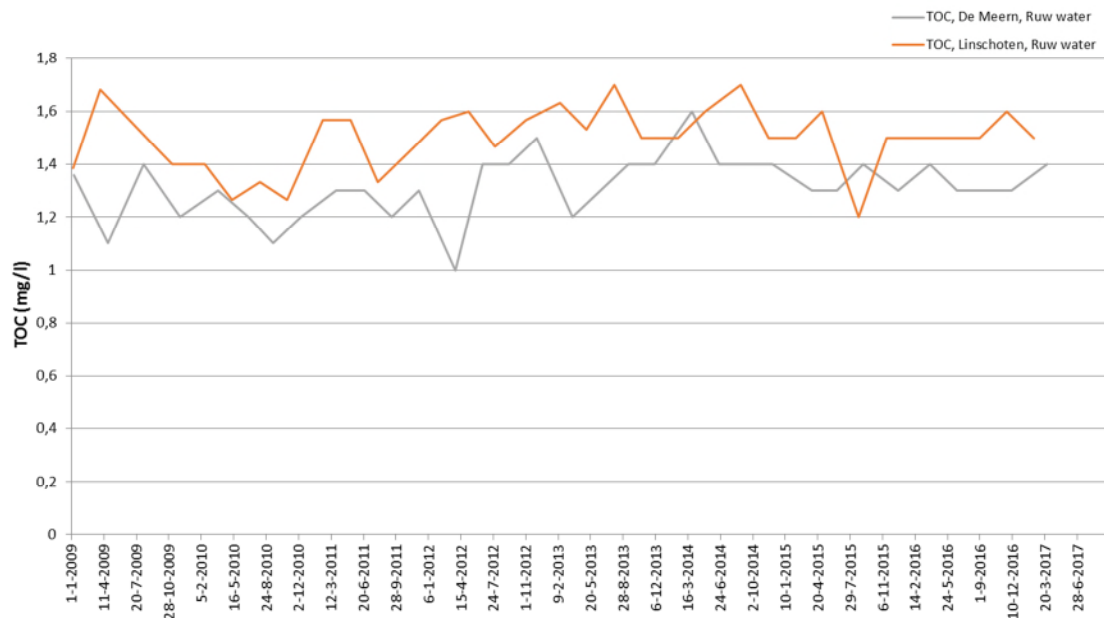


FIGUUR 4. FYSISCHE EN CHEMISCHE PARAMETERS IN WINPUTTEN 8, 9, 11 EN 12 VAN PS. DE MEERN.

### 3.2.2 Ruw water

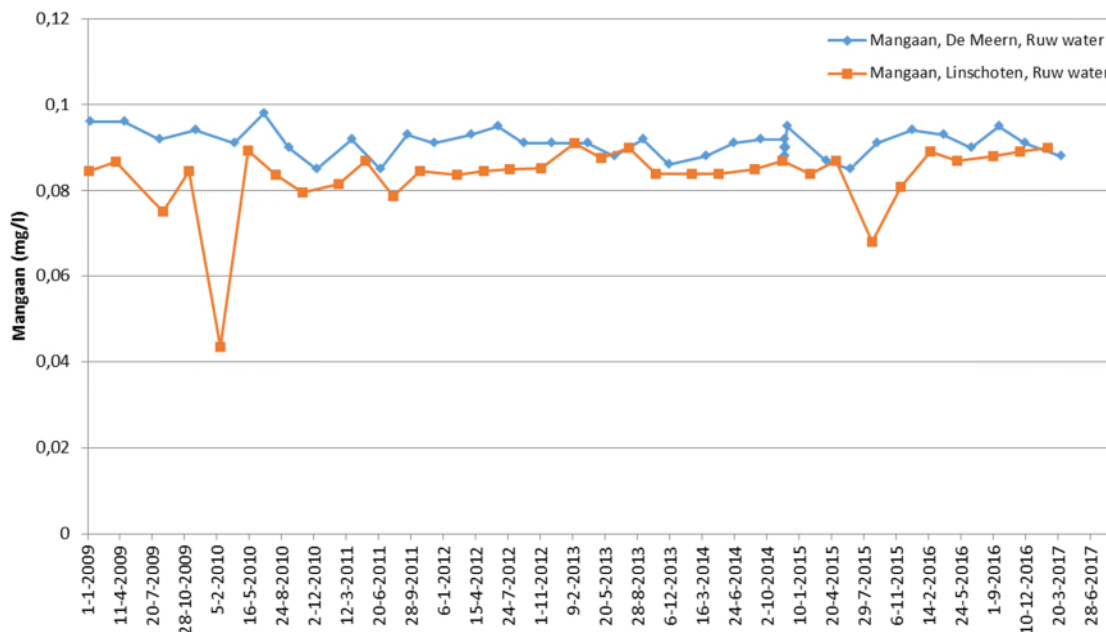
De chemische parameters ammonium, ijzer en mangaan zijn elke drie maanden in het ruwe water bepaald. De methaanconcentratie is slechts sporadisch bepaald. Het aantal KG22 bacteriën, de temperatuur, de pH, het TOC-gehalte en de zuurstofconcentratie zijn bij ps. De Meern in enkelvoud gemeten. Bij ps. Linschoten zijn deze parameters tot mei 2013 in drie strengen gemeten, daarna zijn de metingen op gezamenlijk ruw water uitgevoerd. Tot mei 2013 is het gemiddelde van de drie strengen berekend en weergegeven in de grafiek.

Het TOC-gehalte in het ruwwater van beide pompstations is vrij stabiel in de tijd (Figuur 5). Het ruw water van ps. Linschoten heeft over het algemeen een hoger TOC-gehalte dan het ruw water van ps. De Meern, maar de verschillen zijn klein (gemiddeld 1,5 vs 1,3 mg/l, Tabel 7).



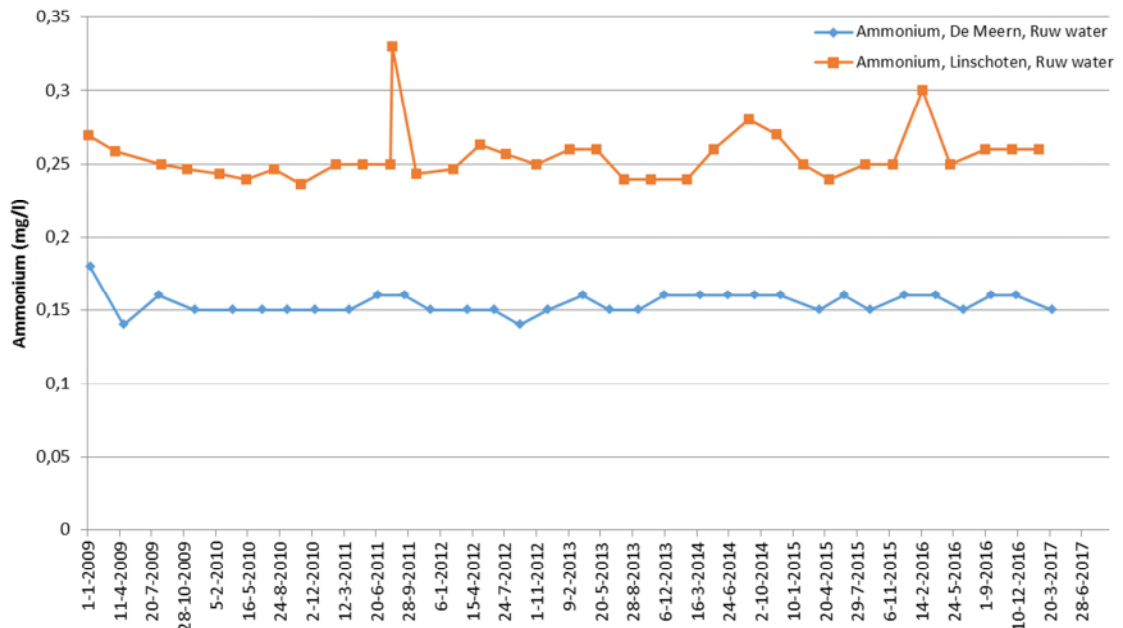
FIGUUR 5. TOC-GEHALTE IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

De mangaanconcentratie in het ruwwater verschilt weinig tussen beide pompstations. Bij ps. De Meern is de concentratie licht hoger dan bij ps. Linschoten (0,09 mg/l vs 0,08 mg/l; Figuur 6, Tabel 7).



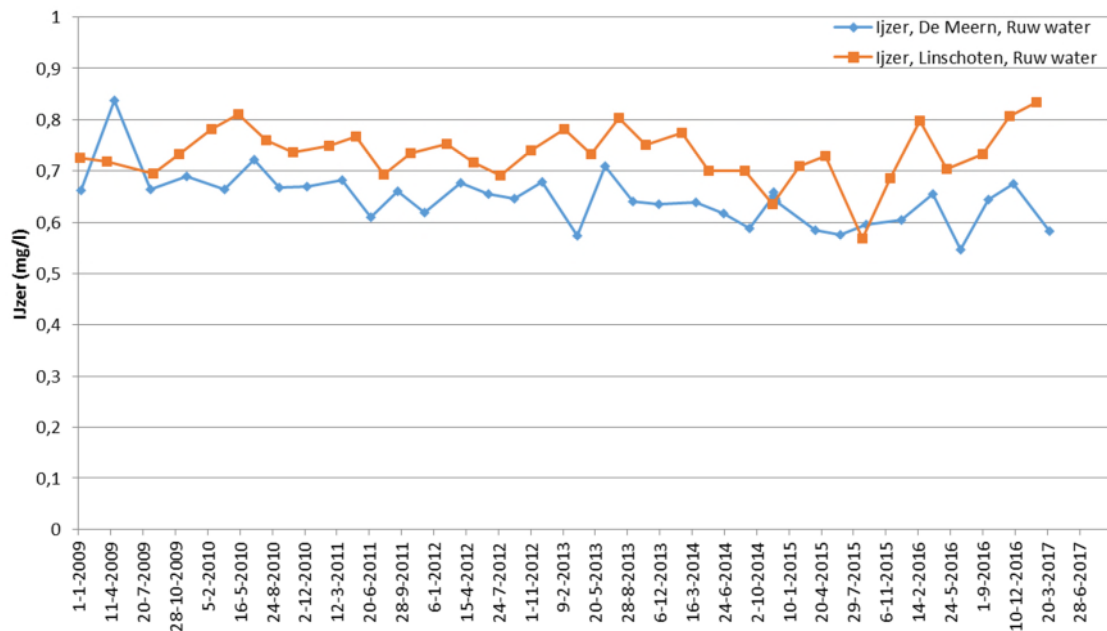
FIGUUR 6. MANGAANCONCENTRATIE IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

De ammoniumconcentratie is hoger bij ps. De Meern dan bij ps. Linschoten, respectievelijk gemiddeld 0,15 vs 0,25 mg/l (Figuur 7, Tabel 7). Bij ps. Linschoten zijn enkele uitschieters zichtbaar, bij ps. De Meern is de concentratie zeer stabiel in de tijd.



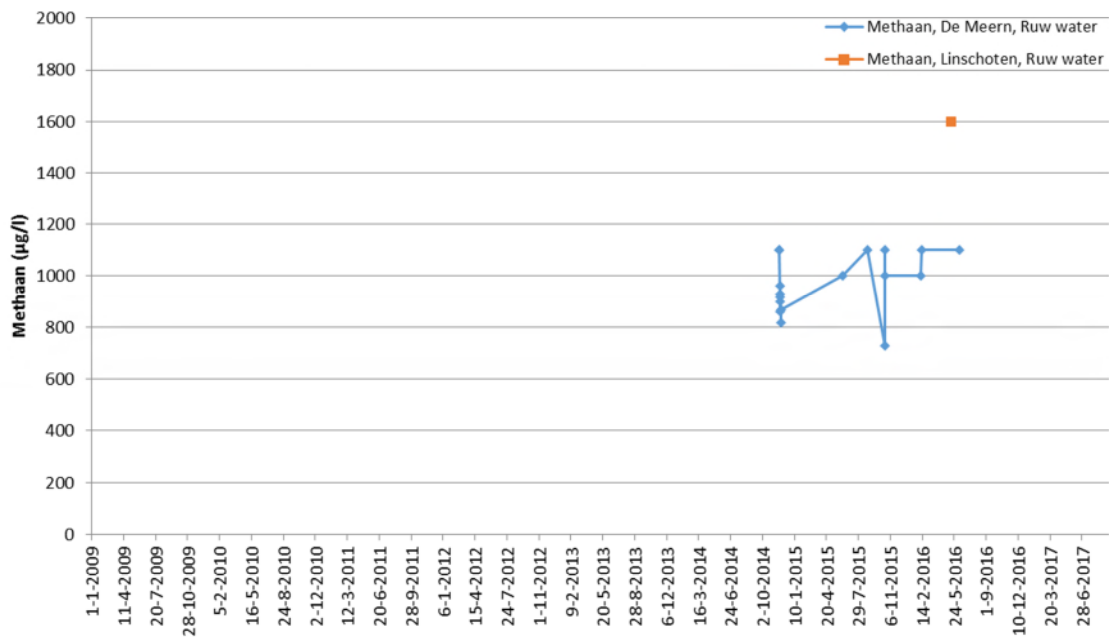
FIGUUR 7. AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

De gemiddelde ijzerconcentratie in het ruwwater is bij ps. De Meern iets lager dan in het ruwe water van ps. Linschoten, respectievelijk 0,65 vs 0,74 mg/l (Tabel 7, Figuur 8). Op beide locaties is de ijzerconcentratie relatief stabiel en zijn de fluctuaties beperkt.



FIGUUR 8. IJZERCONCENTRATIE IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

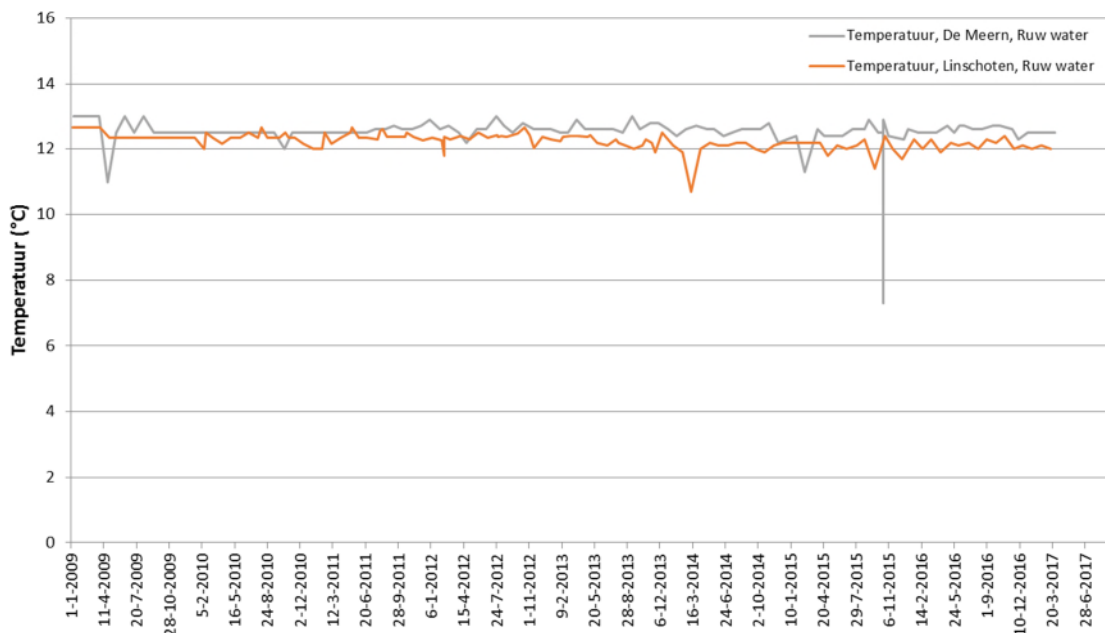
Methaan in het ruwe grondwater is zeer sporadisch gemeten, waardoor er geen betrouwbare conclusie kan worden getrokken over verschillen of overeenkomsten tussen ps. De Meern en ps. Linschoten (Tabel 7, Figuur 9). De eenmalig gemeten methaanconcentratie in het ruwwater van ps. Linschoten was wel hoger dan de gemeten methaanconcentraties in het ruwwater van ps. De Meern.



FIGUUR 9. METHAANCONCENTRATIE IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

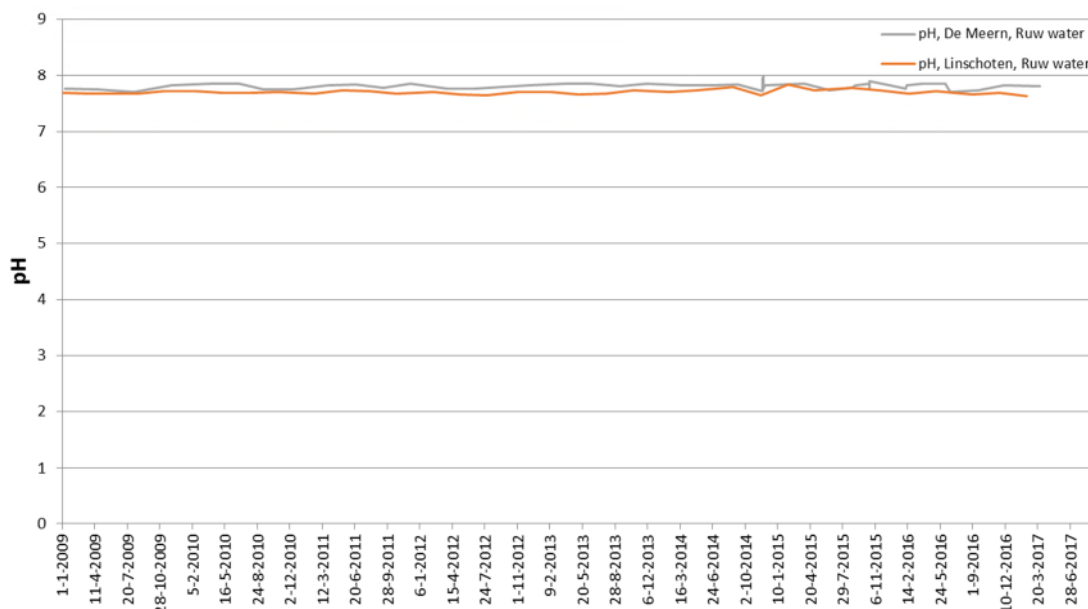
De temperatuur is bij beide pompstations stabiel en ligt over het algemeen tussen de 12°C en 13°C (Figuur 10, Tabel 7).





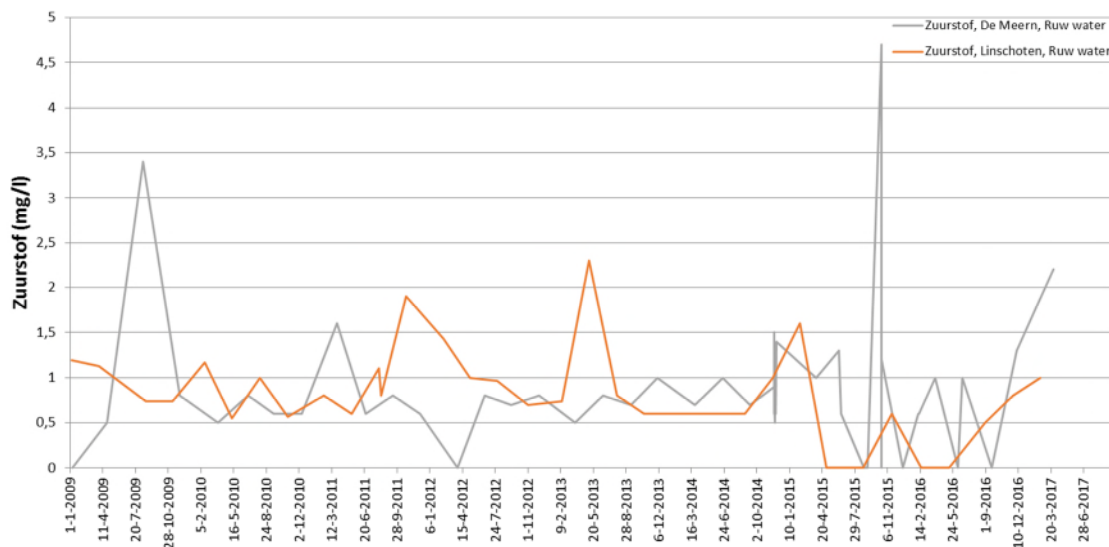
FIGUUR 10. TEMPERATUUR IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

De pH van het ruwe water is voor beide pompstations stabiel en verschilt vrijwel niet tussen beide pompstations (Figuur 11, Tabel 7).



FIGUUR 11. PH IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

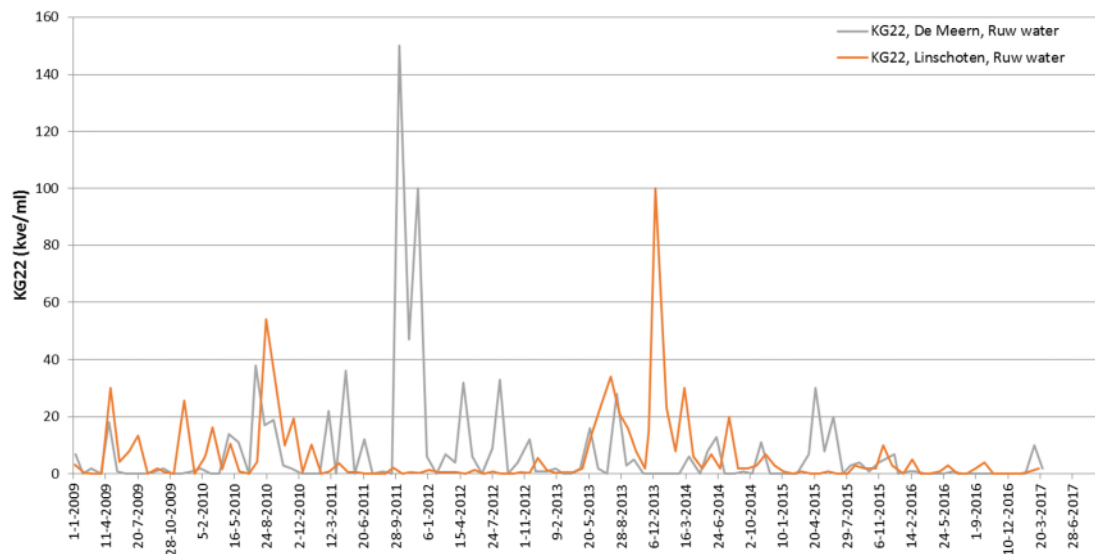
Het zuurstofgehalte in het ruwe water van beide pompstations fluctueert sterk tussen de 0 en 4,7 mg/l (Figuur 12), maar is gemiddeld 0,9 mg/l l voor ps. De Meern en ps. Linschoten (Tabel 7).



FIGUUR 12. ZUURSTOFGEHALTE IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

*Aeromonas* is afwezig in het ruwe water van ps. De Meern, van ps. Linschoten zijn geen gegevens beschikbaar. De grafieken zijn daarom niet weergegeven in dit rapport.

De gemiddelde KG22-aantallen in het ruwwater zijn bij ps. De Meern hoger dan bij ps. Linschoten (7,6 vs 5,5 kve/ml), maar het verschil is beperkt (Figuur 13, Tabel 7). In oktober 2011 is er een KG22-piek in het ruwwater van ps. De Meern waargenomen en in december 2013 bij ps. Linschoten. Deze piek is niet gelinkt aan andere veranderingen in het ruwe water. De KG22-aantallen lijken in de laatste 1 - 1,5 jaar lager te worden in het ruwwater van beide pompstations.



FIGUUR 13. KG22 AANTALLEN IN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN

De gemiddelden en standaarddeviatie van de microbiologische, chemische en fysische parameters van het ruwe water van ps. De Meern en ps. Linschoten in de periode 2009 – 2016 zijn weergegeven in Tabel 7.

TABEL 7. GEMIDDELTE EN STANDAARDDEVIATIE VAN MICROBIOLOGISCHE, CHEMISCHE EN FYSISCHE PARAMETERS VAN HET RUWE WATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN IN DE PERIODE 2009 – 2016.

	De Meern		Linschoten	
	Gemiddelde	SD	Gemiddelde	SD
<i>Aeromonas</i> (kve/100 ml)	<10	-	gg	gg
Ammonium (mg/l)	0,15	0,01	0,25	0,02
Ijzer (mg/l)	0,65	0,05	0,74	0,06
KG22 (kve/ml)*	7,6	6,2	5,5	15,0
Mangaan (mg/l)	0,09	0	0,08	0,01
Methaan (mg/l)	976	116	1600	-
Temperatuur (°C)	12,5	0,6	12,3	0,3
TOC (mg/l)	1,3	0,1	1,5	0,1
pH	7,8	0,06	7,7	0,04
Zuurstof (mg/l)**	0,9	0,8	0,9	0,6

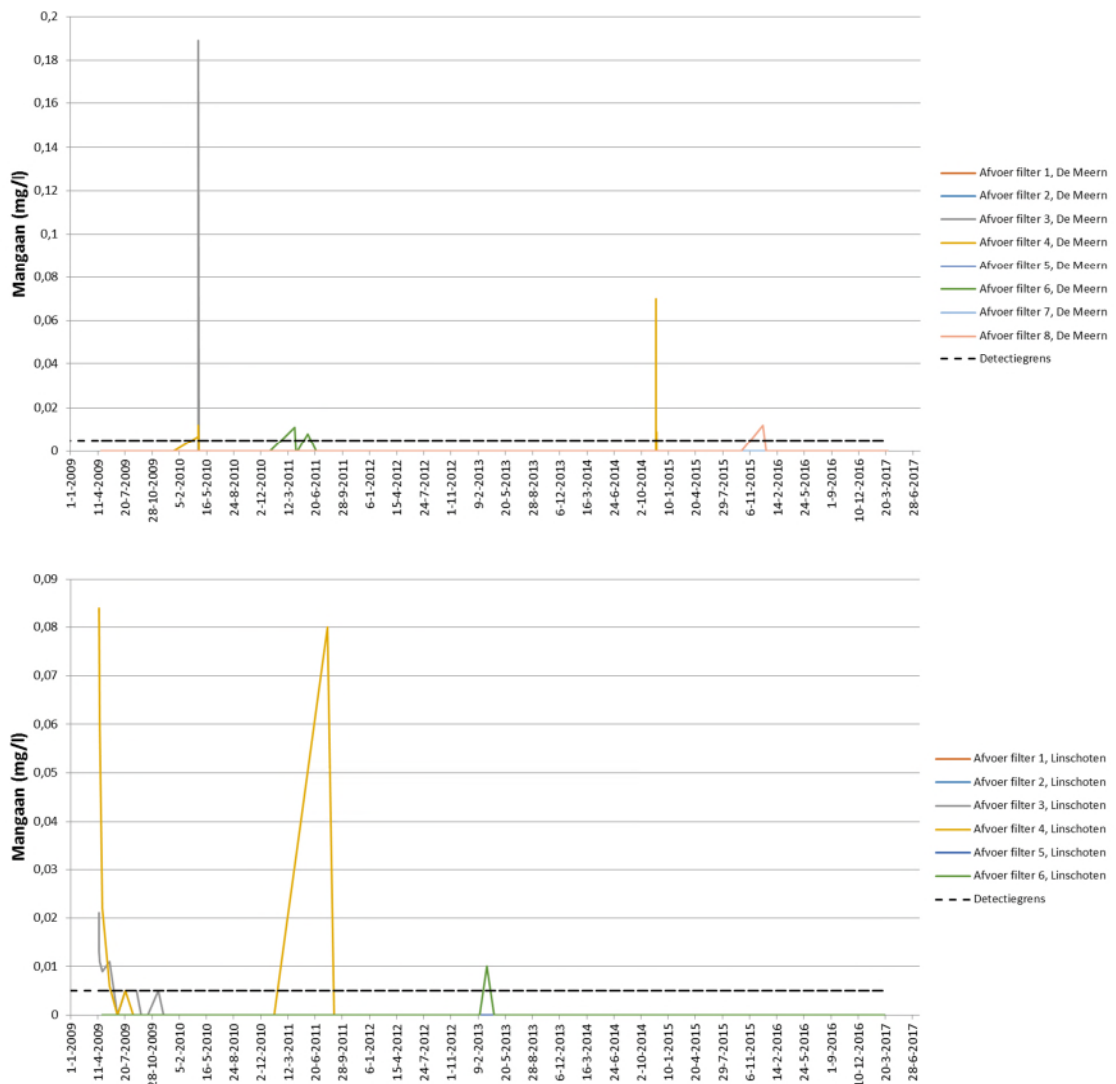
gg: geen gegevens. \*: Voor de berekening van het gemiddelde en de SD zijn de monsters met een waarde van <1 kve/ml op '0' gesteld. \*\*: Voor de berekening van het gemiddelde en de SD is van de monsters met een '<'-waarde, de helft van de detectiegrens als waarde gebruikt.

Voor geen van de hierboven genoemde parameters in het ruwe water lijkt er een verband te zijn met de stijging van *Aeromonas*-aantallen in het rein water rond juni 2011.

### 3.2.3 Filters

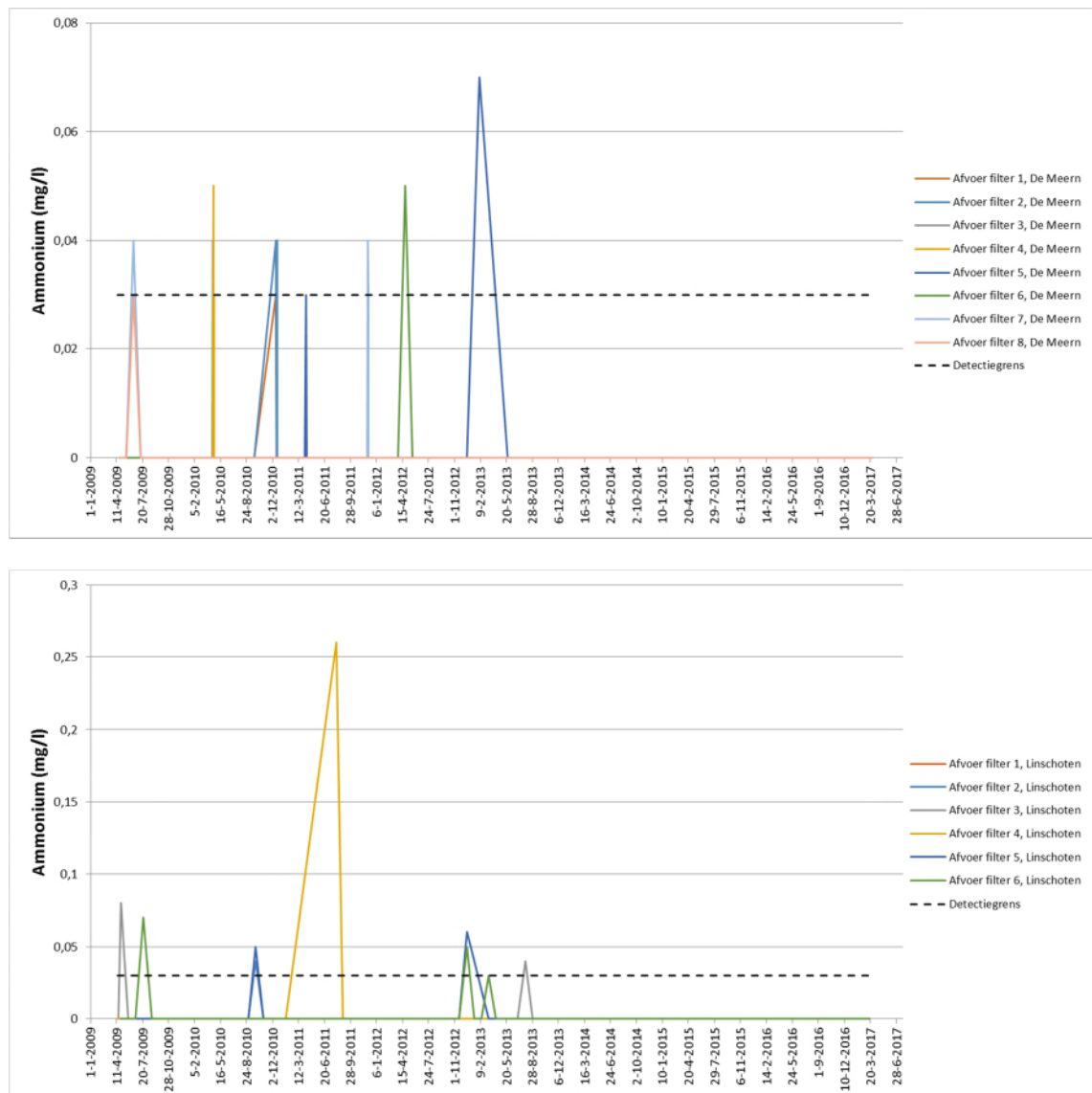
Van beide pompstations wordt in het effluent van elk individueel filter een aantal chemische, microbiologische en fysische parameters bepaald. De meetfrequentie verschilt per parameter, maar is meestal 1x per maand.

Mangaan is afwezig in het effluent van de individuele filters van beide pompstations (Figuur 14). Er zijn slechts enkele metingen waarbij de mangaanconcentratie boven de detectiegrens komt. De pieken op beide locaties (16 april 2010 en 26 november 2014 voor ps. De Meern en 4 augustus 2011 voor ps. Linschoten) komen overeen met pieken in de ijzer- en/of ammoniumconcentratie. Mogelijk zijn deze watermonster vrij snel na het in gebruik nemen van de filters na een filterspoeling genomen en is de verwijdering van deze stoffen nog niet optimaal.



FIGUUR 14. MANGAANCONCENTRATIE IN HET EFFLUENT VAN ELK INDIVIDUEEL FILTER IN DE MEERN (BOVEN) EN LINSCHOTEN (ONDER).

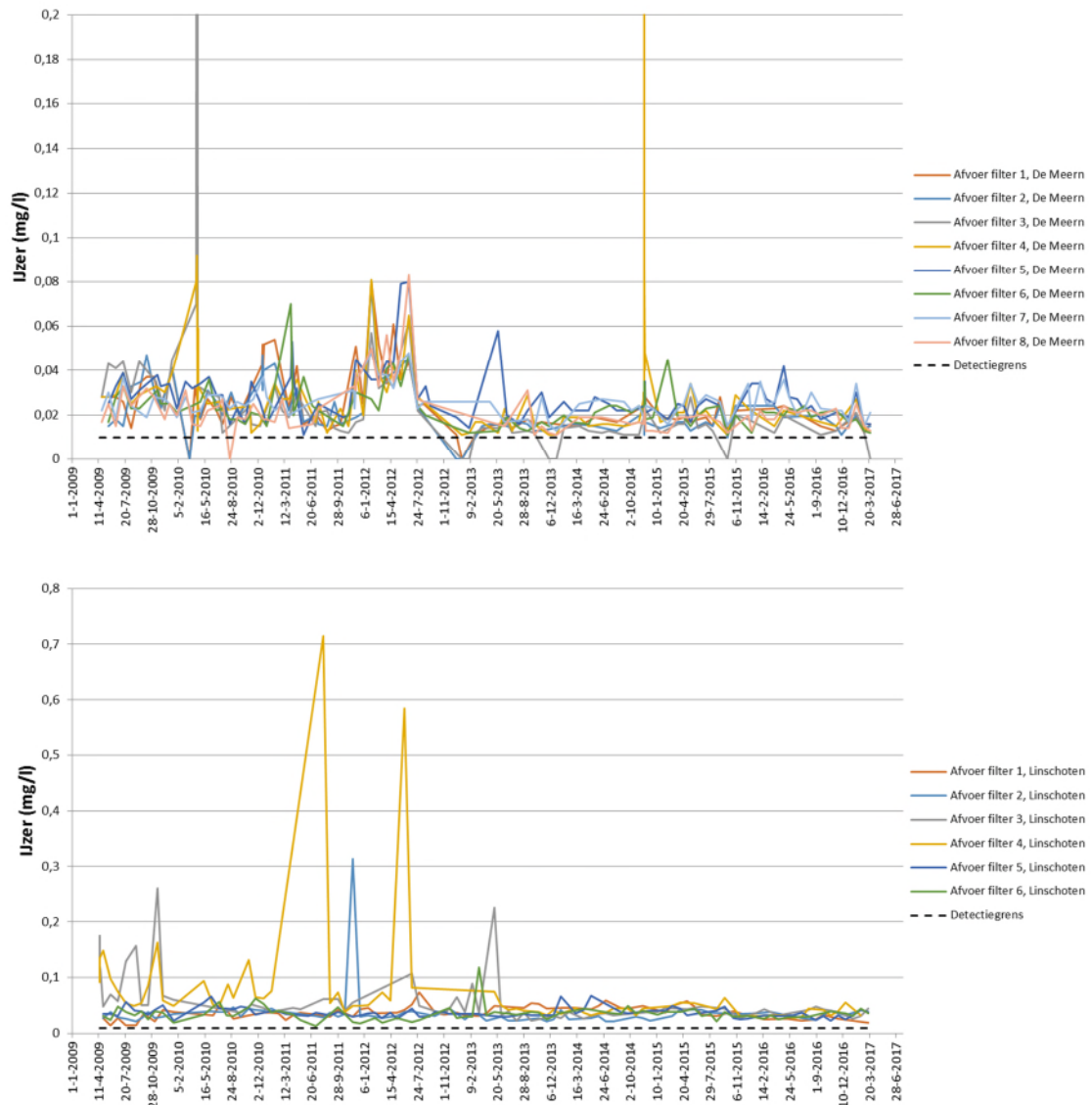
De ammoniumconcentratie in het effluent van de filters ligt voor beide pompstations bijna altijd onder de detectiegrens (Figuur 15). In beide pompstations is ammonium incidenteel aanwezig in het filter effluent, maar dit is niet gekoppeld aan één filter. De pieken zijn ongeveer even hoog, 0,03 - 0,07 mg/l, op één piek na bij ps. Linschoten op 4 augustus 2011. Na de zomer van 2013 is de ammoniumconcentratie bij elke meting onder de detectiegrens (0,03 mg/l). Rond de start van de verhoogde *Aeromonas*-aantallen bij ps. De Meern zijn geen opvallende ammoniumresultaten zichtbaar.



FIGUUR 15. AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET EFFLUENT VAN ELK INDIVIDUEEL FILTER IN DE MEERN (BOVEN) EN LINSCHOTEN (ONDER)

Ijzer wordt niet geheel verwijderd tijdens beluchting en snelfiltratie, waardoor de concentratie in het effluent van de filters bij beide pompstations vlak boven de detectiegrens van 0,01 mg/l is (Figuur 16). De concentratie in het snelfiltraat van ps. De Meern is vrij stabiel. Uitzondering is de periode oktober 2011 – juli 2012, waarbij in het effluent van alle filters een twee tot acht maal hogere ijzerconcentratie aanwezig is. Na deze periode is de ijzerconcentratie weer op het normale, lage, niveau. De stijging van het ijzergehalte begint net nadat hogere *Aeromonas*-aantallen in het rein water worden aangetroffen.

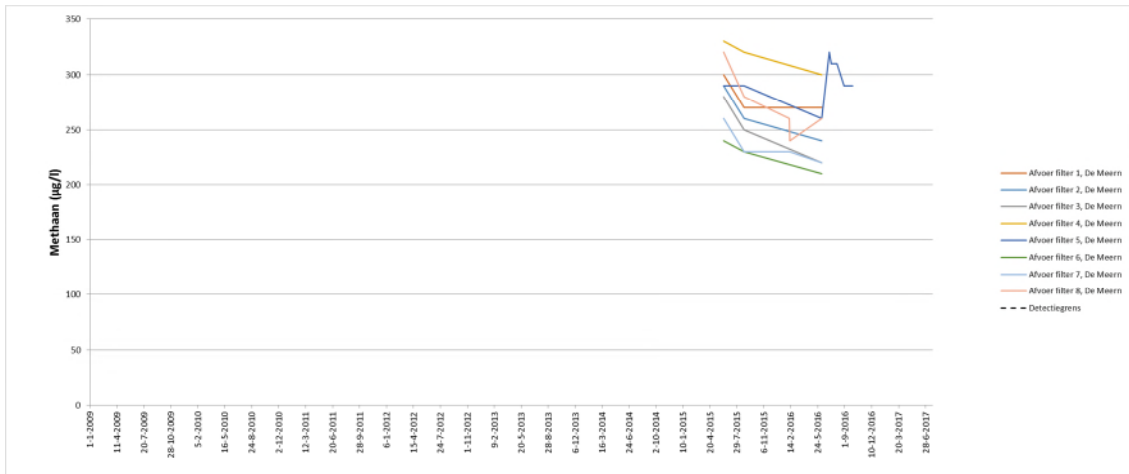
In Linschoten ligt de ijzerconcentratie in het snelfiltraat hoger dan in De Meern en zijn meer pieken zichtbaar. Dit zijn echter geïsoleerde metingen in enkele filters waarbij geen trend zichtbaar is. Mogelijk zijn deze watermonster vrij snel na de ingebruikname van de filters na een filterspoeling genomen en is de ijzerverwijdering nog niet optimaal.



FIGUUR 16. IJZERCONCENTRATIE IN HET EFFLUENT VAN ELK INDIVIDUEEL FILTER IN DE MEERN (BOVEN) EN LINSCHOTEN (ONDER).

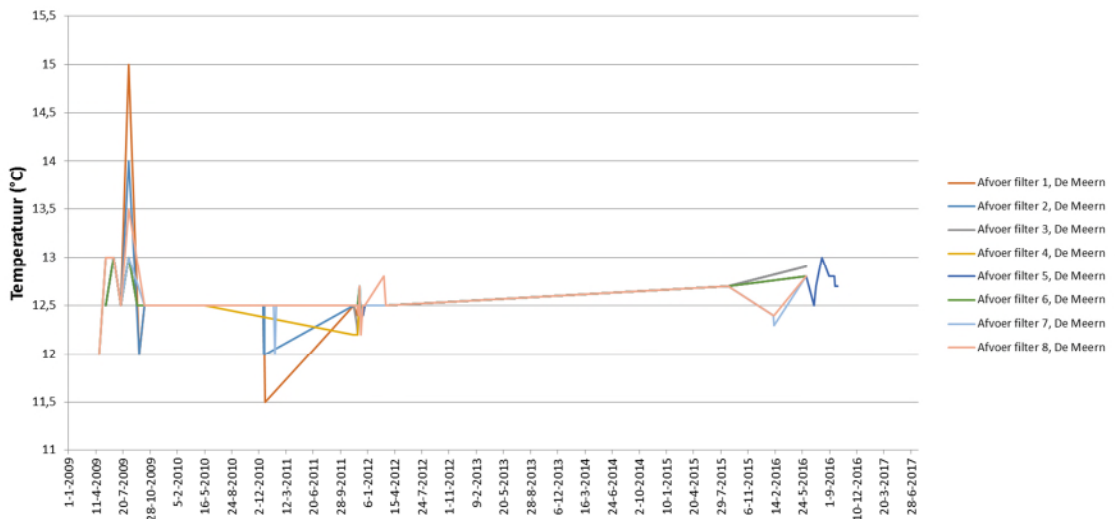
De methaanconcentratie is zeer weinig gemeten in het effluent van de filters (Figuur 17). Uit de beperkte gegevens van ps. De Meern blijkt wel dat er in het effluent nog 210 – 330 µg/l methaan aanwezig is (gemeten in 2015 en 2016). De naam van het monsterpunt doet vermoeden dat dit watermonster genomen is op het eerste kraantje in het filterbed, waardoor de micro-organismen in het filter nog geen tijd hebben gehad om het methaan om te zetten. Uit deze beperkte resultaten is wel duidelijk dat de beluchtingsstap niet optimaal is en niet alle methaan uit het water verwijdert. Er zijn geen resultaten beschikbaar van rond

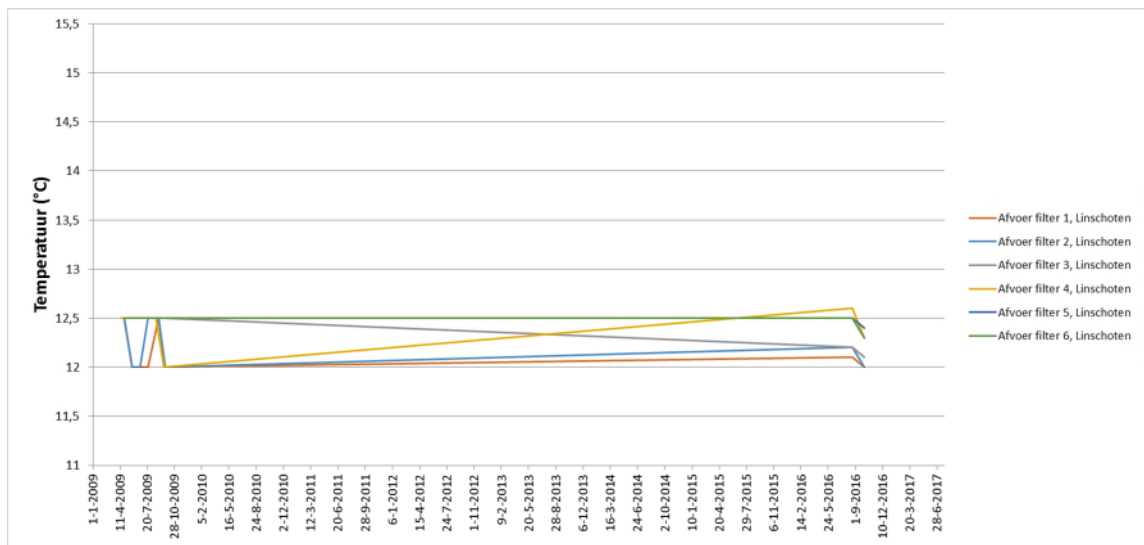
de periode dat *Aeromonas* sterk toeneemt in het reinwater. Van ps. Linschoten zijn geen gegevens beschikbaar.



FIGUUR 17. METHAANCONCENTRATIE IN HET EFFLUENT VAN ELK INDIVIDUEEL FILTER IN DE MEERN (BOVEN) EN LINSCHOTEN (ONDER).

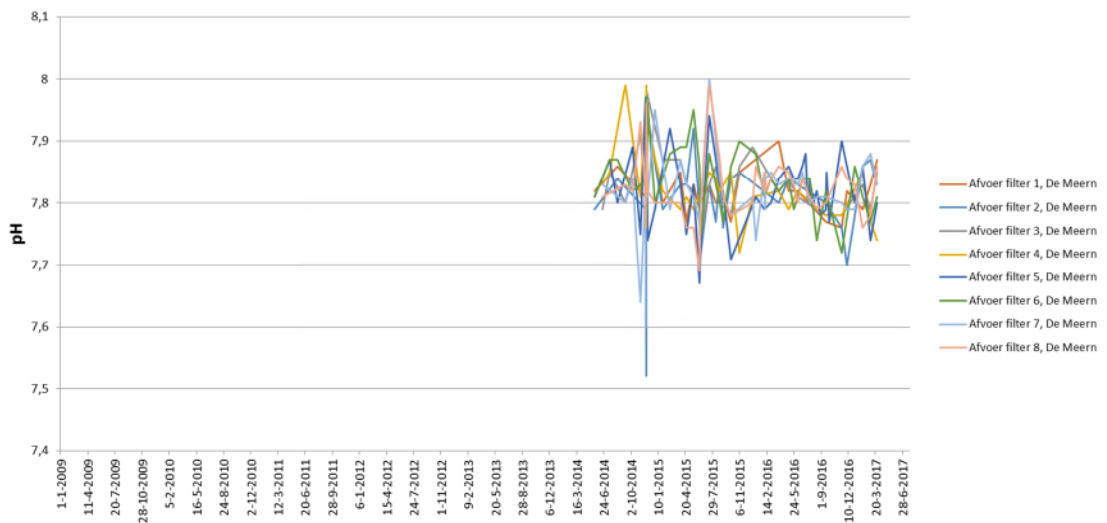
De temperatuur in het effluent van de filters is zeer sporadisch gemeten op beide pompstations, maar de temperaturen lijken overeen te komen (Figuur 18).





FIGUUR 18. TEMPERAATUUR IN HET EFFLUENT VAN ELK INDIVIDUEEL FILTER IN DE MEERN (BOVEN) EN LINSCHOTEN (ONDER).

De pH wordt sinds juni 2014 gemeten en is stabiel in het water na filtratie van ps. De Meern en laat een dalende trend zien voor ps. Linschoten (Figuur 19). Omdat er geen metingen zijn van de periode waarin voor het eerst hogere *Aeromonas*-aantallen zijn aangetroffen, kan niets gezegd worden over een eventuele relatie tussen de pH en *Aeromonas*.



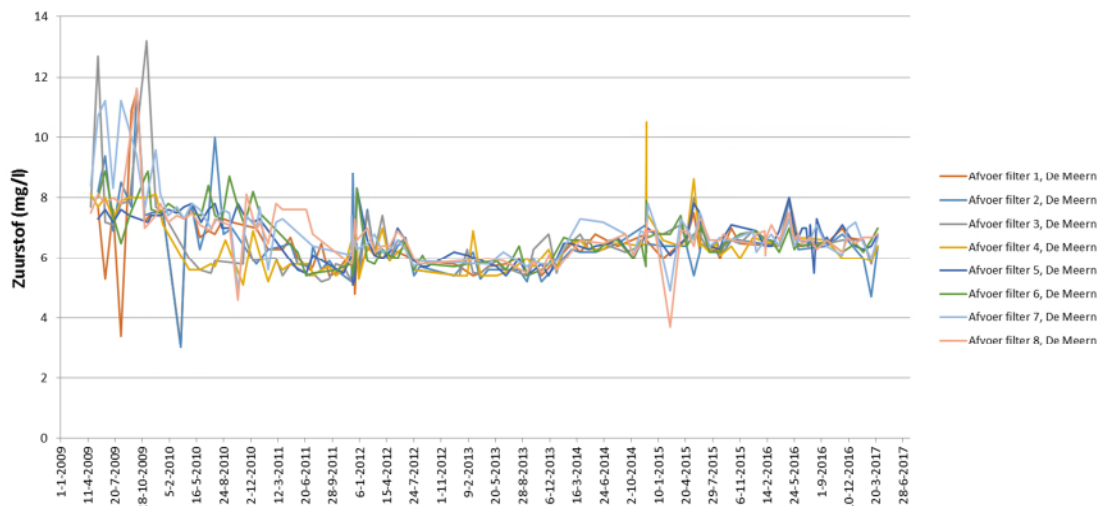


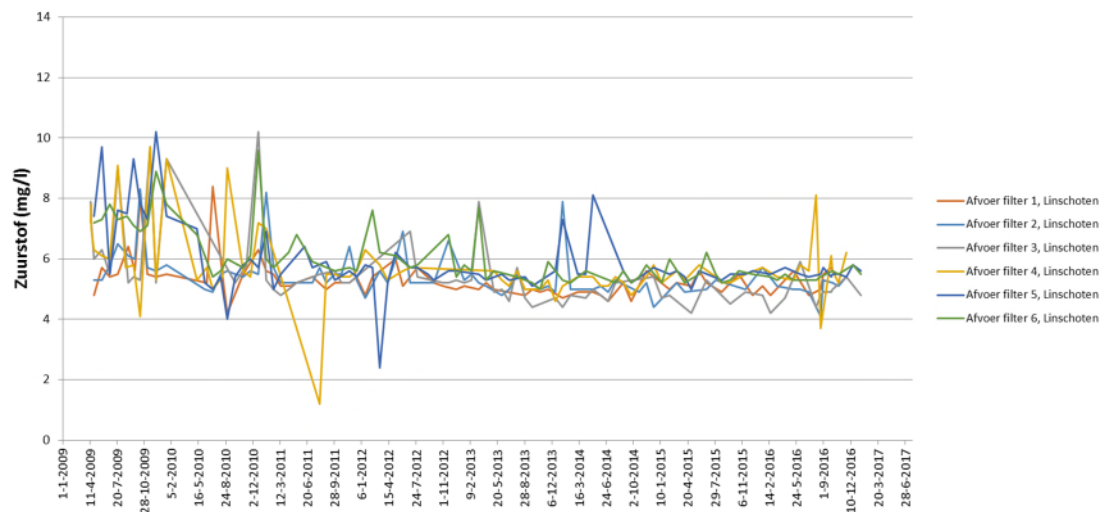


FIGUUR 19. PH IN HET EFFLUENT VAN ELK INDIVIDUEEL FILTER IN DE MEERN (BOVEN) EN LINSCHOTEN (ONDER).

Het zuurstofgehalte in het effluent van de filters fluctueert bij ps. De Meern. In 2009 verschilt het zuurstofgehalte sterk per filter, vanaf 2010 naderen de concentraties elkaar en neemt de concentratie van alle filters af tot 5,5 – 6 mg/l in december 2011 (Figuur 20). Na een korte verhoging tot ongeveer 8 mg/l in januari 2012, daalde de concentratie in een jaar tot 5,5 – 6 mg/l, wat stabiel bleef tot begin 2014. Sindsdien is het gehalte licht gestegen en stabiel rond de 6,5 – 7 mg/l. Er zijn geen veranderingen zichtbaar die de hogere *Aeromonas*-aantallen vanaf juli 2011 kunnen verklaren.

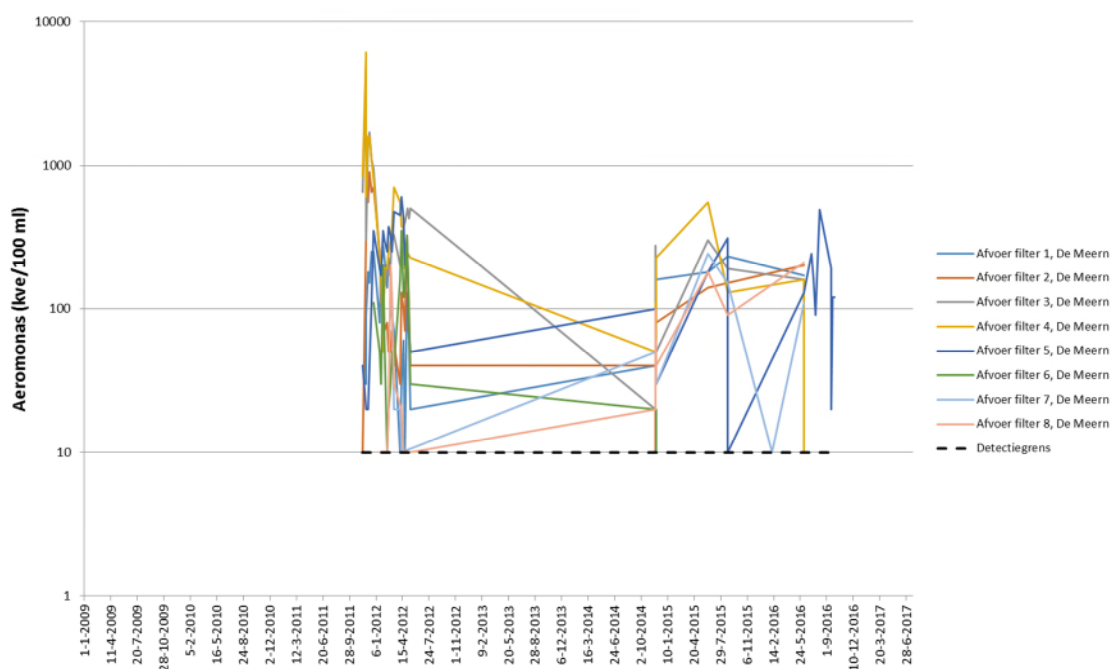
Bij ps. Linschoten varieerde de zuurstofconcentratie in het effluent water ook sterk per filter tot februari 2011. Daarna zijn de zuurstofconcentraties gelijkjer aan elkaar en is deze stabiel rond de 5,5 mg/l.





FIGUUR 20. ZUURSTOFGEHALTE IN HET EFFLUENT VAN ELK INDIVIDUEEL FILTER IN DE MEERN (BOVEN) EN LINSCHOTEN (ONDER).

Het aantal *Aeromonas*-bacteriën in het effluent van de individuele filters van ps. De Meern is slechts sporadisch bepaald, bij ps. Linschoten zijn deze metingen niet uitgevoerd. Bij ps. De Meern zijn wekelijkse metingen uitgevoerd in de periode november 2011 – mei 2012, enkele maanden na de toename van het *Aeromonas*-aantal in het reinwater. Doordat er geen metingen zijn gedaan voor de *Aeromonas*-toename, kan de dynamiek en stijging van de *Aeromonas*-aantallen per filter niet in kaart worden gebracht. In de daaropvolgende jaren is minder frequent gemeten. De spreiding in het *Aeromonas*-aantal in het effluent is groot en enkele malen wordt de norm van 1000 kve/100 ml overschreden (<10 - 6100 kve/100 ml). De meeste metingen liggen echter tussen de 10 en 1000 kve/100 ml.



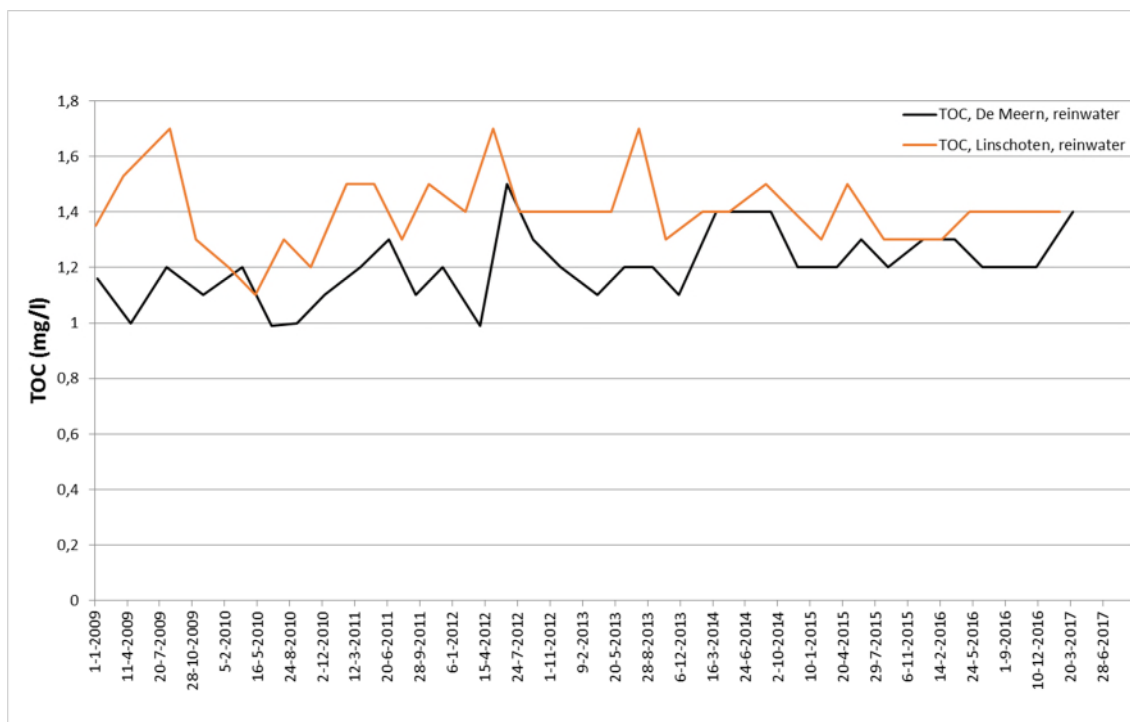
FIGUUR 21. *AEROMONAS*-AANTALLEN IN HET EFFLUENT VAN ELK INDIVIDUEEL FILTER BIJ PS. DE MEERN

Waardes voor KG22 per filter zijn nauwelijks beschikbaar (in totaal 3-9 metingen per filter) en zijn daarom niet in een grafiek weergegeven. Voor ps. De Meern liggen de waardes tussen de <1 en 475 kve/ml, bij ps. Linschoten tussen de 55 en 350 kve/ml.

### 3.2.4 Reinwater

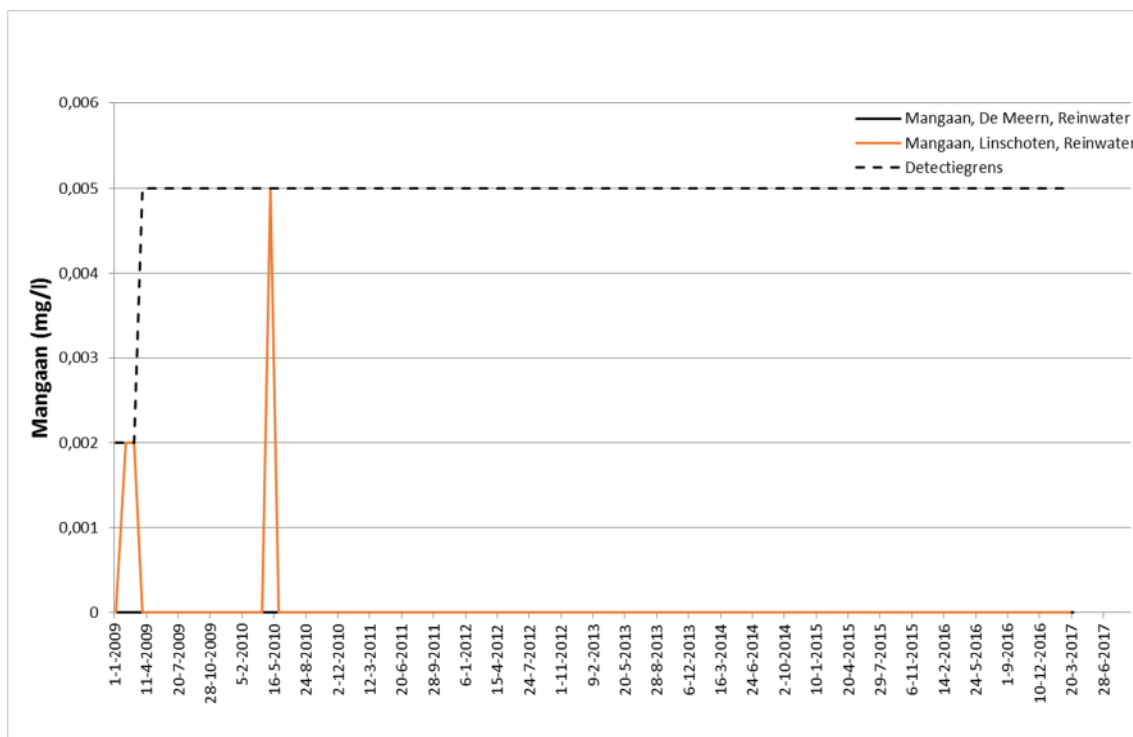
In het uitgaande reinwater worden de parameters wekelijks (pH, zuurstof, temperatuur, KG22, *Aeromonas*), maandelijks (mangaan, ijzer, ammonium, *Aeromonas*) of elke drie maanden (TOC) gemeten.

Het TOC-gehalte in het reinwater fluctueert rond de 1,4 mg/l voor ps. Linschoten en 1,2 mg/l voor ps. De Meern (Figuur 22).



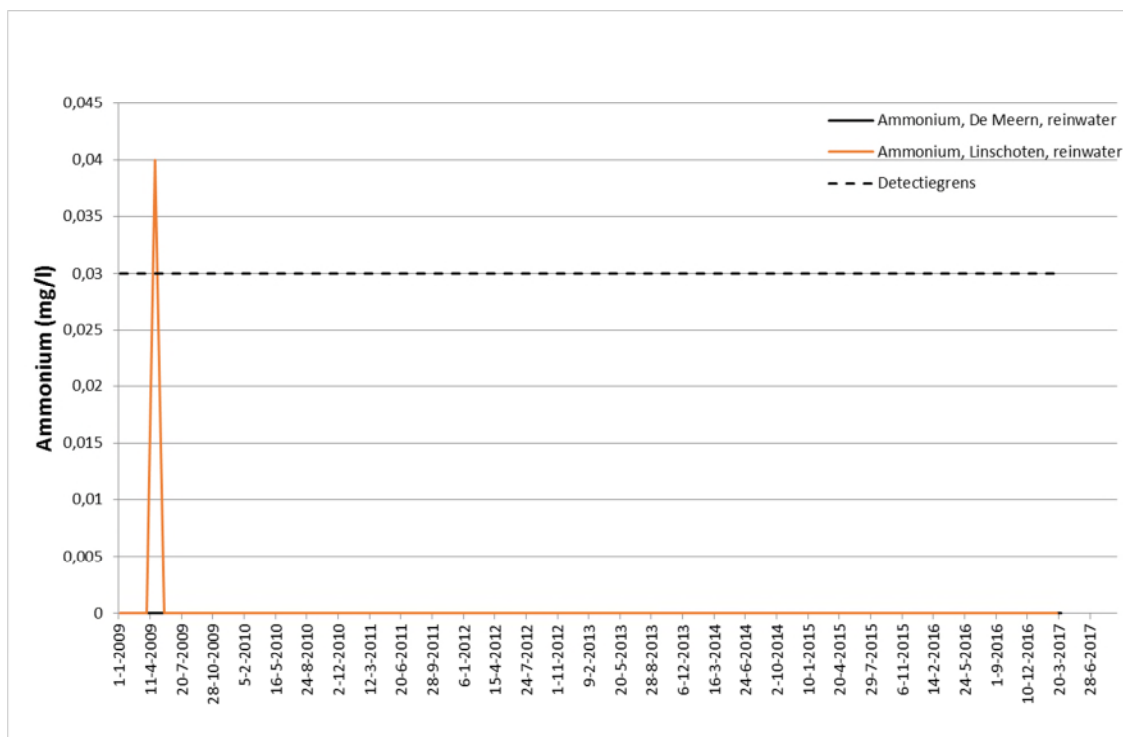
FIGUUR 22. TOC-GEHALTE IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

De mangaanconcentratie ligt in het reinwater van beide locaties, op een enkele uitzondering na, onder de detectiegrens (Figuur 23).



FIGUUR 23. MANGAANCONCENTRATIE IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

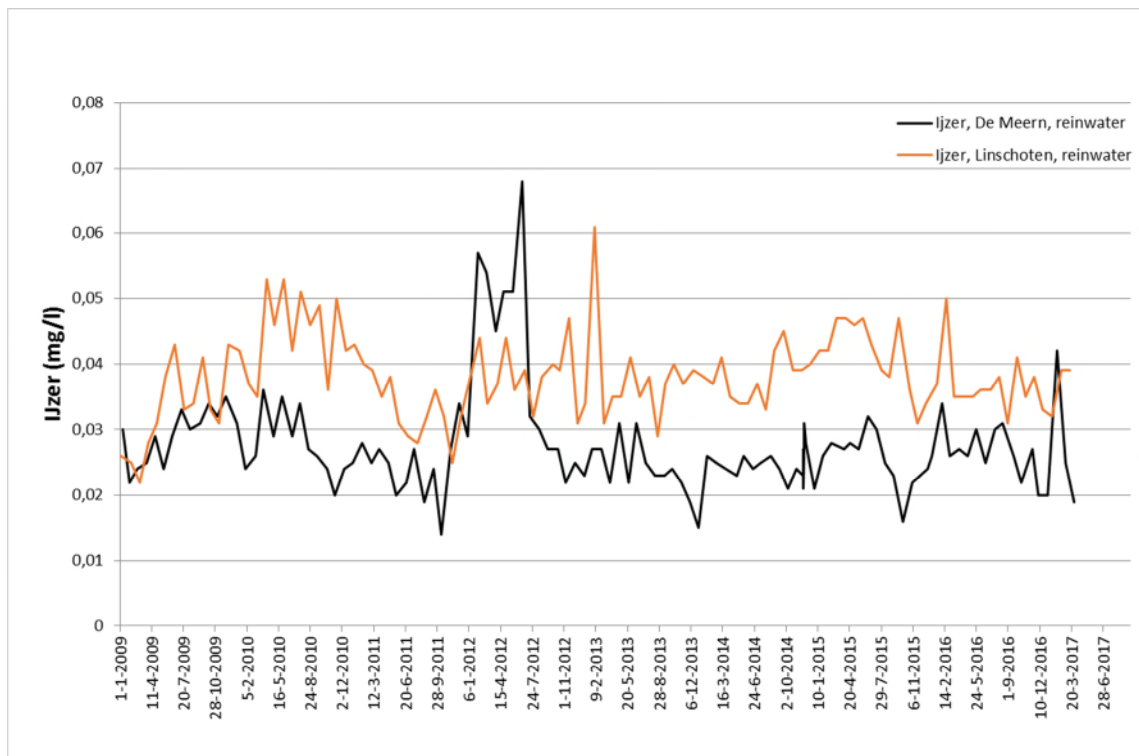
De ammoniumconcentratie ligt, op uitzondering van één meetpunt bij ps. Linschoten, in het reinwater van beide locaties onder de detectiegrens (Figuur 24).



FIGUUR 24. AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

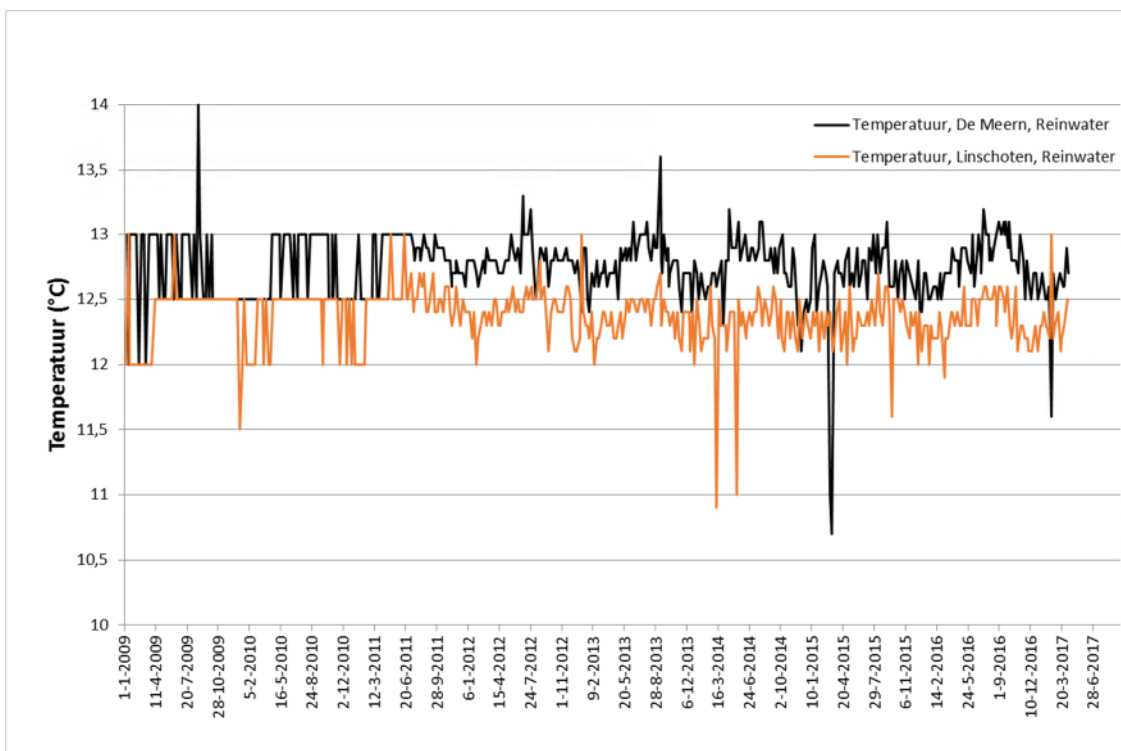
De ijzerconcentratie is voor beide locaties vrij stabiel en is over het algemeen hoger in het reinwater van ps. Linschoten dan van ps. De Meern, al zijn de verschillen klein (Figuur 25). De incidentele pieken in ijzerconcentratie die in het effluent van de individuele filters zichtbaar zijn (Figuur 16), zijn niet terug te zien in het reinwater. Aangezien de watermonsters van het effluent en het reinwater niet op dezelfde dag zijn genomen, is dit niet opmerkelijk.

De langdurig verhoogde ijzerconcentratie bij ps. De Meern in de periode oktober 2010 – augustus 2011 komt overeen met de verhoging die in het effluent zichtbaar is (Figuur 16). Ondanks dat de ijzerconcentratie in deze periode hoger is dan normaal, is deze slechts licht hoger dan concentraties die normaal zijn voor ps. Linschoten.



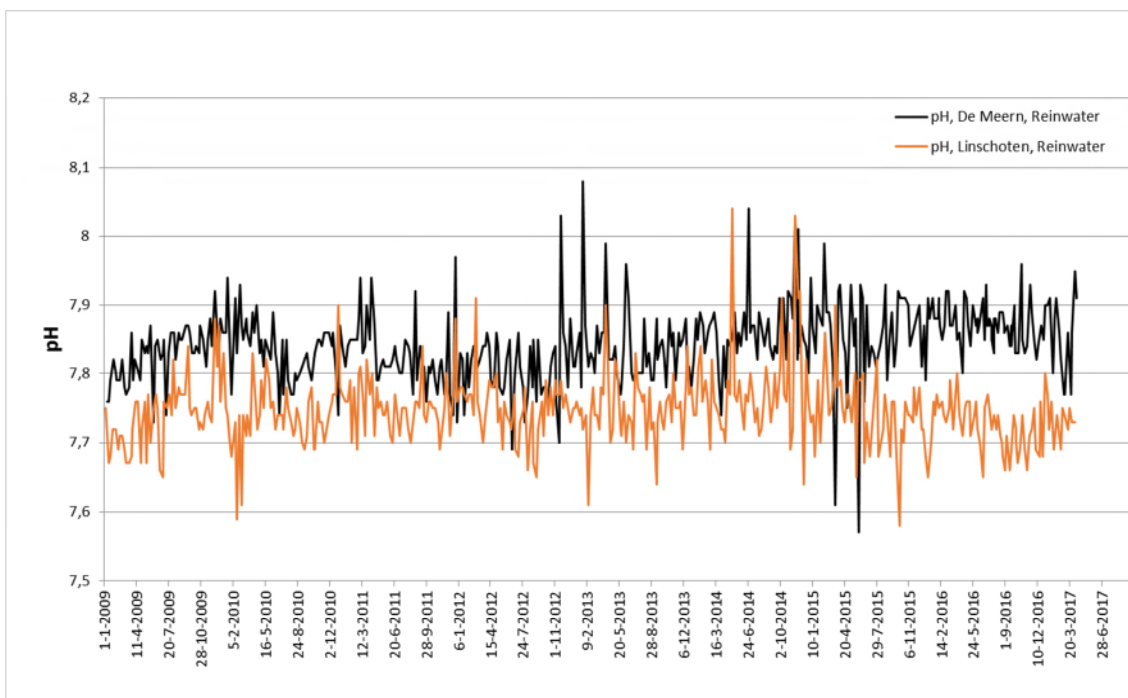
FIGUUR 25. IJZERCONCENTRATIE IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

De temperatuur van het reinwater is stabiel rond de 12 - 13°C (Figuur 26). Bij ps. De Meern is wel een seizoenscyclus zichtbaar, waarbij de watertemperatuur in de zomer 0,3 - 0,4°C hoger ligt dan in de winter. De temperatuur bij ps. Linschoten ligt ongeveer 0,5°C lager dan bij ps. De Meern en volgt ook een seizoenscyclus.



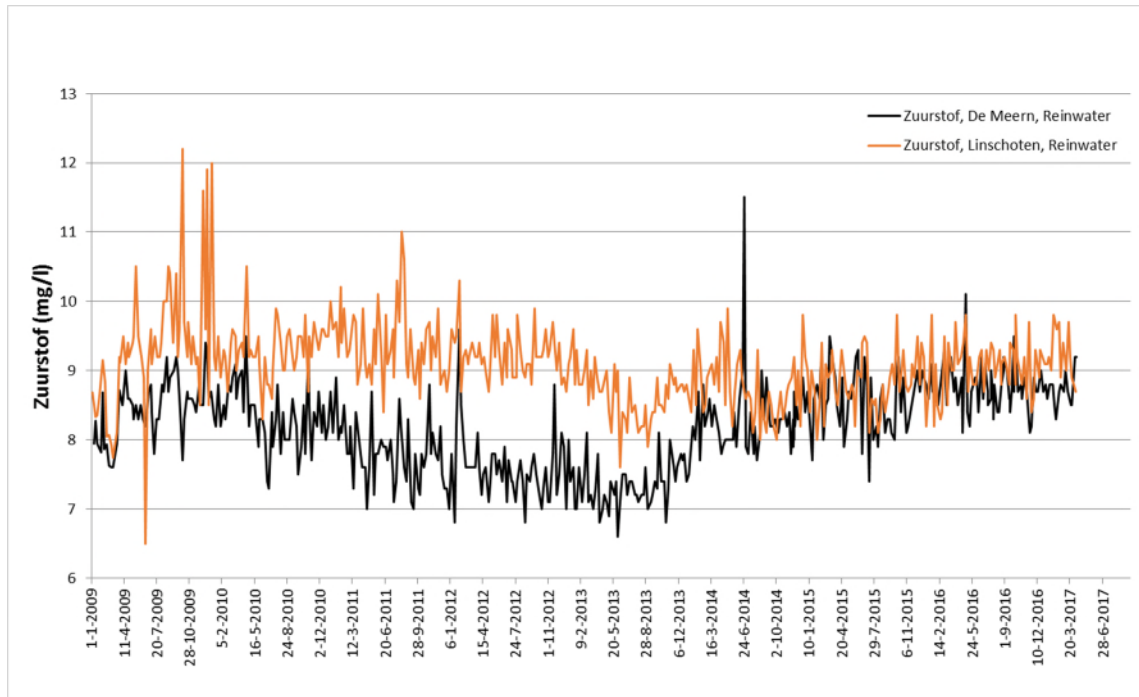
FIGUUR 26. TEMPERAATUUR IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

De zuurgraad van het reinwater van beide pompstations is stabiel rond een pH van 7,7 - 7,9 (Figuur 27). Het reinwater van ps. De Meern heeft over het algemeen een licht hogere pH.



FIGUUR 27. PH IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

Tot 2014 verschilden de zuurstofgehalte van beide pompstations van elkaar met 1 - 1,5 mg/l (Figuur 28). Daarna naderen de concentraties elkaar en lijken deze licht te stijgen van 8,5 naar 9 mg/l. De stijging vanaf 2014 komt overeen met het zuurstofgehalte in het effluent van de filters (Figuur 20).

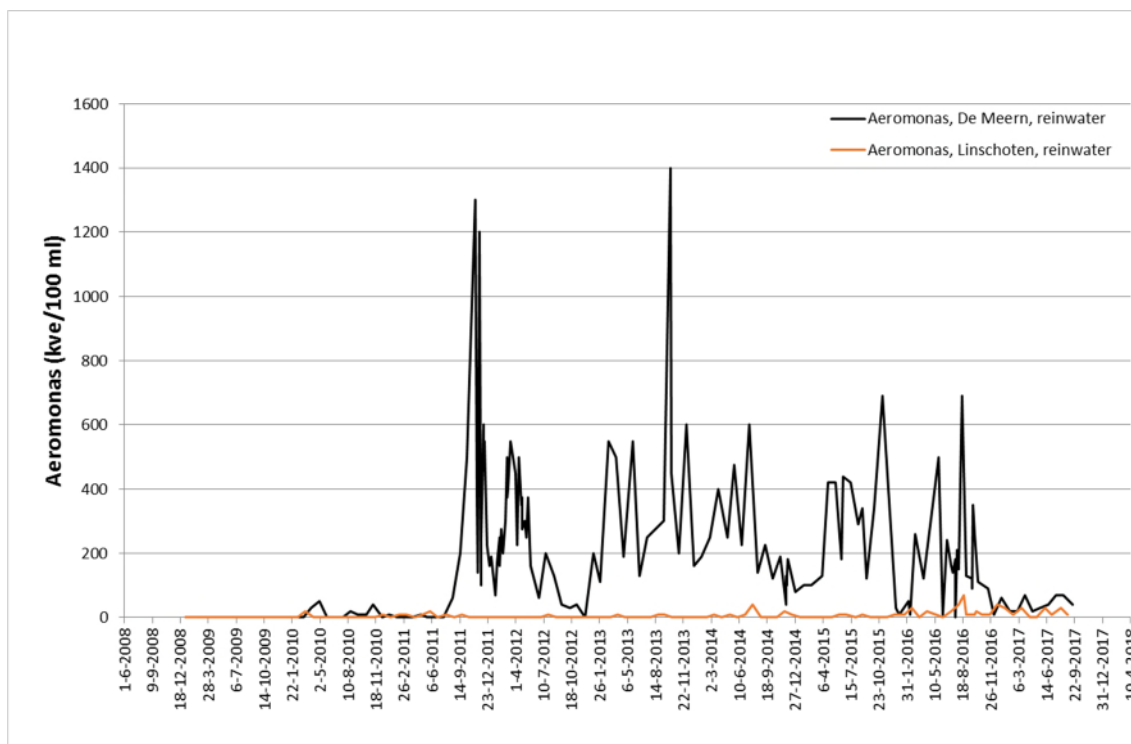


FIGUUR 28. ZUURSTOFGEHALTE IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

In Figuur 29 is duidelijk de stijging van het *Aeromonas*-aantal in het reinwater bij ps. De Meern zichtbaar. Vanaf 19 augustus 2011 stijgen de *Aeromonas*-aantallen snel tot 1300 kve/100 ml waarna de aantallen ook weer dalen. De aantallen liggen meestal tussen de 0 en 600 kve/100 ml, met pieken in november 2011 en oktober 2013 tot boven de norm van 1000 kve/100 ml die drie keer wordt overschreden. Sinds september 2016 lijken de *Aeromonas*-aantallen lager te worden en ook laag te blijven. Dit valt samen met het aanpassen van het spoelprogramma waarmee ijzer beter van de grindkorrels wordt verwijderd.

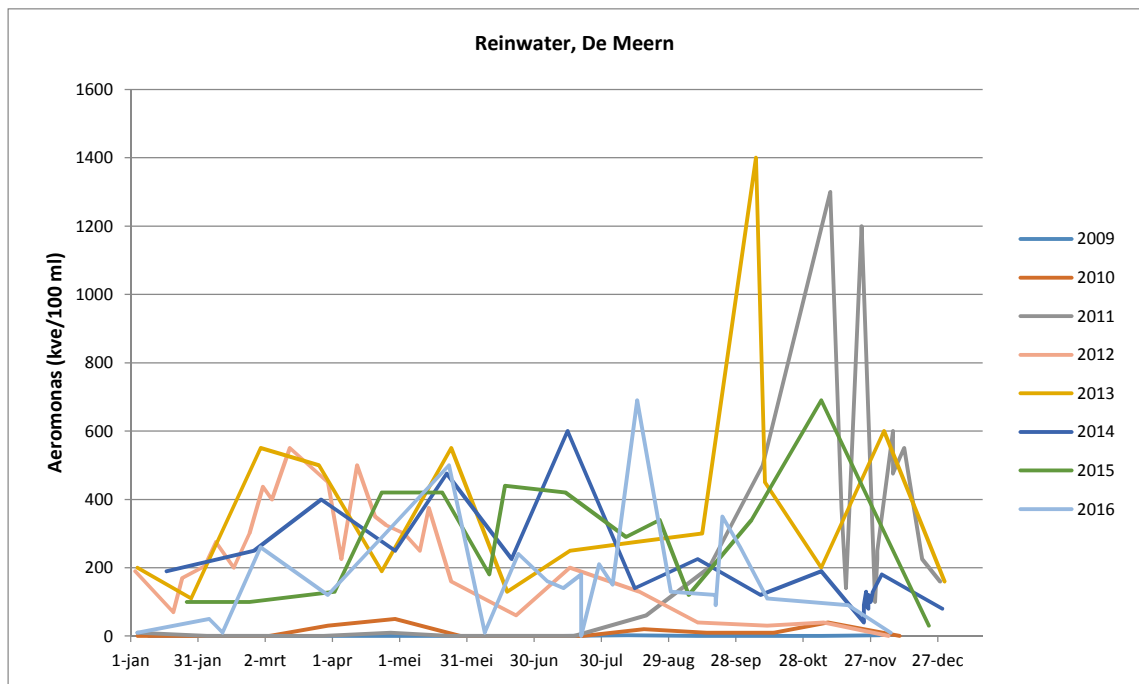
*Aeromonas* is tot eind 2015 nagenoeg afwezig, of in lage concentraties aanwezig in het reinwater van ps. Linschoten. Daarna stijgen de aantallen licht en wordt *Aeromonas* aangetroffen in lage aantallen ( $\leq 70$  kve/100 ml) in bijna alle watermonsters.





FIGUUR 29. *AEROMONAS*-AANTALLEN IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.

Weergave van de monitoringsgegevens van *Aeromonas* in het reinwater van ps. De Meern van de verschillende jaren per periode laat geen duidelijke seizoensafhankelijke trend zien (Figuur 30). Wel worden de hoogste pieken in het najaar waargenomen, maar er zijn ook jaren waarin geen piek in het najaar wordt waargenomen (b.v. 2012).

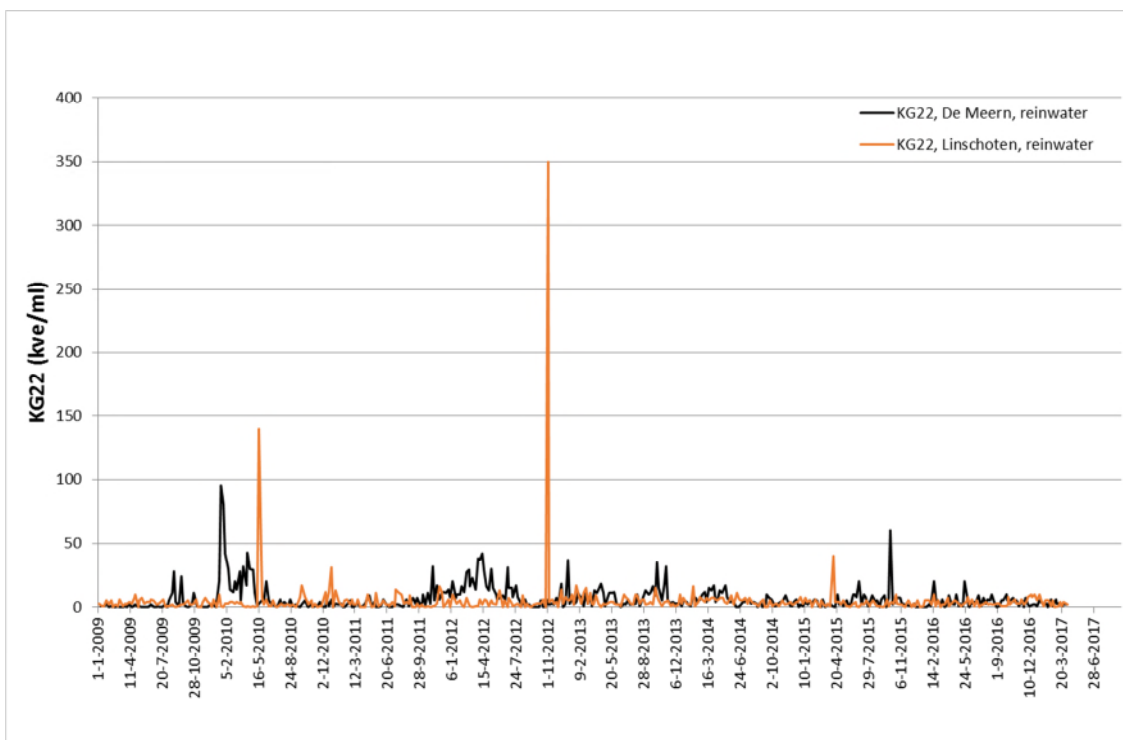


FIGUUR 30. AEROMONAS-AANTALLEN VAN PS. DE MEERN, GESORTEERD PER JAAR.

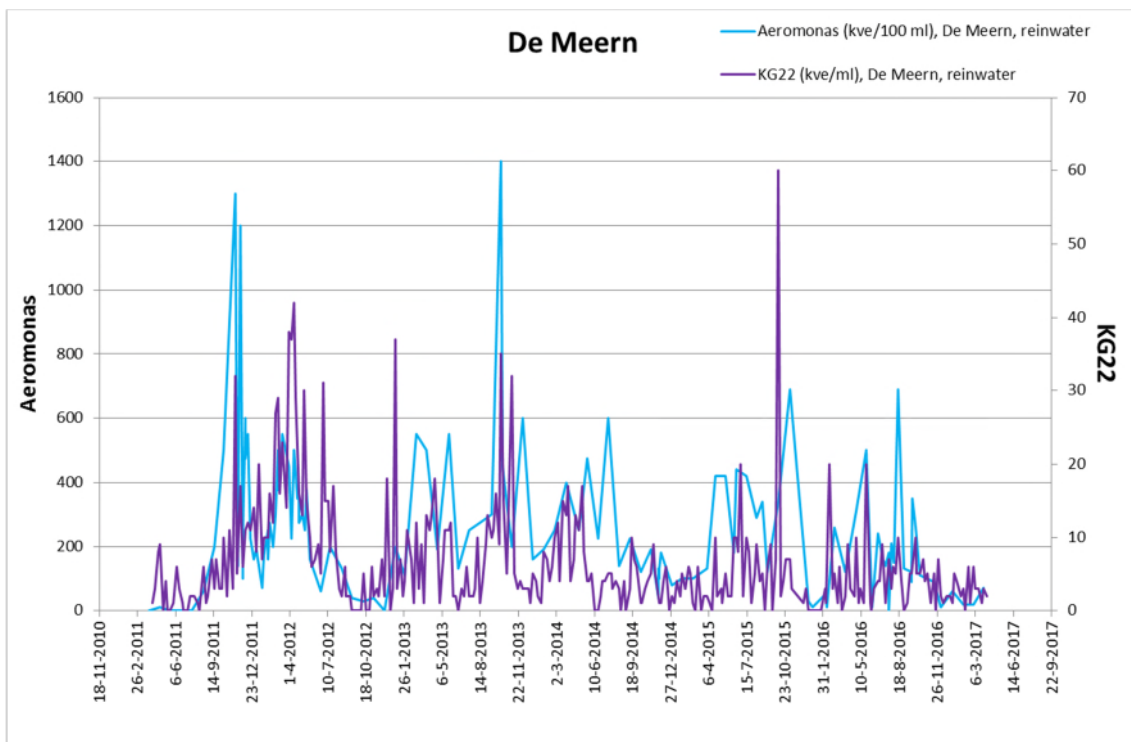
In de periode voorafgaand aan de periode waarin de ijzerconcentratie verhoogd is in het reinwater van ps. De Meern, zijn ook de KG22-aantallen verhoogd (Figuur 31). Vanaf augustus-september 2011 stijgen de KG22-aantallen gestaag tot een piek wordt bereikt in april 2012 waarna de aantallen weer langzaam dalen. In dezelfde periode is er ook een piek van KG22 in het ruw water (in oktober-december 2011) waargenomen. Of dit echter de oorzaak is van de stijging in het reinwater is niet te zeggen.

Naast de hierboven beschreven verhoging zijn meerdere verhogingen in het KG22 van ps. De Meern zichtbaar. De meeste verhogingen zijn echter van kortere duur, of slechts éénmaal gemeten. Deze pieken in KG22 lijken niet overeen te komen met pieken van de ijzerconcentratie. Hogere aantallen KG22 komen wel vaak overeen met hogere *Aeromonas*-aantallen, maar niet altijd (Figuur 32).

De KG22-aantallen van ps. Linschoten zijn lager of ongeveer gelijk als die van ps. De Meern en er zijn minder uitschieters.



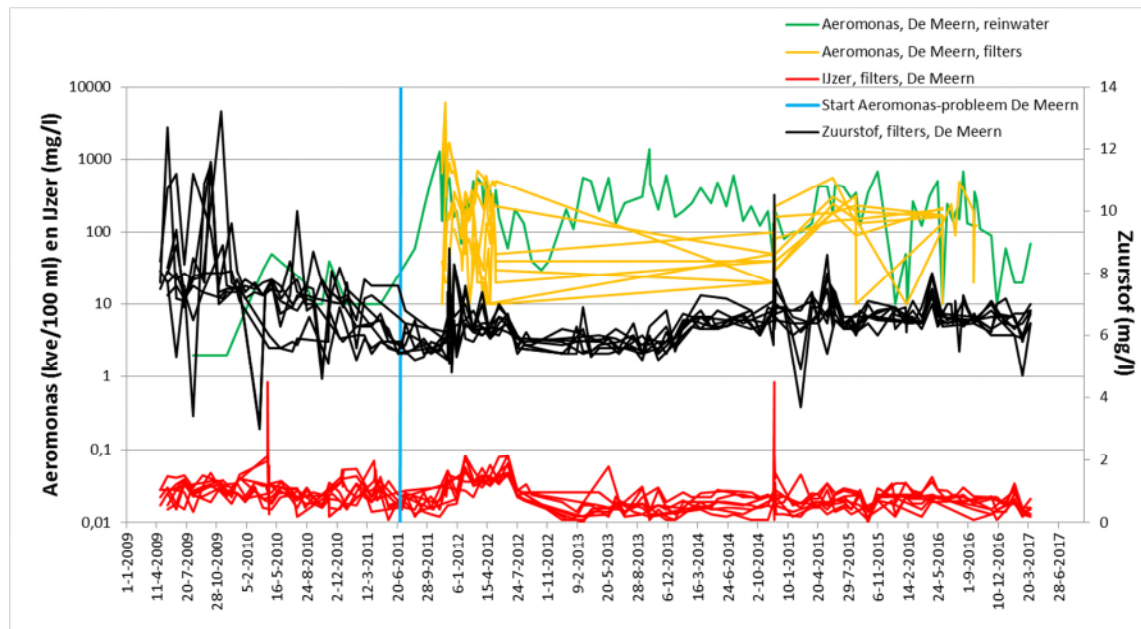
FIGUUR 31. KG22-AANTALLEN IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN.



FIGUUR 32. VERGELIJKING VAN HET AEROMONAS- EN KG22-AANTAL IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN.

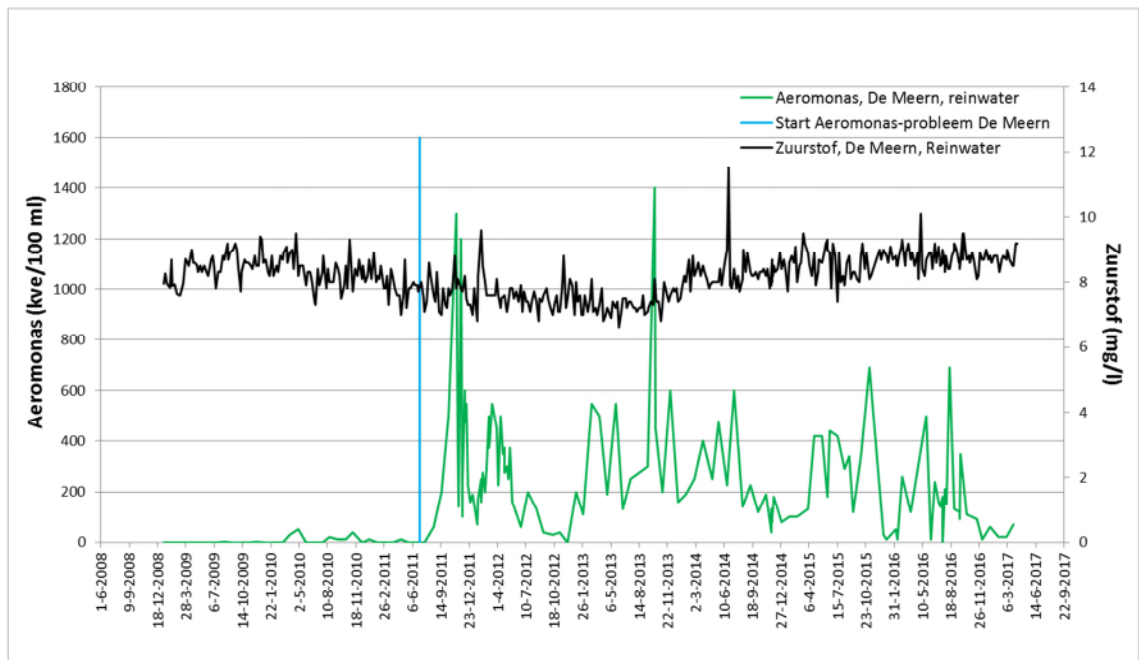
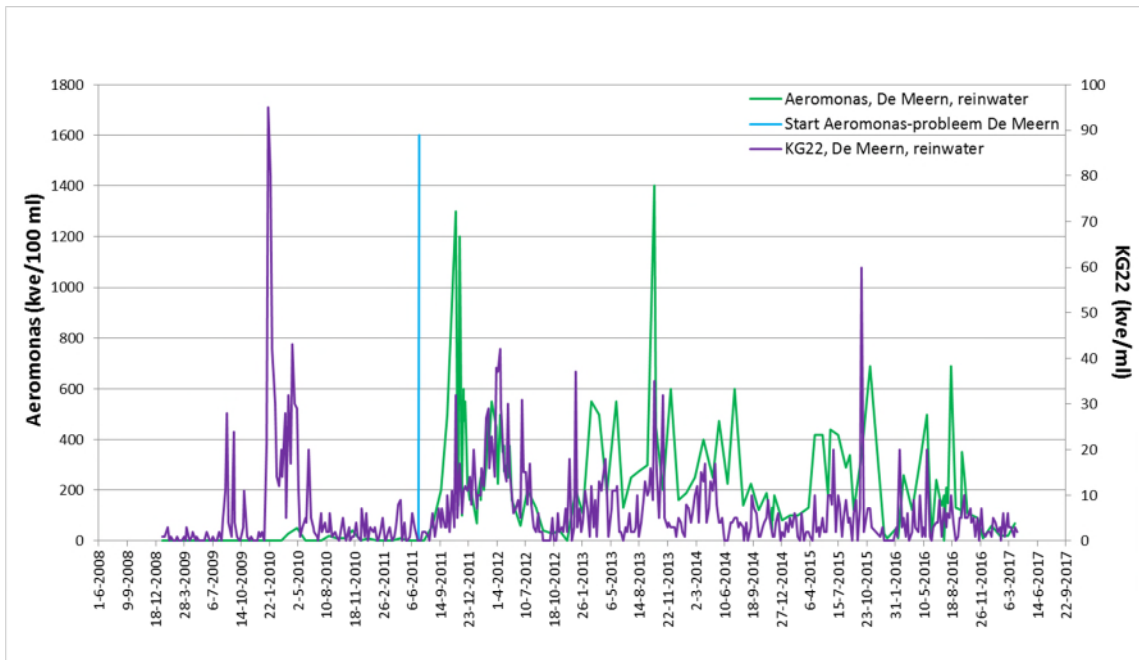
### 3.2.5 Vergelijking van verschillende parameters

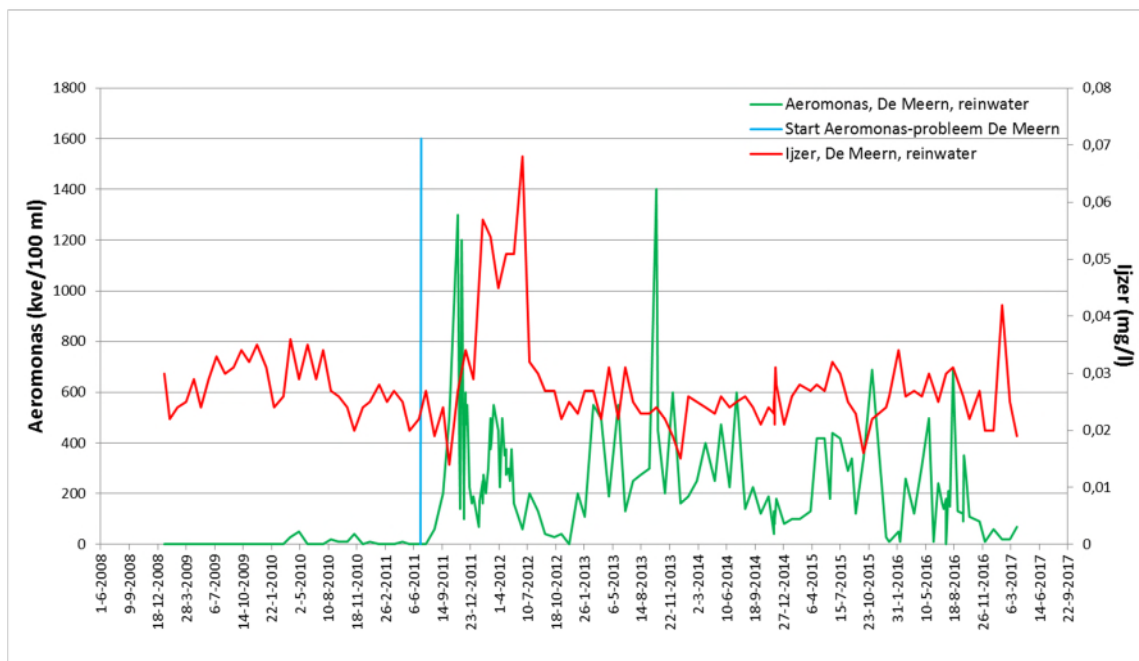
In Figuur 33 en Figuur 34 zijn de parameters die voor langere tijd verhoogd of verlaagd zijn rond het moment waarop de *Aeromonas*-aantallen toenamen, weergegeven. Ongeveer tegelijk met de stijging van het aantal *Aeromonas*-bacteriën in het reinwater stijgt ook het zuurstofgehalte en ijzergehalte in het filtereffluent (Figuur 33).



FIGUUR 33. VERGELIJKING VAN *AEROMONAS*-AANTALLEN, IJZERCONCENTRATIE EN ZUURSTOFGEHALTE IN EFFLUENT VAN DE FILTERS VAN PS. DE MEERN. VOOR DE DUIDELIJKHEID IS HET *AEROMONAS*-AANTAL IN HET REINWATER VAN PS. DE MEERN OOK WEERGEGEVEN. IN BLAUW IS AANGEGEVEN OP WELK MOMENT DE *AEROMONAS*-AANTALLEN IN HET REINWATER BEGINNEN TE STIJGEN.

In het reinwater gaat de *Aeromonas*-stijging gepaard met een verhoging van het KG22 aantal en de ijzerconcentratie (Figuur 34). Gedurende dezelfde periode is het zuurstofgehalte in het reinwater licht verlaagd, maar deze daling start al ruim voor de *Aeromonas*-piek, en een verband is onwaarschijnlijk. Dat zowel *Aeromonas* als KG22 stijgen suggereert dat er op dat moment meer voedingsstoffen voor deze micro-organismen in het filter aanwezig zijn, waardoor deze bacteriën kunnen groeien.





FIGUUR 34. VERGELIJKING VAN *AEROMONAS* AANTALLEN, IJZERCONCENTRATIE, ZUURSTOFGEHALTE EN KG22 AANTALLEN IN REINWATER VAN PS. DE MEERN. AANGEGEVEN IS OP WELK MOMENT DE *AEROMONAS*-AANTALLEN IN HET REINWATER BEGINNEN TE STIJGEN.

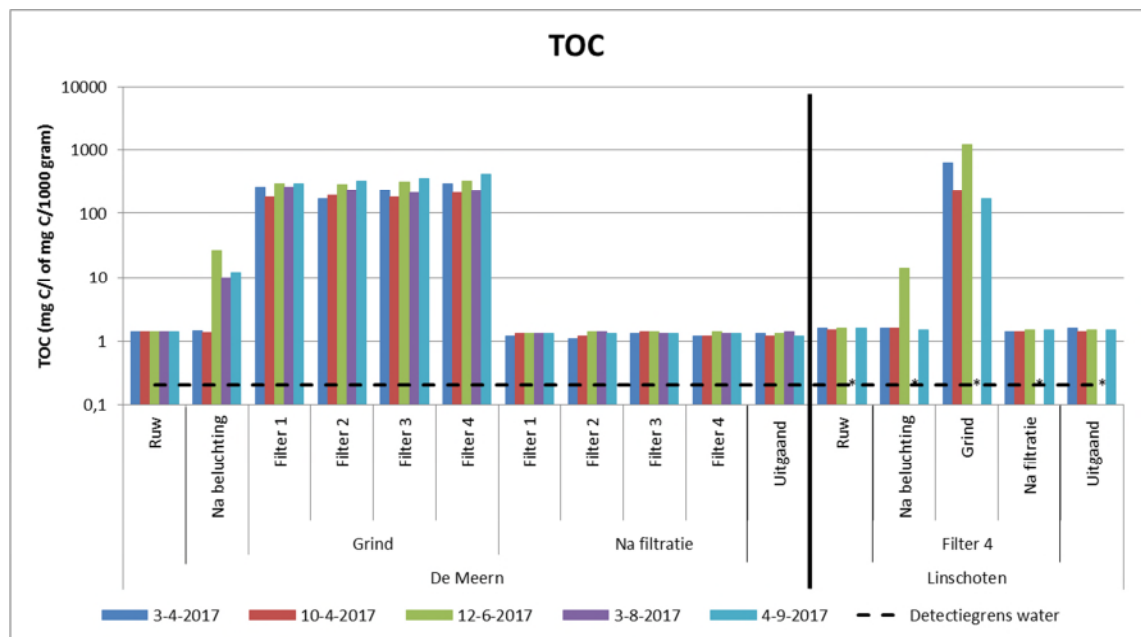
De historische meetgegevens en de informatie over de bedrijfsvoering (Tabel 1) suggereren dat door de vervanging van de sproeiers de beluchting gedurende een periode niet optimaal is geweest. De minder goede beluchting kan resulteren in een minder goede methaanverwijdering, maar omdat methaan slechts sporadisch is gemeten en niet rond de *Aeromonas*-vermeerdering in 2011, kan niet worden nagegaan of de methaanbelasting in 2011 verhoogd was. Een minder goede beluchting kan ook effect hebben op het zuurstofgehalte (verlaging) en de ijzerconcentratie (verhoging). Die effecten zijn wel waargenomen in zomer/najaar 2011. Het is daardoor zeer aannemelijk dat ook de methaanbelasting van de filters verhoogd was ten tijde van de *Aeromonas*-toename in het reinwater. Mogelijk is dit een kantelpunt geweest waarbij het waarschijnlijk is dat *Aeromonas* en ook KG22 sterk hebben kunnen groeien op de toegenomen biomassa, aangezien onderzoek in het verleden heeft laten zien dat een hogere methaanbelasting van snelfilters leidt tot vermeerdering van *Aeromonas* (*Aeromonas* in drinkwater, Hoofdstuk 4, 1992). *Aeromonas* heeft zich daarop kunnen vestigen in de filters. De maatregelen die in de afgelopen jaren zijn genomen hebben wel tot een verlaging van *Aeromonas* geleid, maar deze nooit geheel kunnen verlagen tot onder de detectiegrens.

De toename van ijzer en zuurstof in het effluent van de filters eind 2011 tot half 2012 wordt vermoedelijk veroorzaakt door de werkzaamheden aan de filters en dus een andere beluchting in die periode. Het lijkt alsof bij de ingebruikname van de filters de verwijdering van ijzer nog niet optimaal is waardoor ijzer aanwezig is in het effluent en het reinwater. De doorslag van zuurstof naar het effluent in de filters is lastiger te verklaren. Het effect is niet zichtbaar in het reinwater omdat de doorslag niet in alle filters even sterk is en de zuurstofconcentratie in het reinwater wordt uitgemiddeld.

## 4 Resultaten monsternamen

De resultaten van het meetprogramma dat in 2017 is uitgevoerd op ps. De Meern en ps. Linschoten zijn hieronder in grafiekvorm weergegeven. In Bijlage I zijn de resultaten in tabellen weergegeven.

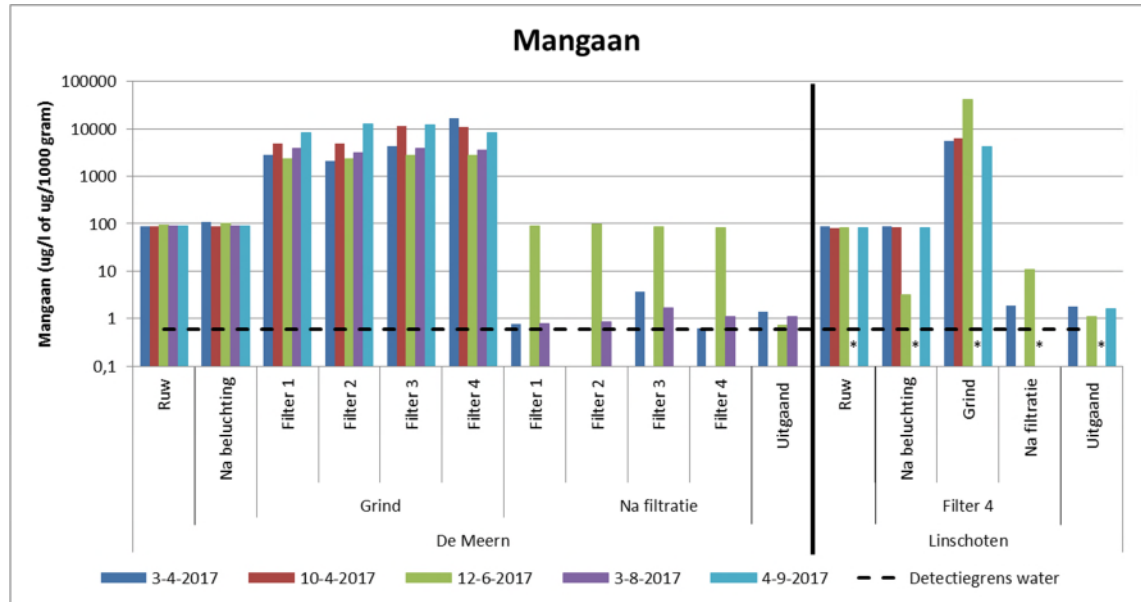
Het TOC gehalte in het ruwe water, water 'na filtratie', uitgaand water en in het grind is bijna gelijk tussen de twee locaties (Figuur 35). De enige verschillen zijn zichtbaar in het water 'na beluchting' dat vanaf de derde monsternameronde (tijdens inlopen van het nieuwe grind) consequent 1 log hoger ligt bij ps. De Meern dan bij ps. Linschoten. De oorzaak hiervan is niet duidelijk, maar het lijkt zeer onwaarschijnlijk dat het vervangen van het filtergrind een rol speelt aangezien de filtratiestap pas na de beluchting komt. Vervanging van het filtergrind heeft geen effect op het TOC gehalte in het water 'na filtratie' of het uitgaande water.



FIGUUR 35. TOC GEHALTE VAN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. DE BEPALING IS NIET UITGEVOERD OP WATER TIJDENS FILTRATIE. DE DETECTIEGREN VAN DE ANALYSE IN WATER IS WEERGEVEN. DE DETECTIEGREN IN GRIND VARIEERT EN IS NIET WEERGEVEN. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

De mangaanconcentratie is in alle watermonsters vergelijkbaar tussen ps. De Meern en ps. Linschoten (Figuur 36). In het grind van ps. Linschoten zijn de mangaanconcentraties licht hoger. Mangaan is in lage concentraties aanwezig in het water 'na filtratie' en het uitgaande water. Uitzondering is het water dat is bemonsterd tijdens het inlopen van de filters wanneer de mangaanverwijdering in het filter nog niet optimaal is. Uit eerder onderzoek is bekend dat ontmanganing in de filters het laatst op gang komt (SWE 90.024). De mangaanconcentratie in het grind lijkt te stijgen na vervanging van het grind en is tijdens de laatste monsternamen (4 september) in de meeste gevallen hoger dan de voorgaande

monsters. De verschillen zijn echter te klein en variabel om hier zeker over te kunnen zijn. De vervanging van het grind heeft geen effect op de mangaanconcentraties in het uitgaande water.

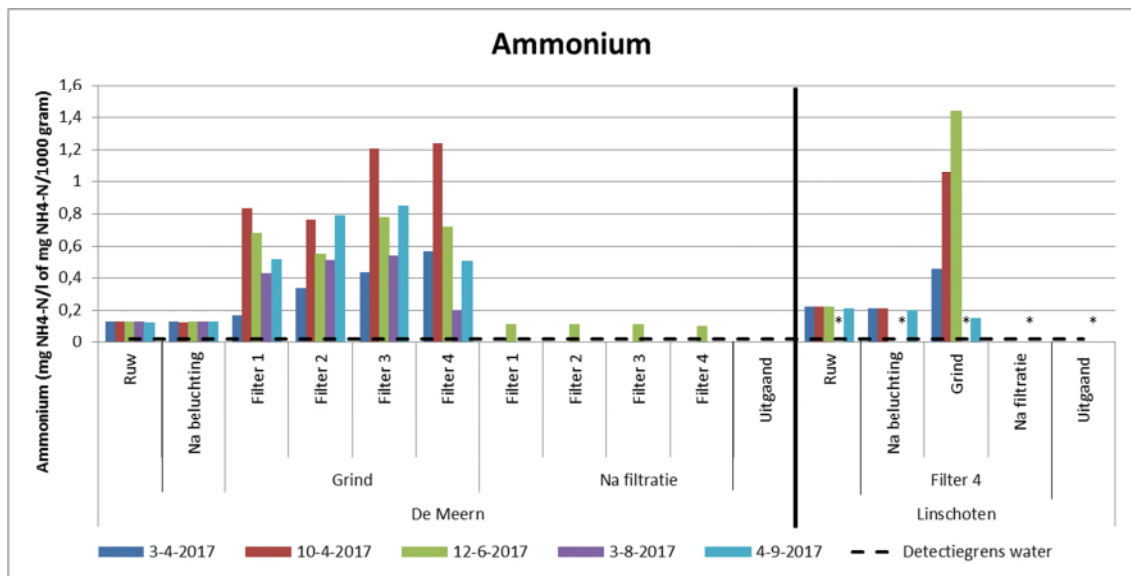


FIGUUR 36. MANGAANCONCENTRATIE VAN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. DE BEPALING IS NIET UITGEVOERD OP WATER TIJDENS FILTRATIE. DE DETECTIEGREN VAN DE ANALYSE IN WATER IS WEERGEGEVEN. DE DETECTIEGREN IN GRIND VARIËERT EN IS NIET WEERGEGEVEN. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

De ammoniumconcentratie in het ruwe water en water 'na beluchting' zijn vergelijkbaar bij ps. De Meern. Bij ps. De Meern is de concentratie ammonium in het ruwwater en 'na beluchting' lager dan van ps. Linschoten (0,13 vs. 0,2 mg NH<sub>4</sub>-N/l, Figuur 37). In het water 'na filtratie' en het uitgaande water is ammonium onder de detectiegrens. Uitzondering is het water 'na filtratie' dat tijdens het inlopen van het filter is genomen, en waarin de ammoniumconcentratie bijna gelijk is aan het water 'na beluchting'. Ammonium wordt tijdens het inlopen dus nog niet goed verwijderd uit het water. In het grind variëren de resultaten sterk voor beide locaties en er is geen duidelijk effect van de vervanging van het grind. Het enige verschil is dat de ammoniumconcentratie in het grind 6 weken na ingebruikname hoger is dan na 2 weken. Met name bij de grindmonsters kan het ammonium ook afkomstig zijn van micro-organismen die op het grind, of de biofilm op het grind, aanwezig zijn. Dit ammonium komt vrij tijdens de opwerking van het grind. Het onderscheid tussen vrij ammonium en dat uit micro-organismen, en hoe groot deze laatste fractie is vergeleken met het totaal is op basis van deze resultaten niet te maken.

Verwijdering van ammonium vindt voornamelijk plaats in de filters waar het door nitrificerende prokaryoten wordt omgezet. De aanwezigheid van ammonium in het water 'na beluchting' zorgt voor een ammoniumbelasting van het filter. Uit eerdere onderzoeken naar de praktijk is gebleken dat de cumulatieve ammoniumbelasting, maar niet de momentane belasting, beperkt bij kan dragen aan problemen met *Aeromonas* (*Aeromonas* in drinkwater, Hoofdstuk 4, 1992).

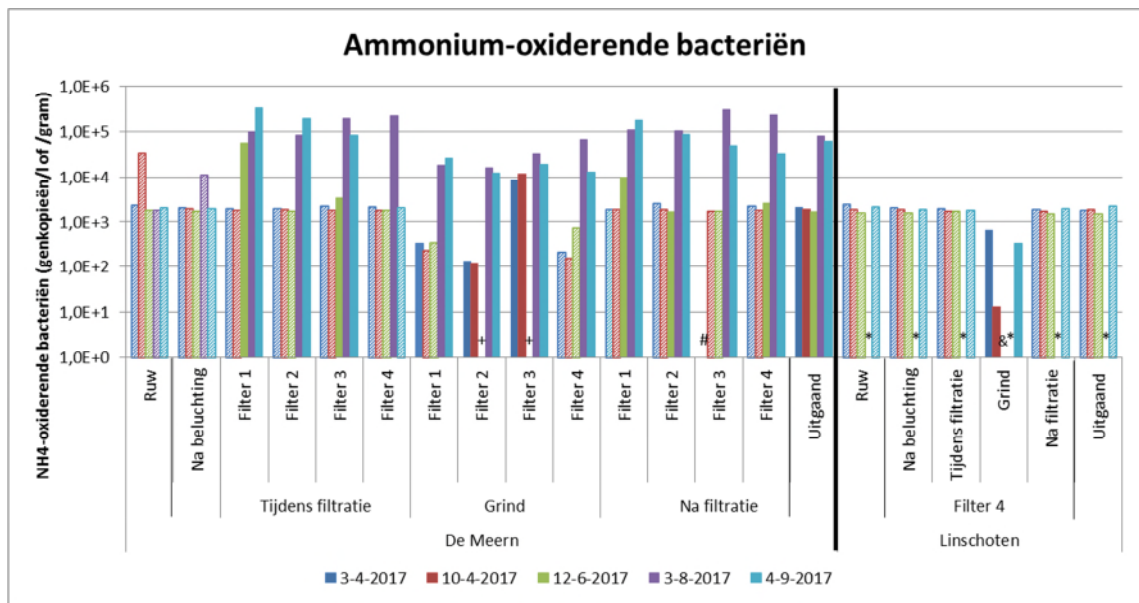




FIGUUR 37. AMMONIUMCONCENTRATIE VAN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. DE BEPALING IS NIET UITGEVOERD OP WATER TIJDENS FILTRATIE. DE DETECTIEGREN VAN DE ANALYSE IN WATER IS WEERGEGEVEN. DE DETECTIEGREN IN GRIND VARIËERT EN IS NIET WEERGEGEVEN. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

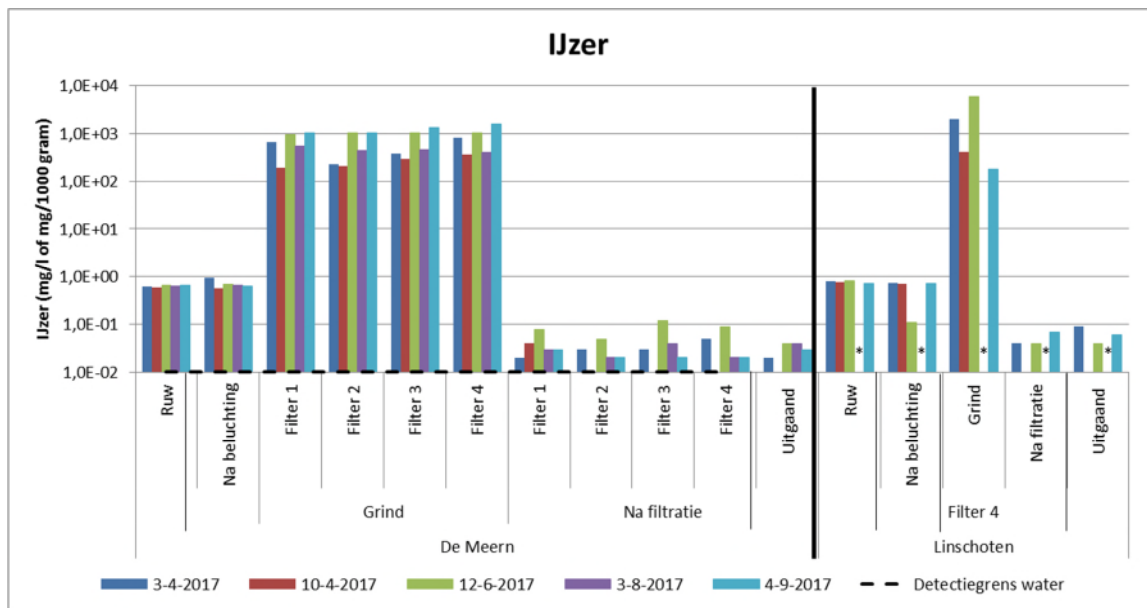
Ammonium-oxiderende bacteriën (AOB) die verantwoordelijk zijn voor nitrificatie lagen onder de detectiegrens van ongeveer  $2 \times 10^3$  genkopieën/liter in het water van ps. Linschoten (Figuur 38). Alleen in het grind zijn de bacteriën in lage aantallen aanwezig. Bij ps. De Meern werden AOB niet gedetecteerd in ruw water en water 'na beluchting'. Pas na vervanging van het filtergrind zijn AOB aanwezig in water 'tijdens filtratie' en water 'na filtratie'. Ook in het uitgaande water zijn de aantallen dan verhoogd. De aanwezigheid van, of hogere aantallen, ammonium-oxiderende bacteriën in het nieuwe grind kan veroorzaakt zijn door een verhoging van de ammoniumconcentratie in het water 'na beluchting' waardoor meer AOB biomassa kan worden gevormd. Een andere mogelijkheid is dat deze bacteriën zich nu kunnen vestigen in het schone grind. De ammoniumconcentratie van het water is niet verhoogd, dus vermoedelijk gaat het om bacteriën die zich in het nieuwe grind, met een lagere hoeveelheid biomassa, wel kunnen vestigen. In eerder onderzoek leidde vervanging van filtergrind of optimalisatie van de beluchting en methaanverwijdering ertoe dat ammonium-oxiderende bacteriën zich in het eerste filter vestigden en daar dus ook de nitrificatie plaats vond (SWE 90.024). De aanwezigheid van ammonium-oxiderende bacteriën in de filters en de nitrificatie die daardoor plaatsvindt, doet vermoeden dat de ammoniumconcentratie in het uitgaande water daalt vergeleken met de oude situatie zonder deze bacteriën in de filters. Dit is echter niet te controleren omdat de ammoniumconcentraties in het water 'na filtratie' en het uitgaande water al onder de detectiegrens van  $0,015 \text{ mg NH}_4\text{-N/l}$  lagen.

Tijdens het inlopen zijn ammonium-oxiderende bacteriën nog nauwelijks aanwezig in het water en grind, dit is terug te zien in de verhoogde ammoniumconcentratie in het water 'na filtratie' (Figuur 37). De nitrificatie is dan nog niet optimaal en er wordt nog nauwelijks ammonium verwijderd.



FIGUUR 38. AANTAL GENKOPIEËN VAN AMMONIUM-OXIDERENDE BACTERIËN IN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. VAN DE GEARCEERDE MONSTERS IS HET AANTAL GENKOPIEËN/L ONDER DE DETECTIEGREN. DE HOOGTE VAN DE BALK GEEFT DE DETECTIEGREN. #: MONSTER IS GECONTAMINEERD MET EEN ANDER MONSTER TIJDENS DE DNA ISOLATIE EN DAAROM ONBETROUWBAAR. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. + EN &: DNA IS WEL (+) OF NIET (&) AANGETOOND, MAAR RESULTATEN ZIJN NIET BETROUWBAAR OMDAT HET RENDEMENT VAN DE DNA ISOLATIE ERG LAAG IS (0,3-5,8%). DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

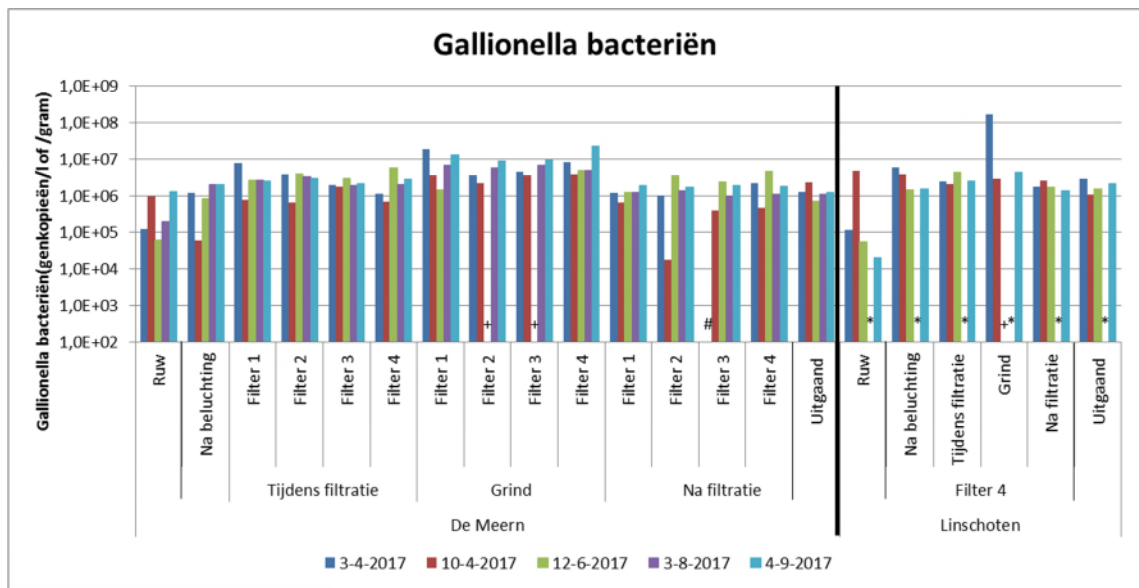
De ijzerconcentraties in het water en grind zijn vergelijkbaar tussen de twee locaties voor alle monsternamenpunten (Figuur 39). Tijdens filtratie wordt niet alle ijzer verwijderd en is het in lage concentraties aanwezig in het water 'na filtratie' (< 0,01 - 0,12 mg/l). Meteen na de vervanging van het filtergrind is het ijzergehalte in het water 'na filtratie' korte tijd licht verhoogd. De biologische en/of chemische processen in filters die voor de verwijdering van ijzer zorgen, herstellen normaal gesproken vrij snel in nieuwe filters (SWE 90.024), maar is kort na vervanging blijikbaar nog niet compleet. De monsters die later werden genomen lieten wel zien dat de ijzerverwijdering door de snelfilters verhoogd is ten opzichte van voor de vervanging.



FIGUUR 39. IJZERCONCENTRATIE VAN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. DE BEPALING IS NIET UITGEVOERD OP WATER TIJDENS FILTRATIE. DE DETECTIEGRENSEN VAN DE ANALYSE IN WATER IS WEERGEGEVEN. DE DETECTIEGRENSEN IN GRIND VARIËERT EN IS NIET WEERGEGEVEN. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

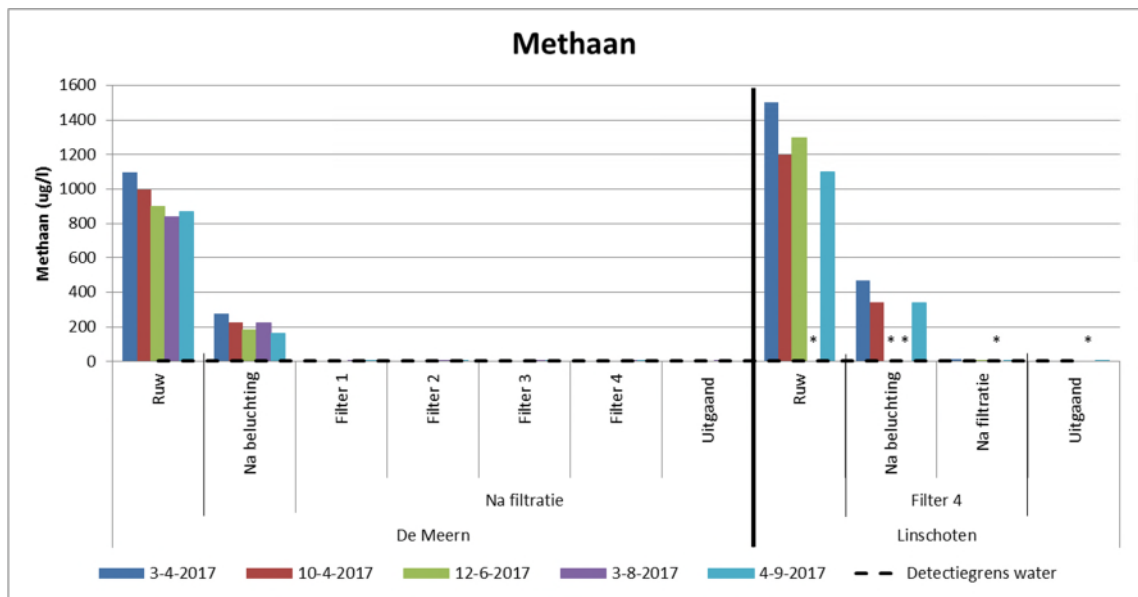
In het ruwe water van ps. De Meern zijn licht hogere aantallen ijzer-oxiderende *Gallionella*-bacteriën aanwezig dan in het ruwe water van ps. Linschoten (Figuur 40). In het water 'na beluchting', 'na filtratie', in het grind en het uitgaande water zijn de aantallen ongeveer gelijk aan elkaar. Na vervanging van het grind zijn er in het grind meer *Gallionella* bacteriën aanwezig, maar het verschil is klein. Na ingebruikname van de filters blijft het aantal *Gallionella* bacteriën licht stijgen in het grind. Net als de ammonium-oxiderende bacteriën lijkt het alsof deze bacteriën zich nu beter kunnen vestigen in het grind en daar ook kunnen groeien. Dit wordt ook teruggezien in de ijzerconcentratie van het filtraat, die lager zijn (dus meer ijzerverwijdering tijdens filtratie) dan voor vervanging.

Door de vervanging van het grind is dus niet alleen de nitrificatie van ammonium verbeterd, maar ook de oxidatie van ijzer in de filters lijkt hoger te zijn. De oxidatie van methaan door methanotrofe bacteriën lijkt ook te verbeteren, maar dit is minder duidelijk.



FIGUUR 40. AANTAL GENKOPIEËN VAN *GALLIONELLA* BACTERIËN IN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. #: MONSTER IS GECONTAMINEERD MET EEN ANDER MONSTER TIJDENS DE DNA ISOLATIE EN DAAROM ONBETROUWBAAR. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. +: DNA IS AANGE TOOND, MAAR RESULTATEN NIET BETROUWBAAR OMDAT HET RENDEMENT VAN DE DNA ISOLATIE ERG LAAG IS (0,3-5,8%). DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

De methaanconcentraties van het ruwe water verschillen tussen beide locaties (0,84 - 1,1 mg/l bij ps. De Meern vs 1,1 - 1,5 mg/l bij ps. Linschoten; Figuur 41). De methaanverwijdering tijdens beluchting op beide locaties is niet compleet: het water 'na beluchting' bevat gemiddeld 0,22 mg/l (ps. De Meern) en 0,41 mg/l (ps. Linschoten) methaan. In het water 'na filtratie' ligt de methaanconcentratie op of onder de detectiegrens (<5 - 6 µg/l, ps. De Meern) of net daarboven (5 - 13 µg/l, ps. Linschoten). In het uitgaande water ligt de methaanconcentratie bij beide locaties onder of net op de detectiegrens (<5 - 6 µg/l). De aanwezigheid van methaan in het water 'na beluchting' laat zien dat de beluchting van het water op beide locaties niet effectief genoeg om methaan volledig te verwijderen. Methaanbelasting van de filters is in eerdere onderzoeken in verband gebracht met de aanwezigheid van *Aeromonas* in het reinwater (*Aeromonas* in drinkwater, 1992). Dit wordt verder besproken in de discussie.

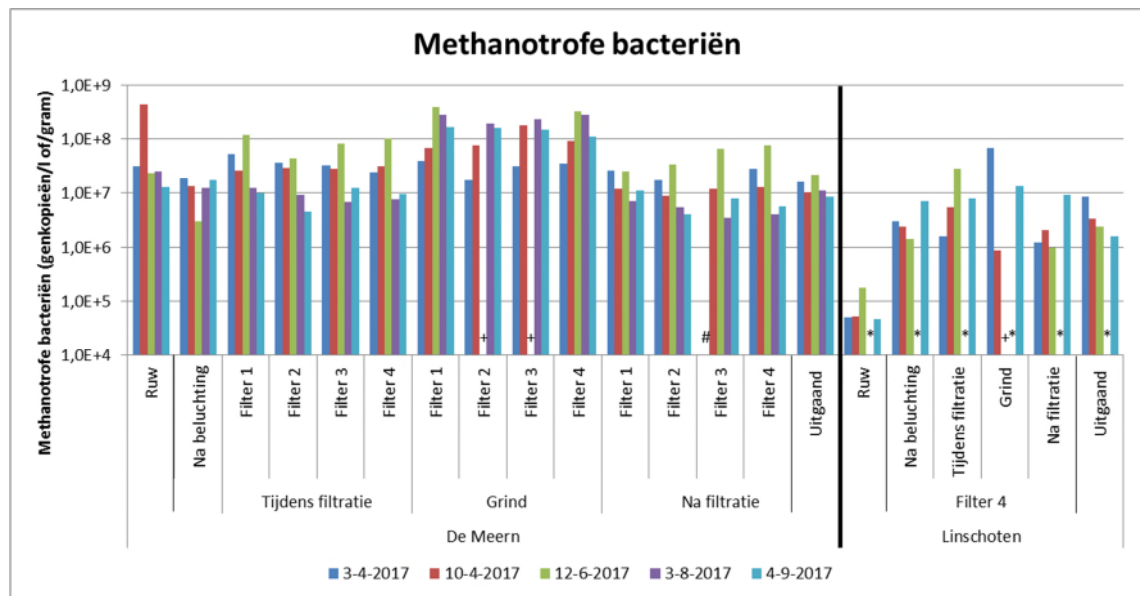


FIGUUR 41. METHAANCONCENTRATIE VAN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. DE BEPALING IS NIET UITGEVOERD OP WATER TIJDENS FILTRATIE EN OP HET GRIND. DE DETECTIEGRENSEN VAN DE ANALYSE IN WATER IS WEERGEGEVEN. DE DETECTIEGRENSEN IN GRIND VARIËERT EN IS NIET WEERGEGEVEN. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

Het aantal methanotrofe bacteriën dat met qPCR is gekwantificeerd is over het algemeen hoger bij ps. De Meern dan bij ps. Linschoten (Figuur 42). De aantallen methanotrofe bacteriën per watertype over de tijd varieert wel sterk bij ps. Linschoten, ondanks dat er geen aanpassingen in de zuivering zijn doorgevoerd. Desondanks zijn in bijna alle water- en grindmonsters van ps. De Meern meer methanotrofe bacteriën aanwezig, in het ruwe water is dit verschil ook al aanwezig (ps. De Meern vs ps. Linschoten:  $1,3 \times 10^7$  –  $4,4 \times 10^8$  kopieën/l vs  $4,7 \times 10^4$  –  $1,8 \times 10^5$  kopieën/l). De aanwezigheid van methanotrofe bacteriën is niet onverwacht aangezien methaan aanwezig is in het grondwater, het hogere methaangehalte in het ruwe water van ps. Linschoten vergeleken met ps. De Meern komt echter niet direct overeen met de aantallen methanotrofe bacteriën in dit water. Naast methaan hebben methanotrofe bacteriën echter ook zuurstof nodig. Zuurstof is meestal afwezig of laag in ruw water, waardoor lage aantallen methanotrofe bacteriën verwacht worden in het ruw water (ongeacht de methaanconcentratie) zoals bij ps. Linschoten het geval is. Tijdens de opeenvolgende stappen in de zuivering worden de verschillen tussen de twee locaties kleiner. Na vervanging van het filtergrind bij ps. De Meern is het aantal methanotrofe bacteriën tijdens het inlopen tijdelijk verhoogd in het grind, water 'tijdens filtratie' en water 'na filtratie'. Na ingebruikname van de filters is het aantal methanotrofe bacteriën in het water 'tijdens filtratie' en 'na filtratie' 0,5 – 1,0 log lager ten opzichte van de oude situatie. In het grind lijken de aantallen na vervanging juist gelijk of hoger te zijn dan voor de vervanging. In het uitgaande water is er mogelijk een lichte daling, maar de verschillen zijn klein. Mogelijk wordt op het grind meer methaan omgezet, maar spoelen deze bacteriën minder uit naar het water.

Een nadeel van de qPCR methode is dat er geen onderscheid kan worden gemaakt tussen DNA van dode of levende bacteriën. Echter, als aangenomen wordt dat dode bacteriën niet in deze hoge aantallen gehecht zijn aan het grind, zal de meerderheid van het DNA afkomstig zijn van levende bacteriën. Daarnaast kan een deel van de methanotrofe bacteriën ook andere enkelvoudige koolstofverbindingen zoals formiaat omzetten.

De qPCR analyse op 12-6-2017 van het grind geeft voor een aantal condities geen waarde voor het aantal genkopieën omdat het rendement van de qPCR erg laag was. Vermoedelijk wordt dit veroorzaakt door de hoge concentraties metalen op het grind. Het is bekend dat metalen zoals ijzer de qPCR kunnen remmen en in de grindmonsters van 12-6-2017 zijn verhoogde concentraties ijzer en mangaan aanwezig (Figuur 36, Figuur 39).

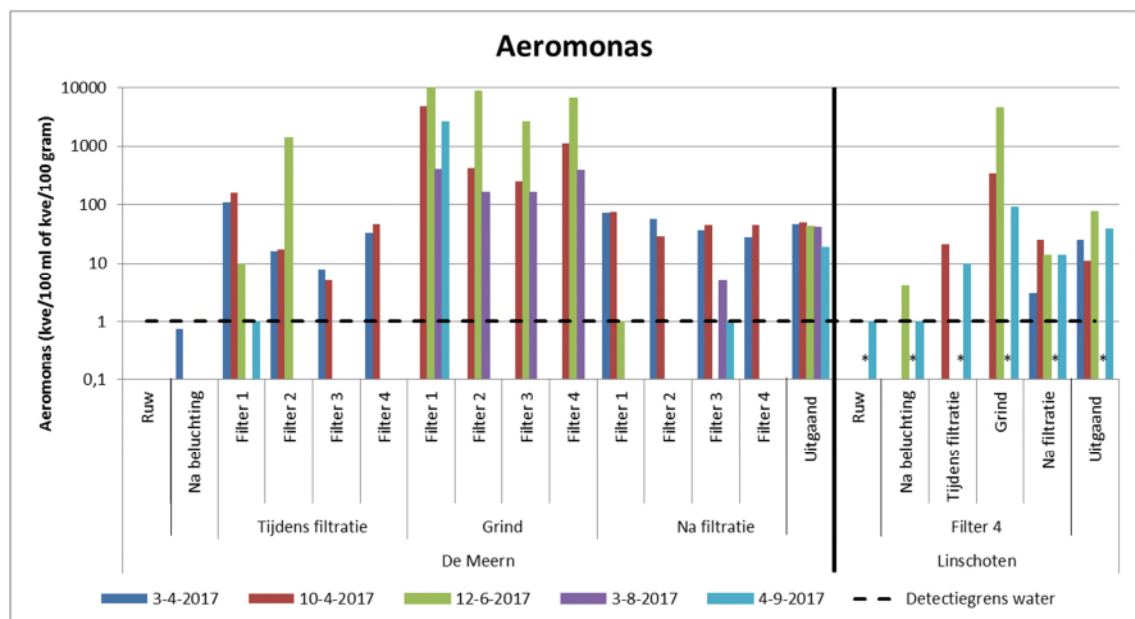


FIGUUR 42. AANTAL GENKOPIEËN VAN METHANOTROFE BACTERIËN IN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. #: MONSTER IS GECONTAMINEERD MET EEN ANDER MONSTER TIJDENS DE DNA ISOLATIE EN DAAROM ONBETROUWBAAR. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. +: DNA IS AANGETOOND, MAAR RESULTATEN NIET BETROUWBAAR OMDAT HET RENDEMENT VAN DE DNA ISOLATIE ERG LAAG IS (0,3-5,8%). DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

Het ruwe grondwater en het water 'na beluchting' van ps. Linschoten en ps. De Meern hebben *Aeromonas*-aantallen die over het algemeen onder de detectiegrens liggen (Figuur 43). Op beide locaties is wel *Aeromonas* aangetroffen in het water in het filterbed ('tijdens filtratie'), in het effluent van het filter 'na filtratie' en in het uitgaande water. Hierbij zijn de aantallen in het water lager dan de wettelijke norm voor het distributiegebied van 1000 kve/100 ml. Tevens is *Aeromonas* aangetroffen op het filtergrind. De snelfilters zijn daarmee dus de oorzaak dat *Aeromonas* in het water terecht komt tijdens doorstroming van de snelfilters. De aantallen *Aeromonas* zijn bij ps. Linschoten lager dan bij ps. De Meern, maar *Aeromonas*-bacteriën worden consequent in het uitgaande water van beide pompstations aangetroffen. De resultaten van ps. De Meern worden idealiter vergeleken met een locatie zonder *Aeromonas* bacteriën in het water en/of grind en dit is hier niet het geval. Maar voor de vergelijking tussen twee locaties met een hoog en laag *Aeromonas*-aantal is ps. Linschoten wel geschikt als referentiepunt.

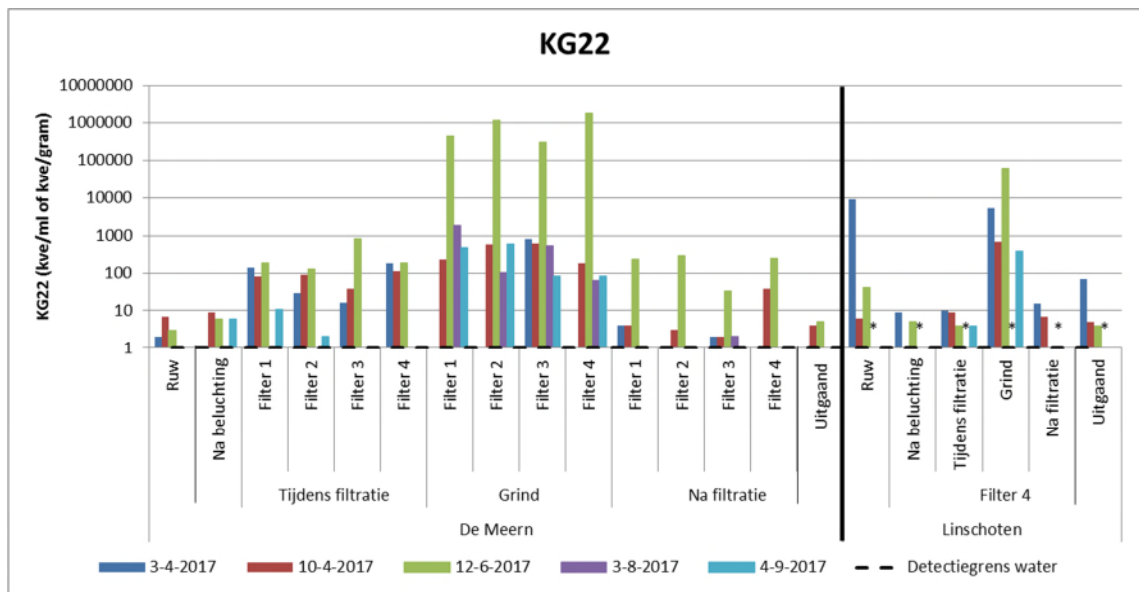
Vervanging van het filtergrind bij ps. De Meern heeft een duidelijk effect. Voor vervanging (3 en 10 april 2017) zijn de *Aeromonas*-aantallen in het water van het filterbed en van het snelfiltraat relatief hoog. Na vervanging (metingen op 12 juni 2017, 3 augustus 2017 en 4 september 2017) zijn er nog nauwelijks *Aeromonas*-bacteriën aanwezig in het water 'tijdens filtratie' en 'na filtratie'. In het grind is in eerste instantie geen effect van vervanging

zichtbaar, maar tijdens de laatste monsternamen in september is *Aeromonas* niet waargenomen in drie van de vier filters. Ondanks dat de *Aeromonas*-aantallen na vervanging zeer laag waren in het snelfiltraat, zijn de aantallen nog steeds ongeveer even hoog als voor de vervanging van het grind (41-50 kve/100 ml) in het uitgaande water van ps. De Meern. Alleen in het laatste monster zijn de aantallen lager (19 kve/100 ml). Het uitgaande water wordt op beide locaties bemonsterd na de reinwaterkelder. Het water bij ps. De Meern is dus een mengsel van water afkomstig van de filters 1- 4, waarvan het grind is vervangen, en van filters 5 – 8 waarvan het grind nog niet is vervangen. De *Aeromonas*-bacteriën die in het uitgaande water aanwezig zijn, zijn daarom zeer waarschijnlijk afkomstig van de filters 5 – 8 of hebben zich in de reinwaterkelder weten te vermeerderen.



FIGUUR 43. AANTAL *AEROMONAS*-BACTERIËN IN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. DE DETECTIEGREN VAN DE ANALYSE IN WATER IS WEERGEGEVEN. DE DETECTIEGREN IN GRIND VARIEERT EN IS NIET WEERGEGEVEN. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

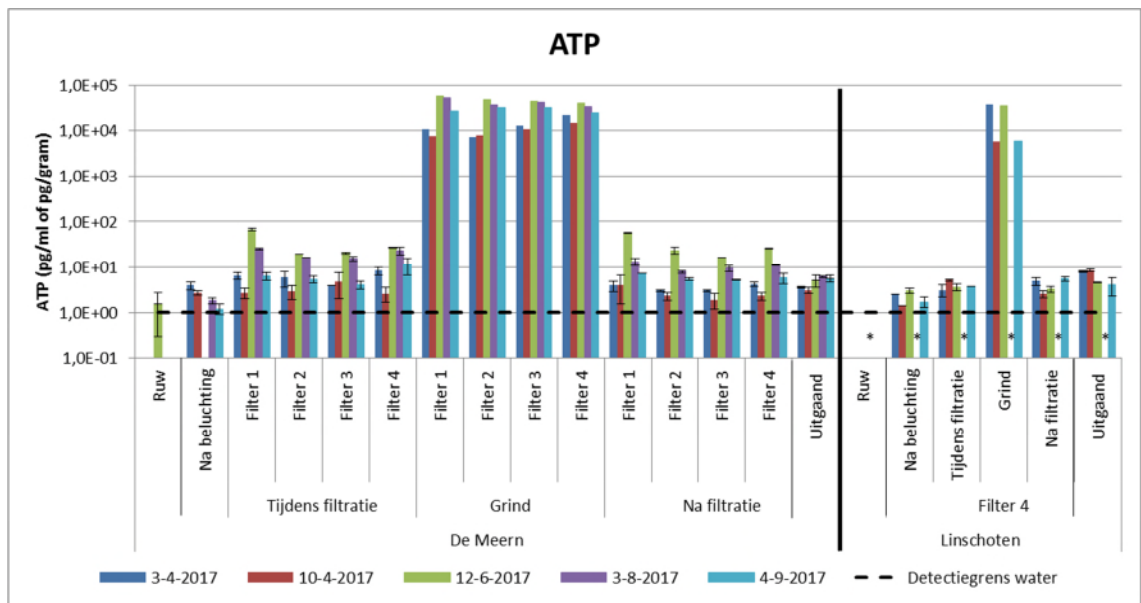
Het koloniegetal bij 22°C (KG22) is in het ruwe water van ps. Linschoten hoger dan van ps. De Meern (Figuur 44). Het water 'na beluchting' geeft de locaties ongeveer gelijke aantallen. Voor de vervanging van het grind zijn de KG22 aantallen in water 'tijdens filtratie' is bij ps. De Meern ongeveer 1 log hoger dan bij ps. Linschoten. Na vervanging van het filtergrind en het inlopen van de filters bij ps. De Meern (3 augustus en 4 september) dalen de KG22 aantallen in water 'tijdens filtratie' en 'na filtratie' tot onder de detectiegrens. Tijdens het inlopen van de filters is KG22 juist verhoogd. Er zijn dus een groot aantal kweekbare bacteriën aanwezig tijdens het inlopen, maar dit zijn nog niet per definitie de bacteriën die nodig zijn voor de juiste werking van de biologische processen in de filters. De KG22 aantallen in het uitgaande water zijn na vervanging van het grind een afspiegeling van de aantallen die in het snelfiltraat worden gevonden. Er is dus geen invloed zichtbaar van filters 5 – 8 of van microbiële groei in de kelder.



FIGUUR 44. KOLONIEGETAL BIJ 22°C IN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS.LINSCHOTEN. DE DETECTIEGREN VAN DE ANALYSE IN WATER IS WEERGEGEVEN. DE DETECTIEGREN IN GRIND VARIËERT EN IS NIET WEERGEGEVEN. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

In het ruwe water van beide locaties is het ATP-gehalte op één uitzondering na altijd onder de detectiegrens (Figuur 45). Er is dus nauwelijks tot geen actieve biomassa in het ruwe water aanwezig. Tijdens de beluchting worden op beide locaties bacteriën geïntroduceerd waarbij het ATP-gehalte vergelijkbaar is tussen ps. De Meern en ps. Linschoten. Het ATP-gehalte in het water 'tijdens filtratie', 'na filtratie' en in het grind komen overeen tussen de twee locaties. Het nieuwe grind heeft, met name tijdens inlopen en het eerste monster na ingebruikneming, een hoger ATP-gehalte, dit patroon is ook in het water 'tijdens filtratie' en 'na filtratie' te zien. Tijdens het inlopen zijn de waarden het hoogst waarna het niveau langzaam lijkt terug te keren naar het niveau voor vervanging. Vermoedelijk zal het ATP-niveau, na nog enige tijd, uitkomen op het oude niveau.





FIGUUR 45. ATP GEHALTE VAN HET WATER EN GRIND VAN PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN. DE DETECTIEGREN VAN DE ANALYSE IN WATER IS WEERGEGEVEN. DE DETECTIEGREN IN GRIND VARIEERT EN IS NIET WEERGEGEVEN. \*: ANALYSE IS NIET OP DIT MONSTER UITGEVOERD. VOOR DE WATERMONSTERS IS DE STANDAARDDEVIATIE GEGEVEN VAN TWEE METINGEN. DE MONSTERS VAN 3 EN 10 APRIL ZIJN GENOMEN VOOR VERVANGING VAN HET FILTERGRIND, DE ANDERE MONSTERS DAARNA.

## 5 Discussie

### 5.1 Ammonium- en methaanbelasting van filters op ps. De Meern en ps. Linschoten

De methaanconcentraties in het ruwe water van ps. De Meern (0,84 mg/l) en ps. Linschoten (1,5 mg/l) zijn relatief laag. Desondanks wordt het methaan niet volledig verwijderd tijdens beluchting in de zuivering. In zowel ps. De Meern als ps. Linschoten is er na beluchting nog methaan aanwezig in het water (respectievelijk gemiddeld 0,22 mg/l en 0,41 mg/l). Uit de historische data van 2015 en 2016 van Vitens blijkt dat water, getapt uit het bovenste kraantje van het filter, ook nog methaan bevat (0,21 – 0,33 mg/l). In het bovenste deel van het filter is waarschijnlijk al een klein deel van het methaan omgezet door methanotrofe bacteriën in filter, maar deze resultaten laten wel zien dat methaan al langere tijd niet volledig wordt verwijderd. Het is aannemelijk dat voor 2015 methaan waarschijnlijk aanwezig is geweest in het water na beluchting in vergelijkbare concentraties. Opvallend is dat vlak voor de *Aeromonas*-toename in 2011, de sproeibeluchters zijn aangepast. Mogelijk heeft deze aanpassing geleid tot hogere methaanbelasting van de filters, maar doordat methaan in die periode niet is bepaald valt dit niet met zekerheid te achterhalen.

Eerder onderzoek naar de relatie tussen de ammonium- en methaanbelasting van de filters en het *Aeromonas*-gehalte in reinwater en de filters, liet geen verband zien met de momentane belasting (*Aeromonas* in drinkwater, Hoofdstuk 4, 1992). Er was wel een verband tussen *Aeromonas* en de cumulatieve belasting van de filters met ammonium en methaan. Dit geldt met name voor filters die ouder zijn dan 10 jaar, wat zowel voor ps. De Meern (25 jaar) als ps. Linschoten (43 jaar) het geval is. Omzetting van methaan en ammonium tijdens biologische processen in de filters leidt op den duur tot een accumulatie van biomassa in de filters. *Aeromonas* kan vervolgens gebruik maken van deze biomassa en groeien in de filters.

Op beide locaties uit dit rapport is er sprake van een langdurige belasting van ammonium en methaan op de filters. Methaan wordt niet volledig verwijderd tijdens de beluchtingsstappen op ps. De Meern en ps. Linschoten. Ammonium is op beide locaties aanwezig in het grondwater en wordt pas tijdens filtratie uit het water verwijderd. Met de resultaten uit het meetprogramma kan de cumulatieve methaan- en ammoniumbelasting als volgt worden berekend (Tabel 8):

Cumulatieve belasting in  $\frac{\text{kg CH}_4}{\text{m}^3} =$

$$\left( \left( \frac{\text{conc. influent} \left( \frac{\text{kg CH}_4}{\text{m}^3} \right) / \text{debiet} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{\text{volume filterbed} \left( \text{m}^3 \right)} \right) + 0,1 * \left( \frac{\text{conc. influent} \left( \frac{\text{kg NH}_4}{\text{m}^3} \right) / \text{debiet} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{\text{volume filterbed} \left( \text{m}^3 \right)} \right) \right) \times \text{looptijd} \left( \text{h} \right)$$

De biomassaopbrengst op 1 mg ammonium is ongeveer 10x lager dan op 1 mg methaan, om deze reden is in bovenstaande formule de ammoniumbelasting vermenigvuldigd met 0,1. Er wordt gerekend met een looptijd in uren.

Bij de berekeningen is er vanuit gegaan dat de gemiddelde methaan- en ammoniumconcentraties na beluchting gedurende de hele looptijd van de filters gelijk is geweest aan de concentratie die in het meetprogramma is bepaald. Dit zal niet geheel overeen komen met de praktijk waarbij voor ps. De Meern de beluchtingsmethode soms is aangepast gedurende de looptijd van 25 jaar. Voor ps. Linschoten is daarnaast aangenomen dat de filters continu in productie zijn geweest (8760 uur per jaar, Tabel 6). Bij ps. De Meern is dit niet het geval en zijn de filters gemiddeld 13 uur per dag in gebruik (4745 uur per jaar). Daarnaast is het effect van schoonmaakacties (verlaging van de biomassa op het filtergrind), niet meegenomen. Aangezien er meerdere aannames worden gedaan, moet de cumulatieve belasting daarom als een schatting worden beschouwd en niet als een zeer precieze waarde.

TABEL 8. CUMULATIEVE METHAAN- EN AMMONIUMBELASTING VAN DE FILTERS BIJ PS. DE MEERN EN PS. LINSCHOTEN GEDURENDE DE HELE LOOPTIJD.

		ps. De Meern		ps. Linschoten	
		Methaan	Ammonium	Methaan	Ammonium
Methaan/Ammonium na beluchting	g/m <sup>3</sup>	0,215	0,128	0,405	0,155
Methaan/Ammonium na beluchting	kg/m <sup>3</sup>	0,000215	0,000128	0,000405	0,000155
Debiet per filter	m <sup>3</sup> /h	75	75	167	167
Belasting per filter	kg/uur per filter	0,0161	0,0096	0,0676	0,0259
Looptijd filters	jaar	25	25	43	43
Omrekeningsfactor jaar → uur		4745	4745	8760	8760
Cumulatief	kg/m <sup>3</sup> per filter	1,51x10 <sup>2</sup>		6,96x10 <sup>2</sup>	

De geschatte cumulatieve belasting van de filters van beide locaties is door de lange looptijd hoog, 1,51x10<sup>2</sup> kg/m<sup>3</sup> voor ps. De Meern en 6,96x10<sup>2</sup> kg/m<sup>3</sup> voor ps. Linschoten (Tabel 8). In een eerdere studie is de cumulatieve belasting van de filters vergelijkbaar (1x10<sup>2</sup> - 1x10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>), en zijn de aantallen *Aeromonas* in het effluent even hoog of hoger dan de aantallen bij ps. De Meern en ps. Linschoten (*Aeromonas* in drinkwater, Hoofdstuk 4, 1992). Afgaande op de hoge methaan- en ammoniumbelasting op beide pompstations en de lange looptijd is het niet vreemd dat op beide pompstations relatief hoge aantallen *Aeromonas* aanwezig zijn in het reinwater, al is er geen overschrijding van de norm voor het distributiesysteem. Dit suggereert dat *Aeromonas* zich heeft kunnen vermeerderen tot een relatief hoog niveau en dat vervolgens heeft kunnen handhaven..

## 5.2 Ontijzering, ontmanganing en nitrificatie

Na de vervanging van het grind is de methaanconcentratie in het filter lager waardoor de microbiologische omzetting van methaan door methanotrofe bacteriën af zou moeten nemen. Dit is inderdaad het geval zoals de lagere aantallen genkopieën laten zien. Omdat er minder methanotrofe bacteriën in de filters groeien, is er in de filters waarschijnlijk meer oppervlakte beschikbaar voor ammonium-oxiderende en *Gallionella* bacteriën om te hechten. De kolonisatie van het grind door deze bacteriën blijkt uit de hogere aantallen genkopieën na vervanging van het grind. Als gevolg hiervan verloopt de nitrificatie en omzetting van ijzer beter. Uit onderzoek is gebleken dat optimalisatie van de methaanverwijdering de nitrificatie en ijzerverwijdering over een snelfilter kan verbeteren (SWE 91.002). Echter, als de filters te sterk vervuild zijn, is het nodig om, nadat de methaanverwijdering is geoptimaliseerd, ook de al opgebouwde vervuiling in de filters aan te pakken (SWE 90.024). Beide onderzoeken laten daarbij zien dat verbetering van de ontmanganing, ontijzering en

nitrificatie meestal samen gaat met een verlaging van de *Aeromonas*-aantallen. In sommige gevallen wordt *Aeromonas* daarna niet langer in het water 'na filtratie' gedetecteerd.

### 5.3 *Aeromonas*-problemen op andere pompstations

In het verleden zijn er meerdere zuiveringslocaties geweest met enigszins vergelijkbare *Aeromonas*-problemen als de afgelopen jaren bij pompstation De Meern. Zo steeg in 1989 bij pompstation Sint Jansklooster (N.V. Waterleiding Maatschappij Overijssel, WMO) het *Aeromonas*-aantal sterk in het uitgaande water, voorafgegaan door jarenlange lage aantallen of afwezigheid van *Aeromonas* (*Aeromonas* in drinkwater, Hoofdstuk 3, 1992). De stijging werd veroorzaakt door werkzaamheden. Verlaging van de methaan- en ammoniumbelasting van de filters leidde binnen een jaar niet tot lagere *Aeromonas*-aantallen. Door de jarenlange hoge methaan- en ammoniumbelasting had zich een grote hoeveelheid biomassa opgebouwd in de filters die als substraat voor groei van *Aeromonas* kan dienen. Als oplossing is hier gekozen om de filters te reinigen en het filtermateriaal te vervangen, de beluchting te verbeteren om meer methaan te verwijderen en de droogfiltratie te vervangen door natfiltratie. Bij pompstation Witharen (N.V. Waterleiding Maatschappij Overijssel, WMO) was het *Aeromonas*-aantal in het uitgaande water gedurende lange tijd herhaaldelijk hoger dan de toen geldende richtlijn voor reinwater (20 kve/100 ml). Dit werd mede veroorzaakt door verblijf van het water in twee reservoirs, één op het pompstation en één in het distributienet, met een langere verblijfsduur als resultaat. Hier is de methaanverwijdering verbeterd door het toepassen van vacuumontgassing, is de droogfiltratie vervangen door natfiltratie, is de verblijftijd in de twee reservoirs verkort, zijn de reservoirs schoongemaakt en is het distributienet gereinigd vanaf de bron. Pas na het spuien begon het aantal *Aeromonas*-bacteriën gestaag te dalen. Het gaat hier zeer waarschijnlijk om de combinatie van alle maatregelen die tot succes hebben geleid. De algemene aanbeveling was dat bij zuivering van (sterk gereduceerd anaeroob) grondwater methaan voor de filtratie moet zijn verwijderd (< 0,2 mg/l) en dat de zuivering van ammonium door het nitrificatieproces in de filters volledig moet zijn. Hierdoor komen er geen nieuwe voedingsstoffen voor *Aeromonas* beschikbaar. Vervolgens moet de historisch opgebouwde biomassa in het grind worden verwijderd door vervanging of reiniging van het filtergrind. Zonder vervanging van het grind kan *Aeromonas* blijven groeien op de al aanwezige biomassa.

Bij pompstation Ridderkerk (Waterleidingbedrijf Zuid-Holland Oost, WZHO) is onderzoek gedaan naar de methaanbelasting, bacteriologische samenstelling van het water en *Aeromonas*-overschrijdingen. Hieruit bleek dat alleen verlaging van de methaanbelasting, door het toepassen van een extra beluchtingsstap wel leidde tot verbeterde ontijzing, ontmanging en nitrificatie, maar dat de verhoogde *Aeromonas*-aantallen gelijk bleven. Pas na een externe reiniging van het filtergrind daalde de *Aeromonas*-aantallen (SWE.91.002).

Ook op pompstation Zuidwolde (WMD) bleek verlaging van het methaangehalte de *Aeromonas*-aantallen alleen te verlagen als de filterstraat met plaatbeluchter was gereinigd en het filtergrind vernieuwd (SWE.90.024). Na deze maatregelen was er in het effluent van de nafilter geen *Aeromonas* meer aanwezig. Daarnaast had verlaging van de methaanbelasting een positief effect op de ontijzing en ontmanging.

### 5.4 Effect van discontinue drinkwaterproductie

De spoelregimes en continuïteit van drinkwaterproductie verschillen tussen ps. Linschoten en ps. De Meern. Op ps. Linschoten is de productie continu, terwijl deze discontinu is op ps. De Meern en de zuivering een aantal uur per dag stil staat. Tijdens stilstand kan er verhoogde afbraak optreden doordat microben de tijd krijgen om moeilijk afbreekbare stoffen af te breken. Dit kan mogelijk leiden tot lokale anaërobie waarbij ammonium of methaan gevormd kan worden. Beiden kunnen dienen als nutriënten voor microbiële groei

als de zuivering weer draait. Bij ps. Zuidwolde is een vergelijkbaar beeld waargenomen. Na een stilstand van ongeveer 8 uur was het *Aeromonas*-aantal in het filtraat verhoogd, met name in de eerste 2 – 3 uur na het hervatten van de zuivering. In een parallel lopende productiestraat waarin de productie continu was, was het *Aeromonas*-aantal redelijk stabiel (SWE 90.024). Stilstand van de zuivering kan dus leiden tot meer biomassa waar *Aeromonas* zich op kan vermeerderen.

### 5.5 Oorzaak en oplossing voor aanwezigheid van *Aeromonas*-bacteriën in reinwater van ps. De Meern

Door de aanwezigheid van methaan in het water na beluchting is de methaanbelasting van de filters verhoogd. De methanotrofe bacteriën kunnen in de filters groeien op het methaan waardoor een grote hoeveelheid biomassa in de filters is opgebouwd. Vermoedelijk is tijdens de minder goede beluchting vanaf juli 2011 de methaanconcentratie na beluchting tijdelijk nog hoger geweest waardoor het filter met extra methaan is belast. Dit kan hebben geleid tot vorming van extra biomassa, wat een mogelijk kantelpunt in de microbiële ecologie van het filter is geweest, waardoor het evenwicht, waarbij *Aeromonas* niet kon groeien in de filters en zich niet kon vestigen, verstoord is geraakt. Door de veranderende condities in het filter heeft *Aeromonas* de mogelijkheid gehad om te groeien en zich definitief te vestigen in het grind. Een verandering van de evenwichtssituatie is eerder gezien op pompstation Sint Jansklooster waarbij *Aeromonas* per ongeluk werd geïntroduceerd tijdens werkzaamheden. *Aeromonas* vestigde zich in de filters en kon niet verwijderd worden (*Aeromonas* in drinkwater, Hoofdstuk 3, 1992). Veranderingen in de bedrijfsvoering van de zuivering, zoals het aanpassen van de beluchting, hebben in deze gevallen maar een beperkt effect aangezien de bron, *Aeromonas* in of aan het grind, niet wordt aangepakt.

Vervanging of externe reiniging is de enige maatregel waarmee *Aeromonas* uit het grind, en dus de besmettingsbron, kan worden verwijderd. Het effect hiervan blijkt ook uit de meetresultaten. Zes weken na het in gebruik nemen van de filters met nieuw filtergrind is het grind bijna schoon van *Aeromonas* en er worden nog nauwelijks *Aeromonas*-bacteriën in het effluent van de filters aangetroffen. Deze resultaten bevestigen dat de biomassa op het oude grind de oorzaak van *Aeromonas*-vermeerdering is geweest en dat er geen andere bron van *Aeromonas* is, bijvoorbeeld direct na beluchting en voor de filters. Het effect van de vervanging van het grind op de *Aeromonas*-aantallen in het uitgaande water is beperkt omdat het hier gaat om mengwater dat afkomstig is van de nieuwe, schone filters 1 – 4 en de oude filters 5 – 8. Naar verwachting zal na de vervanging van het grind uit filters 5 – 8 het aantal *Aeromonas*-bacteriën in het reinwater dalen. Om te voorkómen dat zich weer te veel biomassa op het nieuwe filtermateriaal gaat ophopen, is het van belang om de methaanbelasting van het filter terug te dringen.

Samengevat is het dus belangrijk om eerst de methaanverwijdering te optimaliseren door of een extra beluchtingsstap in te voeren, of de bestaande beluchting te optimaliseren. Dit moet gevolgd worden door vervanging of reiniging van het filtergrind en de filters. Als alleen de methaanverwijdering wordt geoptimaliseerd zullen de *Aeromonas*-aantallen vermoedelijk niet veel dalen, omdat *Aeromonas* nog aanwezig is in de filters. Alleen vervanging van het grind zal op korte termijn leiden tot verlaging van de *Aeromonas*-aantallen, maar als de methaanbelasting van de snelfilters hetzelfde blijft, zullen door opbouw van biomassa de *Aeromonas*-problemen op een bepaald moment terug komen.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Vermoedelijk heeft de minder goede beluchting vanaf juli 2011 de methaanconcentratie in het water en de biomassa in de filters tijdelijk verder verhoogd waardoor het evenwicht, waarbij *Aeromonas* niet kon groeien in de filters en zich niet kon vestigen, verstoord is geraakt. Door de veranderende condities in het filter heeft *Aeromonas* de mogelijkheid gehad om te groeien en zich definitief te vestigen in het grind.

De beluchting van het ruwe grondwater op ps. De Meern en ps. Linschoten is vermoedelijk al langere tijd niet optimaal in relatie tot methaanverwijdering. Doordat het methaan niet geheel wordt verwijderd, treedt een (te) hoge methaanbelasting van de filters. De biomassa in de filters neemt toe waardoor *Aeromonas* in de filters van beide pompstations kan groeien.

De methaan- en ammoniumbelasting en de leeftijd van de filters is op beide locaties erg hoog, en is daardoor gerelateerd aan problemen met *Aeromonas* in het reinwater.

Na de vervanging van het grind van filters 1- 4 van ps. De Meern is *Aeromonas* afwezig in drie van de vier filters. Na vervanging van het filtergrind in de filters 5 – 8 (uitgevoerd in november 2017) is *Aeromonas* zeer waarschijnlijk ook niet meer, of in zeer lage aantallen, aanwezig zijn in het uitgaande water.

Door de vervanging van het grind zijn er minder methanotrofe bacteriën aanwezig in de filters. In plaats daarvan zijn er meer *Gallionella* en Ammonium-oxiderende bacteriën aanwezig en vindt er meer ijzeromzetting en nitrificatie plaats. Hierdoor is de ammonium- en ijzerconcentratie in het reinwater gedaald, wat ook een positief effect heeft op de waterkwaliteit.

### 6.2 Aanbevelingen

Optimaliseren van de beluchting en methaanverwijdering bij ps. De Meern. Eind 2017 is ook het grind in filters 5 – 8 van ps. De Meern vervangen. Naar verwachting is *Aeromonas* dan afwezig, of aanwezig in zeer lage aantallen, in het reinwater. Het *Aeromonas*-probleem kan echter alleen langdurig worden opgelost als ook de beluchting op ps. De Meern wordt geoptimaliseerd zodat methaan geheel verwijderd wordt. Idealiter wordt eerst de beluchting verbeterd en daarna het filtergrind vervangen zodat het nieuwe filtergrind geen verhoogde methaanbelasting heeft en er geen extra nieuwe biomassa kan worden gevormd. Voor het verbeteren van de beluchting zijn meerdere opties mogelijk (b.v. toren- en plaatbeluchting). Door hiermee te experimenteren moet inzicht worden verkregen welke methode in deze situatie het beste resultaat geeft.

De reinwaterkelder van ps. De Meern is in 2015 schoongemaakt, maar mogelijk hebben *Aeromonas*-bacteriën zich in de tussenliggende periode opnieuw kunnen vestigen op het sediment in de kelder dat vanuit de filters uitspoelt. In dat geval wordt aanbevolen om ook de reinwaterkelder opnieuw te reinigen.

Optimaliseren van de beluchting en methaanverwijdering bij ps. Linschoten om verdere, toekomstige, problemen met *Aeromonas* te voorkomen. Mogelijk zal ook hier het grind van de filters moeten worden vervangen of gereinigd om de bron van *Aeromonas* te verwijderen.

## 7 Referenties

*Aeromonas* in drinkwater. Vóórkomen, bestrijding, betekenis. Eindredactie: D. van der Kooij; Nieuwegein, april 1992.

De Vet WW, Dinkla IJ, Rietveld LC, van Loosdrecht MC. 2011. Biological iron oxidation by *Gallionella* spp. in drinking water production under fully aerated conditions. *Water Research*, vol 45, no 17, pp 5389 – 5398

SWE 90.024. Verlagen van het *Aeromonas*-aantal in het uitgaande water van pompstation Zuidwolde (WMD) door een verminderde methaanbelasting van de filters

SWE.91.002. Verlaging van de methaanbelasting van de filters van pompstation Ridderkerk

Stolyar S, Costello AM, Peeples TL, Lidstrom ME. 1999. Role of multiple gene copies in particulate methane monooxygenase activity in the methane-oxidizing bacterium *Methylococcus capsulatus* Bath. *Microbiology*, vol 145, pp 1235 – 1244.

Semrau JD, Chistoserdov A, Lebron J, Costello A, Davagnino J, Kenna E, Holmes AJ, Finch R, Murrell JC and Lidstrom ME. 1995. Particulate methane monooxygenase genes in methanotrophs. *Journal of bacteriology*, vol 177, no 11, pp 3071 – 3079.

Gilbert B, McDonald IR, Finch R, Stafford GP, Nielsen AK, Murrell JC. 2000. Molecular analysis of the *pmo* (Particulate Methane Monooxygenase) operons from two type II methanotrophs. *AEMM*, vol 66, no 3, pp 966 – 975.

## Bijlage I Ruwe meetresultaten

gg. Geen gegevens van dit meetpunt. Dit is in de grafieken weergegeven met een ‘\*’.

Aangetoond. DNA is aangetoond in de qPCR, maar resultaten niet betrouwbaar omdat het rendement van de DNA isolatie te laag is. Dit is in de grafieken weergegeven met een ‘+’.

R te laag. DNA is niet aangetoond, maar resultaten niet betrouwbaar omdat het rendement van de DNA isolatie te laag is.

#. Geen resultaten vanwege een besmetting tijdens de isolatie van het DNA. Dit is in de grafieken weergegeven met een ‘#’.

### Detectiegrenzen van de toegepaste analyses

Parameter	Detectiegrens
Koloniegetal bij 22°C (KG22)	1 kve/ml
<i>Aeromonas</i>	1 kve/100 ml
Ammonium	0,015 mg NH <sub>4</sub> -N/l
TOC	0,2 mg C/l
Mangaan	0,6 µg/l
Ijzer	0,01 mg/l
Methaan	5 µg/l
Ammonium-oxiderende bacteriën	Verschildt per meting,
Gallionella bacteriën	afhankelijk van de recovery
Methanotrofe bacteriën	van de DNA isolatie

### KG22

KG22 (kve/ml of kve/gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017
De Meern	Ruw	2	7	3	<1	<1
	Na beluchting	<1	8,75	6	<1	6
Tijdens filtratie	Filter 1	140	82	190	<1	11
	Filter 2	29	91	130	<1	2
	Filter 3	16	39	850	<1	<1
	Filter 4	180	110	190	<1	<1
Grind	Filter 1	<800	243	450000	1900	501
	Filter 2	<780	599	1200000	105	602
	Filter 3	829	629	300000	544	85



	Filter 4	<860	177	1800000	63	83	
<b>Na filtratie</b>	Filter 1	4	4	240	<1	<1	
	Filter 2	<1	3	310	<1	<1	
	Filter 3	2	2	34	2	<1	
	Filter 4	<1	38	260	<1	<1	
	Uitgaand	<1	4	5	<1	<1	
<b>Linschoten</b>	Ruw	9000	6	41	gg	<1	
	<b>Filter 4</b>	Na beluchting	9	1	5	gg	1
		Tijdens filtratie	10	9	4	gg	4
		Grind	5300	698	63000	gg	390
		Na filtratie	15	7	1	gg	1
	Uitgaand	70	5	4	gg	1	

## *Aeromonas*

<i>Aeromonas</i> (kve/100 ml of kve/100 gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017	
<b>De Meern</b>	Ruw	<1	<1	<1	<1	<1	
	Na beluchting	0,75	<1	<1	<1	<1	
	<b>Tijdens filtratie</b>	Filter 1	110	160	10	<1	1
		Filter 2	16	17	1400	<1	<1
		Filter 3	8	5	<1	<1	<1
		Filter 4	33	47	<1	<1	<1
	<b>Grind</b>	Filter 1	<800	4700	12300	400	2600
		Filter 2	<800	430	8700	160	<90
		Filter 3	<800	260	2600	160	<80
		Filter 4	<900	1100	6600	390	<80
	<b>Na filtratie</b>	Filter 1	72	75	1	<1	<1
		Filter 2	57	29	<1	<1	<1
		Filter 3	36	45	<1	5	1
		Filter 4	28	45	<1	<1	<1
	Uitgaand	47	50	43	41	19	
<b>Linschoten</b>	<b>Filter 4</b>	Ruw	<1	<1	<1	gg	1
		Na beluchting	<1	<1	4	gg	1
		Tijdens filtratie	<1	21	<1	gg	10
		Grind	<900	350	4500	gg	89
		Na filtratie	3	25	14	gg	14
		Uitgaand	25	11	77	gg	39

## ATP

ATP (pg/ml of pg/gr grind)		3-4-2017		10-4-2017		12-6-2017		3-8-2017		4-9-2017		
		ATP	SD	ATP	SD	ATP	SD	ATP	SD	ATP	SD	
De Meern	Ruw	<1	-	<1	-	1,5	1,2	<1	-	<1	-	
	Na beluchting	3,95	0,78	2,68	0,30	<1	-	1,8	0,3	1,2	0,3	
	Tijdens filtratie	Filter 1	6,4	1	2,7	0,74	67	5,2	25	1	6,2	1,2
		Filter 2	5,8	2,2	2,9	1	19	0,15	16	0,15	5,4	1
		Filter 3	3,8	0	4,8	2,8	20	1,2	15	1,8	4	0,74
		Filter 4	8,3	1,6	2,6	0,89	26	0,59	23	4,6	11	4,3
	Grind	Filter 1	11000	-	7700	-	56000	-	51000	-	27000	-
		Filter 2	7200	-	7800	-	48000	-	37000	-	32000	-
		Filter 3	13000	-	11000	-	43000	-	42000	-	32000	-
		Filter 4	22000	-	15000	-	39000	-	34000	-	24000	-
	Na filtratie	Filter 1	3,9	1	4	2,5	56	0,59	13	2,5	7,2	0
		Filter 2	3	0,15	2,3	0,44	23	3,7	7,7	0,44	5,4	0,44
		Filter 3	3	0,15	1,9	0,74	16	0	9,2	1,3	5,2	0,15
		Filter 4	4,1	0,44	2,3	0,44	25	0,44	11	0,15	5,8	1,5
		Uitgaand	3,5	0,15	3,1	0,44	5,1	1,6	6	0,3	5,6	1
Linschoten	Ruw	<1	-	<1	-	<1	-	gg	gg	<1	-	
	Filter 4	Na beluchting	2,5	0	1,4	0	3	0,44	gg	gg	1,7	0,44
		Tijdens filtratie	3,1	0,89	5,1	0,3	3,6	0,59	gg	gg	3,7	0
	Grind	37000	-	5800	-	35000	-	gg	gg	5900	-	
	Na filtratie	4,9	1	2,5	0,44	3,2	0,44	gg	gg	5,5	0,59	
	Uitgaand	7,9	0,3	8,3	0,59	4,5	0,15	gg	gg	4,1	1,8	

## Ammonium

Ammonium (mg NH <sub>4</sub> -N/l of mg/1000 gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017	
De Meern	Ruw	0,130	0,130	0,130	0,130	0,120	
	Na beluchting	0,128	0,123	0,130	0,130	0,130	
	Grind	Filter 1	0,168	0,836	0,680	0,425	0,510
		Filter 2	0,337	0,764	0,550	0,508	0,790
		Filter 3	0,431	1,210	0,780	0,536	0,850
		Filter 4	0,569	1,240	0,720	0,196	0,500
	Na filtratie	Filter 1	<0.015	<0.015	0,110	<0.015	<0.015
		Filter 2	<0.015	<0.015	0,110	<0.015	<0.015

	Filter 3	<0.015	<0.015	0,110	<0.015	<0.015
	Filter 4	<0.015	<0.015	0,100	<0.015	<0.015
	Uitgaand	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015	<0.015
<b>Linschoten</b>	Ruw	0,220	0,220	0,220	gg	0,210
	<b>Filter 4</b>					
	Na beluchting	0,210	0,210	<0.015	gg	0,200
	Grind	0,456	1,060	1,440	gg	0,150
	Na filtratie	<0.015	<0.015	<0.015	gg	<0.015
	Uitgaand	<0.015	<0.015	<0.015	gg	<0.015

## TOC

TOC (mg C/l of mg/1000 gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017
<b>De Meern</b>	Ruw	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
	Na beluchting	1,425	1,375	26	9,8	12
	<b>Grind</b>					
	Filter 1	260	180	300	260	300
	Filter 2	170	190	290	230	320
	Filter 3	230	180	310	210	360
	Filter 4	300	210	320	220	420
	<b>Na filtratie</b>					
	Filter 1	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3
	Filter 2	1,1	1,2	1,4	1,4	1,3
	Filter 3	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3
	Filter 4	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3
	Uitgaand	1,3	1,2	1,3	1,4	1,2
<b>Linschoten</b>	Ruw	1,6	1,5	1,6	gg	1,6
	<b>Filter 4</b>					
	Na beluchting	1,6	1,6	14	gg	1,5
	Grind	620	220	1220	gg	170
	Na filtratie	1,4	1,4	1,5	gg	1,5
	Uitgaand	1,6	1,4	1,5	gg	1,5

## Mangaan

Mangaan (µg/l of µg/1000 gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017
<b>De Meern</b>	Ruw	87	88,1	95	89	89
	Na beluchting	107,75	88,6	100	91	89
	<b>Grind</b>					
	Filter 1	2790	4850	2320	3850	8140
	Filter 2	2080	4900	2340	3190	12560

	Filter 3	4390	11500	2790	3920	12400	
	Filter 4	16970	11120	2790	3570	8420	
	<b>Na filtratie</b>	Filter 1	0,78	<0.6	89	0,8	<0.6
	Filter 2	<0.6	<0.6	96	0,86	<0.6	
	Filter 3	3,7	<0.6	87	1,7	<0.6	
	Filter 4	0,62	<0.6	84	1,1	<0.6	
	Uitgaand	1,4	<0.6	0,72	1,1	<0.6	
<b>Linschoten</b>	Ruw	89	82,1	83	gg	82	
<b>Filter 4</b>	Na beluchting	87	83,1	3,2	gg	82	
	Grind	5560	6360	41090	gg	4250	
	Na filtratie	1,9	<0.6	11	gg	<0.6	
	Uitgaand	1,8	<0.6	1,1	gg	1,6	

## Ijzer

Ijzer (mg/l of mg/1000 gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017	
<b>De Meern</b>	Ruw	0,6	0,59	0,65	0,62	0,65	
	Na beluchting	0,915	0,565	0,69	0,64	0,62	
	<b>Grind</b>	Filter 1	650	190	950	550	1040
		Filter 2	230	210	1040	440	1030
		Filter 3	380	300	1040	450	1310
		Filter 4	820	370	1040	400	1580
	<b>Na filtratie</b>	Filter 1	0,02	0,04	0,08	0,03	0,03
		Filter 2	0,03	<0.01	0,05	0,02	0,02
		Filter 3	0,03	<0.01	0,12	0,04	0,02
		Filter 4	0,05	<0.01	0,09	0,02	0,02
	Uitgaand	0,02	<0.01	0,04	0,04	0,03	
<b>Linschoten</b>	Ruw	0,8	0,75	0,8	gg	0,72	
	<b>Filter 4</b>	Na beluchting	0,73	0,7	0,11	gg	0,7
		Grind	1970	410	5720	gg	180
		Na filtratie	0,04	<0.01	0,04	gg	0,07
	Uitgaand	0,09	<0.01	0,04	gg	0,06	

## Methaan

Methaan (µg/l)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017	
De Meern	Ruw	1100	1000	900	840	870	
	Na beluchting	275	227,5	185	222,5	165	
	Na filtratie	Filter 1	<5	<5	< 5	5	6
		Filter 2	<5	<5	< 5	6	6
		Filter 3	<5	<5	< 5	5	5
		Filter 4	<5	<5	< 5	5	6
Uitgaand	6	<5	< 5	5	<5		
Linschoten	Ruw	1500	1200	1300	gg	1100	
	Filter 4	Na beluchting	470	340	gg	gg	340
		Na filtratie	13	5	9	gg	7
		Uitgaand	6	<5	< 5	gg	6

## Methanotrofe bacteriën

Methanotrofe bacteriën (genkopieën/l of genkopieën/gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017	
De Meern	Ruw	3,1E+07	4,4E+08	2,3E+07	2,5E+07	1,3E+07	
	Na beluchting	1,4E+08	1,3E+07	3,0E+06	1,2E+07	1,7E+07	
	Tijdens filtratie	Filter 1	5,3E+07	2,6E+07	1,2E+08	1,2E+07	9,6E+06
		Filter 2	3,5E+07	2,9E+07	4,3E+07	9,2E+06	4,5E+06
		Filter 3	3,1E+07	2,7E+07	8,1E+07	6,8E+06	1,2E+07
		Filter 4	2,3E+07	3,1E+07	1,0E+08	7,6E+06	9,5E+06
	Grind	Filter 1	3,9E+07	6,9E+07	3,8E+08	2,7E+08	1,7E+08
		Filter 2	1,7E+07	7,7E+07	Aangetoond	2,0E+08	1,6E+08
		Filter 3	3,2E+07	1,8E+08	Aangetoond	2,4E+08	1,5E+08
		Filter 4	3,4E+07	9,1E+07	3,2E+08	2,8E+08	1,1E+08
	Na filtratie	Filter 1	2,6E+07	1,2E+07	2,5E+07	7,1E+06	1,1E+07
		Filter 2	1,7E+07	8,9E+06	3,3E+07	5,3E+06	4,0E+06
		Filter 3	#	1,2E+07	6,6E+07	3,4E+06	7,9E+06
		Filter 4	2,7E+07	1,3E+07	7,5E+07	4,0E+06	5,6E+06
	Uitgaand	1,6E+07	1,0E+07	2,1E+07	1,1E+07	8,3E+06	
Linschoten	Ruw	5,0E+04	5,1E+04	1,8E+05	gg	4,7E+04	
	Filter 4	Na beluchting	3,0E+06	2,4E+06	1,4E+06	gg	7,0E+06
		Tijdens filtratie	1,6E+06	5,5E+06	2,8E+07	gg	7,8E+06
		Grind	6,7E+07	8,8E+05	Aangetoond	gg	1,3E+07
		Na filtratie	1,2E+06	2,0E+06	9,8E+05	gg	9,2E+06
	Uitgaand	8,5E+06	3,3E+06	2,4E+06	gg	1,6E+06	

## Ammonium-oxiderende bacteriën

Ammonium-oxiderende bacteriën (genkopieën/l of genkopieën/gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017	
De Meern	Ruw	<2,4E+03	<3,4E+04	<1,8E+03	<1,8E+03	<2,1E+03	
	Na beluchting	<2,23E+03	2,0E+03	<1,7E+03	1,1E+04	4,9E+03	
	Tijdens filtratie	Filter 1	<2,0E+03	<1,8E+03	5,6E+04	1,0E+05	3,3E+05
		Filter 2	<2,0E+03	<1,9E+03	<1,7E+03	8,3E+04	1,9E+05
		Filter 3	<2,3E+03	<1,8E+03	3,5E+03	1,9E+05	8,4E+04
		Filter 4	<2,2E+03	<1,8E+03	<1,8E+03	2,2E+05	8,0E+04
	Grind	Filter 1	3,3E+02	<230	<350	1,9E+04	2,6E+04
		Filter 2	1,3E+02	1,2E+02	Aangetoond	1,6E+04	1,2E+04
		Filter 3	8,6E+03	1,2E+04	R te laag	3,3E+04	2,0E+04
		Filter 4	<210	<160	<750	6,6E+04	1,3E+04
	Na filtratie	Filter 1	<1,9E+03	<1,9E+03	1,0E+04	1,1E+05	1,8E+05
		Filter 2	<2,6E+03	<1,9E+03	1,7E+03	1,1E+05	8,6E+04
		Filter 3	<2,9E+03	<1,7E+03	<1,7E+03	3,0E+05	5,0E+04
		Filter 4	<2,3E+03	<1,8E+03	2,6E+03	2,3E+05	3,4E+04
		Uitgaand	<2,1E+03	<1,9E+03	<1,7E+03	7,8E+04	6,0E+04
Linschoten	Ruw	<2,5E+03	<1,9E+03	<1,6E+03	gg	<2,2E+03	
	Filter 4	Na beluchting	<2,1E+03	<1,9E+03	<1,6E+03	gg	<1,9E+03
		Tijdens filtratie	<2,0E+03	<1,7E+03	<1,7E+03	gg	<1,8E+03
		Grind	6,5E+02	1,3E+01	R te laag	gg	3,3E+02
		Na filtratie	<1,9E+03	<1,7E+03	<1,5E+03	gg	<2,0E+03
		Uitgaand	<1,8E+03	<1,9E+03	<1,5E+03	gg	<2,3E+03

## Gallionella bacteriën

Gallionella bacteriën (genkopieën/l of genkopieën/gr grind)		3-4-2017	10-4-2017	12-6-2017	3-8-2017	4-9-2017	
De Meern	Ruw	1,3E+05	9,7E+05	6,1E+04	2,0E+05	1,3E+06	
	Na beluchting	1,2E+06	6,1E+04	8,5E+05	2,0E+06	2,0E+06	
	Tijdens filtratie	Filter 1	7,8E+06	7,8E+05	2,7E+06	2,7E+06	2,5E+06
		Filter 2	3,7E+06	6,6E+05	3,8E+06	3,3E+06	2,9E+06
		Filter 3	1,9E+06	1,8E+06	2,9E+06	1,9E+06	2,1E+06
		Filter 4	1,1E+06	6,9E+05	5,8E+06	2,0E+06	2,8E+06

	<b>Grind</b>	Filter 1	1,9E+07	3,7E+06	1,5E+06	6,6E+06	1,3E+07	
		Filter 2	3,6E+06	2,2E+06	Aangetoond	5,5E+06	9,0E+06	
		Filter 3	4,5E+06	3,6E+06	Aangetoond	6,6E+06	9,2E+06	
		Filter 4	8,1E+06	3,9E+06	4,7E+06	4,8E+06	2,3E+07	
	<b>Na filtratie</b>	Filter 1	1,2E+06	6,4E+05	1,2E+06	1,2E+06	1,9E+06	
		Filter 2	9,8E+05	1,8E+04	3,5E+06	1,4E+06	1,7E+06	
		Filter 3	1,1E+08	4,1E+05	2,4E+06	9,7E+05	1,9E+06	
		Filter 4	2,2E+06	4,7E+05	4,6E+06	1,1E+06	1,8E+06	
		Uitgaand	1,2E+06	2,3E+06	7,2E+05	1,1E+06	1,2E+06	
	<b>Linschoten</b>		Ruw	1,2E+05	4,6E+06	5,6E+04	gg	2,0E+04
		<b>Filter 4</b>	Na beluchting	5,9E+06	3,8E+06	1,4E+06	gg	1,5E+06
			Tijdens filtratie	2,4E+06	2,0E+06	4,4E+06	gg	2,5E+06
			Grind	1,7E+08	2,9E+06	Aangetoond	gg	4,3E+06
Na filtratie			1,8E+06	2,5E+06	1,7E+06	gg	1,3E+06	
Uitgaand			2,9E+06	1,1E+06	1,6E+06	gg	2,1E+06	