

BTO 2017.068 | November 2017

BTO rapport

Biologische stabiliteit en
nagroeï: definities en
positiebepaling van de
bedrijfstak anno 2016

BTO

Biologische stabiliteit en groei: definities en positiebepaling van de bedrijfstak anno 2016

BTO 2017.068 | November 2017

Opdrachtnummer

400554/168

Projectmanager

Michiel Hootsmans

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Biologische activiteit

Kwaliteitsborger

Paul van der Wielen

Auteur

Wim Hijnen en Paul van der Wielen

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Jaar van publicatie 2017

Meer informatie

dr. P.W.J.J. van der Wielen

T 0625241293

E paul.van.der.wielen@kwrwater.nl

Keywords

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

I www.kwrwater.nl



Watercycle
Research
Institute

BTO 2017.068 | November 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

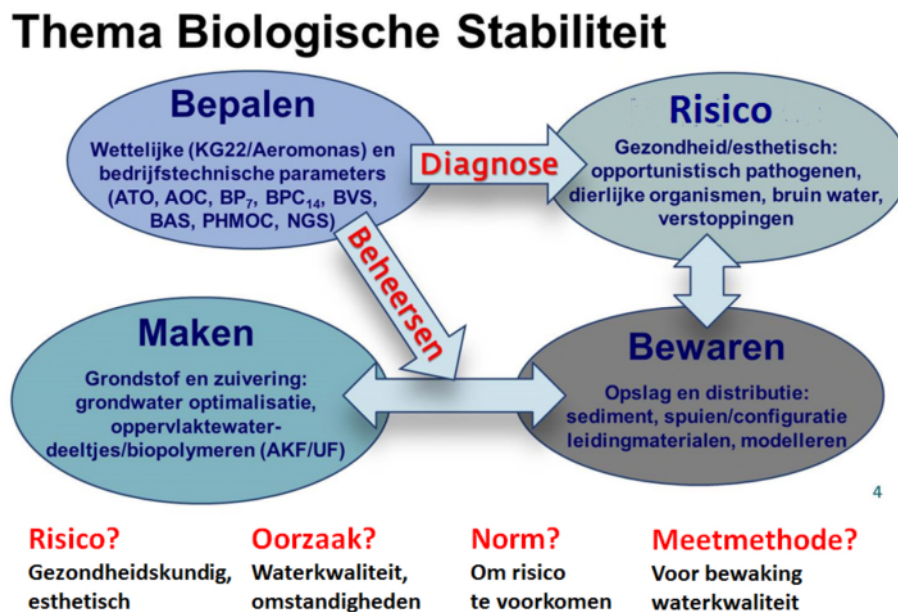
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Einde aan discussies rond biologische stabiliteit door vaststellen eenduidige definitie

Auteurs: dr. Wim Hijnen en dr. Paul van der Wielen

In samenspraak met waterbedrijven is een eenduidige definitie vastgesteld van biologische stabiliteit. Daardoor is het beter mogelijk om onderzoeksprioriteiten te bepalen. Voorheen werden discussies rond biologische stabiliteit van drinkwater en nagroei in het distributiesysteem vaak vertroebeld omdat waterbedrijven verschillende omschrijvingen hanteren. Gesprekken met afzonderlijke waterbedrijven en een gezamenlijke workshop hebben geleid tot de volgende definitie: *“Biologische stabiliteit beschrijft een drinkwatersysteem dat tot een zo min mogelijke biologische verandering leidt, zodat gezondheidsrisico’s en/of consumentenklachten, gerelateerd aan groei van (micro-)organismen, niet kunnen optreden.”* Aan de hand van een strategie is tevens omschreven op welke productielocaties meer gedetailleerd onderzoek nodig is naar de biologische stabiliteit om de juiste beheersmaatregelen te kunnen vaststellen.



Aspecten van biologische stabiliteit

Belang: behoefte aan een gezamenlijke definitie voor biologische stabiliteit

Voor de productie en distributie van drinkwater zonder desinfectieresidu is de biologische stabiliteit van dat water een hoogst belangrijke pijler. Discussies over dit onderwerp vinden binnen de Nederlandse watersector veelvuldig plaats, maar worden vanwege

definitieverschillen vertroebeld. Wat zijn nu precies biologische stabiliteit van drinkwater en nagroei in het distributiesysteem? Vanwege het belang van biologische stabiliteit is binnen de BTO-themagroep ‘Biologische Activiteit’ gezocht naar een eenduidig antwoord. Zonder een goede omschrijving hiervan is het namelijk lastig om onderzoeksprioriteiten vast te

stellen. Daarom is in 2016 besloten om samen met de drinkwatersector te komen tot een gezamenlijke definitie.

Aanpak: uitvoering van een stappenplan, samen met waterbedrijven

Om samen met de waterbedrijven tot een eenduidige definitie voor biologische stabiliteit te komen, zijn de volgende stappen genomen:

1. Afzonderlijke bezoeken aan waterbedrijven voor gesprekken met de inhoudelijk deskundigen en CO-leden;
2. Omschrijving van een historisch overzicht van de betekenis en definitie van biologische stabiliteit;
3. Analyse van de aan ILT gerapporteerde kwaliteitsbeoordeling van het gedistribueerde drinkwater;
4. Gezamenlijke workshop waarin de voorgaande drie punten aan bod zijn gekomen, gevolgd door een discussie aan de hand van door waterbedrijven ingebrachte stellingen;
5. Opstellen van een definitie voor biologische activiteit op basis van de resultaten uit stappen 1-4, in samenspraak met de leden van de themagroep *Biologische Activiteit*.

Resultaten: gesprekken en workshop leiden tot gezamenlijke definitie

De belangrijkste uitkomsten van gesprekken met afzonderlijke waterbedrijven en de gezamenlijke workshop zijn:

- Alle waterbedrijven onderschrijven het voorzorgsprincipe ten aanzien van opportunistische ziekteverwekkers. Zij zien dit risico als belangrijkste reden voor de productie van biologisch stabiel drinkwater.
- Vier van de tien waterbedrijven beschouwen de wettelijke parameter *Aeromonas* als waardevol. Drie van deze vier bedrijven overschrijden de wettelijke *Aeromonas*-norm. De zes andere bedrijven zien overschrijdingen van de *Aeromonas*-norm niet als een belangrijk probleem. Binnen deze groep overschrijden ook drie bedrijven de wettelijke *Aeromonas*-norm.
- Besloten is de parameters voor bepaling van de biologische stabiliteit van het drinkwater niet op te nemen in het routinematige monitorprogramma.

- Vastgesteld is dat voor de definitie van beheersmaatregelen meer kennis nodig is over biologische processen in het drinkwatersysteem. De kennisontwikkeling dient zich te richten op (i) toekomstige implementatie of (ii) mogelijke consequenties voor de dagelijkse praktijk.

Op basis van de genoemde resultaten is samen met de waterbedrijven de volgende definitie van biologische stabiliteit opgesteld: "*Biologische stabiliteit beschrijft een drinkwatersysteem dat tot een zo min mogelijke biologische verandering leidt, zodat gezondheidsrisico's en/of consumentenklachten, gerelateerd aan groei van (micro-)organismen, niet kunnen optreden.*"

Implementatie: strategie voor vaststellen noodzakelijke gevallen gedetailleerd onderzoek

De definitie voor biologische stabiliteit kan dienen om te achterhalen bij welke productielocaties het drinkwater niet aan deze definitie voldoet. Tevens hebben we een strategie opgesteld die omschrijft in welke gevallen meer gedetailleerd onderzoek nodig is. In zo'n situatie wordt monitoring van routinematige parameters (zoals *Aeromonas*) aangevuld met metingen van biomassa (bv. ATP), bacteriesamenstelling (hydrogenomics) en opportunistische pathogenen én het opzetten en onderhouden van een betrouwbaar consumentenklachtensysteem. Op basis van deze resultaten wordt bij verdachte productielocaties de biologische stabiliteit van het drinkwater in meer detail zou moeten worden onderzocht, middels het uitvoeren van directe (en duurdere) methoden voor biologische stabiliteit (bv. AOC, BPP, BVS, BAS en PHMOC) in watermonsters door zuivering en distributie en worden de eigenschappen van het drinkwatersysteem bepaald (leidingmateriaal, hydraulica en onderhoud). Resultaten van deze meer gedetailleerde analyse van de biologische stabiliteit kunnen worden gebruikt om de juiste beheersmaatregelen vast te stellen.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Biologische stabiliteit en nagroei: definities en positiebepaling van de bedrijfstak anno 2016* (BTO 2017.068).

Meer informatie

Dr. P.W.J.J. van der Wielen
T 030 6069642
E paul.van.der.wielen@kwrwater.nl

KWR

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands



Watercycle
Research
Institute

Voorwoord

Dit BTO rapport is geschreven in opdracht van en in samenwerking met de themagroep Biologische Activiteit. De inhoud van het rapport is tot stand gekomen vanuit de onderzoeksinspanningen van velen die vanaf de jaren 70 bij het BTO onderzoek betrokken zijn geweest vanuit de bedrijfstak. Het thema is ontwikkeld door Dick van der Kooij (KIWA, later KWR) die tot 2011 leiding heeft gegeven aan het onderzoeksveld. Deel van het onderzoek relevant voor het onderwerp van dit rapport is in hoofdstuk 2 samengevat. Paul van der Wielen is vanaf 2006 intensief met dit onderwerp betrokken en heeft de taken als principal researcher van Dick van der Kooij in 2011 overgenomen. Het derde, vierde en vijfde hoofdstuk van dit rapport gaat over de stand van zaken rondom dit thema in 2016 (hoofdstuk 3), de resultaten van een workshop (hoofdstuk 4) en de beschrijving van een definitie voor biologische stabiliteit gevolgd door een strategie hoe deze te bepalen (hoofdstuk 5). Het rapport is tot stand gekomen samen met de huidige themagroepleden van de tien drinkwaterbedrijven in Nederland en hun waterlaboratoria: Jan Bahlman (Evides), Geo Bakker (Vitens), Marco Dignum (Waternet), Aleksandra Knezev (HWL), Maarten Lut (Oasen), Peter van der Maas (WLN, namens Waterbedrijf Groningen en WMD), Ed van der Mark (Dunea), Peter Schaap (PWN), Melanie van Schijndel (Brabant Water), Weren de Vet (WML) en Lut de Coster van het Vlaamse drinkwaterbedrijf De Watergroep.

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie
dr. P.W.J.J. van der Wielen
T 0625241293
E paul.van.der.wielen@kwrwater.nl

Keywords

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
I www.kwrwater.nl

KWR Watercycle
Research
Institute

BTO 2017.068 | November 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

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

Samenvatting

Het doel van dit project is om de positie van de Nederlandse drinkwatersector in kaart te brengen ten aanzien van het onderwerp Biologische Stabiliteit, hiervoor een nieuwe definitie te formuleren en toekomstig onderzoek te formuleren.

Dit rapport is het resultaat van een aantal projectstappen die zijn doorlopen. Allereerst zijn alle bedrijven bezocht voor een interview over het thema zoals dat bij hen in de praktijk speelt. Vervolgens is een workshop georganiseerd waarin de historie van het thema, de aan ILT gerapporteerde jaarlijkse kwaliteitsbeoordeling en de uitkomsten van de interviews zijn gepresenteerd. Aan de hand van stellingen over het thema is in de workshop een discussie met de bedrijfstak gevoerd. Deze elementen zijn allen terug te vinden in dit rapport en hebben geleid tot het formuleren van een nieuwe definitie van het begrip biologische stabiliteit (i) waarin het begrip nagroei is vervangen door gezondheidsrisico's en consumentenklachten en (ii) die geldt voor zowel het drinkwater als het watersysteem waarmee dit wordt gedistribueerd. Er is een strategie beschreven om te komen tot een biologisch stabiel watersysteem. Hierin staan monitoring van (micro)biologische veranderingen met bestaande en/of nieuwe parameters in het distributiesysteem en het registreren van consumentenklachten gekoppeld aan deze veranderingen centraal, gevolgd door nadere monitoring van biologische stabiliteit van het drinkwater en het voorkomen van opportunistische ziekteverwekkers. Gebaseerd op deze strategie wordt aangegeven welke onderdelen van de strategie moeten worden toegevoegd en welke onderdelen door aanvullend onderzoek toekomstbestendig ingevuld moeten worden.

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Historie van biologische stabiliteit en nagroei	7
2.1	Inleiding	7
2.2	Nagroei: risico's en problemen	8
2.3	Microbiologische groeipotentie van water: methoden en richtwaarden	9
2.4	Biofilmvormende eigenschappen van drinkwater en materialen in contact met drinkwater: methoden en richtwaarden	13
2.5	Onderzoekbehoeften anno 2014	18
3	De biologische stabiliteit van het drinkwater en nagroei in de Nederlandse praktijk anno 2016	21
3.1	Inleiding	21
3.2	Rapportage wettelijke parameters nagroei	22
3.3	Beoordeling door de waterbedrijven op basis van interviews	26
3.4	Positiebepaling in Vlaanderen	28
4	Discussieresultaten workshop	31
4.1	Opportunistisch pathogenen	31
4.2	Monitoring van biologische stabiliteit	32
4.3	Kennisontwikkeling en beheersmaatregelen	34
4.4	Aandacht voor drinkwaterinstallaties	35
4.5	Groeibevorderende leidingmaterialen	36
4.6	Toegepaste biofilms in leidingnet	37
4.7	<i>Aeromonas</i> en KG22°C als nagroei-indicatoren	38
4.8	Ongewervelde dieren	39
5	Definitie biologische stabiliteit	41
5.1	Achtergrond	41
5.2	Definitie 'Biologische Stabiliteit' volgens de TG Biologische Activiteit	41
6	Conclusies en aanbevelingen	45
6.1	Conclusies	45
6.2	Aanbevelingen	47
7	Referenties	49

1 Inleiding

Sinds de jaren '70 van de vorige eeuw wordt door KWR (voorheen Kiwa Speurwerk/Water Research) in samenwerking met de waterbedrijven onderzoek uitgevoerd naar ongewenste vermeerdering van (micro-)organismen in drinkwater tijdens opslag en distributie. Ongewenste groei van (micro-)organismen kan leiden tot nagroeiproblemen: (i) vermeerdering van opportunistische ziekteverwekkers (bv *Legionella pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus fumigatus*, *Stenotrophomonas maltophilia*), (ii) groei van organismen die esthetische klachten kunnen veroorzaken, zoals aanwezigheid van met het oog waarneembare ongewervelde dieren, troebel/bruin water en reuk/smaak problemen en (iii) groei van organismen die technische klachten kunnen veroorzaken, zoals verstopping van watermeters door ongewervelde dieren en microbieel geïnduceerde corrosie. Inzicht in de processen die tot ongewenste vermeerdering van (micro-)organismen in drinkwater leiden, hebben geresulteerd tot introductie van specifieke biologische en biochemische analysemethoden waarmee de groeipotentie van het drinkwater kan worden beschreven. De inzet van deze methoden heeft geleid tot verbetering van bronnen en zuiveringen, zodat de groeipotentie van het Nederlandse drinkwater de afgelopen decennia is afgenomen. In welke mate hiermee ook de bovengenoemde nagroeiproblemen zijn verminderd, is minder duidelijk door het ontbreken van (historische) gegevens hierover. Binnen de bedrijfstak is discussie ontstaan over (i) welke nagroeiproblemen er heden ten dage zijn en hoe groot deze zijn en (ii) de vraag tot welk niveau de groeipotentie van het drinkwater moet worden teruggebracht. Dit heeft geleid tot het organiseren van een workshop op 11 november 2016 in het kader van het BTO project 'Aandachtswaarden nieuwe meetmethoden biologische stabiliteit' en het formuleren van een nieuw BTO project 'positiebepaling van de Bedrijfstak'. Doel van dit laatste project is om de positie van de bedrijfstak ten aanzien van de nagroeiproblemen te bepalen en de definitie van biologisch stabiel drinkwater te beschrijven. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van afgerond BTO-onderzoek, bestaande literatuur en de resultaten van de workshop. Een heldere en eenduidige besluitvorming rondom dit thema vereist een gemeenschappelijk en scherper beeld van beide begrippen. Door een gezamenlijke visie over dit aspect van de drinkwaterkwaliteit vast te stellen, is het makkelijker doelen te formuleren waar we met dit thema naar toe willen binnen de drinkwatersector. Een bedrijfstak brede aandacht voor waterkwaliteit (van der Kooij et al., 2010) heeft in het verleden geleid tot aanpassingen in de wettelijke regelgeving voor de drinkwatervoorziening (bijvoorbeeld *Aeromonas* regelgeving, veiligheid en infectierisico). De opbrengsten van dit project zijn een workshop en een schriftelijke positieverklaring van de drinkwatersector over de begrippen biologische stabiliteit en nagroei vastgelegd in een Nederlandstalig document en gezamenlijke (inter)nationale publicaties.

In het voorjaar van 2016 zijn alle drinkwaterbedrijven bezocht en geïnterviewd over het thema en is de workshop georganiseerd. In de workshop is een historisch beeld gegeven van de begrippen biologische stabiliteit en nagroei. Dit staat beschreven in Hoofdstuk twee van het onderhavige rapport. In Hoofdstuk drie is op grond van de kwaliteitstrapporten van ILT met de door de bedrijven gerapporteerde drinkwaterkwaliteit en de resultaten van de interviews de stand van zaken van de dagelijkse praktijk bij de bedrijven een beeld gepresenteerd over de posities van de individuele drinkwaterbedrijven op dit thema. Hoofdstuk vier bevat de resultaten van de discussie in de workshop gebaseerd op de acht

stellingen die door de themagroepleden zijn gepresenteerd. In het laatste hoofdstuk wordt de definitie van biologische stabiliteit van drinkwater geformuleerd.

2 Historie van biologische stabiliteit en nagroei

2.1 Inleiding

Basis voor het historische overzicht van het thema vormt het boek van van der Kooij en van der Wielen (2014) getiteld 'Microbial Growth in Drinking-water Supplies: Problems, Causes, Control and Research Needs' aangevuld met meer recent onderzoek naar het verband tussen biologische stabiliteit en nagroei.

De eerste stappen op het gebied van de microbiologie van drinkwater werden gezet aan het einde van de 19^e eeuw. De ontdekking dat drinkwater een bron van ziekteverwekkende micro-organismen was, was gebaseerd op de vele cholera uitbraken van die tijd. Naast direct onderzoek naar ziekteverwekkers werd het 'indicator concept', de aanwezigheid van bacteriën van fecale herkomst geïntroduceerd. Belangrijke onderzoeker op dit gebied was Koch (1883) die de koloniegetal-techniek introduceerde, een methode waarmee je zichtbaar kon maken dat water bacteriën bevat. Deze methode was gebaseerd op de vorming van kolonies op een vaste voedingsbodem in een petrischaal. De samenstelling van voedingsbodem en de incubatietemperatuur en duur bepaalde welke bacteriën tot ontwikkeling kwamen.

Naast aandacht voor de fecale ziekteverwekkers en indicatoren in water bepaald met deze nieuwe koloniegetal-techniek, was er ook aandacht voor het totaal aantal heterotrofe bacteriën in water gemeten met een algemene voedingsbodem (nutriënt gelatine medium; gelatine als bindmiddel werd later vervangen voor agar). Dit leidde tot de eerste microbiologische norm voor drinkwater van 100 kolonievormende eenheden (KVE) per ml. Met dierproeven werd vastgesteld dat deze heterotrofe bacteriën in water niet ziekteverwekkend waren. Ook in Nederland was in diezelfde tijd Hugo de Vries (1890) actief met esthetische klachten in het Rotterdamse drinkwater van biologische herkomst die hij correleerde met het voorkomen van ijzerbacteriën en ongewervelde dieren. Ook geur- en smaakproblemen met drinkwater werden veel later (Sigworth, 1957) in verband gebracht met biologische activiteit in het leidingnet.

Vanaf de 70-jaren nam de belangstelling voor drinkwaterkwaliteit in zijn algemeenheid toe, met name door een toename van de vervuiling van oppervlaktewater en grondwater dat als bron voor de drinkwatervoorziening werd gebruikt. Dit leidde tot introductie van nieuwe zuiveringstechnologieën zoals oxidatie met ozon en actieve-koolfiltratie. Chloor werd nog veelvuldig gebruikt in de drinkwatervoorziening als desinfectiemiddel. De ontdekking van de vorming van tri-halomethanen bij de chlorering van drinkwater (Rook, 1974) leidde tot een langzame maar zekere afbouw van het gebruik van dit desinfectiemiddel voor hoofddesinfectie en nadesinfectie (Schellart, 1986). Aanvankelijk leek ozon de ideale vervanger maar door de ontdekking van de vorming van AOC (Van der Kooij, 1990) en bromaat (Kruithof and Schippers, 1992) bleek ook dit oxidatiemiddel een aantal nadelen te hebben.

Vooral het stoppen van het chloreren van drinkwater in Nederland leidde tot een toenemende discussie over de betekenis van groei van micro-organismen in het drinkwater

en de behoefte aan maatregelen om dit te kunnen beheersen. In de 70-tiger jaren werd uit onderzoek duidelijk dat de heterotrofe bacteriën in water die werden bepaald met de gestandaardiseerde koloniegetalbepaling met een voedselrijke voedingsbodem maar een klein deel vormt van het totaal aan bacteriën dat in water aanwezig is. Om groei van bacteriën in drinkwater beter te begrijpen werden in bedrijfstakverband studies hiernaar verricht die de groei van bacteriën in het voedselarme drinkwatermilieu verder in kaart bracht (Van der Kooij, 1984). De term biologische stabiliteit werd geïntroduceerd door Rittmann en Snoeyink in 1984 en werd gedefinieerd als

‘een biologisch stabiel drinkwater bevordert geen overmatige groei van micro-organismen.’

Dit stelde microbiologen en ingenieurs voor de opgave tot het ontwikkelen van methoden die de biologische stabiliteit van drinkwater beschrijven en tot het produceren van biologisch stabiel drinkwater.

2.2 Nagroei: risico's en problemen

Opportunistische ziekteverwekkers. Groei van opportunistisch ziekteverwekkers in drinkwater tijdens distributie wordt gezien als belangrijkste risico van nagroei. Naast *L. pneumophila* zijn door van der Wielen en van der Kooij (2009) *P. aeruginosa*, *A. fumigatus* en *S. maltophilia* geïdentificeerd als mogelijke opportunistische ziekteverwekkers die zich in het Nederlandse drinkwaterdistributiesysteem kunnen vermeerderen.

Bruinwater klachten. Bruinwater, meestal veroorzaakt door ijzer(hydr)oxiden, is nog steeds de grootste oorzaak van consumentklachten in Europa en de VS (Vreeburg and Boxall, 2007). Het probleem wordt veroorzaakt door verhoogde ijzerconcentraties in het drinkwater afkomstig van het ruwe water en/of toegepaste coagulatieprocessen met ijzer en/of corrosie van gietijzeren leidingen die nog aanwezig zijn in het distributiesysteem. Microbiologisch onderzoek heeft aangetoond dat bacteriën hierbij een rol spelen (Clark et al., 1967; Macrae and Edwards, 1972; Ridgway and Olson, 1981).

Reuk en smaak. De productie van stoffen die leiden tot klachten over de reuk en smaak van water is een probleem dat ook wordt geassocieerd met microbiologische activiteit in het distributiesysteem. Bekend is de productie van geosmin and 2-methylisobornel door actinomyceten in het distributiesysteem die leiden tot een bodemachtige, muffe geur. Deze stoffen kunnen afkomstig zijn van oppervlaktewater waarin cyanobacteriën een stof als geosmin kunnen produceren (Krasner et al., 1989; Ketelaars, 1994). Daarnaast zijn kunnen ook geur- en smaakstoffen als trichlooranisolen voorkomen, die in zuivering en/of distributiegebied kunnen worden gevormd uit gechloreerde bijproducten en een lage geur drempelwaarde hebben van ng/l (Burtschell et al., 1959; Piriou et al., 2001). Tot slot kan onder anaerobe condities in bepaalde niches (sediment/biofilm) de sterk geurende verbinding dimethylsulfide worden gevormd (Wajon et al., 1986; Franzmann et al., 2001).

Zichtbare ongewervelde dieren. In drinkwater waargenomen zichtbare ongewervelde dieren zoals waterpissebedden kunnen leiden tot consumentklachten over de drinkwaterkwaliteit en verstopping van watermeters (Smalls and Greaves, 1968; Levy et al., 1986). Hun aanwezigheid is een indicatie voor de aanwezigheid van met organische stof verrijkt sediment en is ook afhankelijk van buismateriaal en verblijftijd (Christensen et al., 2011; van Lieverloo et al., 2012).

Drinkwaternormen. Het heterotrofe koloniegetal van drinkwater bepaald bij 22°C (KG22) en het koloniegetal voor *Aeromonas* (specifiek in Nederland) zijn als norm geïntroduceerd als indicatoren voor nagroei. De norm voor KG22 is 2003 door de WHO geëvalueerd met als conclusie dat overschrijding niet leidt tot gezondheidsrisico's (Bartram et al, 2003; Payment et al, 2003), maar wordt gezien als een teken voor het falen van handhaving van een residueel chloorgehalte, een mogelijke contaminatie van het distributiesysteem, en de vervuiling door bijvoorbeeld sedimentaccumulatie en/of biofilmvorming.

Voor het KG22 als indicator voor nagroei geldt in Nederland een norm voor het geometrisch jaargemiddeld in gedistribueerd drinkwater van <100 KVE/ml en voor *Aeromonas* een maximum waarde van 1000 KVE/100 ml in gedistribueerd drinkwater (anonymus, 2011a,b). Daarnaast geldt ook voor *Legionella* een wettelijke norm in van <100 KVE per liter voor drinkwater direct getapt uit drinkwaterinstallaties. Wanneer aan deze normen niet wordt voldaan wordt gesproken over verhoogde nagroei en dienen door de drinkwaterbedrijven maatregelen te worden genomen.

Bacteriën van de coligroep. *Bacterium colicomune* later officieel beschreven als *Escherichia coli* werd aan het eind van de 19^e eeuw geïntroduceerd als indicator voor fecale verontreiniging. Deze fecale bacterie hoort tot de groep van de bacteriën van de coligroep. Bepaalde vertegenwoordigers van deze groep van bacteriën kunnen nagroeien in drinkwatersystemen, een verschijnsel dat leidt tot onzekerheid over de microbiologische kwaliteit van drinkwater. Dit onderwerp heeft in Amerika geleid tot onderzoek naar de relatie met de biologische stabiliteit van het drinkwater bepaald met de AOC methode.

2.3 Microbiologische groeipotentie van water: methoden en richtwaarden

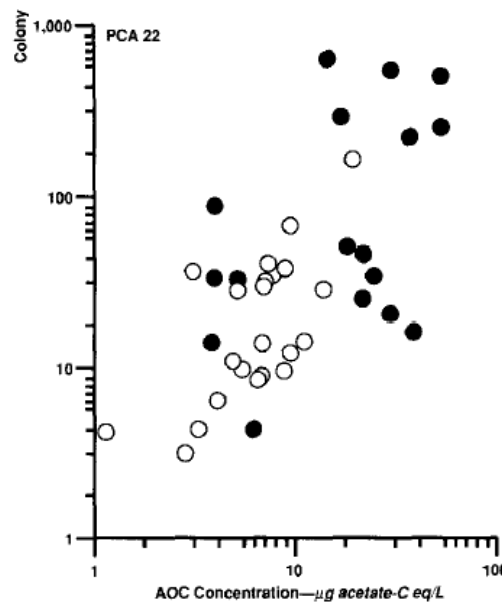
Van der Kooij (2014) heeft een overzicht gegeven van de verschillende methoden die zijn ontwikkeld om de microbiologische groeipotentie van water te bepalen. In Tabel 1 is dit overzicht aangepast en aangevuld met de meest recente ontwikkelingen. Uit Tabel 1 blijkt dat sommige onderzoekers de concentratie van groeibevorderende stoffen bepaalden door de afname van de hoeveelheid organische stof in water te meten (Heyman, Joret en Lévi, Servais, Lucena). De meeste auteurs bepaalden echter de biomassagroei als parameter om de concentratie groeibevorderende stoffen te bepalen. Deze biomassagroei wordt gemeten met diverse analysetechnieken (koloniegetalbepaling, troebelheid, ATP, celtelling). De studies naar groeimogelijkheden van bacteriën in drinkwater door van der Kooij (1984) leidde in Nederland tot de ontwikkeling van de bepaling van Assimileerbare Organische Koolstof (AOC) waarbij de groei van twee bacteriestammen (stam P17 en Nox) werd bepaald en het maximum aantal kolonievormende eenheden werd omgerekend naar de AOC-concentratie op basis van een ijklijn waarbij acetaat werd gebruikt als modelverbinding (AOC; van der Kooij et al., 1982; van der Kooij and Hijnen, 1984).

De AOC-concentratie van verschillende drinkwatertypen in Nederland werd bepaald en vergeleken met KG22 aantallen in hetzelfde water. Deze studies leidde tot een uitgebreide dataset van AOC-waarden in Nederland waaruit een richtwaarde van 10 µg acetaat-C eq/l werd vastgesteld. Bij een waarde van <10 µg acetaat-C eq/l bleek namelijk dat (i) het KG22 van drinkwater tijdens distributie voldeed aan de norm van 100 KVE/ml (van der Kooij et al., 1989) en (ii) de AOC reductie tijdens distributie zeer beperkt was (van der Kooij et al., 1999). De correlatie tussen het AOC gehalte en KG22 is weergegeven in Figuur 1.

Ook in de VS werd de AOC-bepaling geïntroduceerd en, soms aangepast, toegepast om richtwaarden af te leiden. LeChevallier et al. (1991) en Volk and Chevallier (2000) toonden dat de groei van bacteriën van de coligroep hoog was bij AOC gehalten van $>100 \mu\text{g C/l}$. Voor de BDOC werd door Volk and Joret (1994) en Servais et al (1995) een richtwaarde van $150 \mu\text{g BDOC/l}$ voorgesteld om groei van bacteriën van de coligroep te voorkomen. Hieruit blijkt dat in landen waar chloorhoudend drinkwater wordt gedistribueerd de advieswaarden voor AOC in drinkwater hoger zijn dan in Nederland waar het water zonder desinfectiemiddel wordt gedistribueerd.

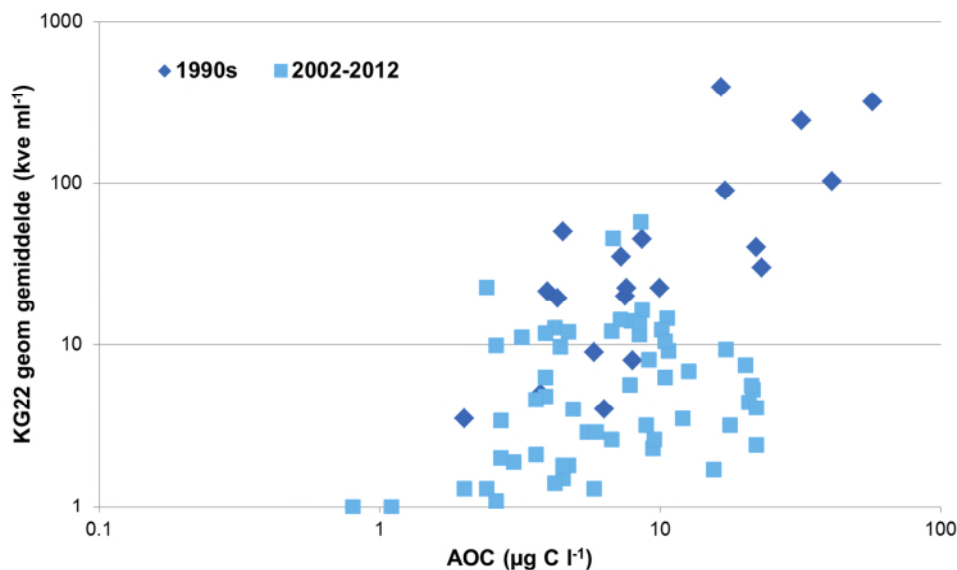
TABEL 1 OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE METHODEN ONTWIKKELD OM DE BACTERIEGROEI BEVORDERENDE EIGENSCHAPPEN VAN (DRINK)WATER TE KWANTIFICEREN

Jaar	Auteurs	Principe
1928	Heymann	Afname KMnO_4 van water in zandfilter
1979, 1982	van der Kooij et al.	KVE reïncultuur P17; ijklijn acetaat; AOC
1984	van der Kooij Hijnen	KVE reïnculturen P17/Nox; ijklijn/acetaat AOC
1985	Werner	Troebelheidstoename
1986	Joret et Lévi	DOC afname bij incubatie met zand; BDOC
1987	Servais	BDOC zonder zand
1988	Standfield Jago	ATP productie en ijklijn op acetaat-C
1993	LeChevallier et al.	AOC reïncultuur; ATP i.p.v. koloniegetal; ijklijn acetaat
1990	Lucena et al.	DOC afname door kolom met glasporels; BDOC
2004	Haddix et al.	AOC reïnculturen; fluorescentie meting; ijklijn acetaat
2005	Hammes Egli	Celtelling FCM; ijklijn op acetaat-C
2009	Weinrich et al.	AOC reïncultuur; luminescentie, aetaat ijklijn
2009	van der Kooij Veenendaal	Zeewater AOC; reïncultuur <i>Halomonas cupida</i>
2011	Weinrich et al.	Zeewater AOC; reïncultuur <i>Vibrio harvey</i> ; ijklijn acetaat
2011	Sack et al.	KVE reïncultuur A3, ijklijn μg biopolymeren-C/l
2014	van der Kooij Veenendaal	BPP test voor water cumulatieve ATP productie (d.ng/l)



FIGUUR 1 VERBAND TUSSEN HET AOC GEHALTE (P17/NOX) EN HET KOLONIEGETAL 22°C IN HET REINWATER EN TIJDENS DISTRIBUTIE ($R^2=0,61$; VAN DER KOOIJ ET AL., 1999); 20 POMPSTATIONS EN HET KOLONIEGETAL OP 9 LOCATIES IN HET DISTRIBUTIEGEBIED

Tot 2009 zijn de ontwikkelingen met betrekking tot het meten van de groeipotentie veelal gebaseerd op aanpassingen van de AOC-methode. Nieuwe ontwikkelingen vanaf 2009 zijn (i) de ontwikkeling van de AOC-bepaling voor zeewater (aanleiding biofouling van ontzoutingsmembranen) en (ii) de aandacht voor moeilijk afbreekbare organische verbindingen zoals biopolymeren belangrijke nieuwe ontwikkelingen. Deze laatste groep van verbindingen worden bepaald met een aangepaste AOC-bepaling (Sack et al., 2011) en de BPP test voor water (van der Kooij en Veenendaal, 2014), een methode gebaseerd op de methode geïntroduceerd door Standfield and Yago (1988). Aanleiding voor deze laatste ontwikkeling vormden de resultaten van recente BTO projecten. Van der Wielen (2015) toonde aan dat de eerder gevonden relatie van het AOC gehalte met KG22 (Figuur 1) voor nieuwe gegevens (2002-2012) niet werd waargenomen (Figuur 2). Het koloniegetal voor *Aeromonas*, dat minder dan 10% uitmaakt van het KG22 en daarmee niet is gecorreleerd (Havelaar et al., 1987, 1992), werd in Nederland als tweede indicator voor nagroei opgenomen in het Drinkwaterbesluit. Recentelijk is vastgesteld dat deze nagroei-indicator geen relatie heeft met het AOC gehalte van drinkwater (van der Wielen, 2015; Hijnen et al., 2014). Van der Kooij et al. (2015) suggereerden in een recente publicatie een mogelijke correlatie tussen de concentratie biopolymeren in drinkwater en de mate van nagroei van *Aeromonas* bacteriën in het distributiesysteem. In een meerjarenstudie bij drie productielocaties van drinkwater uit oppervlaktewater van de Brabantse Biesbosch, werd deze suggestie verder bevestigd (Hijnen et al., in voorbereiding).



FIGUUR 2 VERBAND TUSSEN HET AOC GEHALTE (P17/NOX) EN HET KOLONIEGETAL 22°C IN HET REINWATER EN TIJDENS DISTRIBUTIE ($R^2=0,12$; VAN DER WIELEN, 2015)

De meeste groeipotentiemethoden om de biologische stabiliteit van drinkwater te bepalen zijn statische batchtesten. Deze statische testen kennen een aantal voor- en nadelen:

- Een statische test bepaald eenmalig de groeipotentie van een deelmonster van het water en meerdere analyses zijn nodig om de variatie in de groeipotentie van het drinkwater te bepalen;
- Bij de testen wordt gebruikt gemaakt van reincultures, maar ook van de autochtone flora in het te testen monster waarbij of een afname van organische stof water gemeten of een toename van de biomassa concentratie.
 - o Het belangrijkste nadeel van de statische methoden waar de DOC-afname wordt bepaald is de nauwkeurigheid, die wordt bepaald door de nauwkeurigheid van de chemische analysemethode. Deze is circa 100 µg C/l, een waarde die hoger is dan de concentraties waarbij groei van bacteriën in water plaatsvindt, microgrammen-niveau (van der Kooij, 1984);
 - o Methoden, waarbij de biomassaproductie wordt bepaald, worden omgerekend naar een AOC gehalte, en kunnen deze lage concentraties wel nauwkeurig meten. De AOC kwantificering van deze methoden is gebaseerd op de omrekening van bacteriële biomassa (ATP of celtelling) naar opgenomen organische verbindingen. De vertaling van biomassaproductie naar AOC is echter problematisch omdat de omrekeningsconstanten (yieldfactoren) voor bacteriesoorten sterk kunnen variëren. Daarom, en ook omdat geen rekening wordt gehouden met de bijdrage van ammonium in de biomassaproductie, wordt een omrekening naar AOC afgeraden en geadviseerd om de absolute biomassa productie (ATP) als parameter te gebruiken (van der Wielen, 2014).
 - o Gebruik van reincultures zoals bij de AOC-methoden heeft als nadeel dat het AOC gehalte afhankelijk is van de mate waarin de reïncultuur de aanwezige afbreekbare stoffen kan benutten. De toegepaste reïnculturen

- (P17 en Nox) zijn bijvoorbeeld niet in staat alle afbreekbare organische verbindingen te benutten (bv methaan, ammonium, biopolymeren);
- o Gebruik van een reïncultuur heeft ook een voordeel: door gebruik van een goed gedefinieerde bacteriepopulatie kan op basis van ijklijnen en de specifiek bepaald yieldfactoren het AOC gehalte nauwkeurig worden gekwantificeerd.
 - Een andere meer algemene tekortkoming van de statische groeipotentietesten is dat met deze testen niet direct wordt gekeken naar biomassaproductie aan grensvlakken van de materialen in het distributiegebied van het drinkwater waar biofilmvorming plaatsvindt. Biofilmvorming is een belangrijke oorzaak van biologische vervuiling (biofouling) van leidingnetten, maar ook van drinkwaterproductiefilters, membraanfilters en infiltratieputten.

Met name vanwege deze laatste reden zijn ook effectgerichte methoden ontwikkeld waarbij de biofilmvormende eigenschappen van een watertype met een dynamische test kan worden bepaald.

2.4 Biofilmvormende eigenschappen van drinkwater en materialen in contact met drinkwater: methoden en richtwaarden

Dat bacteriegroei in het watersysteem met name optreedt aan het grensvlak tussen water en materialen blijkt uit de waarneming dat de hoogste aantallen bacteriën in het leidingnet wordt gemeten aan oppervlakken en in het sediment (Momba et al., 2000; Zacheus et al., 2001; Berry et al., 2006; Liu et al., 2014; van der Wielen en Lut, 2016). Deze bacteriegroei wordt veroorzaakt door nutriënten in het aangevoerde en langsstromende drinkwater én ook door nutriënten die afkomstig zijn van de materialen zelf.

2.4.1 Biofilmvormende eigenschappen van water

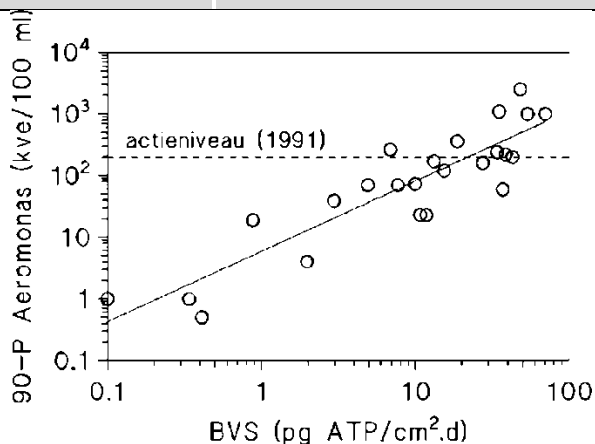
In 1995 is door van der Kooij et al. de eerste methode geïntroduceerd waarmee de biofilmvormende eigenschappen van water kon worden bepaald op grond van biomassaproductie in een dynamische test (Tabel 2). Belangrijkste aanleiding voor deze ontwikkeling was de constatering dat met de traditionele AOC bepaling groeibevorderende verbindingen (zoals bv methaan en ammonium, maar mogelijk ook bepaalde moeilijk afbreekbare verbindingen) in grondwater niet kan worden bepaald. Door gebruik te maken van een biomassaparameter als ATP was het mogelijk om het effect van deze nutriënten op biofilmvorming te bepalen. Dat ATP een nuttige parameter is als totale biomassaparameter bij een grondwaterproductielocatie werd eerder beschreven door Hijnen et al. (1988). De biofilmmonitor (van der Kooij et al., 1995) en later de continue biofouling monitor (van der Kooij en Veenendaal, 2014) zijn dynamische methoden waarmee direct de biofilmvorming en/of biomassa-accumulatie op grensvlakken wordt gemeten. De biomassaontwikkeling op het glasoppervlak is het rechtstreekse gevolg van accumulatie van de van nature aanwezige micro-organismen als gevolg van adsorptie en groei van deze micro-organismen op de in het water aanwezige afbreekbare verbindingen. Met de traditionele biofilmmonitor wordt tegemoet gekomen aan de meeste bezwaren die voor de statistische testen zijn genoemd. Deze testmethode duurt echter lang (2-4 maanden, afhankelijk van de biologische stabiliteit van het te testen water), waarbij slechts één waarde voor de biofilmvormingssnelheid wordt verkregen. Daarmee is de parameter, de biofilmvormingssnelheid (BVS), geen 'snelle' parameter en lastig als stuurparameter in de praktijk. De continue biofouling monitor (CBM; van der Kooij en Veenendaal, 2014) komt aan dit bezwaar gedeeltelijk tegemoet doordat tweewekelijks een waarde voor de BAS en BVS wordt verkregen en zorgt bovendien, door een

aangepaste hydraulische doorstroming, voor een betere stofoverdracht waardoor gevoeliger kan worden gemeten.

Het verband van de BVS met de mate van nagroei in een distributiegebied is op meerdere manieren onderzocht. Voor de BVS van een aantal drinkwatersoorten, geproduceerd uit grondwater, is een correlatie gevonden tussen de BVS en het *Aeromonas* koloniegetal als indicator voor nagroei (van der Kooij et al. 2013, Figuur 3). Ook tussen het biomassagehalte voor ongewervelde dieren (>100 µm groot) gemeten in spui monsters van drinkwaterdistributienetten in Nederland en de BVS is een verband waargenomen (van Lieverloo et al., 2012; Figuur 4).

TABEL 2 METHODEN OM DE BIOFILMVORMENDE EIGENSCHAPPEN VAN WATER TE BEPALEN

Jaar	Auteurs	Principe
1993/1995	van der Kooij Veenendaal	Biofilmmonitor; BVS en BVP, ATP productie en ijzeraccumulatie snelheid op glas Duur: 2-4 maanden
2014	van der Kooij, Veenendaal	Continue biofouling monitor CBM; ATP en ijzeraccumulatie op glaspapels (BAS, FeAS)
2014	van der Kooij Veenendaal	boiler-biofilm monitor (BBM); biofilmproductie en groeipotentie voor <i>Legionella</i>



FIGUUR 3 VERBAND ($R^2=0,74$) TUSSEN *AEROMONAS* KOLONIEGETAL IN DRINKWATER TIJDENS DISTRIBUTIE EN DE BVS VAN HET GEPRODUCEERDE DRINKWATER UIT GRONDWATER (BRON: VAN DER KOOIJ 2013, 1999 OASEN WOKSHOP; ACTIENIVEAU 1991 IS NIET MEER GELDIG; HUIDIGE NORM GEBASEERD OP NMAX VAN 1000 KVE/100 ML IN DIRSTIRBUTIEGEBIED ALS ACTIENIVEAU)

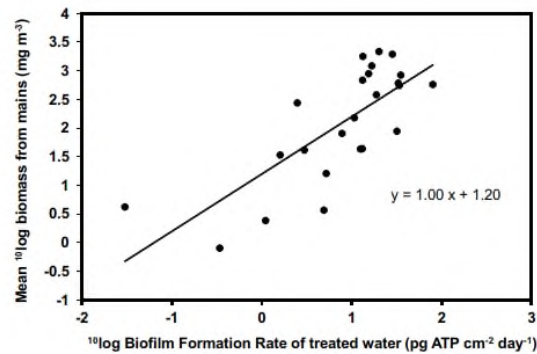
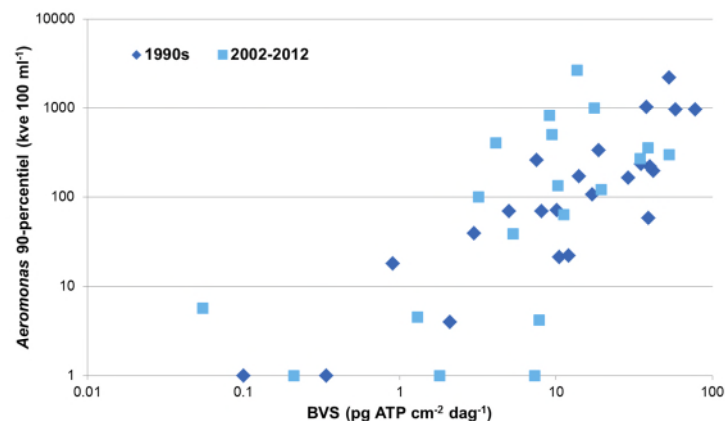


Fig. 6 – Relation between invertebrate biomass and BFR. Log-linear regression model of the mean total invertebrate biomass ($> 100 \mu\text{m}$) per distribution system in water flushed from mains (178 hydrants, total 1301 samples) and the biofilm formation rate of the treated water of 24 supplying treatment works (the BFR of 10 plants was not determined). The R^2 of the $^{10}\log$ model is 55%, the relation is statistically significant ($p < 0.001$).

FIGUUR 4 VERBAND ($R^2=0.55$) TUSSEN DE BVS EN ONGEWERVELDE DIEREN (BRON: VAN LIEVERLOO ET AL., 2012)



FIGUUR 5 VERBAND (NIET SIGNIFICANT; $P>0.05$) TUSSEN *AEROMONAS* KOLONIEGETAL IN DRINKWATER TIJDENS DISTRIBUTIE EN DE BVS VAN HET GEPRODUCEERDE DRINKWATER UIT GRONDWATER EN OPPERVLAKTEWATER (BRON: VAN DER WIELEN, 2015)

Recentelijk is de relatie van BVS met *Aeromonas* nagroei opnieuw bekeken door van der Wielen (2015). Hierbij zijn ook drinkwatersoorten bereid uit oppervlaktewater meegenomen. Uit deze evaluatie bleek het kwantitatieve verband tussen BVS en *Aeromonas* in de aangevulde dataset er niet meer te zijn (Figuur 5).

De recent beschreven methoden met de CBM (Tabel 2) is doorontwikkeld om gecombineerd de biofilmvormende en biomassa-accumulerende eigenschappen van water te bepalen (Hijnen et al., 2015).

De boilerbiofilmmonitor (BBM) is ontwikkeld om de invloed van het drinkwater op de biofilmvorming en *Legionella*-vermeerdering in warm watersystemen te bepalen (van der Kooij et al., 2011; 2016; 2017). In het rapport van 2011 is een verband gevonden tussen de biofilmvormingspotentie (pg ATP per cm²) van het drinkwater en de legionellagroeiopotentie (KVE/cm²; Figuur 6). Het verband was beter bij gebruik van glas als substratum dan PVC-C (een materiaal dat in warm tapwatersystemen toegepast mag worden). De BPP van beide materialen is zeer laag en veroorzaakt geen groei van *L. pneumophila* (Figuur 8).

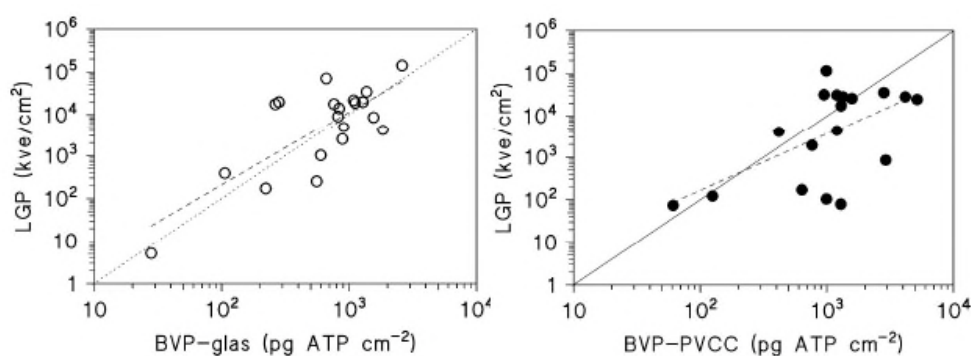
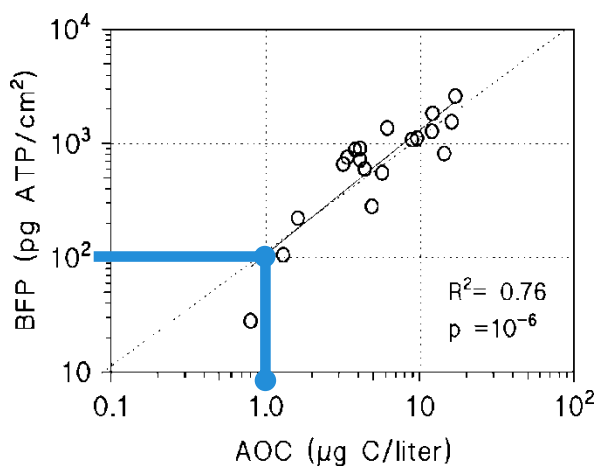


Fig. 8.16. Relatie tussen LGP en BVP op glas (links) en op PVCC (rechts) in de BBM

FIGUUR 6 VERBAND TUSSEN DE LEGIONELLAGROEI-POTENTIE (LGP) EN DE BIOFILMVORMINGS-POTENTIE (BVP) VAN DIVERSE DRINKWATERSOORTEN (BRON: VAN DER KOOIJ ET AL., 2011)

De BVP-waarden van de drinkwatersoorten die in de BBM zijn bepaald (Figuur 6) zijn gecorreleerd aan de AOC-gehalten van het water in Figuur 7. Hieruit blijkt dat de BVP- met de bijbehorende AOC-waarden gecorreleerd zijn en een drempelwaarde van een AOC-gehalte van 1 µg C/l kan worden afgeleid voor een lage BVP zonder biofilmgroei van *Legionella*.



FIGUUR 7 DE BVP- EN AOC-WAARDEN VAN DE VERSCHILLENDE DRINKWATERSOORTEN WAARVAN HET VERBAND MET DE LEGIONELLAGROEI-POTENTIE IS BEPAALD (FIGUUR 6)

2.4.2 Groei en biofilmvormende eigenschappen van materialen

Bij testen om de biofilmvormende eigenschappen van water te bepalen (Tabel 2) wordt gebruikt gemaakt van schoongebrand glas, waardoor de gevormde biomassa op het glas is veroorzaakt door adsorptie uit het water en groei op groeibevorderende stoffen in het langstromende water. Reeds in de 19^e eeuw (de Vries, 1890) maar ook in het eerste deel van de 20^e eeuw (Schoenen en Schöler, 1983, review) werd waargenomen dat toegepaste materialen in drinkwaterdistributie voor biofilmvorming en vervuiling kunnen zorgen. Dit heeft geleid tot verbeteringen in toegepaste materialen (gietijzer, staal, asbestcement, diverse kunststoffen). Toch kunnen kunststoffen, die om een aantal technische redenen meer worden toegepast in het drinkwaterdistributiesysteem, leiden tot biofilmvorming door afgifte van groeibevorderende stoffen. Dit vormde de aanleiding om testen te ontwikkelen waarmee de groeibevorderende eigenschappen van materialen kunnen worden bepaald (Tabel 3). Uit een uitgebreide vergelijkende studie met deze drie testen is gebleken dat de biomassaproductiepotentietest de meest gevoelige test is om materialen te onderscheiden op basis van hun groeibevorderende eigenschappen (van der Kooij & Veenendaal, 2007).

TABEL 3 METHODEN OM DE GROEIBEVORDERENDE EIGENSCHAPPEN VAN MATERIALEN IN CONTACT MET DRINKWATER TE BEPALEN

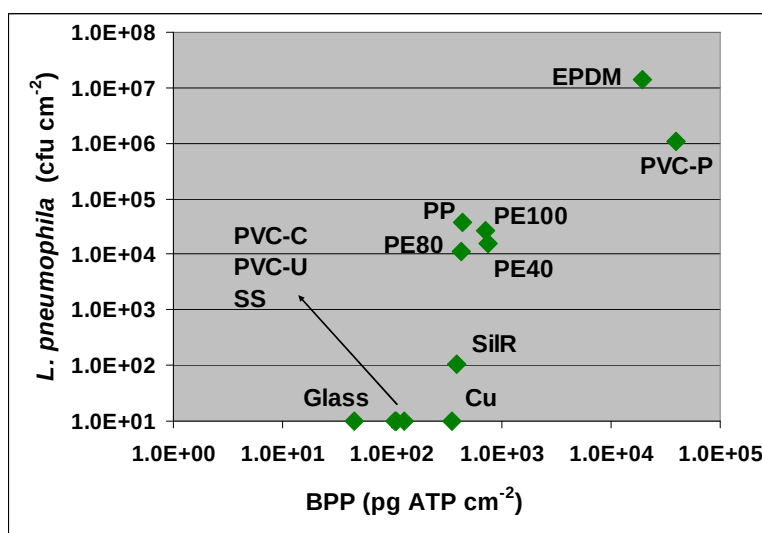
Jaar	Auteurs	Principe
1979	Colbourne Brown	Materialen in water: Mean Dissolved Oxygen Difference (MDOD)
1983	Schoenen Schöler	Materialen in water, Biomassa volume productie (W270)
1993	van der Kooij Veenendaal	Materialen in water, Biomassaproductie potentie (BPP) in water/op materiaal (pg ATP/cm ²)

In Tabel 4 zijn de BPP van een aantal materialen, bepaald in 2006 en 2008, samengevat. Uit de resultaten blijkt dat de biomassaproductie door het blanco water op glas laag is en bij de andere materialen steeds hoger is door afgifte van stoffen. Deze afgifte is het hoogst bij zacht PVC (PVC-P) en EDPM. De harde PVC soorten (PVC-C, PVC-U) benaderen de blanco waarde van glas en een materiaal als PE laat een variabele afgifte zien.

TABEL 4 DE BIOMASSAPRODUCTIE POTENTIE VAN EEN AANTAL MATERIALEN (BRON: VAN DER KOOIJ ...)

Materialen	BPP (pg ATP/cm ²)	
	2006	2008
Glas	55	45
Staal RVS	193	109
Koper	Nb	355
PVC-C	109	131
PVC-U	Nb	107
PVC-P	48990	39609
PE40	Nb	757
PE 80	Nb	425
PE 100	nb	713
PE-Xc	231	Nb
PP	nb	442
EDPM	33059	19361
SiIR	nb	391

Deze materialen worden voor een belangrijk deel ook in drinkwaterinstallaties in woningen en gebouwen gebruikt, waar het risico op legionellavermeerdering bestaat. Daarom is van deze materialen eveneens de groeibevorderende eigenschappen voor *L. pneumophila* bepaald. Uit de gegevens bleek dat de legionellagroei potentie positief gecorreleerd is met de BPP-waarden van de materialen (Figuur 8). Dit toont aan dat biofilmvorming het risico op vermeerdering van een opportunistische bacterie als *L. pneumophila* sterk verhoogt.



FIGUUR 8 VERBAND TUSSEN DE BPP WAARDE VAN HET MATERIAAL EN DE GROEI VAN *L. PNEUMOPHILA*
(BRON: VAN DER KOOIJ, 2014)

2.4.3 Biologische stabiliteitsonderzoek in de grondstof en de zuivering

Ook in de grondstof en zuivering van water voor de drinkwaterbereiding treden biologische processen. Hoewel deze biologische processen voor het merendeel een positieve invloed hebben op de microbiologische waterkwaliteit, kunnen er ook enkele nadelige effecten ontstaan. Een voorbeeld hiervan is de verstopping van infiltratieputten door overmatige microbiële groei. Deze putten werden in de jaren tachtig ontwikkeld om het grondwater in de duinen kunstmatig aan te vullen om de eutrofiëring van de duingebieden te verminderen. Met de AOC bepaling en laboratoriumexperimenten werd vastgesteld dat bij een AOC-gehalte van 10 µg C/l de biologische verstopping van infiltratieputten kan worden beperkt (Hijnen and van der Kooij, 1992a).

In het begin van deze eeuw nam de toepassing van membraanfiltratie in de waterbehandeling sterk toe. Een belangrijke aspect van deze toepassing en waar tot nu toe nog geen volledige oplossing voor is gevonden, is biologische verstopping (biofouling) van membranen. Bij dit probleem is ook de AOC bepaling toegepast (Vrouwenvelder en van der Kooij, 2001). Met doseerproeven is vastgesteld dat de drempelwaarde voor biofouling in dergelijke membranen 1 µg acetaat-C/l is (Hijnen et al., 2009). Tevens bleek dat de BVS bepaald met de biofilmmonitor een betrouwbare en snelle methode is om de biofoulingpotentie van het voedingswater van dergelijke processen te bepalen (Hijnen et al., 2011).

2.5 Onderzoekbehoefte anno 2014

Door van der Kooij en van der Wielen (2014) zijn de onderzoekbehoefte anno 2014 beschreven die hieronder in hoofdlijnen worden samengevat

2.5.1 Risico's van nagroei

Opportunistische pathogenen Methodeontwikkeling om deze micro-organismen specifiek te kunnen detecteren in het drinkwatermilieu. Methoden gebaseerd op kweek om de gevonden stammen te kunnen beoordelen op gezondheidsrelevantie (genotypische vergelijking met patiëntstammen), maar ook moleculaire methoden, om sneller en breder te kunnen screenen, ook gericht op levensvatbaarheid en de meest virulente soorten.

Meetcampagnes met de ontwikkelde methoden moeten vervolgens duidelijkheid geven over het voorkomen van deze opportunistische pathogenen, de relatie met wettelijke en bedrijfstechnische indicatoren voor nagroei en indien aanwezig, de gezondheidkundige betekenis van de gevonden stammen.

Tot slot dient het onderzoek ook gericht te zijn op beheersmaatregelen. Hierbij is onderzoek nodig naar zowel curatieve (bv. desinfectie) als preventieve (beperken nagroei) beheersmaatregelen.

In analogie met de fecale pathogenen is het wenselijk te streven naar een meer kwantitatieve microbiologische risicoanalyse (QMRA) voor deze groep van pathogenen. Dit is nodig om richting te geven aan nieuwe regelgeving op dit gebied. Hierbij is het van belang om een zo kwantitatief mogelijk beeld te krijgen van de blootstelling van de consument aan deze opportunistische pathogenen via (drink)water. De belangrijkste onzekerheid in de risicoberekening zal de inschatting van het gezondheidsrisico zijn, omdat betrouwbare dosis/respons gegevens van de verschillende pathogenen voor mensen met een verzwakt immuunsysteem ontbreken. Mogelijkheid om hier meer kennis over te verzamelen is het uitvoeren van epidemiologische studies die geïnitieerd dienen te worden vanuit de overheid.

Nagroei van bacteriën van de coligroep en *Aeromonas*. Deze twee bedrijfstechnische parameters worden beschouwd als indicatoren voor nagroei. De ontwikkelde regelgeving hierover is ontstaan vanuit waarnemingen in de praktijk waaruit bleek dat productielocaties zich onderling onderscheiden ten aanzien van beide parameters. Een directe kwantitatieve relatie van beide parameters met risico voor de volksgezondheid (opportunistisch pathogenen) en problemen (esthetische problemen) is echter niet gevonden.

Geur en smaak. Meer gerichte literatuurstudie en meetcampagnes met specifieke moleculaire technieken naar het voorkomen van micro-organismen die deze type van verbindingen kunnen produceren en de relatie met nagroeicondities in de praktijk.

Ongewervelde dieren. Methodeontwikkeling en optimalisatie om de met het oog zichtbare vertegenwoordigers van ongewervelde dieren te kunnen meten. Toepassing van moleculaire methoden om de detectie van deze groep van organismen in het leidingnet te kunnen verbeteren (gevoeligheid, soorten, eenvoud en snelheid). Kennisontwikkeling om de ecologische betekenis van de organismen in het distributiesysteem te kennen. En onderzoek naar mogelijkheden om de ontwikkeling van ongewervelde dieren in het distributiesystemen te kunnen beheersen (schoonmaaktechnieken).

Technische problemen. Hiervoor kunnen twee voorkomende problemen worden benoemd: de verstopping van watermeters/druklachten door grote ongewervelde dieren en microbiologisch geïnitieerde corrosie (MIC) van metalen materialen. De oorzaken van dit laatste proces is nog steeds niet bekend en zou met nieuwe DNA technieken verder in kaart kunnen worden gebracht.

2.5.2 Bepalen van groei, de groeipotentie van water en biofilm- en sedimentvorming

Het beter kwantificeren van de biomassa-hoeveelheid in het leidingnet wordt bepleit door gebruik te maken van nieuwe methoden als ATP, totale celtelling en concentratie DNA. Maar ook het gericht detecteren van bacteriën en andere micro-organismen in het leidingnet met specifieke fysiologische eigenschappen kan nieuwe parameters opleveren die de groei-omstandigheden beter beschrijven dan de bestaande norm- of bedrijfstechnische parameters.

De beschikbaarheid van nutriënten aangevoerd door het drinkwater of afkomstig van materialen zijn bepalend voor de mate van groei. Voor de methoden die zich daarop richten, is het van belang de methoden te beoordelen op detectielimiet, betrouwbaarheid en kosten, aandacht te hebben voor mogelijke fosfaat- en/of stikstoflimitatie en de ook de invloed van de totale hoeveelheid natuurlijk organisch materiaal beter te kwantificeren. Toepassing van de ontwikkelde methoden in integrale studies naar de invloed van de drinkwaterkwaliteit en het distributiesysteem op de groei-omstandigheden zijn nodig voor het selecteren van de juiste parameters en de daaraan gerelateerde aandachtswaarden om groei zoveel als mogelijk te kunnen beheersen.

2.5.3 Behandelingsprocessen

Een belangrijke functie van de zuiveringsprocessen bij de drinkwaterbereiding in Nederland is het verwijderen van (on)opgeloste componenten uit de grondstof (oppervlaktewater of grondwater) die in het distributiegebied aanleiding geven tot groei (voedingsstoffen, deeltjes). Het vaststellen van de invloed van biologische filtratieprocessen en fysisch-chemische processen en fluctuaties in grondstofkwaliteit en operationele condities op de hoogte en variabiliteit van de biologische stabiliteit van het drinkwater is voor de bedrijfstak een uitdaging voor de toekomst.

2.5.4 Distributie technische beheersmaatregelen

Zowel ontwerp (materialen, verblijftijd en hydraulische condities) als onderhoud van distributiesystemen zijn van invloed op de groei-omstandigheden, maar de kennis daarover is nog zeer beperkt. Gericht onderzoek, met de verschillende tools om de biostabiliteit van (drink)water vast te stellen, naar dit aspect in combinatie met het modelleren van de groei-omstandigheden is nodig om de belangrijkste stuurparameters (ontwerp, onderhoud) in het leidingnet te kunnen vaststellen.

2.5.5 Methodeontwikkeling

Bij de methodeontwikkeling is het van belang deze (inter)nationaal te standaardiseren, valideren en te harmoniseren ter verbetering van (inter)nationale resultaten vergelijking en interpretatie.

3 De biologisch stabiliteit van het drinkwater en nagroei in de Nederlandse praktijk anno 2016

3.1 Inleiding

De drinkwaterbedrijven voeren samen met de drinkwaterlaboratoria jaarlijks een wettelijk meetprogramma uit dat wordt gerapporteerd aan Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT). Deze maakt hiervan jaarlijks een rapportage die op hun website openbaar toegankelijk is. In dit project zijn de microbiologische gegevens geëvalueerd uit de jaarrapporten van 2012 t/m 2014 die relevant zijn voor nagroei. Deze informatie kan worden beschouwd als de gerapporteerde microbiologische kwaliteit van het drinkwater van alle Nederlandse drinkwaterbedrijven over die periode. Het gaat daarbij om de volgende parameters:

- Norm *Legionella*;
- Indicatorparameters:
 - o Koloniegetal bij 22°C (KG22)
 - o *Aeromonas*
 - o bacteriën van de coligroep
- Esthetisch
 - o Geur
 - o Smaak
 - o Fe/troebelheid

De wettelijke parameters en de minimale meetinspanning zijn vastgelegd in het Nederlandse drinkwaterbesluit. Daarnaast zijn enkele aanvullende parameters (bijvoorbeeld ongewervelde dieren) beschreven in de Inspectierichtlijn 'Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit' samen met de minimale meetinspanning van deze aanvullende parameters. Ondanks de beschrijving van deze parameters en de minimale meetinspanning in deze documenten, verschilt de meetinspanning per drinkwaterbedrijf. Zo zijn er drinkwaterbedrijven die (veel) meer monsters per jaar nemen dan de wettelijke minimale meetinspanning voorschrijft, wat de kans op een overschrijding verhoogt. Daarnaast nemen sommige drinkwaterbedrijven hun monsters op worstcase locaties in het distributiesysteem, dat ook de kans op verhoogde aantallen of wettelijke overschrijdingen verhoogt. Deze aspecten gelden niet alleen voor de wettelijke parameters voor nagroei, maar ook voor ongewervelde dieren. Tot slot rapporteren sommige bedrijven ieder gemeten overschrijding aan ILT, sommige bedrijven rapporteren alleen overschrijdingen binnen het (minimale) wettelijk meetprogramma, terwijl andere bedrijven overschrijdingen pas rapporteren wanneer ook herhalingsmonsters positief zijn. Door deze verschillen is de hierna beschreven vergelijking van de drinkwaterbedrijven ten aanzien van overschrijdingen van de (wettelijke) parameters te onbetrouwbaar om uitspraken te doen welke drinkwaterbedrijven beter of slechter presteren ten aanzien van de (wettelijke) parameters voor nagroei. Het doel van deze vergelijking is om te laten zien wat voor overschrijdingen van de wettelijke parameters aan ILT zijn gerapporteerd (paragraaf 3.2), wat de beoordeling van de bedrijven is (paragraaf 3.3) en of de ILT- en bedrijfsbeoordeling gerelateerd zijn (paragraaf 3.4).

3.2 Rapportage wettelijke parameters nagroei

3.2.1 Aantal monsters en overschrijdingen: landelijk beeld

Uit de rapportages blijkt dat het aantal microbiologische monsters dat jaarlijks landelijk wordt onderzocht binnen het wettelijke meetprogramma varieert tussen de 37.761 en 74.444 (**Error! Reference source not found.**). Het totaal aantal aan ILT gerapporteerde overschrijdingen van de wettelijke parameters voor nagroei varieert tussen de 38 en 60. Het merendeel van de normoverschrijdingen van de microbiologische parameters (Tabel I van bijlage A van het Drinkwaterbesluit)(inclusief de normen voor fecale verontreiniging) komt voor rekening van *Legionella* (59-75%). Bij de overschrijdingen van de indicatoren-bedrijfstechnische parameters (Tabel IIIA van bijlage A van het Drinkwaterbesluit) is *Aeromonas* de indicator die het vaakst wordt overschreden (32-62%). KG22 wordt op geen enkele locatie overschreden in Nederland.

TABEL 5 DE AAN ILT-GERAPPORTEERDE GEGEVENS WETTELIJK MEETPROGRAMMA IN DE JAREN 2010 T/M 2014 (BRON:[HTTPS://WWW.ILENT.NL/ONDERWERPEN/LEEFOMGEVING/DRINKWATER/PUBLICATIES_EN_RAPPORTEN/](https://www.ilent.nl/onderwerpen/leefomgeving/drinkwater/publicaties_en_rapporten/))

	Microbiologische monsters	Overschrijdingen Microbiologie (incl. fecalen)	Aandeel overschrijdingen microbiologie	Overschrijding <i>Legionella</i> (%)	Overschrijding <i>Aeromonas</i> (%)
2010	38.603	38	nb	74	52
2011	37.761	60	10	75	32
2012	74.444	46	10	63	62
2013	49.148	46	10	59	60
2014	52.367	52	10	63	60

3.2.2 Beeld van de overschrijdingen per bedrijf

In het ILT rapport zijn de gegevens per bedrijf samengevat. Deze gegevens zijn overgenomen en verwerkt in het navolgende overzicht met figuren en tabellen.

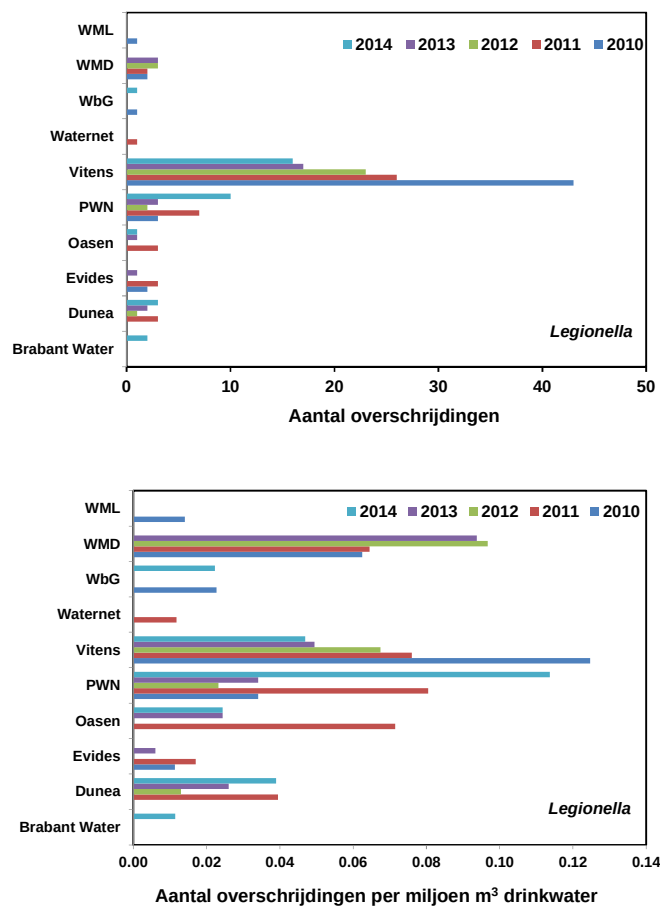
Legionella-norm. In

FIGUUR 9 is per bedrijf per jaar het aantal aan ILT-gerapporteerde overschrijdingen weergegeven voor *Legionella*, eerst als absolute waarden, en daaronder gecorrigeerd voor de grootte van de bedrijven gebaseerd op de jaarproductie (overschrijding per miljoen m³ drinkwater).

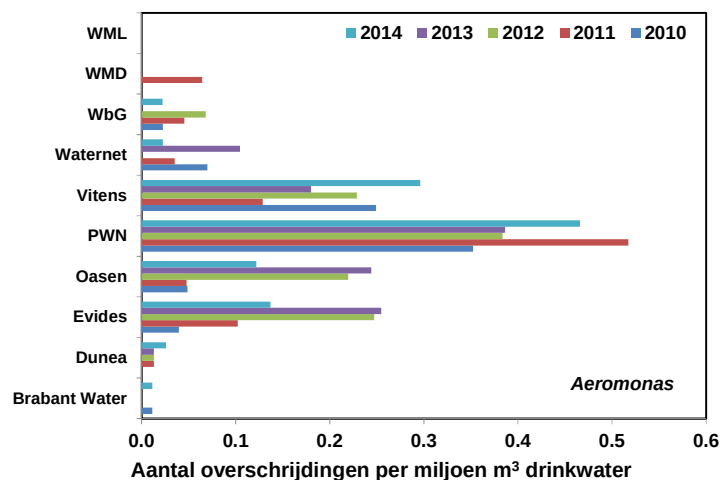
Uit de gegevens van

FIGUUR 9 blijkt dat het aantal legionellaoverschrijdingen (gewogen naar jaarproductie) gerapporteerd aan ILT bij de bedrijven WMD, Vitens, PWN en Dunea het hoogst zijn, terwijl deze bij WML en Brabant Water het laagst zijn.

Aeromonas. Voor *Aeromonas* (gewogen naar jaarproductie) blijkt de aan ILT-gerapporteerde overschrijdingen het hoogst te zijn voor de bedrijven Vitens, PWN, Oasen en Evides (Figuur 10).

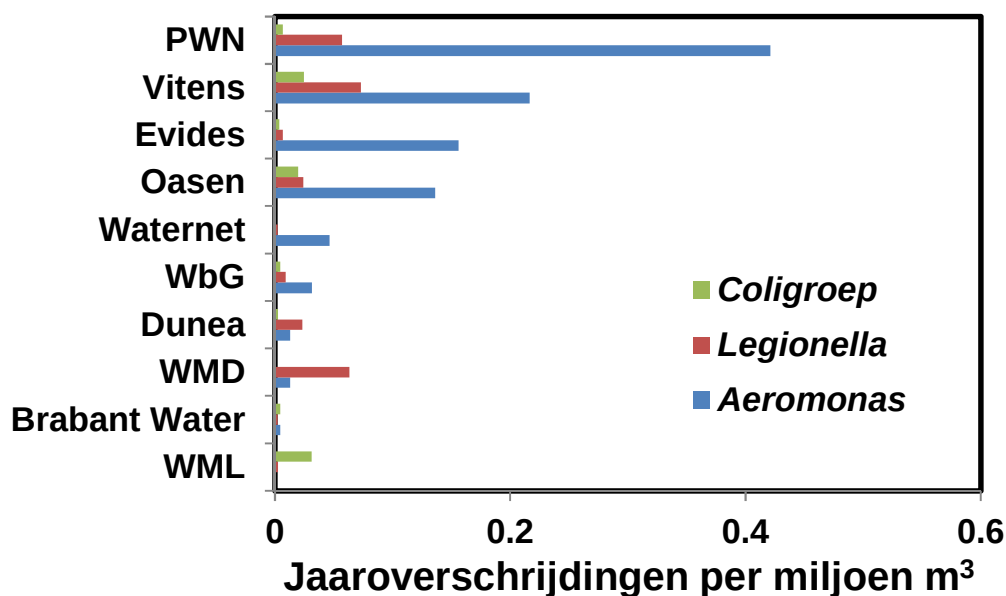


FIGUUR 9 HET AANTAL AAN ILT-GERAPPORTEERDE OVERSCHRIJDINGEN VAN *LEGIONELLA* TIJDENS
DISTRIBUTIE IN DE PERIODE 2010-2014 PER BEDRIJF EN JAAR



FIGUUR 10 HET AANTAL AAN ILT-GERAPPORTEERDE *AEROMONAS*-OVERSCHRIJDINGEN TIJDENS DISTRIBUTIE IN DE PERIODE 2010-2014 PER BEDRIJF EN JAAR

Bacteriën van de coligroep. Tot slot is het aantal aan ILT-gerapporteerde overschrijdingen van de bacteriën van de coligroep per jaar vergeleken met de aan ILT-gerapporteerde overschrijdingen van *Legionella* en *Aeromonas* en gerangschikt naar overschrijding van *Aeromonas* (Figuur 11). Hieruit blijkt dat geen duidelijk verband is gevonden tussen de aan ILT-gerapporteerde overschrijdingen van de drie afzonderlijke microbiologische parameters.



FIGUUR 11 HET AANTAL AAN ILT-GERAPPORTEERDE OVERSCHRIJDINGEN VAN *LEGIONELLA*, *AEROMONAS* EN BACTERIËN VAN DE COLIGROEP TIJDENS DISTRIBUTIE IN DE PERIODE 2010-2014 PER BEDRIJF EN JAAR

Esthetische aspecten van de waterkwaliteit. De gegevens van de esthetische parameters van de drinkwaterkwaliteit in het distributiesysteem worden ook geregistreerd en gemeld aan

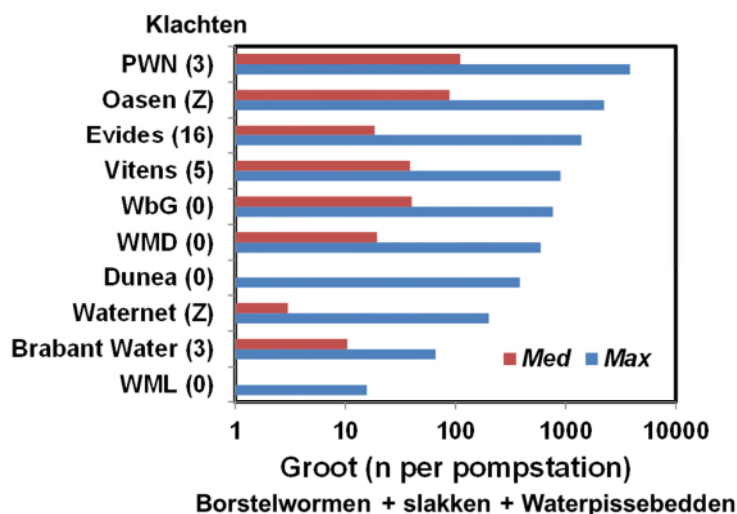
ILT. Uit deze gegevens blijkt dat alleen door Evides, WML en PWN geur/smaak overschrijdingen aan ILT zijn gerapporteerd (Tabel 6). Voor Evides zijn alle aan ILT gerapporteerde geur/smaak overschrijdingen waargenomen in 2010 t/m 2012 en voor WML in 2014. Bij beide bedrijven is er echter onzekerheid over de resultaten van geur/smaak-test die door hetzelfde drinkwaterlaboratorium zijn verzameld (Brabant Water, persoonlijke mededeling).

TABEL 6 AANTAL AAN ILT-GERAPPORTEERDE OVERSCHRIJDINGEN VAN ESTHETISCHE PARAMETERS VAN HET DRINKWATER TIJDENS DISTRIBUTIE IN DE PERIODE 2010-2014 (BRON: ILT JAARRAPPORTEN)

	Geur	Smaak	IJzer	Toebeelheid
WML	18	11	0	0
Brabant Water	0	0	0	0
Waternet	0	0	0	5
Dunea	0	0	0	1
WMD	0	0	0	1
WbG	0	0	0	1
Vitens	0	0	15	1
Evides	46	22	13	10
Oasen	0	0	0	0
PWN	3	1	4	3

^a smaaktest AQZ: resultaten onzeker

Ongewervelde dieren en klachten. In BTO-verband is een landelijk onderzoek uitgevoerd naar de resultaten van de hydrobiologische metingen die in het kader van de harmonisatie Meetprogramma Drinkwater (VROM, 2005) worden uitgevoerd in samenhang met het aantal consumentklachten die bij de bedrijven zijn binnengekomen (van der Wielen, 2016). De hydrobiologische en klachtengegevens van 2009-2013 zijn geëvalueerd. Het doel van dat project was om daaruit referentiewaarden voor de hydrobiologische gegevens af te leiden en te vergelijken met de referentiewaarden die tot nog toe worden gehanteerd en dateren uit een eerder onderzoek (van Lieverloo, 1997, 2002). Die gegevens zijn binnen deze rapportage gebruikt om uit de verzamelde gegevens van alle pompstations van één bedrijf de gemiddelde mediaan en maximumwaarden te berekenen voor de drie grootste ongewervelde dieren (borstelwormen, slakken, waterpissebedden). Deze waarden zijn voor alle bedrijven getoond in Figuur 12. Tevens is in hetzelfde figuur het aantal klachten per bedrijf vermeld. Uit de rangschikking die is toegepast op basis van de gemiddelde mediaanwaarden per bedrijf blijkt dat de aanwezigheid van ongewervelde dieren per bedrijf sterk kan verschillen (maximaal 2 logeenheden voor de berekende waarden). Het laagste aantal van een gemiddelde mediaan van ca. 10 grote ongewervelde dieren werd gezien bij WML en bij PWN werd de hoogste gemiddelde mediaanwaarde van >1000 per pompstation gevonden.



FIGUUR 12 HET AANTAL KLACHTEN PER WATERLEIDINGBEDRIJF (N) EN HET REKENKUNDIG GEMIDDELDE VAN DE MEDIAAN- EN MAXIMALE-WAARDEN VAN ALLE POMPSTATIONS PER BEDRIJF VOOR DE GROET ONGEWERVELDE DIEREN OVER DE PERIODE 2009-2013

Uit Figuur 12 blijkt dat het aantal consumentklachten over de esthetische kwaliteit van het drinkwater voor de jaren 2009-2013 bijzonder laag was (geen bij WbG, WMD, Dunea en WML tot 16 bij Evides). Dit was, met uitzondering voor WML, in overeenstemming met de aan ILT gerapporteerde klachten over de periode 2012-2014 (Tabel 6).

3.3 Beoordeling door de waterbedrijven op basis van interviews

In voorbereiding op de workshop zijn alle waterbedrijven bezocht om met hen te spreken over biologische stabiliteit en nagroei. Bij deze interviews waren de belangrijkste twee vragen:

- Wat is de prioriteit die de bedrijven toekennen aan het onderwerp;
- Hoe definiëren ze de begrippen 'Biologische stabiliteit' en 'nagroei'.

Daarnaast is doorgevraagd over de verschillende onderwerpen die van belang zijn voor dit aspect van de drinkwatervoorziening. Dit waren achtereenvolgens opportunistisch pathogenen, *Legionella* en *Aeromonas* als wettelijke parameters, drinkwaterinstallaties, esthetische aspecten van de drinkwaterkwaliteit (Geur/smaak/ongewervelde dieren), klachten en monitoring van biologische stabiliteit en nagroei.

Opportunistisch pathogenen, *Legionella*-norm, drinkwaterinstallaties en *Aeromonas*. Alle drinkwaterbedrijven onderschrijven het voorzorgsprincipe ten aanzien van de opportunistische pathogenen (Tabel 7), d.w.z. kennisontwikkeling om voorbereid te zijn op mogelijke vragen en/of acties omtrent de microbiologische veiligheid van het drinkwater. Bij WML worden geen overschrijdingen van deze parameter gevonden, terwijl Brabant Water de uitvoering van de *Legionella* wetgeving is uitbesteed. De ervaringen met *Legionella* zijn gekoppeld aan hun activiteiten en zorgplicht omtrent drinkwaterinstallaties. Kennisontwikkeling op het gebied van microbiologische processen in de drinkwaterinstallaties wordt door alle bedrijven behalve Vitens ondersteund.

TABEL 7 OORDEEL VAN DE BEDRIJVEN EN OVER OPPORTUNISTISCH PATHOGENEN, *LEGIONELLA* EN DRINKWATERINSTALLATIES

Bedrijven	Bron ^a	Opport. pathogenen Voorzorgs Principe	Norm: <i>Legionella</i>	DWI	<i>Aeromonas</i>	Score ^c
DUNEA	DI(OW)	+ ^b	+	+	-	3
WML	GW	+	-	+	-	2
PWN	OW/GW	+	+	+	+	4
Vitens	GW	+	+	-	-	2
WBGr/WMD	GW/OW	+	+	+	-	3
Evides	OW/GW	+	+	+	+	4
Oasen	GW	+	+	+	+	4
Brab. Water	GW	+	-	+	+	3
Waternet	DI(OW)	+	+	+	-	3
Watergroep	GW/OW	+	?	?	-	1(?)

^a DI(OW) = duininfiltoraat/oppervlaktewater; GW = grondwater; OW = oppervlaktewater

^b + of - Drinkwaterbedrijf heeft tijdens gesprek aangegeven deze onderwerpen als aanmerkelijk (+) of minder (-) belangrijk te vinden

^c Het aantal plussen in de voorgaande kolommen is gescoord

Ten aanzien van de wettelijke parameter *Aeromonas* zijn er verschillen over hoe de bedrijven met deze parameter omgaan. Slechts vier van de tien bedrijven beschouwen deze parameter als waardevol met betrekking tot hun nagroeicondities tijdens distributie. Bij deze bedrijven, met uitzondering van Brabant Water, is er sprake van substantiële normoverschrijdingen (Figuur 11). Andere bedrijven zoals Vitens, Waternet en Waterbedrijf Groningen, die ook in meer en mindere mate met overschrijdingen te maken hebben, beschouwen overschrijdingen van *Aeromonas* niet als een belangrijk probleem.

Esthetische en technische problemen, klachten en monitoring. Bij de interviews zijn er vier bedrijven die aandacht hebben voor geur/smaak en slechts twee bedrijven die ongewervelde dieren benoemen als een serieus aspect van de drinkwaterkwaliteit. Alleen PWN heeft gemeld dat er soms sprake is van een technisch probleem met betrekking tot verstopte watermeters. Ook al is het klachteniveau in de bedrijfstak laag, toch wordt het 'imago' van het drinkwater door de meeste bedrijven als een belangrijk onderwerp genoemd. Ten aanzien van de monitoring wordt een divers beeld gekregen. Er zijn drie bedrijven die hierbij veel waarde hechten aan nieuwe op DNA gebaseerde monitoring. Slechts twee bedrijven benoemen biologische stabiliteitsmetingen als een belangrijk onderwerp en twee bedrijven vinden *Aeromonas* een belangrijke parameter die gehanteerd zou moeten blijven als nagroei-indicator. PWN benadrukt dat in de monitoring van de drinkwaterkwaliteit de scheiding tussen distributiesysteem en drinkwaterinstallatie beter zou moeten worden ingevuld.

Belangstellingsscore en prioritering van het thema. Op grond van de tabellen 7 en 8 is de totale belangstellingsscore gemaakt en getoetst aan de bij het interview gevraagde prioritering van het thema. Bij de meeste bedrijven kwamen de belangstellingsscore en

thema-prioritering overeen. De twee uitzonderingen hierop zijn: (i) bij PWN was de belangstellingsscore het hoogst, terwijl een gemiddelde prioriteit aan het thema werd gegeven en (ii) bij Waterbedrijf Groningen/WMD was de belangstellingsscore hoog, terwijl een lage prioriteit aan het thema werd gegeven.

TABEL 8 OORDEEL VAN DE BEDRIJVEN OVER ESTHETISCHE EN TECHNISCHE ASPECTEN EN KLACHTEN/IMAGO EN MONITORING ALSMEDE DE BELANGSTELLINGSSCORE VAN DE INTERVIEWS EN THEMA-PRIORITERING

Bedrijven	Esthetisch G/S en OD ^a	Techn. problem	Imago ^a	Monitoring	Score ^c	Totaal score ^d	Prior thema
DUNEA	-	-	+	+ (DNA)	2	5	laag
WML	-	-	+	+ (DNA)	2	4	laag
PWN	+ (G/S)	+	+	+ (traject/DWI)	4	8	Gemid.
Vitens	-	-	+	+ (DNA)	2	4	laag
WBGr/WMD	+ (G/S)	-	+/-	+ (Biol. stab.)	2.5	6.5	laag
Evides	+ (OD)	-	+	+ (<i>Aeromonas</i>)	3	7	hoog
Oasen	+ (G/S)	-	+	-	2	6	hoog
Brab. Water	-	-	+/-	+ (<i>Aeromonas</i>)	1.5	4.5	laag
Waternet	+ (OD/temp)	-	+/-	+ (Biol. stab.)	2.5	5.5	Gemid.

^a G/S = geur-/smaakklachten, OD = ongewervelde dieren

^b + of - Drinkwaterbedrijf heeft tijdens gesprek aangegeven deze onderwerpen als aanmerkelijk (+) of minder (-) belangrijk te vinden of daar tussenin (+/-)

^c Het aantal plussen in de voorgaande kolommen is gescoord

^d De totale score is de score van de voorgaande kolom plus de score uit Tabel 7

3.4 Positiebepaling in Vlaanderen

In de wetgeving van Vlaanderen ten aanzien van de microbiologische drinkwaterkwaliteit gericht op controle en beheersing van nagroei zijn de normen voor *Aeromonas*, Koloniegetal 22°C en *Legionella* in Vlaanderen niet geldend. *Legionella* wordt wel door de Watergroep gemeten, maar dit past in een specifieke *Legionella*-wetgeving aangaande openbare gebouwen. Net als in Nederland is het waterbedrijf niet verantwoordelijk voor *Legionella* na de watermeter.

Het algemene beeld van De Watergroep is dat ze jaarlijks 155 miljoen m³ water produceren, deels uit oppervlaktewater (o.a. Schelde, IJzer) en deels grondwater. Op alle locaties wordt chloor gedoseerd 'af pompstation' (0.05-0.1 mg/l gemiddeld afhankelijk van de bron; oppervlaktewater > grondwater). Een microbiologisch aandachtspunt is de toename sinds 2014 van het overschrijden van de norm voor bacteriën van de coligroep. Deze toename hangt samen met de omschakeling van de plaatmethode op Tergitol-agar naar de colilert methode, omdat diverse soorten uit de bacteriën van de coligroep niet met de oude methode werden waargenomen. In overleg met de wetgever is afgesproken dat minder strikt wordt omgegaan met overschrijdingen van de bacteriën van de coligroep dan met overschrijdingen van de echte fecale indicatororganismen. Desondanks moet het drinkwaterbedrijf zo snel

mogelijk actie ondernemen (uiterlijk binnen een week) om de bacteriën van de coligroep te bestrijden.

Aeromonas in gedistribueerd drinkwater is incidenteel onderzocht en leidde niet tot aantallen die boven de 1000 KVE/100 ml lagen (de normwaarde in Nederland). Het overgrote deel van de gevonden waarden ligt binnen de range van 0-300 KVE/100ml. Het kiemgetal/koloniegetal blijkt ook geen probleem te zijn: overschrijding van de Nederlandse normwaarde van 100 KVE per ml wordt niet waargenomen en er is geen verband met andere fysisch/chemische parameters (grote jaarlijkse dataset).

Geur/smaak is een aspect waar sporadisch wel problemen mee wordt ondervonden. In bepaalde situaties waren deze problemen gekoppeld aan microbiële processen die optraden in de zandfilters van een pompstation. Breed screenend onderzoek met next generation sequencing (NGS) analyses op het 16S rRNA gen heeft nog geen uitsluitsel gegeven of en welke bacteriën daarbij betrokken waren. De vermoedelijke probleemverbinding is trichlooranisool (TCA) dat mogelijk wordt gevormd door het spoelen van zandfilters met chloorhoudend hoogdruk water.

Een ander nagroeiprobleem wordt waargenomen bij sommige watertorens, die nodig zijn in het distributiegebied i.v.m. bestaande hoogteverschillen. Insecten (vliegen) kunnen voor normoverschrijdingen van de bacteriën van de coligroep leiden. De torens worden jaarlijks gereinigd en de oorzaak van een normoverschrijding wordt niet altijd achterhaald.

Flowcytometrie is een methode die met succes wordt toegepast in de zuivering (regeneratie koelfilters, ander waterintrusie leidingnet). Ook bij spuien van een transportleiding (300-400 mm) is de methode samen met NGS gebruikt om veranderingen voor/na in de waterfase op te sporen. Tijdens het spuien worden veel kwaliteitsveranderingen waargenomen, maar na afloop zijn er geen kwaliteitsverschillen tussen het drinkwater voor en na de spuiactie.

Bruinwater is in België een belangrijk onderwerp omdat lokaal frequent over bruinwater wordt geklaagd. Er zijn tot nu toe geen duidelijke verbanden met biologische activiteit waargenomen, maar het vermoeden bestaat dat die er wel kunnen zijn.

Het onderwerp van *Legionella* speelt wel in Vlaanderen maar staat niet in de Vlaamse Drinkwaterwetgeving. In Nederland wordt *L. pneumophila* niet gevonden in drinkwater en gaat het om meestal om *L. anisa*. In Vlaanderen wordt *L. pneumophila* en *L. species* geanalyseerd, verdere identificatie binnen de species groep gebeurt momenteel niet. Aandacht voor andere opportunistische ziekteverwekkers zoals bijvoorbeeld *P. aeruginosa* is lager, maar vanuit voedingsbedrijven en ziekenhuizen komen met enige regelmaat vragen over deze organismen in relatie tot drinkwater.

Bij microbiologische overschrijdingen (Bacteriën van de coligroep, *E. coli*, Enterococcen, *Clostridium perfringens*) aan de tap wordt de vier stalen procedure gehanteerd: herhalingsmonster plus monster bij de watermeter en een monster aan de watermeter stroomopwaarts en afwaarts om de 'locatie' van de besmetting te achterhalen.

Vanuit de afdeling van Preventie van de Vlaamse Overheid wordt bij microbiologische calamiteiten benadrukt dat er voordat er ingegrepen gaat worden voldoende watermonster genomen moet worden om de mogelijke oorzaak en identificatie van het probleem te kunnen achterhalen.

De Watergroep ziet biologische stabiliteit en groei voornamelijk bij drinkwater bereid uit oppervlaktewater als een hoog prioritair aandachtspunt voor de drinkwaterkwaliteit. Daarbij speelt de groei van bacteriën van de coligroep een belangrijke rol. Voor de grondwaterwinningen heeft het onderwerp een lagere prioriteit. Onderwerpen waar de Watergroep veel belangstelling voor heeft zijn onder andere de invloed van materialen en het onderzoek van biofilm (isolatie en metingen). Er worden veel verschillende soorten materialen gebruikt in Vlaanderen, maar het inzicht over de gevolgen van materiaalkeuze voor groei is beperkt. De Watergroep participeert daarom in het PE onderzoek van de themagroep.

4 Discussieresultaten workshop

In het tweede deel van de workshop op 11 november werd met de circa 60 deelnemers uit de bedrijfstak een discussie gevoerd op basis van een aantal stellingen die door de leden van de themagroep werden ingeleid en verdedigd (Tabel 9). In de navolgende paragrafen wordt kort de stelling door de verschillende themagroepleden onderbouwd en samengevat wat de uitkomst van de discussie was op die dag.

TABEL 9 OVERZICHT VAN DE ACHT STELLINGEN DIE OP DE WORKSHOP TER DISCUSSIE STONDEN

	Stellingen	Wie
1	Opportunistische pathogenen vormen de belangrijkste reden voor de productie en distributie van biologisch stabiel water	Ed van der Mark, Aleksandra Knezev
2	De verschillende parameters voor biologische stabiliteit zoals de AOC- en BPP-test en de CBM worden geen onderdeel van het routinematige monitoringsprogramma van de waterbedrijven	Peter van der Maas
3	Meer kennisontwikkeling over de betrokken processen heeft geen zin als het niet leidt tot beheersmaatregelen	Peter Schaap
4	Drinkwaterbedrijven, die voldoen aan de normen in het Drinkwaterbesluit, zijn niet verantwoordelijk voor problemen met de microbiologische waterkwaliteit in de drinkwaterinstallatie	Geo Bakker
5	Gebruik van nagroeibevorderende leidingmaterialen in het distributiesysteem door de waterbedrijven vormt een serieus risico voor de consument	Marco Dignum
6	Een stabiele biofilm staat garant voor biologisch stabiel drinkwater	Weren de Vet
7	<i>Aeromonas</i> en het KG22°C zijn betrouwbare indicatoren voor nagroei in het distributiegebied	Jan Bahlman
8	Ongewervelde dieren routinematig monitoren in het leidingnet is niet nodig	Maarten Lut

4.1 Opportunistisch pathogenen

4.1.1 Stelling 1

Opportunistische pathogenen vormen de belangrijkste reden voor de productie en distributie van biologisch stabiel water.

Ed van der Mark (Dunea) en Aleksandra Knezev (HWL)

Om te voorkomen dat (na)groei van enkele opportunistische ziekteverwekkers optreedt, moeten we biologisch stabiel water distribueren. Opportunistische pathogenen kunnen een gezondheidsrisico vormen voor de consument. Om het risiconiveau in beeld te brengen is kennis nodig van groeifactoren (temperatuur, dierlijke organismen, biofilm, sediment, drinkwaternet versus drinkwaterinstallatie) en van de relatie van drinkwaterstammen met patiëntstammen van opportunistische ziekteverwekkers die voor het Nederlandse drinkwater van belang zijn. Verder zijn KG22 en *Aeromonas* nog steeds wettelijke parameters als indicator voor nagroei in het drinkwaterdistributiesysteem.

4.1.2 Discussieresultaat

Uit de discussie bleek dat opportunistische pathogenen in meerderheid niet wordt gezien als belangrijkste reden voor de productie en distributie van biologisch stabiel drinkwater. De belangrijkste reden is de wens en het uitgangspunt in Nederland dat we geen persistent desinfectiemiddel willen gebruiken vanwege het mogelijke schadelijke effect op de gezondheid en het esthetisch bezwaar hiervan. Voor de opportunistische pathogenen geldt met name het voorzorgsprincipe waarbij het streven is om met kennisvermeerdering antwoorden te kunnen geven over dit risico. Het citizen science project in Amsterdam, dat in 2016 binnen het verkennend onderzoek van het BTO heeft gelopen, laat de actualiteit zien waar burgers met nieuwe goedkope DNA technieken toe in staat kunnen zijn. Net als de aanpak bij *Aeromonas* en *Legionella* zal voor de opportunistische pathogenen eerst de overeenkomst tussen drinkwater- en patiëntstammen moeten worden bepaald. Het BTO-onderzoek naar dat aspect wordt begin 2017 afgerond. Alhoewel de opportunisten in het distributiesysteem voorkomen, wordt er ook een duidelijke relatie met de drinkwaterinstallatie van gebouwen gelegd. De relatieve bijdrage van drinkwater aan het totale risico moet niet uit het oog worden verloren.

4.2 Monitoring van biologische stabiliteit

4.2.1 Stelling 2

De verschillende parameters voor biologische stabiliteit zoals de AOC- en BPP-test en de CBM worden geen onderdeel van het routinematige monitoringsprogramma van de waterbedrijven.

Peter van der Maas, WLN

In het BTO programma vindt onderzoek plaats op verschillende vlakken:

- Wat is het risico van biologisch instabiel water, welke risico's openbaren zich bij een bepaalde mate van biologische instabiliteit?
- Hoe kan biologische (in)stabiliteit worden bepaald, c.q. voorspeld?
- Hoe moet worden gezuiverd, bewaard en gedistribueerd om (nagroei gerelateerde) risico's te voorkomen.

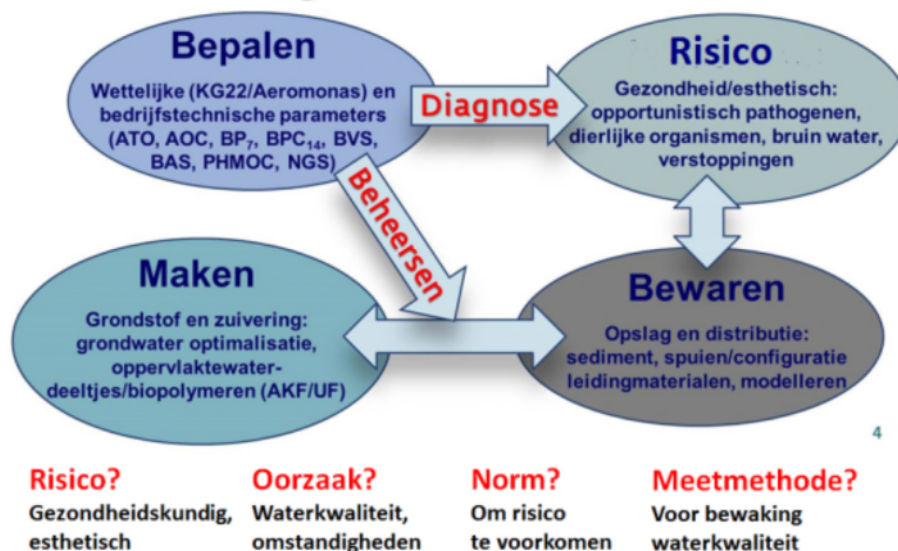
De centrale vraag daarbij is: Wat is nu precies het risico van biologische instabiliteit in de praktijk? Welke fenomenen willen we voorkomen, en waar ligt dan de grens tussen acceptabele en onacceptabele waterkwaliteit?

De stelling is gebaseerd op de volgende uitgangspunten:

1. Het routinematige monitoringsprogramma van de waterbedrijven dient om de waterkwaliteit te borgen door toetsing aan normen.
2. Normen worden gesteld om waterkwaliteitsrisico's (gezondheidskundig, esthetisch) te voorkomen.
3. Het risico van biologische instabiliteit is op dit moment onvoldoende helder om er normen aan te verbinden.

Daarom is routinematige meting van AOC, BPP en CBM niet zinvol (op dit moment). Immers, waaraan te toetsen, om wat te voorkomen?

Thema Biologische Stabiliteit



4.2.2 Discussieresultaat

De tweede stelling wordt door de meerderheid ondersteund en er zijn individuele bedrijven die (sommige) biologische stabiliteitsparameters routinematig gebruiken om trends te

signaleren en/of bedrijfsnormen te definiëren. Omdat voor de oppervlaktewaterbedrijven het thema over het algemeen een hogere prioriteit krijgt (Tabel 8), lijken de parameters belangrijker dan voor de grondwaterbedrijven. Er is wel behoefte om meer kennis te verzamelen over met name de nieuwe parameters om hun waarde beter te kunnen duiden. Misschien dat daaruit blijkt dat er voor een goede routineparameter nog een aanvullende methode moet worden ontwikkeld.

4.3 Kennisontwikkeling en beheersmaatregelen

4.3.1 Stelling 3

Meer kennisontwikkeling over de betrokken processen heeft geen zin als het niet leidt tot beheersmaatregelen.

Peter Schaap, PWN

Als bedrijfstak zitten we niet te wachten op het zoeken naar problemen, hier dan heel veel onderzoek naar te doen en concluderen dat we geen meetmethoden, referentiekader en beheersmaatregelen hebben.

Dit ontslaat de bedrijfstak niet van, vanuit het voorzorgsprincipe, onderzoek te doen naar risico's (met name gezondheidkundig). De aandacht voor opportunistische pathogenen en antibiotica resistentie hoort daarbij.

Focus van het onderzoek is gericht op:

- het ophalen (ogen en oren functie) van kennis over risico's;
- verkennen voorkomen, omvang, meetmethode;
- duiden (impact van risico, relatie drinkwater tov omgeving);
- richting van beheersmaatregelen.

Ik stel vast dat in de themagroep microbiologische activiteit veel aandacht uitgaat naar de eerste twee bullits en relatief weinig naar drie en vier.

Onderzoeksbudget en -capaciteit zijn echter beperkt om diep de processen uit te zoeken, hier zijn hele vakgroepen op universiteiten mee bezig. De kracht van de samenwerking tussen KWR en de bedrijfstak zit in het doen van toegepast onderzoek. Dit heeft al vele jaren geleid tot verbeteringen in de procesvoering en -bewaking.

Indien het onderzoek niet leidt tot operationele aanpassingen die een risico aanpakken, dan is het onderzoek alleen onderzoek voor onderzoek en zouden we het niet moeten doen.

4.3.2 Discussieresultaat

Vanuit het kwaliteitsbesef in de bedrijfstak en de daaruit voortvloeiende verbeterprocessen wordt de eerste stelling door de meerderheid verworpen. Kennisontwikkeling is nodig om vast te stellen of er mogelijke beheersmaatregelen zijn en zo ja hoe effectief die zijn. Daarbij werd de plan, do, study, act (PDSA)-cyclus (figuur 15) genoemd waarin kennisontwikkeling [study] en beheersmaatregel [act] integrale onderdelen zijn.



Figuur 15. De plan, do, study, act (PDSA) cyclus.

Ook werden het voorzorgsprincipe en de zorgplicht voor drinkwaterinstallaties genoemd als maatgevend voor kennisontwikkeling. Benadrukt werd dat er meer behoefte is aan toegepast onderzoek dan aan fundamenteel onderzoek. Bedenk op voorhand in de projectdefinitiefase hoe de kennis geïmplementeerd kan worden en bij meer fundamentele kennis welke consequenties de resultaten kunnen hebben voor de praktijk. Een periodieke toets op de relevantie van de ontwikkelde kennis voor de praktijk is van belang.

4.4 Aandacht voor drinkwaterinstallaties

4.4.1 Stelling 4

Drinkwaterbedrijven die voldoen aan de normen in het Drinkwaterbesluit zijn niet verantwoordelijk voor problemen met de microbiologische waterkwaliteit in de drinkwaterinstallatie.

Geo Bakker (Vitens)

Argumenten om voor de stelling te stemmen zijn, behoudens de wet- en regelgeving, vooral gebaseerd op de toegang tot de drinkwaterinstallaties en het uitvoeren van beheersmaatregelen in deze installaties. Beide aspecten berusten bij de eigenaar van de drinkwaterinstallatie. Als drinkwaterbedrijf kan er ook geen verantwoordelijkheid worden genomen voor zaken die niet beïnvloedbaar zijn. Het komt nog regelmatig voor dat er wordt geklust in de drinkwaterinstallatie door niet gecertificeerde bedrijven of personen. Drinkwaterbedrijven hebben wel weer een controlerende taak, namens het ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van Legionellapreventie.

4.4.2 Discussieresultaat

De houding van de verschillende bedrijven ten aanzien van de drinkwaterinstallaties is ambivalent, mede door het spanningsveld tussen geen verantwoordelijkheid maar wel zorgplicht. De meesten waren het eens met de stelling. Drinkwaterbedrijven zijn verantwoordelijk tot aan de watermeter. Toch wordt het spanningsveld over het algemeen niet als echt problematisch ervaren. De vertegenwoordigers van de drinkwaterbedrijven pleiten wel voor aanpassing van het wettelijk meetprogramma door naast monitoring van de waterkwaliteit aan tappunten van de drinkwaterinstallatie, die nu worden gebruikt voor normtoetsing, ook de waterkwaliteit van het aangevoerde water vóór de watermeter standaard te monitoren. Dit maakt een duidelijke scheiding tussen waterkwaliteit in het distributienet en in de drinkwaterinstallatie. Een punt van aandacht is dat de procedures

rondom de huidige legionellanorm en *Aeromonas*-norm (zoals monsterpunten, monsternamen en melding van overschrijdingen) in de praktijk nogal eens verschillend worden toegepast door de verschillende drinkwaterbedrijven. Ook werd gesignaleerd dat deze normen inhoudelijk onder druk staan (*L. anisa* versus *L. pneumophila* en betekenis *Aeromonas* voor nagroei).

4.5 Groeibevorderende leidingmaterialen

4.5.1 Stelling 5

Gebruik van nagroeibevorderende leidingmaterialen in het distributiesysteem door de waterbedrijven vormt een serieus risico voor de consument.

Marco Dignum (Waternet)

Volgens de producenten van kunststof leidingen is niet aangetoond dat toepassing van Polyetheen (PE) schadelijk is voor de volksgezondheid, ik citeer een vertegenwoordiger van Bureauleiding (informatiebureau kunststof leidingssystemen): 'Er vallen toch geen doden?!'. In onderstaande bespreking van twee niet-openbare rapporten speel ik 'advocaat van de duivel' en verwerp ik de stelling om zo de discussie aan te zwengelen.

In een onderzoek voor het toenmalige ministerie VROM uit 2007 is de relatie met groei van *Legionella* onderzocht. Hieruit bleek dat PE onder ideale omstandigheden (meermalig aanenten van *Legionella pneumophila* en protozoa bij 30°C en 37°C in de biomassa-productiepotentie (BPP test) groei van *L. pneumophila* kan bevorderen. Die temperaturen komen echter in het distributienet niet voor en *L. pneumophila* wordt zelden aangetroffen in het net.

In een recent, nog niet definitief BTO-rapport van de themagroep Biologische Activiteit is de relatie tussen materialen met andere opportunistische pathogenen onderzocht. Het effect van de verschillende PE-materialen op groei van *Pseudomonas aeruginosa*, *Mycobacterium avium*, *Mycobacterium kansasii* en *Aspergillus fumigatus* was over het algemeen beperkt. Alleen voor *M. kansasii* werd waargenomen dat het PE-materiaal met de hoogste BPP-waarden ook de hoogste *M. kansasii* aantallen had. Een relatie met ziektegevallen is niet onderzocht.

Voor de drinkwatersector heeft PE grote voordelen: het is sterk, flexibel (dus praktisch, vanaf de rol te leggen, ook in moeilijke omstandigheden), licht (dus duurzaam) en goedkoop. PE dat voldoet aan het beoordelingscriterium voor biofilmvolume (de Duitse W270 meetmethode) zou daarom zonder restricties moeten worden toegelaten op de Nederlandse markt.

4.5.2 Discussieresultaat

De groeibevorderende eigenschappen van leidingmaterialen is actueel binnen de bedrijfstak zo bleek uit de discussie en ook bij de interviews. De betekenis van materiaal voor mogelijke nagroeirisico's en andere ongewenste verschijnselen is echter nog grotendeels een black box en men is daar onzeker over. Het KG22 en ook andere parameters als ATP wordt voorlopig nog gebruikt bij vrijgeven van 'nieuwe leidingen' en dat leidt soms tot ongewenste situaties, bijvoorbeeld een te hoge aandacht voor verhoogde waarden. Er is geen direct risico voor de consument maar het levert wel een ongemakkelijk gevoel op over de belasting van

het distributiegebied met groeibevorderende stoffen. De constatering dat in incidentele gevallen PE aansluitleidingen kunnen leiden tot verstopping van watermeters wordt als een serieus imagoprobleem ervaren. Vanuit risicomijdend beleid, het voorzorgsprincipe en de zorgplicht voor drinkwaterinstallaties wordt groeibevordering door materialengebruik binnen het thema Biologische Activiteit als belangrijk gezien. De BPP-test zou een goede screeningstest kunnen zijn voor materialeselectie in een gemeenschappelijke bedrijfstakaanpak richting leveranciers. Het blijft wel een afweging tussen risico's op nagroei tegen risico's op breuken/lekken.

4.6 Toegestane biofilms in leidingnet

4.6.1 Stelling 6

Een stabiele biofilm staat garant voor biologisch stabiel drinkwater.

Weren de Vet (WML)

De 'Dutch approach' voor drinkwater zonder nachlorering richt zich op distributievlak op de beperking van biologische nagroei (door productie van biologisch stabiel water en gebruik van 'biostabiele' materialen). Die minimalisatie van biologische nagroei in het distributiestelsel lijkt vanzelfsprekend, maar de invulling en de grens van het acceptabele zijn in de praktijk niet eenduidig. In de methoden ontwikkeling binnen het BTO speelt ATP een centrale rol in de kwantificering, maar het is de vraag of deze bulkparameter de relevante nuances van de interacties in het complexe ecosysteem genaamd distributiestelsel wel voldoende beschrijft. De vraag werpt zich op of het ene ATP niet minder 'slecht' is dan het andere en of minder ATP wel altijd beter is. Verder dringt zich de vraag op of het vanzelfsprekend is om een zo biologisch inactief mogelijk distributiestelsel te willen handhaven tussen de waterzuivering en de klant, waar in beide gevallen biologische processen essentieel (en gewenst) zijn.

Zowel de medische als de drinkwateronderzoek (ook ons eigen BTO!) leveren aanwijzingen en bewijzen dat de bevordering van een gezonde, rijke biopopulatie de potentie heeft om de groei van ongewenste micro-organismen (zoals opportunistische pathogenen) te beteugelen (door competitie en predatie). Dit zou gerealiseerd kunnen worden door de enting van of het beïnvloeden van de groeicondities ten faveure van gewenste organismen. De razendsnelle ontwikkeling van moleculaire technieken maakt het waarschijnlijk binnen 5 à 10 jaar mogelijk om snel of inline de bacteriële samenstelling van system te bewaken en analyseren. Dit biedt kansen op een gerichtere beheersing van de biologische populaties.

4.6.2 Discussieresultaat

Een belangrijke vraag die breed gedragen wordt, is welke mate van biologische groei acceptabel is. Er is nu standaard een 'stabiele biofilm' aanwezig bij de meeste bedrijven op grond van het chloorloze drinkwater waar de bedrijfstak meestal geen problemen van ondervindt. Vanuit de sector wordt wel eenduidig vastgesteld, dat het niet toegestaan is om het drinkwater te verrijken met probiotica. De snel toenemende mogelijkheden van moleculaire technieken bieden in ieder geval bruikbare tools om veranderingen in populatiesamenstelling gedetailleerder vast te stellen en te bewaken. Dit biedt nieuwe onderzoeks- en optimalisatiekansen.

4.7 *Aeromonas* en KG22°C als nagroei-indicatoren

4.7.1 Stelling 7

Aeromonas en het KG22°C zijn betrouwbare indicatoren voor nagroei in het distributiegebied.

Jan Bahlman (Evides)

De stelling is niet verworpen. Onderzoek met nieuwe meetmethoden voor biologische stabiliteit (zoals BPP, AOC-A3 en PHMOC) laten zien dat er een verband lijkt te zijn tussen met name *Aeromonas* (KG22°C in mindere mate) en de concentratie biopolymeren afpompstation en in het distributienet.

De hypothese is dat deze hogere concentratie biopolymeren (PHMOC) een hogere biologische activiteit in het leidingnet handhaven waarbij *Aeromonas* kans ziet om, naast de aanwezige bacteriële populatie, na te groeien tot boven de wettelijke norm (1000 kvd/100 ml). Daar waar wettelijke overschrijdingen voor *Aeromonas* vóórkomen wordt meestal ook een hogere biomassa van dierlijke organismen waargenomen.

Onderzoek H2020 BioS/SPO en DPWE 2012-2015



Sinds 2006 desinfectiemiddel-vrije distributie drinkwater stelt hoge(re) eisen aan biologische stabiliteit drinkwater uit oppervlaktewater

1. Trendmatige verhoging van nagroei-parameter *Aeromonas* (KG 22°C)
2. Bij 3 van 4 grote OWZ toename wettelijke overschrijding (1000 kvd/100 ml)
3. Verband met hogere groeipotentie drinkwater afpompstation; meer biologische activiteit in leidingnetten vóórkomen macro-invertebraten zoals *Asellus* en borstelwormen

In 2017 e.v. inzet praktijk-pilot in distributienet gericht op:

- Verlagen groeipotentie
- Schoonmaken leidingnet

2 januari 2017

2

4.7.2 Discussieresultaat

Over de eerste de vraag of *Aeromonas* en KG22 goede nagroei-indicatoren zijn, wordt verschillend gedacht binnen de bedrijfstak. Basis voor de beeldvorming zijn bedrijfservaringen en BTO onderzoeksrapporten. Er lijkt een meerderheid te zijn die de stelling verwerpt en de betrouwbaarheid van de parameters in twijfel trekt. Bedrijfservaringen zijn echter wisselend zoals ook uit de interviews bleek. Algemeen beeld is dat het KG22 een minder goede indicator is dan *Aeromonas*: de wettelijke norm KG22 wordt altijd gehaald. *Aeromonas*-ervaringen zijn wisselend waarbij er geluiden zijn dat er geen verband is met andere nagroeiproblemen, maar er ook geluiden zijn die aangeven dat bij *Aeromonas*-overschrijdingen ook andere nagroeiproblemen op specifieke locaties optreden. Overigens zijn er momenteel geen betere parameters. Zo heeft recent onderzoek binnen het BTO-speerpuntonderzoek van Oasen en Vitens laten zien dat cel aantallen (bepaald met flowcytometrie) of ATP geen goede parameters zijn om nagroei in het distributiesysteem te

beschrijven. BTO onderzoek naar mogelijke alternatieven blijft dus belangrijk en is ook in uitvoering.

4.8 Ongewervelde dieren

4.8.1 Stelling 8

Ongewervelde dieren routinematig monitoren in het distributienet is niet nodig.

Maarten Lut (Oasen)

In het Nederlandse drinkwater kunnen ongewervelde dieren voorkomen die bij aanwezigheid in grote aantallen kunnen bijdragen aan esthetische klachten. Om ongewenste groei van dierlijke organismen, en daarmee klachten, te voorkomen was routinematige monitoring van ongewervelde dieren opgenomen in de Inspectierichtlijn 'Harmonisatie Wettelijk Meetprogramma'. Deze Inspectierichtlijn is echter vervallen, waardoor de verplichting tot het meten van Ongewervelde dieren ook niet meer bestaat.

Uit analyse van consumentenklachten blijkt dat er nauwelijks klachten voorkomen met betrekking tot dierlijke organismen. Ook niet in gebieden waar de aantallen relatief hoog zijn.

De ervaring leert dat het jaarlijks routinematig meten nauwelijks nieuwe inzichten oplevert. Zolang de waterkwaliteit (vanuit het zuiveringsstation) niet verandert zal de situatie in het distributienet ook niet veel veranderen.

Omdat er weinig klachten voorkomen en omdat er weinig variatie optreedt is het weinig zinvol om routinematig te blijven meten.

Het is waardevoller om een meetinspanning te richten op specifieke probleemgebieden of op het uitvoeren van een effectmeting wanneer een verandering in waterkwaliteit verwacht wordt, bijvoorbeeld door het doorvoeren van ingrijpende wijzigingen in het zuiveringsproces.

4.8.2 Discussieresultaat

De positie van de bedrijven ten aanzien van het routinematig monitoren van ongewervelde dieren redelijk divers. Over het algemeen werd de stelling afgewezen. De nuances die werden aangebracht hebben te maken met de invulling van een meetprogramma (welke monsters, met welke frequentie en op welke organismen). Streven naar maatwerk is hier de boodschap, waarmee consensus lijkt te zijn dat het monitoren van ongewervelde dieren belangrijk kan zijn, maar verschillen de bedrijven of dat op een routinematige manier moet plaatsvinden.

5 Definitie biologische stabiliteit

5.1 Achtergrond

Tijdens de discussie die binnen de themagroep 'Biologische Activiteit' worden gevoerd, is gebleken dat de term 'biologische stabiliteit' niet eenduidig door de verschillende themagroepleden wordt geïnterpreteerd. Het is echter wenselijk dat de themagroepleden en drinkwaterbedrijven/KWR een gezamenlijke definitie hebben van de term 'biologische stabiliteit'. Daarom heeft KWR in samenspraak met de themagroepleden een herijkte definitie van biologische stabiliteit opgesteld en is tevens afgestemd op wat voor manier bepalingen gedaan kunnen worden om te toetsen of een drinkwatersysteem aan de opgestelde definitie voldoet.

5.2 Definitie 'Biologische Stabiliteit' volgens de TG Biologische Activiteit

5.2.1 Gezamenlijke definitie

Biologische stabiliteit beschrijft een drinkwatersysteem dat tot een zo min mogelijke biologische verandering leidt, zodat gezondheidsrisico's¹ en/of consumentenklachten, gerelateerd aan groei van (micro-)organismen, niet kunnen optreden.

5.2.2 Strategie voor bereiken van een biologisch stabiel drinkwatersysteem

Er zijn verschillende actoren van invloed op de biologische stabiliteit van een drinkwatersysteem: het drinkwater, de gebruikte materialen en hydraulische omstandigheden. Door de hoge kwaliteit van het drinkwater in Nederland en de terughoudendheid in het gebruik van materialen met een relatief hoge groeipotentie, zullen de meeste drinkwatersystemen (van productielocatie tot watermeter) niet leiden tot onacceptabele gezondheidsrisico's en consumentenklachten. Om te achterhalen op welke locaties de biologische stabiliteit eventueel verbeterd dient te worden, zal moeten worden bepaald in hoeverre mogelijke gezondheidsrisico's en/of consumentenklachten ten gevolge van groei van (micro-)organismen optreden. Daarvoor zijn twee monitoringsstrategieën beschikbaar: (i) het bepalen van de meetbare (micro)biologische vermeerdering en/of veranderingen in het drinkwatersysteem en indien daaruit duidelijke veranderingen blijken, (ii) het monitoren van effecten op de klant. Indien uit deze monitoring blijkt dat een drinkwatersysteem een dusdanige microbiologische verandering laat zien dat gezondheidsrisico's en/of consumentenklachten niet kunnen worden uitgesloten, dan wordt gekeken naar de biologische stabiliteit van het van het water en de watersysteemkenmerken zoals materialen, ontwerp en onderhoud van het distributiesysteem die ook van invloed kunnen zijn op de biologische stabiliteit. Tot slot wordt gekeken naar het ontwikkelen van een tijdelijke operationele oplossingen om bij noodsituaties oplossingen te kunnen bieden bij optredende groei problemen.

¹ In analogie met de fecale pathogenen zou hiervoor aangegeven kunnen worden welk jaarlijks risiconiveau hierbij acceptabel wordt gevonden en op welke wijze dit geëvalueerd zou moeten worden. Op basis van de Disability-adjusted Life Years (DALY) zou bepaald kunnen worden of het jaarlijks infectierisico van 10^{-4} hiervoor gehanteerd zou moeten worden. Basis voor de risicoberekening is de voor de fecale pathogenen gehanteerde quantitative microbial risk assessment (QMRA) (zie par. 2.5.1 en ook Lau & Ashbolt, 2009; Schoen and Ashbolt, 2011).

Monitoring

Het monitoren van meetbare (micro)biologische vermeerdering en/of veranderingen in het drinkwatersysteem vindt momenteel voor een deel plaats in de uitvoering van het wettelijk meetprogramma. In dit wettelijke meetprogramma zitten vier microbiologische parameters die een relatie kunnen hebben met groei en waar wettelijke normen voor zijn afgesproken: KG22, *Aeromonas*, *Legionella* en bacteriën van de coligroep. Naast deze wettelijke parameters kunnen eventuele parameters die aanvullende informatie geven worden bepaald: biomassametingen (bv ATP), ongewervelde dieren, samenstelling microbiële populaties (bijvoorbeeld met behulp van next generation sequencing). Indien uit deze monitoring blijkt dat een drinkwatersysteem een dussdanige microbiologische verandering laat zien dat gezondheidsrisico's en/of consumentenklachten niet kunnen worden uitgesloten, dan kan de biologische stabiliteit van het watersysteem worden bepaald door de groeipotentie en biofilmvormende eigenschappen van het drinkwater te bepalen en te toetsen tegen aandachtswaarden voor biologische stabiliteit.

Het monitoren van effecten op de klant kan worden gedaan door het opzetten en bijhouden van een goed consumentenklachtensysteem, waar bij binnenkomende klachten wordt vastgesteld of ze een biologische oorzaak hebben en zo ja, regelmatig nader worden onderzocht wordt uitgevoerd op oorzakelijke verbanden. Omdat onderzoek heeft laten zien dat drinkwaterstammen van opportunistische ziekteverwekkers in lage aantallen vóórkomen en op basis van vergelijkingen met patiëntstammen een mogelijk gezondheidsrisico kunnen vormen, kunnen deze selectief en, gebaseerd op hierboven geregistreerde (micro)biologische veranderingen in het distributiegebied, periodiek worden gemonitord.

Zoals in paragraaf 3.1 beschreven worden meetprogramma's en meetinspanningen door de bedrijven verschillend ingevuld. Vaak is deze invulling gebaseerd op ervaring en wensen van het betreffende drinkwaterbedrijf, maar het is niet ondenkbaar dat door verdere optimalisatie van het meetprogramma en meetinspanning een beter beeld wordt verkregen van locaties waar mogelijke gezondheidsrisico's en/of consumentenklachten optreden. Voor het opstellen van een geoptimaliseerd meetprogramma en meetinspanning is echter aanvullend onderzoek nodig. Binnen het thema 'Biologische Veiligheid', dat één van de onderzoeksthema's wordt van het nieuwe BTO-contract (2018-2023), is dit aspect als mogelijke onderzoeksonderwerp geïdentificeerd.

Biologische stabiliteit drinkwatersysteem en operationeel beheer

De biologische stabiliteit van het drinkwatersysteem voor de watermeter wordt bepaald door de kwaliteit van het drinkwater, een goed ontwerp van het distributiesysteem, keuze van het juiste materiaal en operationele handelingen om dit systeem schoon te houden. Indien uit de hierboven genoemde monitoring blijkt dat een drinkwatersysteem een dussdanige microbiologische verandering laat zien dat gezondheidsrisico's en/of consumentenklachten niet kunnen worden uitgesloten, dan kan de biologische stabiliteit van het systeem worden bepaald door:

1. de groeipotentie en biofilmvormende eigenschappen van het water te bepalen en te toetsen tegen aandachtswaarden voor biologische stabiliteit;

2. de groeibevorderende eigenschappen van de materialen te bepalen en te toetsen tegen aandachtswaarden voor biologische stabiliteit;
3. de hydraulische condities en ontwerp van het distributiesysteem in kaart te brengen en te toetsen tegen aandachtswaarden voor biologische stabiliteit.

5.2.3 Toekomstige onderzoeksinspanning

In paragraaf 5.2.2 is een strategie beschreven om te achterhalen of drinkwatersystemen in Nederland voldoen aan de in paragraaf 5.2.1 gestelde definitie van biologische stabiliteit. Op dit moment zijn nog niet alle onderdelen die worden voorgesteld in de strategie aanwezig of is nog onvoldoende duidelijk hoe bepaalde onderdelen van de voorgestelde strategie moeten worden ingevuld. Dit vergt dus deels het opzetten van onderdelen en/of onderzoek naar bepaalde onderdelen van de hierboven geschetste strategie.

- Zo is nog altijd onvoldoende bekend welke microbiologische veranderingen leiden tot of een indicatie zijn voor gezondheidsrisico's of consumentenklachten;
- Daarnaast is er ook geen informatie over welke aandachtswaarden voor biologische stabiliteitsparameters (bv BP₇, BPC₁₄, BAS, BVS, PHMOC, AOC, BPP materialen) en welke systeemkenmerken (hydraulische condities, ontwerp, materialen) gehanteerd moeten worden om te voorkomen dat gezondheidsrisico's of consumentenklachten optreden;
- Bestaat er nog geen goed werkend klachtensysteem, waarbij klachten worden gelinkt naar een biologische oorzaak;
- Is er nog geen volledig beeld waar (bv zuivering, transportleiding, aansluitleiding, drinkwaterinstallatie) de grootste veranderingen in biologische stabiliteit optreden, waardoor effectieve operationele beheersmaatregelen nog niet kunnen worden gedefinieerd en onderzocht om levering van ondeugdelijk drinkwater door (micro)biologische veranderingen in het distributiesysteem te vermijden;
- En is tot slot ook informatie nodig over drinkwaterstammen van welke opportunistische ziekteverwekkers een gezondheidsrisico vormen (dit aspect is onderdeel van het huidige BTO-onderzoek van de TG Biologische Activiteit) en staat het hanteren van een QMRA benadering voor het communiceren van een mogelijk gezondheidsrisico nog in de kinderschoenen. De keuze hiervoor vergt een grondige verkenning op (on)mogelijkheden voor toepassing en een goede afstemming tussen bedrijfstak en wetgever.

De onderdelen die nog onvoldoende duidelijk zijn binnen de in paragraaf 5.2.2 voorgestelde strategie en de in deze paragraaf genoemde kennishiaten zouden onderzocht kunnen gaan worden in het nieuwe BTO programma dat vanaf 2018 gaat lopen.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

6.1.1 Historie biologische stabiliteit en nagroei

Doel van dit project is om de positie van de Nederlandse drinkwatersector in kaart te brengen ten aanzien van het Thema Biologische Stabiliteit en hiervoor een definitie te formuleren.

In hoofdstuk twee wordt de ontwikkeling van het thema beschreven. Hieruit blijkt dat biologische stabiliteit in eerste instantie werd gezien als een eigenschap van het geproduceerde drinkwater om nagroei tijdens opslag en distributie te voorkomen. Deze eigenschap kan met een palet van specifiek hiervoor ontwikkelde methoden worden bepaald. Uitgaande van de relatie van een verband van de belangrijkste nagroei indicatoren, KG22°C en *Aeromonas* met de verschillende problemen die met nagroei gepaard gaan, werden deze indicatoren gebruikt om de geschiktheid van de ontwikkelde methoden te toetsen. Belangrijkste conclusies uit dit hoofdstuk zijn hieronder benoemd:

- De door KWR ontwikkelde technieken AOC, BVS, BPP en LGP² zijn geschikt om onder de Nederlandse condities zonder chloor, de groei en biofilmvormingspotenties van water en materialen op het relevante concentratieniveau voor drinkwater (microgrammen per liter) te kunnen bepalen en voorspellen;
- De hierboven genoemde parameters kunnen worden toegepast bij diagnose en beheersing van nagroei in het distributiegebied en de drinkwaterinstallaties en ter beheersing van biofouling en productie van biologisch stabiel drinkwater tijdens de zuivering;
- Recente evaluaties van nieuwe gegevens laten zien dat de voorspellende waarde van AOC en BVS voor nagroei in het distributiegebied gebaseerd op KG22°C en *Aeromonas* is afgenomen;
- In de laatste jaren is gebleken dat ook de moeilijk afbreekbare organische fractie van het totale organische koolstof in drinkwater van belang is voor de nagroei. Voor deze groeibevorderende verbindingen zijn nieuwe aanvullende parameters ontwikkeld die momenteel worden getoetst op het vermogen om nagroei te kunnen voorspellen;
- Het verband van zowel de voorspellende biologische stabiliteit parameters als ook de wettelijke nagroei-indicatoren KG22 en *Aeromonas* met de meest genoemde nagroeiproblemen, zoals gezondheidsrisico's door groei van opportunistische ziekteverwekkende bacteriën en esthetische lachten (reuk en smaak, bruin water en zichtbare ongewervelde dieren), is (nog) niet overtuigend aangetoond;
- Het begrip biologische stabiliteit dient uitgebreid te worden met eigenschappen van het wateropslag- en distributiesysteem zoals materialen, verblijftijden en hydraulische condities, die ook van invloed zijn op het optreden van nagroei.

² Assimileerbare organisch koolstof (AOC), biofilmvormingssnelheid (BVS), biomassaproductiepotentie (BPP) en *Legionella*-groei-potentie (LGP)

6.1.2 Biologische stabiliteit en nagroei anno 2016

In hoofdstuk 3 en 4 wordt een beschrijving gegeven van de huidige situatie en positie van de drinkwaterbedrijven ten aanzien van nagroei, gebaseerd op (i) de door de bedrijven aan het ILT gerapporteerde microbiologische drinkwater kwaliteit over de jaren 2010-2014, (ii) interviews met alle bedrijven in welke mate het onderwerp in hun dagelijkse praktijk speelt en hoeveel prioriteit ze er aan geven en (iii) discussieresultaten tijdens de workshop van 11 november 2016. Daaruit blijkt het volgende:

- Op een enkele uitzondering na een redelijke overeenkomst is tussen de aan de ILT gerapporteerde drinkwaterkwaliteit en de mate waarin de bedrijven nagroeiproblemen en daarmee de urgentie van het onderwerp wordt ervaren. Bij drinkwaterbedrijven die voornamelijk grondwater gebruiken als grondstof, wordt het onderwerp over het algemeen als minder urgent ervaren dan bij bedrijven die voornamelijk oppervlaktewater als bron hebben;
- Van de te onderscheiden nagroeiproblemen wordt de mogelijkheid van nagroei van opportunistisch pathogenen door alle bedrijven op grond van het voorzorgsprincipe als een hoog prioritair onderwerp beschouwd. De andere mogelijke risico's of aandachtspunten als norm-overschrijdingen (*Legionella*, *Aeromonas* bacteriën van de coligroep) en optreden van esthetische consumentklachten worden door de meeste bedrijven als minder prioritair ervaren. De reden hiervoor is dat het aantal normoverschrijdingen over het algemeen laag is en dat ook consumentklachten over de esthetische problemen meestal laag zijn;
- De overschrijdingen van de *Legionella* norm kunnen worden toegeschreven aan de binnenhuisinstallatie. De bedrijfstak wil graag meer kennis ontwikkelen over de nagroeicondities in drinkwaterinstallaties, omdat de wettelijk geregelde monitoring daar uitgevoerd moet worden en de bedrijven daar vaak over adviseren vanuit hun dagelijkse praktijk. Hierbij wordt voorgesteld de monitoring van de drinkwaterkwaliteit tijdens distributie uit te breiden met een punt vóór de watermeter.
- Een onderwerp waar ook meer kennis over verzameld zou moeten worden, zijn de risico's van ongewenste nagroei-verschijnselen door materialen. Vanuit risicomijdend beleid, het voorzorgsprincipe en de zorgplicht voor de drinkwaterinstallaties wordt dit als belangrijk gezien;
- De normoverschrijdingen van de technische bedrijfsparameter *Aeromonas* wordt door de bedrijven en ook door ILT op een verschillende manier geïnterpreteerd en gehanteerd. Er is behoefte aan (een) nagroei indicator(en) die eenduidig is (zijn);
- Ongewervelde dieren in drinkwatersystemen leidt momenteel niet vaak tot problemen bij de waterbedrijven. De positie die de bedrijven ten aanzien van dit kwaliteitsaspect van drinkwater innemen is, om niet te streven naar een uniform te hanteren monitoringsverplichting maar naar maatwerk bij de monitoring door de verschillende bedrijven;
- Bij de meeste bedrijven is de registratie van esthetische en technische consumentklachten gerelateerd aan biologische problemen niet optimaal. Het belang om dit te verbeteren houdt verband met het belang dat de bedrijven hechten aan een goed en betrouwbaar imago bij de consumenten;
- Het streven naar biologische stabiliteit drinkwater komt voort uit de wens om geen water met persistent oxidatief desinfectiemiddel te distribueren vanwege de mogelijke schadelijke gevolgen voor de gezondheid en de esthetische bezwaren (reuk/smaak). De voorspellende parameters voor biologische stabiliteit worden niet

beschouwd als routine parameters, maar als parameters die specifiek ingezet kunnen worden voor diagnose, ontwerp en trendanalyse;

- Gepleit wordt om het begrip biologische stabiliteit van drinkwater, in analogie met de microbiologische veiligheid, te verbreden naar een eigenschap van het totale watersysteem om daarmee de rol van het opslag en distributiesysteem bij de nagroeiverschijnselen te benoemen;
- Dit heeft geleid tot een nieuwe definitie van het begrip 'biologische stabiliteit' voor de Nederlandse drinkwatersector en een strategie om te komen tot een biologisch stabiel drinkwatersysteem (hoofdstuk 5). Kennisontwikkeling over biologische stabiliteit wordt door de bedrijfstak gezien om inzichten in de processen te verhogen en daarmee maatregelen in de praktijk voor kwaliteitsverbetering verder te kunnen ontwikkelen. Een belangrijke vraag die breed gedragen wordt, is welke mate van biologische groei en biofilmvorming acceptabel is. Gebruik van moleculaire technieken biedt de mogelijkheid om hiermee veranderingen in populatiesamenstelling gedetailleerder vast te stellen en te bewaken. Dit biedt nieuwe onderzoeks- en optimalisatiekansen.

6.2 Aanbevelingen

Op grond van deze evaluatie kunnen de volgende aanbevelingen worden gedestilleerd.

- Gebruik de herijkte definitie voor biologische stabiliteit in de drinkwatersector en discussies binnen het BTO over het thema 'Biologische Activiteit' (2013-2017) en 'Biologische Veiligheid' (2018-2023);
- Meer kwalitatieve en kwantitatieve informatie over (micro)biologische veranderingen in het distributiesysteem die leiden tot of een indicatie zijn voor gezondheidsrisico's of consumentenklachten door gerichte monitoring met bestaande en/of nieuwe meettechnieken waaronder moleculaire technieken;
- Meer kennisontwikkeling op het gebied van de biologische processen in het distributiesysteem en de drinkwaterinstallatie en de bijdrage van materialen;
- Kwantitatieve informatie over aandachtswaarden voor biologische stabiliteitsparameters (bv BP₇, BPC₁₄, BAS, BVS, PHMOC, AOC, BPP materialen) en systeemkenmerken (hydraulische condities, ontwerp, materialen) om te voorkomen dat gezondheidsrisico's of consumentenklachten optreden;
- Ontwikkeling van een goed werkend klachtensysteem, waarbij klachten worden via onderzoek gelinkt kunnen worden aan een biologische oorzaak en een actievere communicatie over registratie en behandeling van deze consumentklachten plaatsvindt;
- Streven naar implementatie van de nieuwe biologische stabiliteitsparameters bij de waterlaboratoria in een gezamenlijk proces met KWR aangestuurd door de drinkwaterbedrijven;
- Harmoniseer als drinkwatersector de procedure rondom de *Aeromonas*-norm richting ILT zoals de monsterpunten, monsternamen en melding van overschrijdingen;
- Aanvullend onderzoek naar de betekenis van de legionellanorm (*L. anisa* versus *L. pneumophila*) en *Aeromonas*-norm (betekenis als indicator voor nagroei);
- Onderzoek naar effectieve operationele beheersmaatregelen om levering van ondeugdelijk drinkwater door (micro)biologische veranderingen in het distributiesysteem te vermijden;

- Meer gericht onderzoek naar toegevoegde microbiologische risico's van drinkwaterinstallaties voor een actieve inhoudelijke advisering vanuit de drinkwaterbedrijven;
- Selectief verzamelen van kwantitatieve informatie over drinkwaterstammen van welke opportunistische ziekteverwekkers een gezondheidsrisico vormen en een verkenning naar de mogelijkheden om een QMRA benadering van de gezondheidsrisico's van nagroei te kunnen communiceren.

7 Referenties

- Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M., Fricker, C. and Glasmacher, A. (2003) Heterotrophic plate counts and drinking water safety: the significance of HPCs for water quality and public health, IWA Publishing, London, UK.
- Berry, D., Xi, C. and Raskin, L. (2006) Microbial ecology of drinking water distribution systems. *Curr. Opin. Biotechnol.* 17, 297-302.
- Burtschell, R.H., Rosen, A.A., Middleton, F.M. and Ettinger, M.B. (1959) Chlorine derivatives of phenol causing taste and odor. *J. Am. Wat. Works Assoc.* 51, 205-214.
- Christensen, S.C.B., Nissen, E., Arvin, E. and Albrechtsen, H.-J. (2011) Distribution of *Asellus aquaticus* and microinvertebrates in a non-chlorinated drinking water supply system. Effects of pipe material and sedimentation. *Water Res* 45, 3215-3224.
- Clark, F.M., Scott, R.M. and Bone, E. (1967) Heterotrophic iron-precipitating bacteria. *J. Am. Wat. Works Assoc.* 59(1036-1042).
- Colbourne, J.S. and Brown, D.A. (1979) Dissolved oxygen utilization as an indicator of total microbial activity on non-metallic materials in contact with potable water. *J. Appl. Bacteriol.* 47, 223-231.
- de Vries, H. (1890) *Die Pflanzen und Tiere in den dunklen Raumen der Rotterdamer Wasserleitung*, Gustav Fischer, Jena.
- Joret, J.C., Levy, Y. and Volk, C. (1991) Biodegradable dissolved organic carbon (BDOC) content of drinking water and potential regrowth of bacteria. *Wat. Sci. Tech.* 24(2), 95-101.
- Franzmann, P.D., Heitz, A., Zappia, L.R., Wajon, J.E. and Xanthus, K. (2001) The formation of malodorous dimethyl oligosulphides in treated groundwater: the role of biofilms and potential precursors. *Water Res* 35(2), 1730-1738.
- Haddix, P.L., Shaw, N.J. and Lechallier, M.W. (2004) Characterization of Bioluminescent Derivates of Assimilable Organic Carbon Test Bacteria. *Appl. environ. Microbiol.* 70(2), 850-854.
- Hammes, F. and Egli, T. (2005) A new method for assimilable organic carbon determination and biodegradable dissolved organic matter (BDOC) *Environ. Sci. Technol.* 39, 3289-3294.
- Havelaar, A.H., During, M. and Versteegh, J.F.M. (1987) Ampicillin-dextrin agar medium for the enumeration of *Aeromonas* species in water by membrane filtration. *J. Appl. Microbiol.* 62, 279-287.
- Havelaar, A.H., Schets, F.M., Silfhout, A., Jansen, W.H., Wieten, G. and Van der Kooij, D. (1992) Typing of *Aeromonas* stains from patinets with diarrhoea and from drinking water. *J. Appl. Bacteriol.* 72, 435-444.

Heymann, J.A. (1928) De organische stof in het waterleidingbedrijf. Water Gas 12, 61-65, 69-72.

Hijnen, W.A.M., Kruithof, J.C. and van der Kooij, D. (1988) The effect of bacteriological nitrate removal on the concentration of bacterial biomass and easily biodegradable organic carbon compounds in groundwater. Wat. Supply 6, 265-273.

Hijnen, W.A.M., van der Kooij, D. and Kruithof, J.C. (1990) De bacteriologische kwaliteit en het AOC-gehalte na biologische nitraatverwijdering. H2O 23(26), 720-726.

Hijnen, W.A.M. and van der Kooij, D. (1992a) The effect of low concentrations of assimilable organic carbon in water on biological clogging of sand filters. Water Res 26(7), 963-972.

Hijnen, W.A.M., Reijnen, G.K., Bos, R.H.M., Veenendaal, G., van der Kooij, D. (1992b). Lagere *Aeromonas*-aantallen in het drinkwater van pompstation Zuidwolde door verbeterde ontgassing en vernieuwen van filtergrind. H2O 25 (14), 370-375.

Hijnen, W.A.M., de Jong, R.C.M., van Paassen, W.C., Feij, L.A.C. and van der Kooij, D. (1997) Bereiding van biologisch stabiel drinkwater na biologische nitraatverwijdering uit grondwater. H2O 30(5), 149-153.

Hijnen, W.A.M., Biraud, D., Cornelissen, E.R. and van der Kooij, D. (2009) Threshold Concentration of Easily Assimilable Organic Carbon in Feedwater for Biofouling of Spiral-Wound Membranes. Environ. Sci. Techn. 43, 4890-4895.

Hijnen, W.A.M., Cornelissen, E.R. and Van der Kooij, D. (2011) Bioassays and biomass parameters for diagnosis and control of biofouling of RO/NF membranes, AWWA, Phoenix, US.

Hijnen, W.A.M., Schulz, F., Hensen, L. and Bahlman, J.A. (2015) Doorontwikkeling van de continue biofouling monitor CBM, BTO 2014.034, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

Hijnen, W.A.M. en J.A. Bahlman (2016) Biologische stabiliteit van het water van bron tot in het leidingnet en het verband met *Aeromonas* groei bij Evides in 2015. BTO 2016.073, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

VROM-Inspectierichtlijn, 2005 Harmonisatie meetprogramma drinkwaterkwaliteit. VROM-Inspectie, Haarlem, the Netherlands

Ketelaars, H.A.M. (1994) Die Biologie der Trinkwasserversorgung aus Talsperren. Ketelaars, H.A.M., Nienhuser, D.J. and Hoehn, R.C. (eds), pp. 133-153, Academic Book Center, De Lier, the Netherlands.

Koch, R. (1893) In: Gesammelte Werke, Bd 1, Georg Thieme, Leipzig 1912, pp. 274-284.

Kruithof, J.C. and Schippers, J.C. (1992) The formation and removal of bromate. Wat. Supply 11, 121-127.

- Krasner, S.W., Barrett, S.E., Dale, M.S. and Hwang, C.J. (1989) Free chlorine versus monochloramine for controlling off-tastes and off-odors. *J. Am. Wat. Works Assoc.* 81, 86-93.
- Kuiper, M.W., Wullings, B.A., Akkermans, A.D.L., Beumer, R.R. and van der Kooij, D. (2004) Intracellular proliferation of *Legionella pneumophila* in *Hartmannella vermiformis* in aquatic biofilms grown on plasticized polyvinyl chloride. *Appl. environ. Microbiol.* 70(11), 6826-6833.
- Lau, H.Y. and Ashbolt, N.J. (2009) The role of biofilms and protozoa in *Legionella* pathogenesis: implications for drinking water. *J. of Appl. Microbiol.* 107(2), 268-278.
- Lechallier, M.W., Schulz, W. and Lee, R.G. (1991) Bacterial nutrients in drinking water. *Appl. environ. Microbiol.* 57(3), 857-862.
- Lechallier, M.W., Shaw, N., Kaplan, L.A. and Bott, T.L. (1993) Development of a rapid assimilable organic carbon method for water. *Appl. environ. Microbiol.* 59, 1526-1531.
- Levy, Y., Hart, F.L. and Cheetham, D.D. (1986) Occurrence and public health significance of invertebrates in drinking water systems. *J. Am. Wat. Works Assoc.* 78(9), 105-110.
- Liu, G., Bakker, G.L., Vreeburg, J.H.G., Verberk, J.Q.J.C., Medema, G.J., Liu, W.T. and Van Dijk, J.C. (2014) Pyrosequencing reveals bacterial communities in unchlorinated drinking water distribution system: an integral study of bulk water, suspended solids, loose deposits and pipe wall biofilm. *Environ. Sci. Technol.* 48, 5467-5476.
- Lucena, F., Fraix, J. and Ribas, F. (1990) A new dynamic approach to the determination of biodegradable dissolved organic carbon in water. *Environ. Sci. Technol.* 12, 343-347.
- Macrae, I.C. and Edwards, J.F. (1972) Adsorption of colloidal iron by bacteria. *Appl. environ. Microbiol.* 24(5), 819-823.
- Momba, M., Kfir, R., Venter, S.N. and Cloete, T.E. (2000) An overview of biofilm formation in distribution systems and its impact on the deterioration of water quality. *Water SA* 26, 59-66.
- Payment, P., Sartoy, D.P. and Reasoner, D.J. (2003) Heterotrophic plate counts and drinking-water safety. Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M. and Glasmacher, A. (eds), IWA publishing, London UK.
- Piriou, P., Malleret, L., Brucet, A. and Ki  n  , L. (2001) Trichloroanisole kinetics and musty tastes in drinking water distribution systems. *Wat. sci. Tech. Wat. Suppl.* 1(4), 11-18.
- Ridgway, H.F., Means, E.G. and Olson, B.H. (1981) Iron bacteria in drinking-water distribution systems: elemental analysis of *Gallionella* stalks, using x-ray energy dispersive microanalysis. *Appl. environ. Microbiol.* 41(288-297).
- Rittman, B.E. and Snoeyink, V.L. (1984) Achieving biological stable drinking water. *J. Am. Wat. Works Assoc.* 76(10), 106-114.
- Rook, J. (1974) The formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Water Treat. Exam.* 23, 234-243.

Sack, E.L., Van der Wielen, P.W.J.J. and Van der Kooij, D. (2011) *Flavobacterium johnsoniae* as a Model Organism for Characterizing Biopolymer Utilization in Oligotrophic Freshwater Environments. Appl. environ. Microbiol. 77(19), 6931-6938.

Schoenen, D. and Schöler, H.F. (1983) *Trinkwasser und Werkstoffe: Praxisbeobachtungen und Untersuchungsverfahren* DVGW-schriftenreihe, Wasser nr. 37, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, GR.

Schoen, M.E. and Ashbolt, N.J. (2011) An in-premise model for *Legionella* exposure during showering events. *Water Research* 45, 5826-5836.

Servais, P., Billen, G. and Hascoet, M.C. (1987) Determination of the biodegradable fraction of dissolved organic matter in waters. *Water Res* 21(4), 445-450.

Servais, P., Laurent, P. and Gatel, D. (1995) Characterization of dissolved matter biodegradability in waters. Impact of water treatment and bacterial regrowth in distribution systems, Proc. of the annual AWWA Water Qual. Technol. Conf., New Orleans, LA, US.

Schellart, J.A. (1986) Disinfection and bacterial regrowth: some experiences before and after stopping the safety chlorination by the Amsterdam Water Works. *Wat. Supply* 4, 217-225.

Sigworth, E.A. (1957) Control of odor and taste in water supplies. *J. Am. Wat. Works Assoc.* 48(12), 1507-1518.

Smalls, I.C. and Greaves, G.F. (1968) A survey of animals in distribution systems. *J. Soc. Wat. Treat. Exam.* 17, 150-187.

Stanfield, G. and Jago, P.H. (1987) The development and use of a method for measuring the concentration of assimilable organic carbon in water, WRC report PRU 1628-M, Madmenham, UK.

van der Kooij, D. (1979) Characterization and classification of fluorescent pseudomonads isolated from tap water and surface water. *Antonie van Leeuwenhoek J. Microbiol.* 45, 225-240.

van der Kooij, D., Visser, A. and Hijnen, W.A.M. (1982) Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. *J. AWWA* 74, 540-545.

van der Kooij, D. (1984) The growth of bacteria on organic compounds in drinking water, Landbouw Universiteit Wageningen, KIWA, Rijswijk, NL.

van der Kooij, D. (1990) Drinking water microbiology, progress and recent developments, G.A. McFeters (ed.) Springer Verlag New York, pp. 57-87.

van der Kooij, D. and Veenendaal, H.R. (1993) Assessment of the biofilm formation potential of synthetic materials in contact with drinking water during distribution, *Water Qual. Technol. Conf. Am. Water Works Assoc.* Denver CO, US, pp. 1395-1407.

Van der Kooij, D., Veenendaal, H.R., Baars-Lorist, C. and Van der Klift, D.W. (1995) Biofilm formation on surfaces of glass and teflon exposed to treated water. *Wat. Resarch* 29(7), 1655-1662.

van der Kooij, D. and Veenendaal, H.R. (2009) Assessment of the concentration of easily biodegradable compounds in seawater with growth tests using *Halomonas cupida*, KWR Watercycle Research Institute, EU-China workshop on Membrane-based desalination (MEDINA), Qingdao, China.

Van der Kooij, D., van Genderen, J. Heringa, M., Hogenboom, A., de Hoogh, C., Mons, M., Puijker, L., Slaats, N., Vreeburg, J., van Wezel, A. (2010). Drinkwaterkwaliteit Q21: een horizon voor onderzoek en actie. BTO 2010.042, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

van der Kooij, D. and veenendaal, H.R. (2011) Bepaling en beoordeling van de legionellagroeiopotentie van drinkwater, BTO 2011.037, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

van der Kooij, D. and van der wielen, P.W.J.J. (2014) *Microbial Growth in Drinking-Water Supplies*, IWA Publishing, London, UK.

van der Kooij, D. and Veenendaal, H.R. (2014) Regrowth problems and biological stability assessment in the Netherlands. In: *Microbial growth in drinking-water supplies*. van der Kooij, D. and van der Wielen, P.W.J.J. (eds), IWA, London pp. 291-337.

van der Kooij, D., Martijn, B., Schaap, P.G., Hoogenboezem, W., Veenendaal, H.R. and Van der Wielen, P.W.J.J. (2015) Improves biostability assessment of drinking water with a suite of test methods at a water supply treating eutrophic lake water. *Water Res.* 87, 347-355.

van der Kooij, D., Brouwer-Hanzens, A.J., Veenendaal, H.R. and Wullings, B. (2016) Multiplication of *Legionella pneumophila* Sequence Types 1, 47, and 62 in Buffered Yeats Extract Broth Biofilms Exposed to Flowing Tap Water at Temperatures of 38°C to 42°C. *Appl. environ. Microbiol.* 82(22), 6691-6700.

van der Wielen, P.W.J.J. and van der Kooij, D. (2009) Literatuurstudie naar opportunistisch-ziekteverwekkende micro-organismen die zich kunnen vermeerderen in drinkwater, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

van der Wielen, P.W.J.J. (2015) Waarde KG22 en *Aeromonas* als wettelijke parameters nagroei, Concept BTO rapport, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

van der wielen, P.W.J.J. and Lut, M.C. (2016) Distribuion of microbial activity and specific microorganismes across sediment size fractions and pipe wall biofilm in a drinking water distribution system. *Water Sci. & Technol: water supply* 16(4), 896-904.

van der Wielen, p.W.J.J. (2016) Landelijke inventarisatie ongewervelde dieren 2009-2013, BTO 2016.065, KWR Watercycle Reserach Intsitute, Nieuwegein, the Netherlands.

- van Lieverloo, J.H.M., Hoogenboezem, W., Veenendaal, G. and van der Kooij, D. (2012) Variability of invertebrate abundance in drinking water distribution systems in the Netherlands in relation to biostability and sediment volumes. *Water Res* 46, 4918-4932.
- Volk, C. and Lechallier, M.W. (2000) Assessing biodegradable organic matter. *J. Am. Wat. Works Assoc.* 95(2), 64-76.
- Vreeburg, J.H.G. and Boxall, J.B. (2007) Discolouration in potable water distribution systems. *Water Res* 41, 519-529.
- Vrouwenvelder, H.R. and van der Kooij, D. (2001) Diagnosis, prediction and prevention of biofouling of NF and RO membranes. *Desalination* 139, 65-71.
- Wajon, J.E., Kavanagh, B.V., Kagi, R.I., Rosich, R.S., Alexander, R. and Fleay, B.J. (1986) Swampy odour in the drinking water of Perth, Western Australia. *Water* September, 28-32.
- Weinrich, L.A., Schneider, O.D. and LeChevallier, M.W. (2011) Bioluminescence-based method for measuring assimilable organic carbon in pretreatment water for reverse osmosis membrane desalination. *Appl Environ Microbiol* 77(3), 1148-1150.
- Zacheus, O.M., Lethola, M.J., Korhonen, L.K. and Martikainen, P.J. (2001) Soft deposits, the key site for microbial growth in drinking water distribution networks. *Water Res* 35(7), 1757-1765.