



Kwantificering van de 'multiple barriers'

WIM HIJNEN, KIWA WATER RESEARCH
GERTJAN MEDEMA, KIWA WATER RESEARCH

Recentelijk is in het nieuwe Waterleidingbesluit opgenomen dat een kwantitatieve risicoanalyse vereist is bij de productie van microbiologisch betrouwbaar drinkwater uit oppervlaktewater. Voor het uitvoeren van deze risicoanalyse is kennis nodig over de eliminatiecapaciteit van zuiveringsprocessen voor micro-organismen. In dit artikel wordt duidelijk gemaakt dat met het bepalen van fecale indicatorbacteriën in grote monstervolumes deze kennis kan worden verzameld. De ontwikkelde methodiek geeft bruikbare informatie over de effectiviteit van zuiveringsprocessen als desinfectie, membraanfiltratie, langzame zandfiltratie en een volledige zuivering met meerdere processen. De techniek sluit aan bij de dagelijkse praktijk van een laboratorium en is goedkoop. In het bedrijfstakonderzoek wordt nu de relatie tussen de verwijdering van indicatorbacteriën en pathogene micro-organismen onderzocht om een goede meetstrategie voor het bepalen van het zuiveringsrendement te ontwikkelen.

Het uitbreken van darminfecties via drinkwater, bereid uit oppervlaktewater, zoals die worden waargenomen in het buitenland, is de afgelopen decennia in Nederland niet gesignaleerd. Voor een belangrijk deel komt dit door toepassing van uitgebreide zuiveringen met meervoudige barrières tegen micro-organismen (het 'multiple barrier'-principle). Ook de microbiologische kwaliteitseisen die vanaf 1984 in het Nederlandse Waterleidingbesluit[2] zijn opgenomen, hebben hieraan bijgedragen. Naast normen voor *E. coli* (voorheen thermotolerante bacteriën van de coligroep) en enterococcen (voorheen fecale streptococcen) die wereldwijd worden gebruikt, zijn in Nederland sinds 1984 ook normen van kracht voor de persistente sporen van sulfietreducerende clostridia (SSRC). Door de uitbraken van *Cryptosporidium* in de Verenigde Staten en Groot-Brittannië is sinds de jaren negentig aandacht besteed aan de mate van bescherming tegen deze parasiet in de Nederlandse drinkwatervoorziening. De gedachte daarbij was dat de normstelling voor de persistente SSRC in het reinewater, in combinatie met de relatief hoge concentraties in het ruwe water, betekende dat de zuiveringssystemen in Nederland al zodanig waren ingericht met barrières dat ze ook persistente ziekteverwekkers, zoals *Cryptosporidium*, in voldoende mate elimineren[3]. Tegelijkertijd werd vanuit de Verenigde Staten het concept van infectierisicoanalyse voor de microbiologische veiligheid van drinkwater geïntroduceerd. Van daaruit ontstond het idee om de meetgegevens die waterleidingbedrijven bovenop het wettelijk voorgeschreven meetprogramma als procescontrole verzamelen, te gebruiken om beter inzicht te krijgen in de effectiviteit van individuele zuiveringsprocessen en van de totale zuiveringssystemen.

Huidig meetnet geeft alleen het begin

In het kader van het bedrijfstakonderzoek zijn gegevens over de concentratie *E. coli* en SSRC in water voor en na zuiveringsprocessen van acht verschillende drinkwaterproductielocaties geëvalueerd. Uit drie jaar bedrijfsgegevens bleek dat de verwijderingscapaciteit van de eerste processtappen in de zuivering (bekkenopslag, coagulatie/filtratie) goed kan worden vastgesteld met deze meetgegevens. Aangekomen bij de laatste processtappen was de concentratie indicatorbacteriën meestal te laag om een goed beeld van de zuiveringseffectiviteit te krijgen. Dat betekent dat ook voor de totale zuiveringstrein geen volledig beeld kon worden gegeven. Bij de meeste locaties was het percentage drinkwatermonsters met thermotolerante bacteriën van de coligroep (Coli44) laag, namelijk minder dan één procent (zie tabel 1). SSRC werden frequenter aangetoond in drinkwater: bij vijf van de acht locaties lag het percentage positieve monsters boven één procent. Met dergelijke lage aantallen positieve monsters is geen goede beschrijving van de gemiddelde verwijderingscapaciteit en de variatie daarin van de totale zuivering te maken. Daarvoor zijn andere meetmethoden nodig.

Anders meten: grotere volumes

Methoden om indicatorbacteriën in grote

De MF sampler voor het meten van indicatorbacteriën in grote volumes.



volumes water te bepalen met membraanfiltratie en de adsorptie/elutie-techniek zijn eerder ontwikkeld[4,5], maar deze technieken sluiten niet aan bij de dagelijkse laboratoriumpraktijk en hebben vaak een lage opbrengst. Vandaar dat gekeken is naar een opschaling van de huidige membraanfiltratietechniek, waarmee slechts grote volumes van één tot tien liter water kunnen worden onderzocht. Grotere volumes van bijvoorbeeld 100 liter of meer kunnen alleen (efficiënt) worden onderzocht door het membraanfilter te vergroten. Hiervoor is een methode ontwikkeld die gebruik maakt van een steriliseerbare opstelling waarmee in-situ monsters worden genomen (de MF-sampler[6], zie foto). Een volume van 100 liter behandeld water kan hiermee binnen een uur worden gefiltreerd en het membraanfilter wordt op standaardwijze verwerkt. Met dosering van thiosulfaat in de toevoer kunnen, indien nodig, resten desinfectiemiddel worden geneutraliseerd. Ook is dosering van een suspensie met indicatorbacteriën mogelijk voor kwaliteitsborging (positieve controle). De opstelling is verplaatsbaar, maar kan ook gedurende een langere tijd aan een monsterpunt worden bevestigd. De bepaling die een factor 1000 of meer gevoeliger is dan de standaardmeting in 100 ml is ongeveer een factor 5 duurder (voorlopig tarief is 50 Kiwa-punten).

Bepalen van de effectiviteit van de totale zuivering

Met de MF-sampler is in vervolg op het eerder genoemde bedrijfstakonderzoek bij dezelfde acht zuiveringen de concentratie indicatorbacteriën in het drinkwater vóór de nadesinfectie bepaald[7]. In een winter- en zomerperiode werden gedurende twee weken in totaal 20 monsters onderzocht op thermotolerante bacteriën van de coligroep en SSRC in volumes variërend van 57 tot 1100 liter. SSRC waren na alle acht zuiveringen in meer dan tien procent van de monsters aanwezig en de concentraties waren duidelijk hoger dan de Coli44-concentraties (tabel 1). Met deze gegevens is de gemiddelde decimale eliminatiecapaciteit (DEC) voor de productielocaties berekend: 1,4 tot 4,2 ^{10}log (zie afbeelding 2). Tevens ontstond een goed beeld van de variatie in verwijdering. Deze was groot; de variatiecoëfficiënt bedroeg gemiddeld 24,4 procent (tussen 6,4 en 80,2%). Dat betekent dat de effectiviteit waarmee zuiveringsprocessen micro-organismen elimineren, varieert. Bij vier van de acht locaties werden thermotolerante bacteriën van de coligroep (Coli44) waargenomen na de zuivering (meer dan tien procent van de monsters). De concentratie varieerde tussen kleiner dan 0,0002 en 0,17 kve/l (tabel 1). Door gelijktijdig de concentratie in het aangevoerde water te meten kon de gemiddelde verwijderingscapaciteit van de zuiveringen voor Coli44 worden berekend; deze was groot en varieerde tussen 3,2 en 6,3 ^{10}log (afbeelding 2). Door het lage aantal groot-volumemonsters waarin Coli44 werden aangetroffen, kon geen beeld worden verkregen van de variatie in verwijdering.

Bepaling van de effectiviteit van processtappen

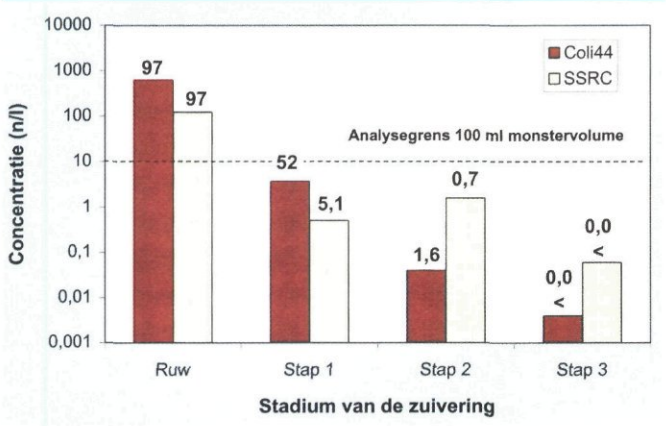
Onderzoek naar indicatorbacteriën in grote volumes water na verschillende stadia van de zuivering levert informatie op over de prestaties van de afzonderlijk processen. Op vijf locaties bijvoorbeeld is op deze manier de inac-

Tabel 1. *Indicatorbacteriën in drinkwater bereid uit oppervlaktewater; het percentage positieve monsters uit het bedrijfsmeetprogramma over drie jaar (circa 1000 monsters) en de gemiddelde concentratie (in kve/l) bepaald in het grote volume onderzoek in twee korte perioden van twee weken in 1997 bij acht productielocaties.*

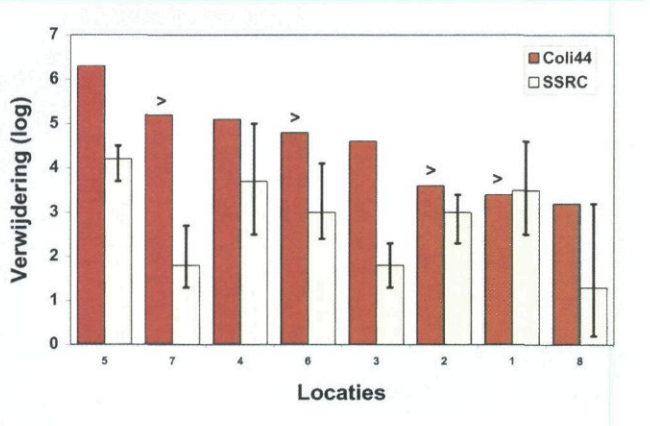
	thermotolerante bacteriën van de coligroep Coli44		sporen van sulfietreducerende clostridia SSRC	
locatie	**drie jaar (voor 1997) bedrijfsgegevens, % positief in drinkwater**	**gemiddelde concentratie groot volume onderzoek 1997**	**drie jaar (voor 1997) bedrijfsgegevens, % positief in drinkwater**	**gemiddelde concentratie groot volume onderzoek 1997**
1	0,09*	< 0,0003	2,60*	0,02
2	0,00*	0,0053	0,27*	0,27
3	0,02*	< 0,0010***	1,85*	0,03***
4	0,00*	0,0010	5,60*	1,00
5	0,64	0,0568	1,23	0,06
6	2,00**	< 0,0005***	23,0	0,21***
7	0,09	< 0,0002	0,84	0,31
8	0,40	0,1655	0,60	0,45

* inclusief nadesinfectie
** discontinue nadesinfectie
*** zuivering uitgebreid met desinfectie vóór het groot volume onderzoek uitgevoerd in 1997.

Afb. 1: *De gemiddelde concentratie Coli44 en SSRC voor en na zuiveringsstappen, berekend uit het bedrijfsmeetprogramma van drie jaar. Boven de kolommen is het percentage positieve monsters aangegeven.*



Afb. 2: *Gemiddelde verwijderingscapaciteit van de acht productielocaties voor drinkwater voor Coli44 en SSRC (> betekent minimale DEC)*



tivatiecapaciteit van een desinfectie met ozon bepaald voor Coli44 en SSRC. Bij twee locaties werd Coli44 in enkele groot-volumemonsters aangetroffen. Voor deze ozonprocessen werd een DEC van 2,6 en 0,8 ^{10}log berekend. De SSRC werden na alle ozonprocessen in het water aangetoond en de inactivatiecapaciteit varieerde tussen 0 en 1,2 ^{10}log. Het ozonproces met de laagste capaciteit voor SSRC had ook de laagste capaciteit voor Coli44 (0,8 ^{10}log). Op deze locatie is een optimalisatieproject gestart[8].

Verificatie van bewakingsparameters

Een ander voorbeeld van een proces waar het meten van indicatorbacteriën in een groot volume nuttige informatie geeft over de veiligheid, is membraanfiltratie. De integriteit van membraanfiltratiesystemen wordt onderzocht met doseerproeven met bacteriofagen en een continue bewaking met deeltjestelling[9]. Ter verificatie van de juistheid van de resultaten van de deeltjestelling (afkeuring van membraanmodules) kan het aantal indicatorbacteriën in het permeaat worden bepaald met de MF-sampler. Bij onderzoek aan vier drukbuizen van een ultrafiltratie-proefinstallatie (PWN) kwam naar voren dat drie van deze buizen als niet integer werden beoordeeld met de deeltjesteller. Na dezelfde buizen werden indicatorbacteriën (Coli44 en SSRC) aangetroffen in monstervolumes van 300 tot 600 liter. Drukbuis 2 werd met de deeltjesteller als integer beoordeeld en bevatte ook geen indicatorbacteriën in het permeaat. Na een UF-proefinstallatie (DELTA) zijn met de MF-sampler SSRC (grootte van 1-3 µm) aangetoond in acht monsters van 400 tot 3000 liter permeaat. De verwijdering was gemiddeld 2,3 ^{10}log. De aanwezigheid van deeltjes met een grootte van meer dan 2 µm in het permeaat van deze membranen (20-60 nm) wees eveneens op de aanwezigheid van lekkage(s).

Vergelijking met benodigde verwijdering van pathogenen

De meetgegevens van de indicatorbacteriën in grote volumes geven dus kwantitatieve informatie over de DEC van individuele processen en van de totale zuivering. De vraag is welk beeld daaruit ontstaat over de mate van bescherming tegen ziekteverwekkende microorganismen. Vanwege de redelijke overeenkomst in eigenschappen worden de meetgegevens van E.coli/Coli44 gebruikt als indicator voor pathogene darmbacteriën als *Campylobacter*; de gegevens van SSRC worden gebruikt als indicator voor *Cryptosporidium*. Voor beide is de benodigde verwijdering berekend op basis van hun gemiddelde gehaltes in ruw water van de acht eerder genoemde zuiveringen en de maximale gehaltes in drinkwater uit het conceptbeleidsstandpunt van VROM over het infectierisico van virussen via drinkwater[10]. Deze benodigde verwijdering is vergeleken met de aangetoonde verwijdering van SSRC en Coli44 (tabel 2). Uit deze vergelijking blijkt dat op locatie 1 SSRC (0,8 ^{10}log) meer worden verwijderd dan de benodigde verwijdering voor *Cryptosporidium*-oöcysten. Voor die locatie is dus aannemelijk gemaakt dat afdoende zuivering aanwezig is. Voor de overige locaties is het minder eenduidig, daar is de SSRC-verwijdering minder 0,1 tot 2,8 ^{10}log dan de benodigde verwijdering van *Cryptosporidium*. Voor *Campylobacter* is het gat tussen aangetoonde of aantoonbare verwijdering van Coli44 en benodigde verwijdering van *Campylobacter* voor alle locaties groot. Voor vier van de acht locaties kon geen absolute verwijdering van Coli44 worden aangetoond, omdat in het reine water geen Coli44 werden aangetroffen. Daar is dus niet aan te geven of de zuivering wel of niet afdoende is. Voor de overige vier locaties is de benodigde *Campylobacter*-verwijdering 0,7 - 3,6 ^{10}log hoger dan de Coli44-verwijdering die werd aangetoond.

Deze gegevens moeten niet zonder meer worden geïnterpreteerd als een tekort in de zuivering, maar in ieder geval wel als een tekort in de aantoonbaarheid van de veiligheid van de zuivering. De analysemethoden van *Cryptosporidium* en *Campylobacter* detecteren meer dan alleen menspathogene typen. Typering met moleculaire technieken kan meer uitsluitsel bieden over de menspathogeniteit van de aangetroffen *Campylobacter* en *Cryptosporidium*. Ook leverden de resultaten duidelijke aanwijzingen op dat met de SSRC-gegevens de werkelijke verwijdering van oöcysten van *Cryptosporidium* door een zuivering wordt onderschat. De sporen zijn kleiner dan de oöcysten en overleven langer. Dit heeft tot gevolg dat met name de verwijderingscapaciteit van kool- en langzame zandfilters met een geringe filterbed reiniging voor SSRC laag is door accumulatie en vertraagd transport. Bij alle acht locaties worden deze processen als eindproces toegepast. De werkelijke verwijdering van *Cryptosporidium* is voor deze processen dus waarschijnlijk beter dan van SSRC. *Campylobacter* wordt beter verwijderd dan coli44 in langzame zandfilters[11]. Ook is deze bacterie gevoeliger voor desinfectieprocessen dan coli44.

Tabel 2. De benodigde verwijdering van Cryptosporidium *en* Campylobacter *voor een jaarlijks infectierisiconiveau van 10^{-4} en de aangetoonde verwijdering van SSRC en Coli44.*

locatie	DEC benodigd Cryptosporidium (^{10}log)	DEC gerealiseerd SSRC (^{10}log)	DEC benodigd Campylobacter (^{10}log)	DEC gerealiseerd Coli44 (^{10}log)
1	2.7	3.5	6.1 - 6.8[a]	>3.4
2	3.1	3.0	6.1 - 6.8[a]	>3.6
3	3.1	1.8	6.1 - 6.8[a]	4.6
4	4.8	3.7	> 8.7[b]	5.1
5	4.7	4.2	> 7[c]	6.3
6	4.7	3.0	7.6[b]	>4.8
7	3.7	1.8	7. 4[b]	>5.2
8	4.2	1.4	7.3[b]	3.2

[a] Schijven/Ketelaars; [b] Hijnen; [c] Wubbels

Conclusies

Vanuit het onderzoek naar indicatorbacteriën voor en na zuiveringsprocessen is het volgende inzicht ontstaan:

- De aandacht voor het kwantificeren van het zuiveringsrendement houdt in dat in Nederland veel beter naar de microbiologische effectiviteit van de zuivering gekeken wordt dan ooit tevoren;
- Het wettelijk meetprogramma geeft weinig inzicht in de effectiviteit van de drinkwaterzuivering;
- Met het bestaande (bovenwettelijk) meetprogramma van de waterleidingbedrijven kan het verwijderingrendement van de eerste zuiveringsstappen worden beschreven;
- Om de latere stappen en de totale zuivering te kunnen beschrijven is onderzoek met grote volumes (10-500 liter) nodig;
- Met de MF-sampler kunnen deze volumes door de waterleidinglaboratoria zelf worden onderzocht;
- De effectiviteit van zuiveringsstappen kan in de tijd sterk variëren; suboptimale zuivering kan aanleiding geven tot risicomomenten. De achtergronden van de variatie zijn van belang is voor procesoptimalisatie;
- Voor het aantonen van de veiligheid van drinkwater is het niet voldoende om alleen de verwijdering van indicatororganismen

te meten; ook de relatie tot de verwijdering van de pathogenen waarvoor zij model staan moet (kwantitatief) bekend zijn.

Deze kennis over de zuivering is nodig voor de in het nieuwe Waterleidingbesluit vereiste kwantitatieve microbiologische risicoanalyse met betrekking tot enteropathogene bacteriën (*Campylobacter*) en protozoën (*Cryptosporidium, Giardia*). Belangrijk om te vermelden is dat het beeld over de verwijdering van virussen door de zuivering in Nederland nog maar heel fragmentarisch is. Om dat beter te krijgen moet een meetprogramma met bacteriofagen (bacterievirussen die model staan voor de verwijdering van menspathogene virussen) in grote volumes worden uitgevoerd.

Literatuur

1) *Waterleidingbesluit (1984). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden nr. 220, pag. 1-35.*
2) *Waterleidingbesluit (2001). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden nr. 31, pag. 1-50.*
3) *Van der Kooij D., Y. Drost, W. Hijnen, J. Willemsen-Zwaagstra, P. Nobel en J. Schellart (1994). Multiple barriers against micro-organisms in water treatment and distribution in the Netherlands. Wat. Supply nr. 13, pag. 13-23.*
4) *Goyal S. en C. Gerba (1980). Simple method of concentration of bacteria from large volumes of tap water. Appl. Environ. Microbiol. nr. 40, pag. 912-916.*
5) *Payment P., D. Bérubé, R. Perrefault, R. Armon en M. Trudel (1989). Concentration of Giardia lamblia cysts, Legionella pneumiphila, Clostridium perfringens, human enteric viruses and coliphages from large volumes of drinking water using a single filtration. Can. J. Microbiol. nr. 35, pag. 932-935.*
6) *Hijnen W., D. Veenendaal, W. van der Speld, A. Visser, W. Hoogenboezem en D. van der Kooij (2000). Enumeration of faecal indicator bacteria in large water volumesusing on site membrane filtration to assess water treatment efficiency. Wat. Res. nr. 5, pag. 1659-1665.*
7) *Hijnen W., G-J. Medema en D. van der Kooij (2002). Quantitative assessment of the removal of fecal indicator-bacteria by full-scale treatment. Submitted for publication in Wat. Sci. Tech.: Wat Sup. 2003.*
8) *Bosklopper K. et al. (2003). zie pagina .....*
9) *Folmer H., J. Verdouw en M. Nederlof (1997). Vaststellen eliminatiecapaciteit van ultra- en hyperfiltratie voor micro-organismen. H_2O nr. 14, pag. 440-443.*
10) *VROM-Inspectie (1995). Infectierisico van virussen en parasitaire protozoa via drinkwater.*
11) *Hijnen W., J. Schijven, P. Bonne, A. Visser en G-J. Medema (2003). Elimination of viruses, bacteria and protozoan oocysts by slow sand filtration. Ingediend voor publicatie.*