



Langzame zandfilters als effectieve barrières voor micro-organismen

A. VISSER, DUINWATERBEDRIJF ZUID-HOLLAND, THANS HET WATERLABORATORIUM
 W. HIJNEN, KIWA WATER RESEARCH
 Y. DULLEMONT, WATERLEIDINGBEDRIJF AMSTERDAM
 G.-J. MEDEMA, KIWA WATER RESEARCH

Vanaf het ontstaan van Duinwaterbedrijf Zuid-Holland (DZH) en Waterleidingbedrijf Amsterdam (WLB) is langzame zandfiltratie voor deze bedrijven een belangrijk proces om de microbiologische veiligheid van het drinkwater te garanderen. Langzame zandfiltratie is van oudsher een zeer robuust zuiveringsonderdeel. Toch blijkt de huidige aanwezige kennis over de verwijdering van micro-organismen, nodig voor een kwantitatieve microbiologische risicoanalyse, te beperkt. Na de invoering van het nieuwe Waterleidingbesluit in 2001 is een analyse vereist. Een studie van bestaande resultaten van routinemetingen en aanvullende metingen in grote volumes heeft de kennis over de praktijkfilters vergroot. Deze kennis, aangevuld met de resultaten van een proeffilteronderzoek², vormt een belangrijke bouwsteen voor de kwantitatieve microbiologische risicoanalyse van de betrokken waterleidingbedrijven.

Langzame zandfilters zijn bij de drinkwaterbereiding vaak de laatste belangrijke barrière voor ziekteverwekkende micro-organismen (pathogenen). Daarom bestaat bij de bedrijven die dit proces toepassen, veel aandacht voor de microbiologische kwaliteit van het filtraat. De hoeveelheid zogeheten fecale indicatorbacteriën (thermotolerante bacteriën van de coligroep Coli44 en sporen van sulfietreducerende clostridia SSRC) wordt in de dagelijkse praktijk veelvuldig bepaald om vast te stellen of het drinkwater microbiologisch betrouwbaar is.

Invoering van de nieuwe wettelijke eis voor een kwantitatieve microbiologische risicoanalyse heeft het belang van deze bepalingen vergroot, aangezien met behulp van de fecale indicatorbacteriën de eliminatiecapaciteit van langzame zandfiltratie kan worden vastgesteld^{3,4}. In het hier beschreven onderzoek zijn microbiologische routinemetingen aangevuld met groot-volumemetingen⁵ geanalyseerd en geëvalueerd.

De langzame zandfilters

Langzame zandfiltratie is een eenvoudig filtratieproces in een 'zandbak' gevuld met fijn zand en een steunlaag van grof grind (afbeelding 1). Het filter wordt met lage snelheid verticaal doorstroomd en de gemiddelde verblijfs-

tijd is drie tot vijf uur. Doordat vooral het bovenste deel van het filter langzaam vervuult en verstopt, moet het filteroppervlak, afhankelijk van bedrijfsvoeringsomstandigheden eens per één tot vijf jaar worden ontdaan van de verstoppende bovenlaag door middel van schrapen (zie tabel 1).

Bepaling van de decimale eliminatiecapaciteit (DEC)

In het in- en effluent van de praktijkfilters zijn de concentraties Coli44 en SSRC onder-

zocht in standaardvolumes gedurende drie jaar en met groot-volumemetingen gedurende zomer- en winterperioden. Uit deze gegevens is de zogeheten decimale eliminatiecapaciteit (DEC) van de filtratiestap bepaald met de volgende vergelijking:

$$DEC = 10^{\log(\bar{C}_{in}) - 10^{\log(\bar{C}_{uit})}}$$

waarin DEC = $10^{\log 90}$ procent verwijdering inhoudt en $\bar{C}_{in, uit}$ voor de gemiddelde concentratie in influent en effluent van de filters staat.

Verwijdering van fecale indicatorbacteriën

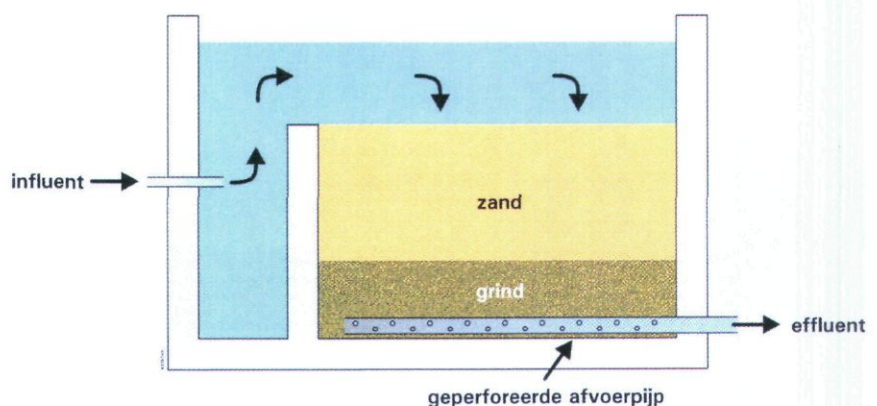
Uit de routine bedrijfsgegevens werd berekend dat de thermotolerante bacteriën van de coligroep (Coli44) door de praktijkfilters gemiddeld met 2,7 logeenheden worden verwijderd (2,2-3,2). Berekenen van de verwijdering uit bedrijfsgegevens is echter onnauwkeurig, omdat het is gebaseerd op slechts enkele positieve waarden in een gegevensset met veel nullen⁶. De DEC-waarden van het grootvolumeonderzoek zijn meer betrouwbaar en qua orde van grootte redelijk vergelijkbaar met de DEC-waarden geschat uit de bedrijfsgegevens (gemiddelde DEC van meer dan 2.6 (2.2-3.8)). Uit literatuurgegevens^{8,9,10,11,12} werd voor E. coli een gemiddeld lagere DEC van 1,8 (1,3-2,2) log berekend.

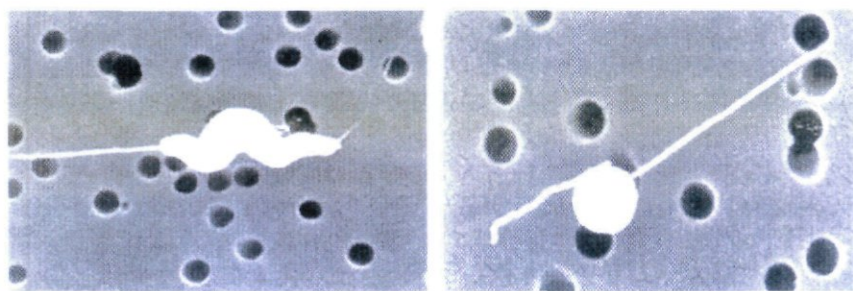
De gemiddelde DEC voor SSRC was duidelijk lager (0,8 log) en vertoonde een sterke variatie (-0,2 tot 2,2). Een negatieve DEC wijst op afgifte in plaats van verwijdering.

Vermeerdering, zoals aangetoond door Willis¹³ in Engeland (open filters) in de jaren vijftig, is in de Nederlandse langzame zandfilters niet aannemelijk. Anaërobie nodig voor deze vermeerdering wordt voorkomen door een gesloten continu filtratieproces onder uitsluiting van direct contact met de omgeving (besmetting) en licht (geen algenbloei).

Daarnaast is het aangevoerde water over het algemeen ver voorgezuiverd en derhalve

Afb. 1: Schematische voorstelling langzame zandfiltratie.





Afb. 2: Electronenmicroscopische opnamen van *Campylobacter*: links de spirale vorm (1,7-0,8 µm) en rechts in de coccoid niet kweekbare vorm (0,7 µm)¹⁹⁾.

voedselarm. Accumulatie, overleving, vertraagd transport en nalevering van deze persistente sporen lijkt een meer voor de hand liggende oorzaak van de lage DEC. Meer gegevens over de verwijdering van deze sporen door langzame zandfilters in de literatuur ontbreken.

Verwijdering van *Campylobacter*

Onderzoek in de eerste helft van de jaren negentig toonde de aanwezigheid aan van soms hoge aantallen *Campylobacter* (afbeelding

2) in het water voor de zuivering¹⁴⁾ in met name open reservoirs en bekkens. Ook Duinwaterbedrijf Zuid-Holland werd hiermee geconfronteerd op de productielocatie Scheveningen¹⁵⁾. De pathogene bacterie *Campylobacter* is vooral afkomstig van meeuwen maar ook andere watervogels die soms in relatief hoge aantallen op de verzamelkom voor de zuivering aanwezig zijn, wat tot de vraag leidde in welke mate *Campylobacter* door de langzame zandfilters werd verwijderd. De DEC is vervolgens bepaald met grootvolumemetingen; *Cam-*

pylobacter wordt met gemiddeld 3,5 log (3-4,1) verwijderd (zie tabel 2). De zuivering leverde met een aanvullende nadesinfectie microbiologisch veilig drinkwater. Mede in verband met het risico op een ongewenste herbesmetting van het duinwater is besloten de verzamelkom dit voorjaar uit bedrijf te nemen.

De invloed van procescondities

De gemiddelde DEC-waarden van vier productielocaties met langzame zandfiltratie als laatste barrière vertonen voor *Coli44* weinig variatie ondanks duidelijke verschillen in procescondities als contacttijd en schraapfrequentie (tabel 2). Op het niveau van individuele filters in Scheveningen¹⁵⁾ werden wel duidelijke verschillen in DEC waargenomen (afbeelding 3). Vergelijking van de DEC bepaald over de totale periode met spuien versus de DEC bepaald over de gegevens zonder spuien, toont aan dat schrapen van het oppervlak de DEC tijdelijk verlaagt. In de monsters van de spuiperiodes werden vaker *Campylobacter* en *Coli44*-bacteriën aangetoond dan in de monsters tijdens de normale productie. Dit toont het belang van een spuiperiode na schrapen aan, vooral tijdens lage temperaturen (hoger aanbod en lagere afstervingsnelheid).

Met groot-volumemetingen (10 à 100 liter) werd in 2001 en 2002 de DEC vergeleken van een filter met een lange looptijd (LZF6; 3,5 à 4 jaar) en een filter met een korte looptijd (LZF9b; 0,5 à 1 jaar). Een lange looptijd is over het algemeen gunstig voor de verwijdering door de vorming van een effectieve vuillaag. Tegen de verwachting in bleek LZF6 met de lange looptijd een duidelijk lagere DEC voor *Coli44* en *Campylobacter* te hebben dan LZF9b met de kortere looptijd (afbeelding 3).

Het geconstateerde verschil kwam overeen met het verschil gemeten met de kleinere volumes over een langere periode (1992-1994) (afbeelding 3). De oorzaak van deze verschillen tussen filters kan mogelijk worden verklaard door het voorkomen van voorkeurstromen (verlaging van DEC). Recentelijk is geconstateerd dat de dilatatievoegen tussen de verticale betonelementen van LZF6 ernstig waren aangetast. Ook de gebruikelijke procedure om via verticaal gegraven gaten het filterbed te bemonsteren voor onderzoek zou een risico kunnen inhouden voor voorkeurstromen. Daarnaast kan ook de variatie in beddikte (tabel 1) hierbij een rol spelen. Het is zeker aan te bevelen de individuele prestaties van langzame zandfilters te onderzoeken als onderdeel van de risico-inventarisatie.

De variatie in de DEC voor SSRC was op de verschillende locaties groter dan de DEC voor *Coli44*. Voor de locatie Leiduin bestaat het vermoeden dat de DEC voor SSRC gecorreleerd is aan de verandering van de concentratie in het

Tabel 1. Overzicht van de procescondities van de langzame zandfilters in de praktijk.

	DZH Scheveningen	WLB Weesperkarspel	WLB Leiduin	WG De Punt
snelheid (m/uur)	0,25	0,4	0,25	0,06-0,18
contacttijd (min)	240	150	240	300-600
beddikte (m)	0,8-1,2	0,8-1,2	0,8-1,2	0,8-1,2
schrapen (freq. per jaar)	0,2-0,25	1	2* - 0,5**	0,3
zand type	rivierzand	rivierzand	mol/zilver	rivierzand
grootte (d50; range; mm)	0,6 (0,3-1,8)	0,3 (0,15-0,6)	0,3 (0,13-0,37)	0,3-1,0

* voor ozon/kool introductie ** na introductie ozon/kool

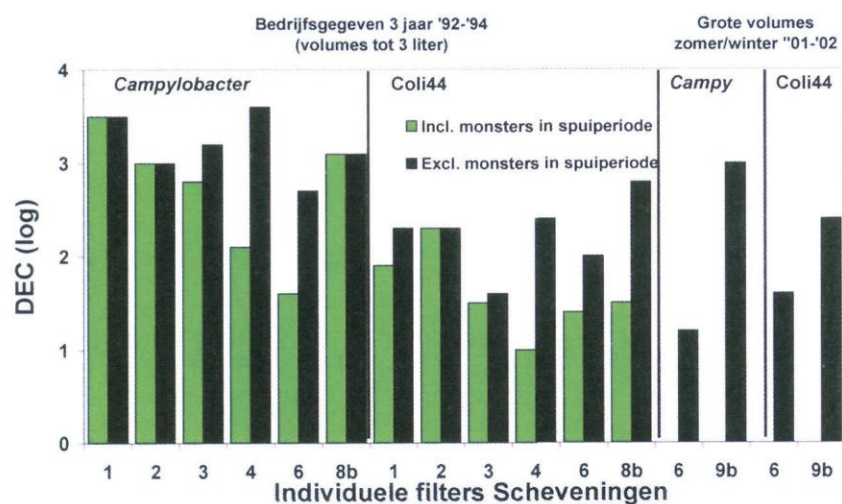
Tabel 2. Verwijdering van thermotolerante bacteriën van de coligroep, *Campylobacter* en sporen van sulfietreducerende clostridia door langzame zandfiltratie in de praktijk.

	Scheveningen	Weesperkarspel	Leiduin	De Punt
periode bedrijfsgegevens	'92-'94	'89-'92* / '95-'00**	'91-'94 / '97-'02**	'91-94
DEC <i>Coli44</i>	2,9	(2,2)*; 3,1**	3,2; 1,8**	2,3
DEC <i>Campylobacter</i>	4,1	nb	nb	nb
DEC SSRC	1,8	1,6; 2,5**	1,8; 2,0**	nb
periode groot-volumemetingen***	1997/1998	1997	1997	1997
DEC <i>Coli44</i>	2,3; 2,2; 2,4	> 1,5; > 3,7	nb	3,8; 2,6
DEC <i>Campylobacter</i>	3,0; 3,2; 3,8	nb	nb	nb
DEC SSRC	0; -0,2; 0,1	1,5; 1,0	-0,2;-0,1	0,8; 2,2

* meetprogramma influent/effluent niet gelijk qua duur en timing

** gegevens over actieve kool en langzame zandfiltratie⁷⁾

*** metingen 1997 in winter en zomer



Afb. 3: Verschillen in DEC van individuele filters in Scheveningen die in deze periode werden geschrapt.

influent van de filters. De concentratie SSRC in de beschouwde drie jaar was gemiddeld 3,5 kve per liter en de DEC bedroeg 1,8 log. Na invoering van ozon en actieve kool op deze locatie daalde de influentconcentratie naar 0,5 en DEC bepaald met groot-volumemetingen over een periode van enkele weken naar 0,2 log (tabel 2). Dit fenomeen ondersteunt de hypothese van ophoping en nalevering van sporen.

Verwijdering van pathogenen

De DEC van *Campylobacter* kon alleen worden afgeleid uit de metingen te Scheveningen (omdat de concentraties in influent en effluent daarvoor hoog genoeg waren). Omdat *Campylobacter* beter wordt verwijderd dan *Coli44* (tabel 2 en afbeelding 3), kan worden geconcludeerd dat *Coli44* een veilige surrogaatparameter is voor *Campylobacter*.

De concentraties protozoa (*Cryptosporidium* en *Giardia*) en pathogene virussen in het influent zijn te laag voor een DEC-bepaling. Voor protozoa zijn de SSRC voorgesteld als surrogaatparameter⁴⁾. Over de juistheid van deze keuze bestaat onzekerheid. Uit deze studie blijkt dat de langzame zandfilters SSRC verwijderen met 0 tot 2 logeenheden. In de literatuur worden voor *Cryptosporidium* DEC-waarden van 0,3¹⁶⁾ tot 4,5^{17),18)} gepresenteerd. Voor de virussen worden ongevaarlijke bacteriofagen gebruikt als surrogaatparameter, maar deze organismen komen meestal ook in te lage aantallen in het aangevoerde water voor. Op grond hiervan, als mede door de onduidelijkheid over de toepassing van SSRC als surrogaat voor protozoa, is besloten om de DEC voor beide pathogenen nader te bepalen met doseerproeven²⁾.

Conclusies

Metingen van indicatorbacteriën in het water voor en na langzame zandfilters in de praktijk geven inzicht in de verwijderingscapaciteit (DEC) van deze filters voor micro-

organismen. Thermotolerante bacteriën van de coligroep (*Coli44*) worden met 2-3 log verwijderd en kunnen worden gebruikt als surrogaat voor de verwijdering van pathogene bacteriën als *Campylobacter*. Uit de *Coli44*-praktijkgegevens blijkt dat schrapen en het mogelijk optreden van voorkeurstromen twee duidelijke risicofactoren vormen die de DEC van het proces verlagen. De DEC van de filters voor de sporen van sulfietreducerende clostridia is laag en variabel. Op grond hiervan lijkt deze parameter als surrogaatparameter voor persistente pathogenen als *Cryptosporidium* te conservatief. Andere surrogaatparameters om de DEC voor pathogene protozoa en ook voor virussen in de praktijk te bepalen zijn er niet. De DEC zal daarom met doseerproeven moeten worden vastgesteld. ☐

LITERATUUR

- 1) Waterleidingbesluit (2001). Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden, nr. 31, pag. 1-50.
- 2) Dullemeont Y., A. Visser, J. Schijven en W. Hijnen (2004). Eliminatiecapaciteit van langzame zandfiltratie voor micro-organismen bepaald met doseerproeven. H₂O nr. 13. In voorbereiding.
- 3) Hijnen W. en G.-J. Medema (2003). Kwantificering van de 'multiple barriers'. H₂O nr. 19, pag. 24-27.
- 4) Hijnen W., G.-J. Medema en D. van der Kooij (2004). Quantitative assessment of the removal of indicator bacteria by full-scale treatment. Wat. Sci. and Technol.: Water Supply nr. 2, pag. 47-54.
- 5) 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 volumes using on site membrane filtration to assess water treatment efficiency. Wat. Research nr. 5, pag. 1659-1665.
- 6) Evers E. en J. Groenou (1999). Berekening van de verwijdering van micro-organismen bij de bereiding van drinkwater. RIVM-rapport 734301016.
- 7) Dullemeont Y. (2002a,b,c,d). Risico-analyse *Campylobacter*, *Cryptosporidium* en *Giardia* in de aantoonbare ver-

wijdering van *Coli44* en SSRC in het zuiveringsproces te Leiduin en Weesperkarspel. Interne WLB-rapporten.

- 8) Cleasby J., D. Hilmoe en C. Dimitracopoulos (1984). Slow sand and direct in-line filtration of a surface water. Jour. AWWA nr. 12, pag. 44-55.
- 9) Bellamy W., G. Silverman, D. Hendricks en G. Logsdon (1985). Removing *Giardia* cysts with slow sand filtration. Jour. AWWA nr. 2, pag. 52-60.
- 10) Ellis K. (1985). Slow sand filtration. In 'Critical reviews in environmental control'. CRC press. nr. 4, pag. 315-354.
- 11) Poynter S. en J. Slade (1977). The removal of viruses by slow sand filtration. Prog. Water Tech. nr. 9, pag. 75-88.
- 12) Slade J. (1978). Enteroviruses in slow sand filtered water. J. Inst. Water Eng. Sci. nr. 32, pag. 530-536.
- 13) Willis A. (1956). Anaerobic bacilli in a treated water supply. J. Appl. Bact. nr. 1, pag. 61-64.
- 14) Medema G.-J. en F. Schets (1994). *Campylobacter* en *Salmonella* in open reservoirs voor de drinkwaterbereiding. RIVM-rapport 149103002.
- 15) Hijnen W., A. Visser en D. van der Kooij (1995). Verwijdering van *Campylobacter*-bacteriën bij de drinkwaterbereiding op productielocatie Scheveningen (DZH). Kiwa-rapport SWO 95.272.
- 16) Fogel D., J. Isaac-Renton, R. Guasparini, W. Moorehead en J. Ongerth (1993). Removing *Giardia* and *Cryptosporidium* by slow sand filtration. Jour. AWWA nr. 11, pag. 77-84.
- 17) Schuler P., M. Ghosh en P. Gopalan (1991). Slow sand and diatomaceous earth filtration of cysts and other particulates. Water Research nr. 8, pag. 995-1005
- 18) Timms S., J. Slade, C. Fricker, R. Morris, W. Grabow, K. Botzenhart en A. Wyn Jones (1995). Removal of *Cryptosporidium* by slow sand filtration. Water Science and Technology nr. 5-6, pag. 81-84.
- 19) Koenraad P. (1995). Prevalence of *Campylobacter* in dutch sewage purification plants. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen.