Bepaling en betekenis van de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater

Samenvatting
Een biofilmmonitor is ontwikkeld voor het bepalen van de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater. Gebleken is dat de biofilmvormingssnelheid (BVS) van drinkwater in de regel ligt tussen < 1 en 75 pg adenosinetrifosfaat (ATP)/cm^2·dag. Waarden < 1 pg ATP/cm^2·dag werden waargenomen in drinkwater bereid uit zuurstofhoudend grondwater en in drinkwater bereid door toepassing van langzame zandfiltratie. De hoogste BVS-waarden werden waargenomen in drinkwater bereid uit anaëroob grondwater. Ook de afzettingssnelheden van ijzer en van mangaan kunnen met de biofilmmonitor worden gemeten. Tussen de BVS-waarde en het 90-percentiel van het aantal *Aeromonas*-bacteriën in het drinkwater tijdens transport en distributie is voor drinkwater bereid uit grondwater een significante correlatie waargenomen. Bij BVS-waarden < 10 pg ATP/cm^2·dag is de kans op overschrijding van het richtniveau voor Aeromonas (90 percentiel < 200 kvd/100 ml) minder dan 20%.

Biofilmvorming: een natuurlijk proces
Micro-organismen hechten zich vast aan oppervlakken waarlangs water stroomt. Opname van afbreekbare verbindingen uit het water leidt vervolgens tot vermeerdering van deze micro-organismen en er ontstaat een slijmlaagje op het oppervlak, de biofilm. In deze biofilm die wordt gevormd door bacteriën en uitscheidingsproducten (slijm) van bacteriën kunnen zich anorganische stoffen zoals ijzer en mangaan afzetten. Vaak zijn ook protozoa aanwezig die de biofilm afgrazen.

DICK VAN DER KOOIJ
Kiwa NV Onderzoek en Advies

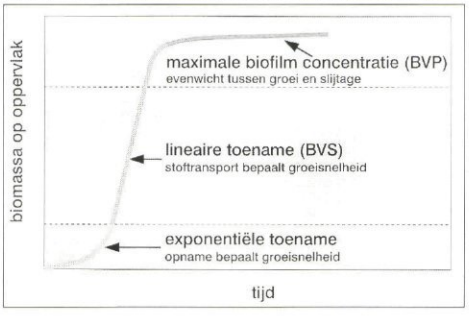
HANS S. VROUWENVELDER
Kiwa NV Onderzoek en Advies

HARM R. VEENENDAAL
Kiwa NV Onderzoek en Advies

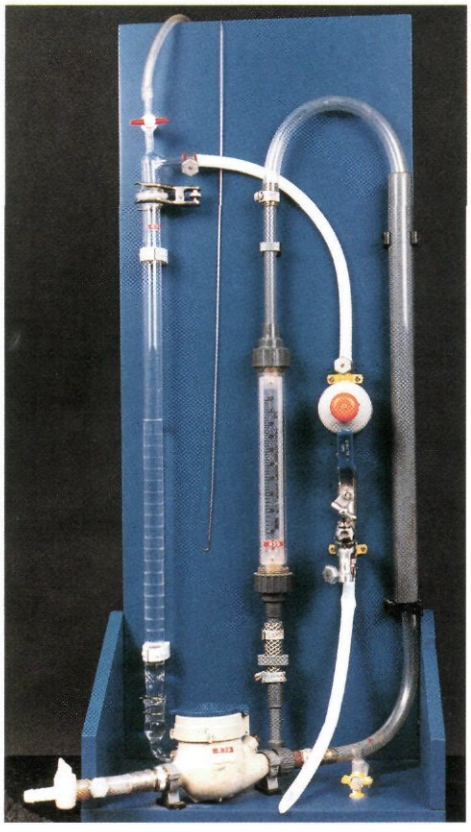
Micro-organismen kunnen uit de biofilm in het langsstromende water geraken. Bij sterke biofilmvorming laten delen van de biofilm los van het oppervlak en worden vervolgens met het water meegevoerd.
De microbiologische processen in biofilms vervullen tal van nuttige functies in de natuur (zelfreiningsprocessen in rivieren, beken en in de bodem) en ook bij de afvalwaterzuivering (oxidatiebedden) en de drinkwaterbereiding (omzetting van organische verbindingen, nitrificatie in filters). Biofilmvorming veroorzaakt bij de bereiding en de distributie van drinkwater echter ook problemen, bijvoorbeeld verstopping van (infiltratie)putten, biofouling van membraansystemen, vervuiling van filterbedden (zandfilters, actieve kool) en nagroei in leidingnetten. Dergelijke problemen vormen een aanzienlijke kostenpost voor de waterleidingbedrijven. Een optimale benutting van biofilms of juist het voorkómen van problemen door biofilmvorming vergt gedegen kennis over de factoren die de vorming en de activiteit van biofilms bepalen.

Biofilmvorming bij transport en distributie: nadelen en bestrijding
Op de wanden van leidingen en van reinwaterreservoirs en ook op andere oppervlakken die voortdurend met stromend drinkwater in aanraking komen treedt biofilmvorming op. Sterke biofilmvorming gaat gepaard met een verslechtering van de kwaliteit van het drinkwater (verhoogde koloniegetallen, groei van *Aeromonas*-bacteriën; dierlijke organismen) en is ook in technisch opzicht ongewenst (afzetting van ijzerverbindingen, verkorting standtijd van watermeters). Gebleken is dat biofilmvorming onder bepaalde omstandigheden ook tot vermeerdering van bacteriën van de coligroep kan leiden [LeChevallier, 1990].
In systemen voor warmtapwater kunnen *Legionella*-bacteriën zich in biofilms vermeerderen. Deze bacteriën veroorzaken legionellose, een vorm van longontsteking [Gezondheidsraad, 1986].
Spuien van leidingen wordt veelvuldig toegepast om kwaliteitsproblemen in het leidingnet te bestrijden. Het effect van deze werkwijze, die arbeidsintensief is en overlast veroorzaakt, is echter vaak beperkt en bovendien van korte duur. Dosering van een desinfectiemiddel kan biofilmvorming vertragen, maar de micro-organismen in de biofilm zijn moeilijk bereikbaar voor desinfectiemiddelen [Herson *et al.*, 1987; LeChevallier *et al.*, 1988]. Aanwezigheid van een desinfectiemiddel in het drinkwater leidt bovendien tot smaakbezwaren en de vorming van ongewenste nevenproducten. In Nederland wordt daarom nagestreefd nagroei te beperken door de distributie van drinkwater dat zo min mogelijk voedingsstoffen voor micro-organismen bevat. Dergelijk 'biologisch stabiel' drinkwater heeft een zodanig lage concentratie aan afbreekbare verbindingen dat biofilmvorming en vermeerdering van micro-organismen sterk worden beperkt.

Afb. 1 - Schematische weergave van de biofilmvorming.



AOC-gehalte en nagroei
De mate van biofilmvorming is afhankelijk van de concentratie en de aard van verbindingen die door micro-organismen kunnen worden opgenomen. Voor de bepaling van het gehalte aan gemakkelijk afbreekbare organische koolstof (AOC) is een meetmethode ontwikkeld. Deze AOC-bepaling berust op het meten van de groei van een tweetal geselecteerde bacteriesoorten in gepasteuriseerd (drink)water [Van der Kooij en Hijnen, 1984].
Gebleken is dat het AOC-gehalte van het drinkwater in Nederland meestal tussen circa 5 en 50 μg C/L ligt. Bij gehaltes beneden 10 μg C/l neemt het koloniegetal van heterotrofe (organische stoffen benuttende) bacteriën in het voorzieningsgebied vrijwel niet toe. Dergelijke lage AOC-gehaltes worden waargenomen in het filtraat van langzame zandfilters en in drinkwater bereid uit grondwater.
Vooral in drinkwater bereid uit anaëroob (zuurstofloos) (oever)grondwater blijkt nagroei van *Aeromonas*-bacteriën op te treden [Baggelaar *et al.*, 1992]. De concentraties van *Aeromonas*-bacteriën, die worden bepaald als koloniegetal in monsters van 100 ml, zijn meestal veel lager dan de koloniegetallen bepaald bij 22 en 37 °C. Mede gebaseerd op een landelijk onderzoek is als richtniveau voor *Aeromonas*-bacteriën een 90-percentiel waarde van 200 kolonievormende deeltjes per 100 ml (2 kvd/ml) aangegeven [Trouwborst, 1992]. Overschrijding van dit richtniveau is ook waargenomen bij AOC-gehaltes beneden 10 μg C/l [Van der Kooij, 1992].



Afb. 2 - De biofilmmonitor. Links: kolom met glazen ringen; midden: rotameter.

Aeromonas-bacteriën kunnen verbindingen zoals aminozuren, peptiden, koolhydraten en hogere vetzuren zelfs bij concentraties van enkele microgrammen/l benutten voor groei [Van der Kooij and Hijnen, 1988]. Dergelijke verbindingen zijn aanwezig in levende en dode biomassa. Anaëroob grondwater bevat in de regel methaan en ammonium. Nitrificerende en ook methaanoxiderende bacteriën spelen daarom een belangrijke rol bij de behandeling van dit type grondwater. Resten van dergelijke bacteriën en sporen van de genoemde verbindingen kunnen een ophoping van biomassa in het leidingnet veroorzaken die vermeerdering van *Aeromonas* tot gevolg heeft. Met de AOC-bepaling kunnen deze componenten niet worden gedetecteerd. Daarom is een werkwijze ontwikkeld waarmee de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater kunnen worden bepaald. Vervolgens is onderzocht welke invloed de mate van biofilmvorming heeft op de nagroei van *Aeromonas*-bacteriën in het leidingnet.

Bepaling van de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater

Biofilmvormingsprocessen

Naast voedingsstoffen zijn ook factoren zoals watertemperatuur en stroomsnelheid van invloed op de snelheid van biofilmvorming. Afbeelding 1 geeft een schematische weergave van de toename van de hoeveelheid biomassa op een aan stromend water blootgesteld oppervlak. De volgende fasen van biofilmvorming kunnen worden onderscheiden:

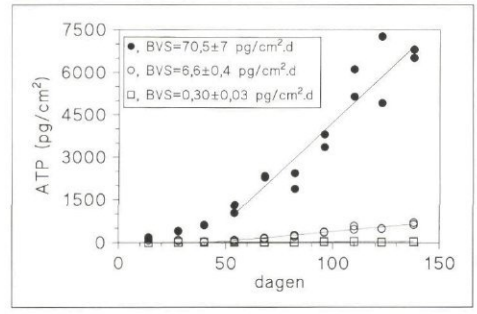
- hechtingsfase, waarin enkele bacteriën zich vasthechten op het oppervlak;
- exponentiële groeifase, waarbij de groeisnelheid afhankelijk is van de snelheid waarmee de aanwezige micro-organismen de beschikbare afbreekbare verbindingen kunnen benutten;
- lineaire toename, waarbij de toename van de biomassa afhankelijk is van de snelheid waarmee afbreekbare verbindingen vanuit de waterfase worden aangevoerd naar de biofilm. In deze fase is de toename van de biofilmdichtheid (hoeveelheid biomassa per oppervlakte-eenheid) rechtevenredig met de tijd.
- stationaire fase, waarbij een evenwicht ontstaat tussen aangroei, slijtage (afslag) door het langsstromende water en begrazing door protozoa en dierlijke organismen, waaronder de waterpissebed Asellus aquaticus [Van Lieverloo en Van der Kooij, 1996]. De maximale biofilmdichtheid is bereikt.

Biofilmmonitor

De bepaling van de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater omvat het meten van de biofilmvormingssnelheid (BVS) en van de biofilmvormingspotentie (BVP) (afb. 1). Voor dit doel is een biofilmmonitor ontwikkeld (afb. 2). In deze monitor vindt biofilmvorming plaats onder goed gedefinieerde omstandigheden die bovendien overeenkomen met de condities in het leidingnet. Ook zijn werkwijzen ontwikkeld waarmee de hoeveelheid biomassa per oppervlakte-eenheid nauwkeurig kan worden bepaald en waarmee vervolgens de toename van biomassa op een aan het water blootgesteld oppervlak als functie van de tijd kan worden berekend. Een meer gedetailleerde beschrijving is hieronder gegeven.

Opstelling biofilmmonitor

De biofilmmonitor bestaat uit een glazen kolom (L = 60 cm; Ø 2,5 cm), waarin



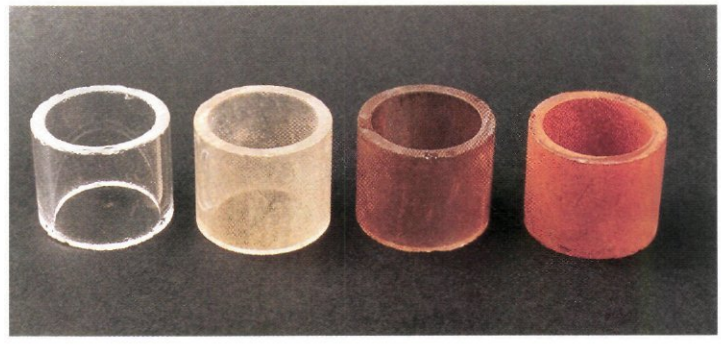
Afb. 3 - Biofilmvorming in een drietal drinkwatertypen;
○, drinkwater bereid uit zuurstofhoudend grondwater;
□, drinkwater bereid uit anaëroob grondwater;
●, drinkwater bereid uit oevergrondwater.

verticaal boven elkaar ca. 40 glazen ringen zijn geplaatst (afb. 2). Het (drink)water doorstroomt de kolom met ringen van boven naar beneden met een snelheid van 0,2 m/s. De stroomsnelheid van het water kan worden afgelezen met een flowmeter en wordt ingesteld met behulp van een afsluiter. Periodiek worden ringen uit de kolom genomen, geplaatst in steriel water en op ijs vervoerd naar het laboratorium voor onderzoek op biofilmvorming.

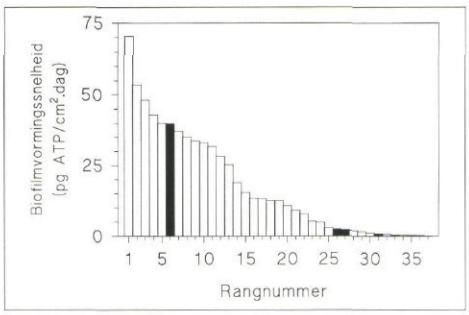
Analyse biofilmvorming

De buizen met het steriele water en de ringen worden geplaatst in een ultrasoon bad. Door een drietal behandelingen van ieder 2 minuten wordt het materiaal van de biofilm volledig losgemaakt van de glazen ringen. In de nu verkregen suspensie kunnen microbiologische en ook chemische analyses worden uitgevoerd. De belangrijkste microbiologische parameters zijn:

- het gehalte adenosinetrifosfaat (ATP). Deze parameter geeft een snelle en gevoelige analyse van de concentratie actieve biomassa. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen bacteriën die organische stoffen benutten en bacteriën die methaan of ammonium omzetten. Het principe van de ATP-bepaling berust op het meten van licht (fotonen) dat vrijkomt wanneer het enzym luciferase in aanwezigheid van ATP wordt gevoegd bij de verbinding luciferine.
- het koloniegetal van heterotrofe bac-



Afb. 4 - Ook ijzer en mangaan kunnen zich afzetten op de glazen ringen in de biofilmmonitor.



Afb. 5 - Biofilmvormingssnelheden (BVS, pg ATP/cm²·dag) van drinkwater bij 37 pompstations. Open staaf: drinkwater bereid uit grondwater; dichte staven: drinkwater bereid uit oppervlaktewater (direct en/of via duininfiltratie). Metingen werden verricht voor de nadesinfectie (indien toegepast).

TABEL I - *Biofilmvormende eigenschappen van enkele typen drinkwater bereid uit grondwater en van drinkwater bereid met langzame zandfiltratie.*

Locatie	Water type *	DOC (mg/l)	AOC (µg C/L)	BVS** (pg ATP/cm²·dag)	BVP ** (pg ATP/cm²)
1.	LZF	1,9	5,2	< 0,5	<50
2.	LZF	1,8	7,1	0,25	40
3.	LZF	6,0	5,1	0,86	95
4.	GW+O_2	0,2	2,3	0,44	47
5.	GW+O_2	0,3	3,4	0,34	38
6.	GW+O_2	0,4	1,9	1,6	190
7.	GW-O_2	2,0	4,8	3,0	380
8.	OGW-O_2	1,1	4,8	7,8	640
9.	GW-O_2	5,8	12,5	15,4	1480
10.	GW-O_2	1,5	3,7	18,8	2050
11.	GW-O_2	7,2	12,7	35,1	3395
12.	GW-O_2	5,0	9,0	70,5	7000

* LZF, drinkwater bereid met behulp van langzame zandfiltratie als laatste behandeling; GW+O_2, drinkwater bereid uit zuurstofhoudend grondwater; GW-O_2, idem uit zuurstofloos grondwater; OGW-O_2, idem uit zuurstofloos oevergrondwater.

** BVS, biofilmvormingssnelheid resp. BVP, biofilmvormingspotentie.

teriën op een voedselrijke en op een voedselarme voedingsbodem. Bacteriën die organische stoffen benutten vormen meestal een belangrijk deel van de biofilm. Met een arme voedingsbodem en een lange incubatietijd wordt in drinkwater in de regel een veel hoger koloniegetal waargenomen dan met een rijke voedingsbodem na een korte incubatieperiode. Door gebruik te maken van selectieve voedingsbodems kan ook de concentratie van bepaalde bacteriesoorten (bijvoorbeeld *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep) in de biofilm worden bepaald.

- directe microscopische telling van het totale aantal bacteriën. Hiertoe worden de bacteriën gekleurd met een verbinding (acridine-oranje) die sterk fluoresceert onder ultraviolet licht. Deze werkwijze maakt geen onderscheid tussen levende (actieve) en dode bacteriën.

Ook chemisch onderzoek kan worden verricht naar de samenstelling van de biofilm. De bepaling van ijzer en van mangaan geeft informatie over de mate van afzetting van deze verbindingen door het betreffende water.

De biofilmvormingssnelheid (BVS) van het (drink)water is berekend uit de lineaire toename van de ATP-concentratie in de biofilm op de glazen ringen; de biofilmvormingspotentie (BVP) is berekend als de gemiddelde ATP-concentratie in de biofilm gevormd op de glazen ringen na 100 tot 150 dagen doorstroming van de monitor.

Biofilmvormende eigenschappen van drinkwater

Al snel bleek dat met de gekozen opzet een nauwkeurige meting mogelijk was van de biofilmvorming die het drinkwater op de glazen ringen veroorzaakte. Afbeelding 3 geeft de biofilmvorming van een drietal drinkwatertypen weer. Het betreft drinkwater bereid uit respectievelijk aëroob grondwater, oeverfiltraat en anaëroob grondwater. Naast vorming van een biofilm kan in de biofilmmonitor ook afzetting van ijzer en van mangaan optreden (afb. 4).

In tabel I zijn de biofilmvormende eigenschappen en het AOC-gehalte van een twaalftal drinkwatertypen weergegeven.

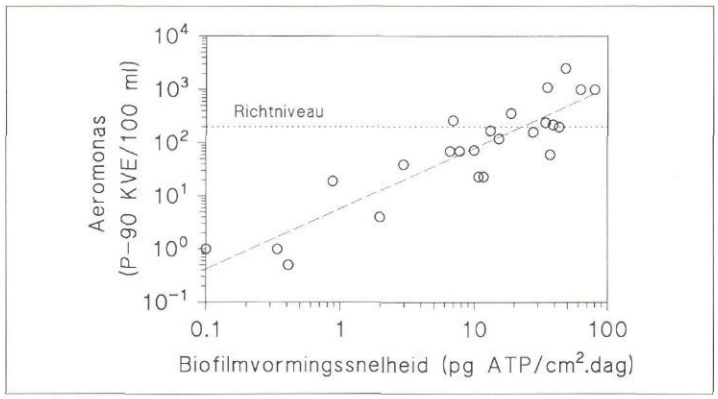
In het drinkwater bereid uit aëroob grondwater was de biofilmvorming zeer gering. Dit water heeft ook een gering DOC-gehalte en een laag AOC-gehalte. Het is duidelijk dat bodempassage van zuurstofhoudend water leidt tot een hoge mate van biologische stabiliteit. Uit metingen uitgevoerd bij de pompstations Leiduin (Gemeentewaterleidingen), Scheveningen en Katwijk (NV Duinwaterbedrijf Zuid-Holland) bleek dat ook de biofilmvormingssnelheid (BVS) van drinkwater bereid met langzame zandfiltratie geringer was dan 1 pg ATP/cm²·dag. De BVS-waarden van een 37-tal drinkwatertypen lagen tussen <1 pg ATP/cm²·dag en 70 pg ATP/cm²·dag (afb. 5). De BVP-waarden van deze drinkwatertypen liggen tussen circa 50 en 7000 pg ATP/cm² (Tabel I). De hoogste BVS- resp. BVP-waarden werden waargenomen in drinkwater bereid uit anaëroob (oever)grondwater.

Ter vergelijking zij vermeld dat de BVS-waarde van onbehandeld rivierwater (Lek, Maas) circa 1500 à 2500 pg ATP/cm²·dag bedraagt.

Biofilmvorming en nagroei van Aeromonas

In het kader van het Landelijk Onderzoek naar *Aeromonas* in drinkwater zijn in 1989 gegevens verzameld over de aantallen *Aeromonas*-bacteriën in het drinkwater tijdens distributie. Uit afbeelding 6 blijkt dat tussen de BVS-waarden en de 90-percentielen van het aantal *Aeromonas*-bacteriën in drinkwater bereid uit grondwater een zeer significante correlatie (r2 = 0,81; p<10-8) bestaat. Bij BVS-waarden beneden 1 pg ATP/cm²·dag zijn de aantallen *Aeromonas*-bacteriën zeer gering; bij BVS-waarden boven 20 pg ATP/cm²·dag is het 90-percentiel meestal hoger dan het richtniveau. *Aeromonas*-bacteriën werden zelden waargenomen in de biofilm gevormd in de monitor.

In spuiwater en in sediment daarentegen zijn *Aeromonas*-bacteriën vaak in hoge aantallen aanwezig. Het verband tussen biofilmvormingssnelheid en nagroei van *Aeromonas*-bacteriën moet derhalve worden gezocht in een samenhang tussen de biofilmvorming op de buiswand en de accumulatie van sediment in het leidingnet. De in afbeelding 6 weergegeven relatie is niet zonder meer toepasbaar voor (delen van) distributiesystemen met veel gietijzeren leidingen omdat transport door gietijzer de biofilmvorming kan versterken.

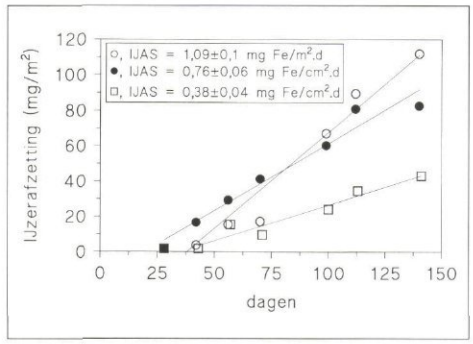


Afb. 6 - Verband tussen de biofilmvormingssnelheid van drinkwater bereid uit grondwater en het 90-percentiel van Aeromonas-bacteriën in het drinkwater tijdens transport en distributie.

Biofilmvorming en AOC-gehalte
Uit tabel 1 blijkt dat het drinkwater ook bij AOC-gehaltes beneden 10 μg C/l relatief sterk biofilmvormend kan zijn. Het AOC-gehalte is een maat voor verbindingen die door de teststammen binnen een week kunnen worden opgenomen. De biofilmvormingssnelheid is echter niet direct afhankelijk van dit AOC-gehalte omdat de biofilmvorming vooral beïnvloed wordt door het gehalte aan snel opneembare verbindingen. Met experimenten waarbij acetaat werd gedoseerd is vastgesteld dat een concentratie van 10 μg acetaat-C/l een BVS-waarde veroorzaakt van 360 pg ATP/cm^2·dag [Van der Kooij *et al.*, 1995]. Gebleken is dat een lineair verband bestaat tussen acetaat-C concentratie en biofilmvormingssnelheid, waarbij 1 μg acetaat-C/l een biofilmvormingssnelheid van 36 pg ATP/cm^2·dag kan veroorzaken. De in afbeelding 5 vermelde BVS-waarden komen dus overeen met acetaatconcentraties tussen 0,03 en 2 μg C/l.
Deze concentraties vormen meestal slechts een klein deel van het AOC-gehalte, uitgedrukt in acetaat-C equivalenten/l.

Het is mogelijk dat ook bepaalde verbindingen die niet worden waargenomen met de AOC-bepaling, bijvoorbeeld methaan of ammonium, een bijdrage leveren aan de biofilmvorming. De BVS-waarde van drinkwater is dus een maat voor de concentratie aan snel opneembare verbindingen.

Biofilmvorming en afzetting van ijzer en mangaan
In de regel vertoont de afzetting van ijzer en van mangaan op de ringen een lineair verloop (afb. 7). Hieruit kan de ijzerafzettingssnelheid (IJAS; mg Fe/m^2·dag) respectievelijk de mangaanafzettingssnelheid (MAS, mg Mn/m^2·dag) worden berekend. Gebleken is dat IJAS-waarden in de regel liggen tussen <0,002 (filtraat langzame zandfilters) en 9 mg/m^2·dag.



Afb. 7 - Ijzerafzetting in de biofilmmonitor bij 3 locaties.

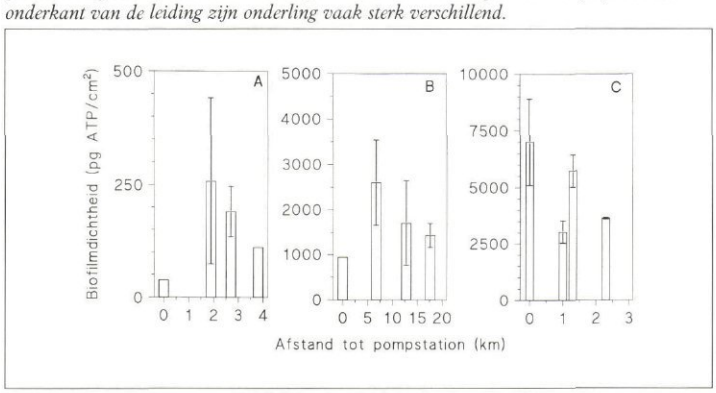
De MAS-waarden zijn meestal lager en liggen tussen <0,001 en 2 mg/m^2·dag.
Er zijn aanwijzingen dat de biofilm effectief ijzer en mangaan 'afvangt'. Dit betekent dat biofilmvorming een rol speelt bij bruinwater problemen.

Biofilmvorming in leidingnetten
In een aantal voorzieningsgebieden zijn door de betrokken waterleidingbedrijven op geselecteerde locaties segmenten uit PVC-leidingen (Ø 110 mm) gezaagd.
In het laboratorium werd de biofilm van het leidingmateriaal verwijderd met behulp van steriele wattenstokjes en vervolgens geanalyseerd met de hierboven genoemde methoden. Afbeelding 8 geeft enkele voorbeelden van biofilmdichtheden zoals waargenomen in leidingnetten. Gebleken is dat in de regel meer biofilm op de buiswand aanwezig is naarmate de biofilmvormingssnelheid van het drinkwater 'af pompstation' hoger is. Uit de verkregen gegevens, die nog uitvoeriger zullen worden gerapporteerd, kwam ook naar voren dat:
- de hoeveelheid biofilm niet gelijk is verdeeld over de bovenkant, de zijkanten en de onderkant van de PVC-leidingen;
- de biofilmdichtheid in een aantal gevallen afnam met toenemende afstand tot het pompstation;
- transport van water door een gietijzeren leiding kan de ijzerafzetting en de biofilmvorming in de PVC-leidingen versterken.

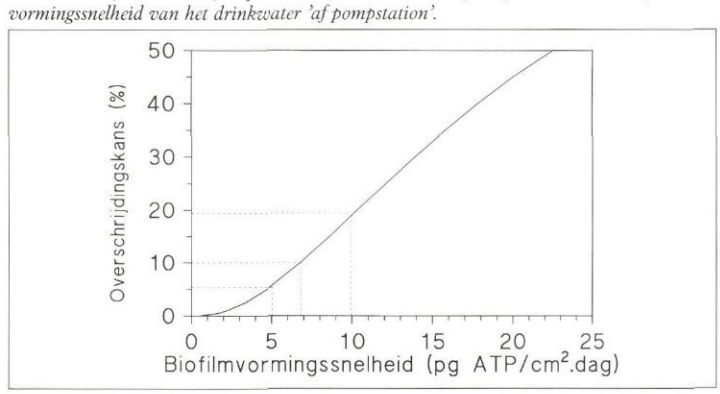
Factoren zoals leidingmateriaal, stroomsnelheid, en verblijftijd beïnvloeden de biofilmvorming in het leidingnet. Huidig onderzoek richt zich op de vraag welke van de distributietechnische factoren van doorslaggevende invloed is. Bepaalde synthetische materialen die worden toegepast in contact met drinkwater kunnen afbreekbare verbindingen afgeven aan het water. Daarom is een methode ontwikkeld waarmee de biofilmvormingspotentie van dergelijke materialen kan worden gemeten [Van der Kooij *et al.*, 1994].

Biologisch stabiel drinkwater
Uit het bovenstaande komt naar voren dat de biofilmvormingssnelheden van de diverse typen drinkwater onderling sterk verschillend zijn (tot circa 200 x).
Tevens blijkt dat de biofilmvormingssnelheid belangrijke informatie geeft over de biologische stabiliteit van het drinkwater. Eerder is aangetoond dat een laag AOC-gehalte (< 10 μg C/l) van het drinkwater van belang is om een toename van het koloniegetal van heterotrofe bacteriën te beperken [Van der Kooij, 1992].
Om nagroei van *Aeromonas*-bacteriën te verhinderen is het bovendien noodzakelijk om de biofilmvormingssnelheid van het water te beperken. Dit betekent dat het gehalte aan snel opneembare verbindingen zeer gering moet zijn. Zoals vermeld is de biofilmvormingssnelheid van drinkwater bereid uit zuurstofhoudend grondwater en het filtraat van langzame zandfilters kleiner dan 1 pg ATP/cm^2·dag (10 ng ATP/m^2·dag). Een dergelijke mate van biologische stabiliteit behoeft echter niet te worden nagestreefd voor het verhinderen van de groei van *Aeromonas*. In afbeelding 9 is de kans op overschrijding van het richtniveau van 200 kvd/100 ml weergegeven als functie van de BVS-waarde. Deze overschrijdingskans is kleiner dan 20% bij BVS-waarden beneden 10 pg ATP/cm^2·dag en kleiner dan 10% als BVS < 7 pg ATP/cm^2·dag.

Afb. 8 - Biofilmvormingspotentie (in de monitor) en biofilmdichtheden in PVC-leidingen (Ø 110 mm) in een drietal distributiesystemen. Dichtheden op bovenkant, zijkant en onderkant van de leiding zijn onderling vaak sterk verschillend.



Afb. 9 - Kans op overschrijding van het streefniveau voor Aeromonas-bacteriën in het drinkwater bij distributie (90-percentiel (200 kvd/100 ml) als functie van de biofilmvormingssnelheid van het drinkwater 'af pompstation'.



Toepassingsmogelijkheden van de biofilmmonitor

Met de biofilmmonitor kunnen relevante gegevens worden verkregen over de vorming van afzettingen op oppervlakken in contact met stromend (drink)water. Deze gegevens zijn van belang voor het voorspellen van processen in systemen voor transport en distributie van drinkwater. Kwantitatieve informatie over de biofilmvormende eigenschappen van water kan ook in andere situaties van belang zijn, bijvoorbeeld bij het optreden van weerstandsverliezen in transportleidingen, het optreden van verstopping van infiltratieputten, en het vervuilen ('biofouling') van membranen. Welke relaties er bestaan tussen de biofilmvormende eigenschappen van het water en de genoemde problemen kan blijken uit verder onderzoek.

Verantwoording

Het onderzoek is uitgevoerd in het kader van het gezamenlijke onderzoekprogramma van de waterleidingbedrijven. Dank is verschuldigd aan de betrokken waterleidingbedrijven voor het verlenen van assistentie bij het plaatsen van de biofilmmonitor en voor het uitnemen van leidingsegmenten. Technische ondersteuning bij Kiwa is verleend door Daan van der Klift (constructie en plaatsing van biofilmmonitors), Cynthia Baars-Lorist, Didy Braat-Van Veenendaal en Ellen van der Speld (analyses). Johan Groennou heeft de relatie tussen overschrijdingsrisico en BVS-waarde (afb. 9) berekend. De biofilmmonitor is gepatenteerd.

Literatuur

Baggelaar, P. K., Drost, Y. C., Nauta, G. en Kooij, D. van der (1992). *Landelijk overzicht van Aeromonas bacteriën in drinkwater.* pp. 14-26, in D. van der Kooij (ed): *Aeromonas in drinkwater, voorkomen, bestrijding en betekenis;* Kiwa NV, Rijswijk/Nieuwegein.
Gezondheidsraad (1986). *Preventie van legionellose;* Gezondheidsraad, 's-Gravenhage.
Herson, D.S., McGonigle, B., Payer, M. A. and Baker, K. H. (1987). *Attachment as a factor in the protection of Enterobacter cloacae from chlorination.* Appl. Environ. Microbiol. 53:1178-1180.
LeChevallier, M. W., Cawthon, C. D. and Lee, R. G. (1988). *Inactivation of biofilm bacteria.* Appl. Environ. Microbiol. 54:2492-2499.
Kooij, D. van der, en Hijnen, W. A. M. (1984). *Mogelijkheden van AOC-bepalingen bij het vaststellen van de concentratie van gemakkelijk afbreekbare in water.* H_2O (30) 1997, nr. 17 p. 249-252.
Kooij, D. van der, Veenendaal, D. H. R., Baars-Lorist, C., Klift, H. W. van der and H. W. van der Drost, H. W. van der (1995). *Biofilm formation on surfaces of glass and teflon exposed to treated water.* Wat. Res. 29:1655-1662.
Kooij, D. van der, Veenendaal, H. R. (1994). *Assessment of the biofilm formation potential of synthetic materials in contact with drinking water during distribution.* Proceedings 1993 AWWA Water Quality Technology Conference, Miami Florida, pp. 1395-1407.
Kooij, D. van der and Veenendaal, H. R. (1993). *Assessment of the biofilm formation characteristics of drinking water.* Proc. 1992 AWWA Water Quality Technology Conference, Toronto Ontario, pp. 1099-1110.
Kooij, D. van der, Vrouwenvelder, J. S. and Veenendaal, H. R. (1995). *Kinetic aspects of biofilm formation on surfaces exposed to drinking water.* Wat. Sci. Tech. 32:61-65.
Kooij, D. van der, Vrouwenvelder, J. S., Veenendaal, H. R. and Raalte-Drewes, M. J. C. van (1995). *Multiplication of aeromonads in ground water supplies in relation with the biofilm formation characteristics of drinking water.* Proc. 1994 AWWA Water Quality Technology Conf. San Francisco California, pp. 1349-1363.
LeChevallier, M. W. (1990). *Coliform regrowth in drinking water: a review.* J. Am. Water Works Ass. Nov. 74-86.
Lieverloo, J. H. M. van, en Kooij, D. van der (1996). *Waterpissebedden: natuurlijke, maar ongewenste bewoners van systemen voor de distributie van drinkwater.* H_2O (29) 1996, p.773-777.
Trouwborst, T. (1992). *Overheidsbeleid ten aanzien van het voorkomen van Aeromonas in drinkwater.* pp. 95-104, In D. van der Kooij (ed): *Aeromonas in drinkwater, voorkomen, bestrijding en betekenis;* Kiwa NV, Rijswijk/Nieuwegein.

● ● ●

Natuurvriendelijke oevers

• *Slot van pagina 774.*

bedoeling te komen tot een aantal concrete ontwerpsuggesties.

Invloed natuurvriendelijke oever op natuurwaarden in kanaal

Doordat de natuurvriendelijke oever een biotoop aan het kanaal toevoegt, heeft deze een verhoging van de natuurwaarden van het kanaal zelf tot gevolg. Dit geldt vooral voor de visstand. Uit monitoring blijkt dat zowel oudere vis als jong broed in de vooroever aanwezig is. Het lijkt aannemelijk dat oudere vissen de natuurvriendelijke oever weten te vinden; het ligt voor de hand dat de vis ook de weg terug, naar het kanaal, weet te vinden en zich daarlangs verspreidt. Voor planten is vooral de dispersiefunctie van zaden van belang; vestiging in het kanaal is niet in beeld, gezien de te grote waterdiepte en het te onrustige milieu van het kanaal.

Monitoring en voorspelling

Onderzoekgegevens afkomstig uit monitoring, gekoppeld aan ecologische kennis, maakt het mogelijk om op hoofdlijnen een inzicht te geven in de toekomstige ecologische waarde van een natuurvriendelijke oever. Bij de Dienst Weg- en Waterbouwkunde is daarnaast een model in ontwikkeling waarmee bepaald kan worden of een oever geschikt is voor bepaalde oevergebonden dieren. Dit model maakt gebruik van omgevingsvariabelen die van belang zijn voor de soort. Het is dan ook mogelijk om, naast de indicatie van de geschiktheid, te bepalen welke variabele beperkend is. Hiermee wordt duidelijk welke ingrepen in de oever het meeste rendement opleveren voor die soort.

Tot besluit

Natuurvriendelijke oevers langs kanalen hebben een meerwaarde voor de natuur, zeker in vergelijking met kanalen zonder dergelijke oevers. Ze bieden namelijk ruimte aan meer oevergebonden soorten dan voorheen. Zeker wanneer ze op grotere schaal en over langere aaneensluitende trajecten worden toegepast, kunnen ze steeds beter gaan functioneren als ecologische verbindingszones. Met name geldt dit voor soorten die in de oever optimale levensvoorwaarden vinden en/of zich meer gericht via de natte zone boven de waterspiegel verspreiden.
Kanttekening is dat van deze oevers geen wonderen verwacht mogen worden: het ecologische streefbeeld ligt lager dan voor natuurgebieden, en het maximaal haalbare is eerder bereikt. Verder is er in ontwerpende zin op het grensvlak tussen techniek en natuur nog veel te leren.
Ook het opnemen van natuurvriendelijke oevers in onderhoudsplannen, om daarmee op termijn de gewenste ecologische functie te waarborgen, verdient aandacht. Het is van het grootste belang om dergelijke oevers in goede samenspraak tussen ecologen en civiel-technici te realiseren en in stand te houden.
Voorspellen welke soorten er precies de natuurvriendelijke oever zullen gaan bevolken, blijkt moeilijk. Het is daarom belangrijk de verwachtingen helder, en niet te hoog te stellen: streefbeelden formuleren is prima, maar het is van belang ze realistisch en niet te gedetailleerd te maken.
Het aangeven van ecotopen, in combinatie met enkele gericht gekozen doelsoorten, is over het algemeen voldoende om te starten met ontwerpen en een doorzicht te bieden naar het toekomstig beheer.

Literatuur

Cappendijk, A. M. en Vermeulen, I. A. H. M. (1996). *Modelbeschrijving en gebruikershandleiding van PLONS. PC-model voor berekening van wateruitwisseling tussen natte strook en vaarweg,* herziene versie. Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, Delft.
CUR en RWS-DWW (1994). *Natuurvriendelijke oevers.* Rapport 168. CUR, Gouda.
Mosterdijk, H. G. en Moller Pillot, H. K. M. (1995). *Onderzoek milieuvriendelijke oevers Kanaal Wessem-Nederweert.* Monitoring proefvak 1991-1994. In opdracht van Rijkswaterstaat directie Limburg.
Reinhold, J. en la Haye, M. de (in druk). *Amfibieën in kanalen.* RAVON, jaargang 1, nr. 1.
Reitsma, J.M., Beek, G. C. W. van en Munts, R. (1995). *Monitoring natuurvriendelijke oever langs het Noordhollandsch kanaal ter hoogte van het Alkmaarder Meer. Periode 1992-1995.* Eindrapportage en evaluatie. In opdracht van Rijkswaterstaat directie Noord-Holland. ANW-nota 95.15.

● ● ●